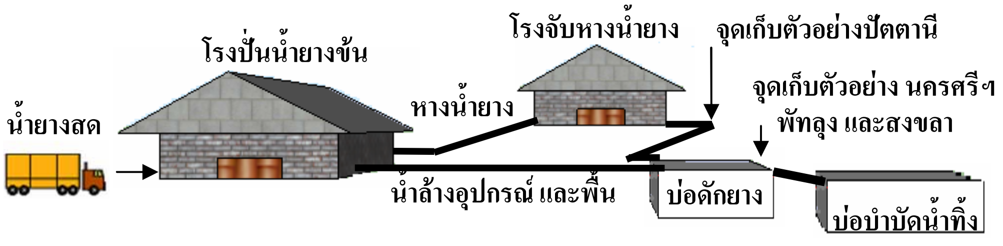
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาศักยภาพด้านธาตุอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา สมบัติทางกายภาพและเคมี ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น เพื่อประเมินระดับความเข้มข้นของปริมาณธาตุอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น และทำการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา พร้อมทั้งศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาจากการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น ปริมาณธาตุอาหารที่ลดลงในระหว่างการเพาะเลี้ยง โดยประเมินศักยภาพการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้คลอเรลลา พร้อมทั้งออกแบบระบบการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาแบบกึ่งต่อเนื่อง เพื่อให้เกษตรกรหรือผู้สนใจได้รับข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการวางแผนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณเถ้า สภาพความเป็นกรด - ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณซีโอดี (COD) ปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน (TKN) ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (NH_3) ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท (NO_3) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ปริมาณโพแตสเซียม (K) ปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-}) และปริมาณแมกนีเซียม (Mg) โดยทำการศึกษาในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงมกราคม พ.ศ. 2551 โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น 4 โรงงานใน 4 จังหวัด คือ นครศรีธรรมราช ปัตตานี และพัทลุง โรงงานละ 3 ซ้ำ และโรงงานในจังหวัดสงขลา 1 ซ้ำ โดยทำการเก็บน้ำทิ้งบริเวณบ่อดักยาง ก่อนที่จะเข้าสู่บ่อบำบัดทางชีวภาพ ยกเว้นโรงงานในจังหวัดปัตตานี เก็บจากบ่อจับหางน้ำยางหลังจากแยกเนื้อยางออกแล้ว (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในโรงงานผลิตน้ำยางข้น

Prince of Songkla University
Pattani Campus

จากการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ลงสู่บ่อดักยางมีที่มาจากกิจกรรมหลัก 2 กิจกรรม คือ

1) น้ำจากการล้างเครื่องปั่นในกระบวนการปั่นน้ำยางข้น และน้ำล้างพื้น

2) น้ำหลังจากกระบวนการจับหางน้ำยาง ซึ่งน้ำจากส่วนนี้เรียกว่า น้ำซีรั่ม

ลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้งที่พบในบ่อดักยางมีลักษณะสีขาวขุ่น เนื่องจากมีเศษเนื้อยางปะปนมากับน้ำทิ้งในกิจกรรมที่ 1 เมื่อน้ำทิ้งทั้งสองกิจกรรมมารวมกันในบ่อดักยาง สมบัติความเป็นกรดของน้ำทิ้งจากกิจกรรมที่ 2 จะช่วยให้เศษยางที่มาจากกิจกรรมที่ 1 เกิดการจับตัว และแยกออกมาจากน้ำ เป็นก้อนยางลอยสู่ด้านบนของบ่อดักยาง

จากการศึกษาการใช้น้ำในโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยบันทึกการใช้น้ำจากหัววัดการจ่ายน้ำ และปริมาณการรับน้ำยางสดของโรงงานระหว่างวันที่ 26 สิงหาคม ถึงวันที่ 4 กันยายน 2551 พบว่า ทางโรงงานมีการใช้น้ำในช่วง 30-134 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณการรับน้ำยางสด พบว่ามีการใช้น้ำ 1.54-54.49 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางสดต่อวัน (ตารางที่ 4.1) ซึ่งส่วนใหญ่น้ำที่ใช้จะกลายเป็นน้ำทิ้งทั้งหมด

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณน้ำยางสด ของโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบม.)	ปริมาณน้ำยางสด (ตัน)	อัตราส่วนการใช้น้ำต่อปริมาณน้ำยางสด (ลบม./ตัน)
26/8/2551	134	42.49	3.15
27/8/2551	62	3.09	20.06
28/8/2551	98	25.21	3.89
29/8/2551	70	38.99	1.80
30/8/2551	42	1.09	38.53
31/8/2551	30	60.81	0.49
1/9/2551	104	13.36	7.78
2/9/2551	97	1.78	54.49
3/9/2551	42	25.98	1.62
4/9/2551	111	71.86	1.54

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 5,073-11,123 เฉลี่ย 7,851±3,055 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุง ในช่วง 5,453-12,033 เฉลี่ย 8,632±3,295 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานี ในช่วง 44,118-61,742 เฉลี่ย 50,541±9,734 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.2)

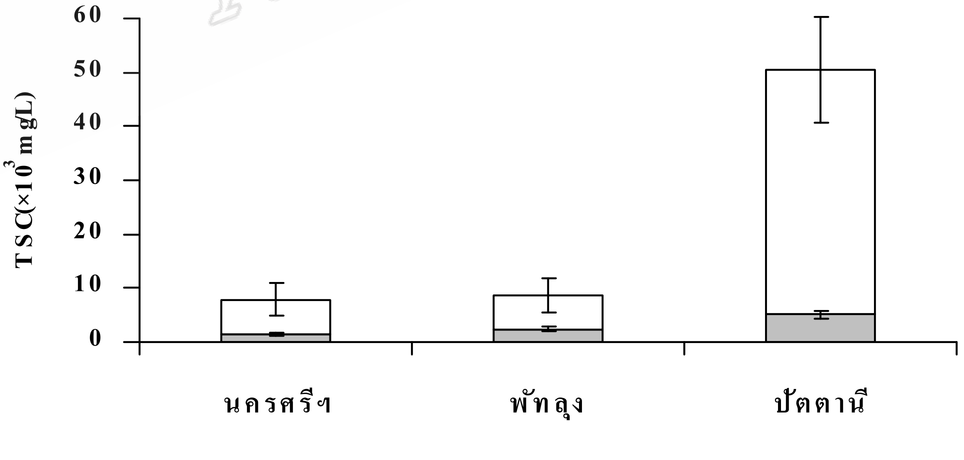
4.1.2 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในช่วง 3,647-9,537 เฉลี่ย 6,495±2,949 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุง ในช่วง 3,362-9,610 เฉลี่ย 6,196±3,164 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 39,648-55,820 เฉลี่ย 45,422±9,023 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.2)

4.1.3 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นจังหวัดนครศรีธรรมราช พบค่าปริมาณเถ้าในช่วง 1,053-1,587 เฉลี่ย 1,355±273 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุง ในช่วง 2092-2793 เฉลี่ย 2,436±351 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 4,470-5,922 เฉลี่ย 5,119±737 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.2)

Prince of Songkla University
Pattani Campus



รูปที่ 4.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ และปริมาณเถ้า ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3)

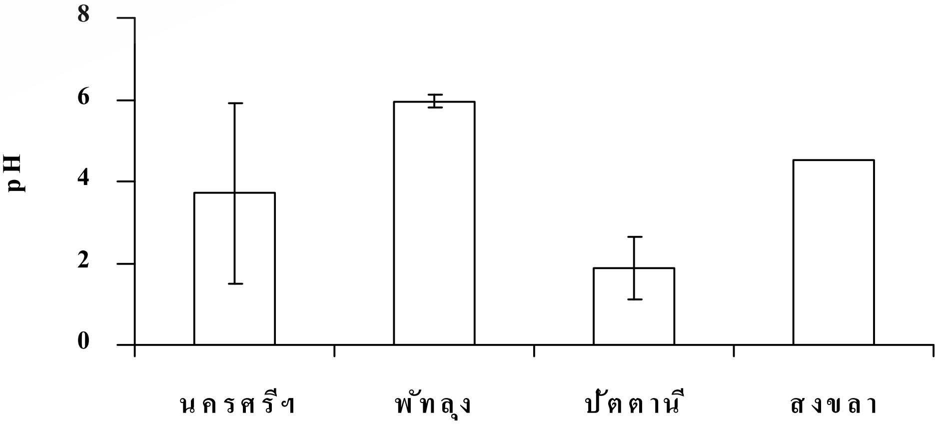
Ash VSC TSC

จากรายงานของ Kumlanghan *et al.* (2008) พบ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 5,500±120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ในการศึกษานี้ จึงคาดว่า ค่าปริมาณของแข็งที่พบส่วนใหญ่มาจากของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 ของของแข็งที่พบ

4.1.4 ความเป็นกรด - ด่าง

ค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดยวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำทิ้งที่เก็บจากบ่อดักยาง (นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา) และเก็บจากบ่อจับหางน้ำยางหลังจากแยกเนื้อยางออก (ปัตตานี) พบ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา มีค่าเฉลี่ยแต่ละโรงงานเท่ากับ 3.71±2.21, 5.96±0.17 และ 4.51 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อดักยางทั้ง 3 โรงงาน มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับรายงานของ สุพัฒรา (2540) คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 3.6-6.0 ส่วนโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการจับหางน้ำยางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.88±0.77 ดังรูปที่ 4.3 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมกรดซัลฟิวริก เพื่อทำการจับหางน้ำยางมีผลทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่ำ (พัชราภรณ์, 2546) น้ำทิ้งจากกระบวนการจับหางน้ำยางเมื่อรวมกับน้ำล้างจากส่วนอื่นๆ ในบ่อดักยาง ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำทิ้งอยู่ในช่วงกรด ซึ่งความเป็นกรดในบ่อดักยาง เป็นผลดีช่วยให้เนื้อยางที่ติดมากับน้ำล้างจับตัวกัน และลอยตัวขึ้นมาด้านบนของ บ่อดักยาง (วันชัย, 2540) ซึ่งเป็นการแยกเศษยางที่หลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งออกก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

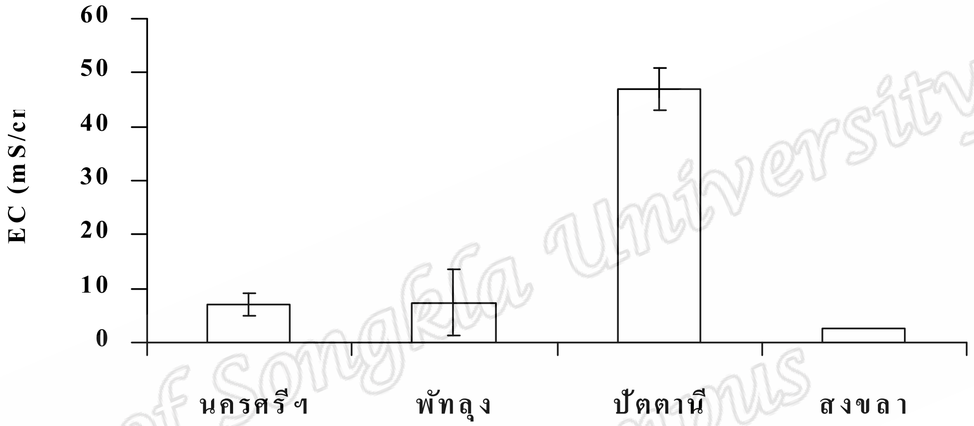
Prince of Songkla University
Pattani Campus



รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด- ด่าง ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3 ยกเว้น สงขลา n=1)

4.1.5 ค่าการนำไฟฟ้า

การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา มีค่าเฉลี่ยแต่ละโรงงานเท่ากับ 7.05±2.0, 7.42±6.0 และ 2.50 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการจับหางน้ำยางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.94±3.9 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (รูปที่ 4.4)



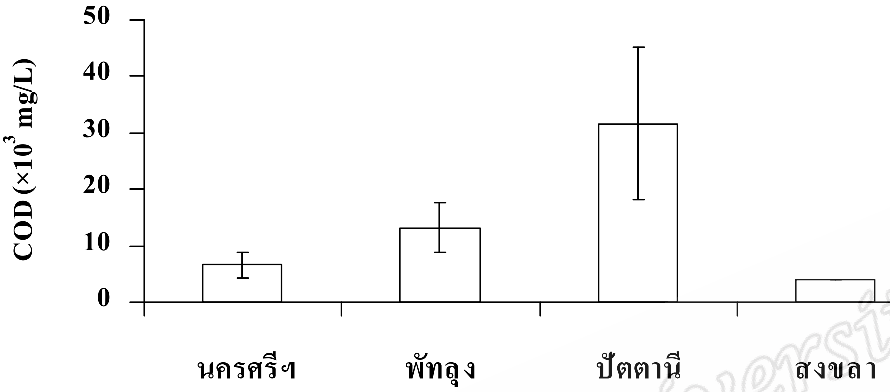
รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3 ยกเว้น สงขลา n=1)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.6 ปริมาณซีโอดี

การศึกษาปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบ น้ำทิ้งจากโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณซีโอดีในช่วง 4,060-7,779 เฉลี่ย 6,605±2,2076 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 8,096-16,028 เฉลี่ย 13,172±4,407 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดสงขลา 3,947 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซีโอดีที่พบในน้ำทิ้งทั้ง 3 โรงงานมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของพัฒนวรรณ (2544) และสุพัฒรา (2540) คือ 2,574-7,805 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2,500-8,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีของโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการจับหางน้ำยางมีปริมาณซีโอดีในช่วง 21,707-46,933 เฉลี่ย 31,680±13,416 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.5) มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับรายงานของ พัชราภรณ์ (2546) พบปริมาณซีโอดีในช่วง 28,756-38,150 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำทิ้งในบ่อดักยางเป็นน้ำทิ้งที่มาจากกิจกรรมหลัก 2 กิจกรรม คือ กิจกรรมการล้างเครื่องปั่น และล้างพื้น และกิจกรรมการจับหางน้ำยาง จากผลการวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีจากน้ำทิ้งจากกระบวนการจับหางน้ำยางมีปริมาณ

ที่สูง ดังนั้น ปริมาณซีโอดีที่พบในบ่อดักยางส่วนใหญ่ คาดว่า มาจากน้ำทิ้งจากกระบวนการจับหาง น้ำยาง



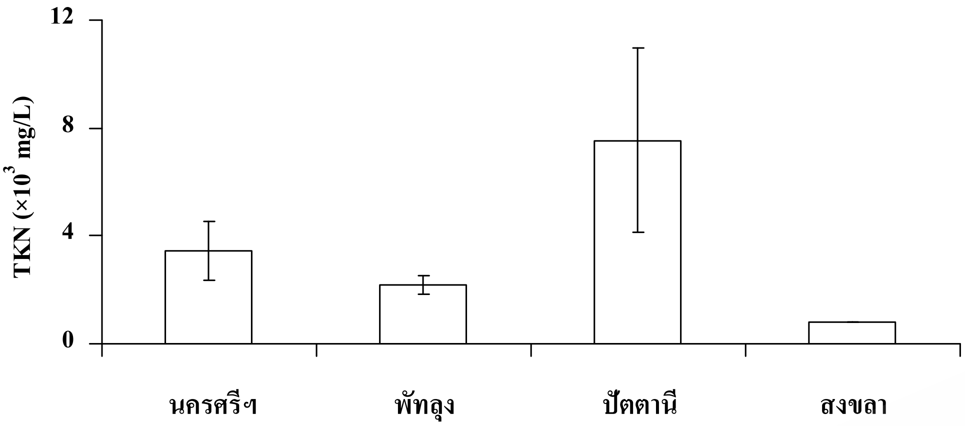
รูปที่ 4.5 ปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3 ยกเว้น สงขลา n=1)

4.2 ปริมาณธาตุอาหารสำหรับคลอเรลลาในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น

4.2.1 ปริมาณ ไนโตรเจน

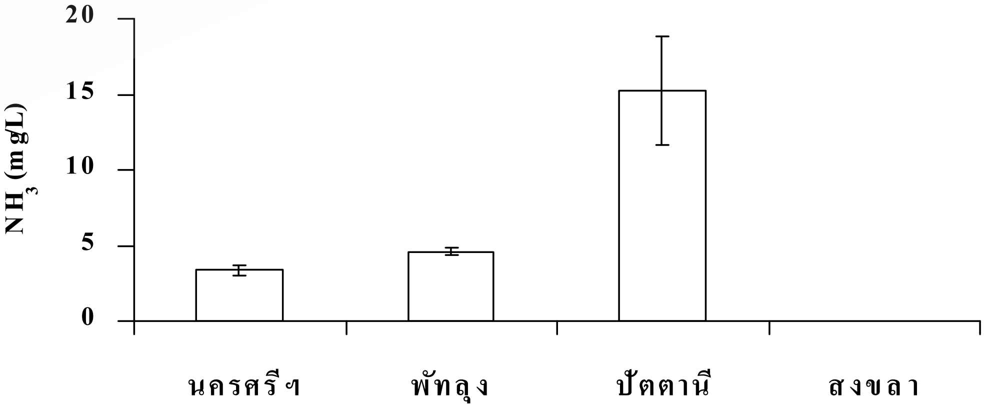
การศึกษาปริมาณ ที เค เอ็น ไนโตรเจน (TKN) ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบ น้ำทิ้งจากโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณ ที เค เอ็น ไนโตรเจน (TKN) ในช่วง 2,224-4,311 เฉลี่ย 3,469±1,095 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 1,778-2,490 เฉลี่ย 2,207±371 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 3,637-9,993 เฉลี่ย7,915±3,332 และโรงงานในจังหวัดสงขลา พบ 794 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) ปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน ในบ่อดักยางของโรงงานผลิตน้ำยางข้นจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา พบว่า มีค่าใกล้เคียงรายงานของสมทิพย์ (2545) พบที่ 70-2,290 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นน้ำจากกระบวนการจับหางน้ำยางมีค่ามากกว่ารายงานของ พัชราภรณ์ (2546) ที่พบอยู่ในช่วง 4,900-5,992 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น มาจากการเติมสารละลายแอมโมเนียเพื่อทำการรักษาสภาพน้ำยาง และจากโปรตีนที่อยู่ในน้ำซีรั่มหลังจากการแยกเนื้อยางออกแล้ว

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3 ยกเว้น สงขลา n=1)

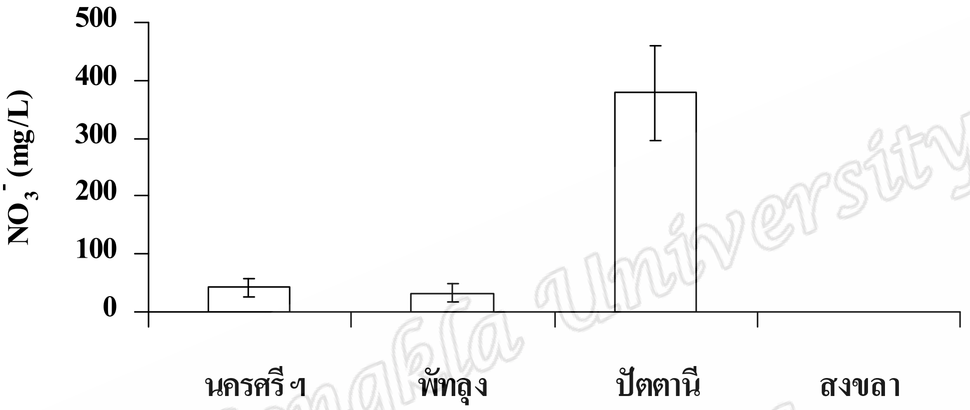
การศึกษาปริมาณแอมโมเนีย พบ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าในช่วง 3.17-3.70 เฉลี่ย 3.36±0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 4.39-4.87 เฉลี่ย 4.58±0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 12.08-19.14 เฉลี่ย 15.24±3.59 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.7) ส่วนโรงงานในจังหวัดสงขลา ไม่สามารถวัดปริมาณแอมโมเนียได้ เนื่องจากในบ่อดักยางของโรงงานจากจังหวัดสงขลา มีการเติมอากาศเข้าไปทำให้แอมโมเนียเหลืออยู่น้อย จึงทำให้ไม่สามารถวัดได้



รูปที่ 4.7 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3)

Prince of Songkla University Pattani Campus

การศึกษาปริมาณไนเตรทของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบ โรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณไนเตรทในช่วง 25.73-41.08 เฉลี่ย 42.03±16.79 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 18.01-49.11 เฉลี่ย 32.09±15.76 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 320.59-473.18 เฉลี่ย 378.31±82.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดสงขลาพบมีค่าเท่ากับ 1.11 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.8)

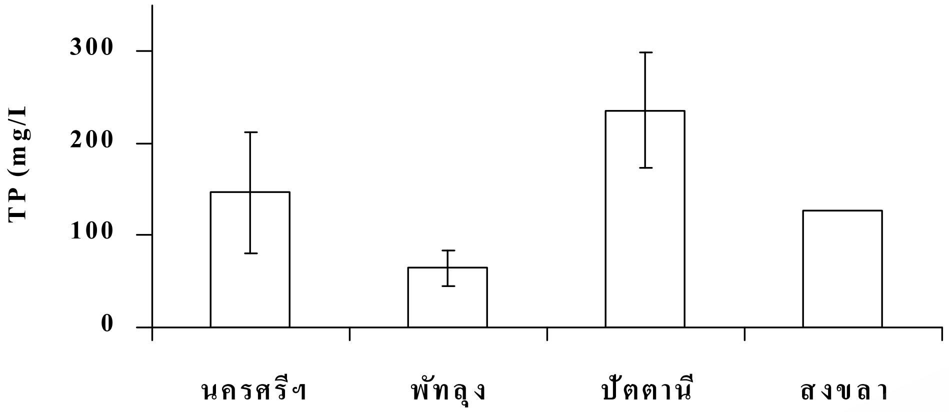


รูปที่ 4.8 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3 ยกเว้น สงขลา n=1)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัส

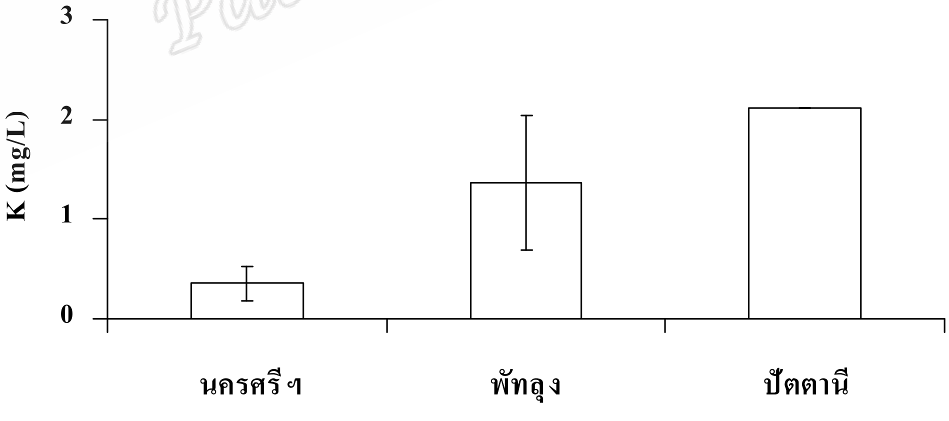
จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบ โรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในช่วง 93.00-220.20 เฉลี่ย 146.57±65.93 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 45.04-82.70 เฉลี่ย 64.51±18.87 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 190.36-307.82 เฉลี่ย 235.92±63.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดสงขลา พบว่า มีค่าเท่ากับ 127.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.9) ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น มาจากการเติม Diammonium hydrogen phosphate เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียม ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบมีปริมาณสูงกว่ารายงานของ พัชราพรณ์ (2546) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อดักยางอยู่ในช่วง 46.7-77.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำจากการจับหางน้ำยางในช่วง 399-597 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3 ยกเว้น สงขลา n=1)

4.2.3 ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบ โรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าปริมาณโพแทสเซียมในช่วง 0.17-0.53 เฉลี่ย 0.35±0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 0.83-2.12 เฉลี่ย 1.36±0.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 2.12-2.12 เฉลี่ย 2.12±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.10)

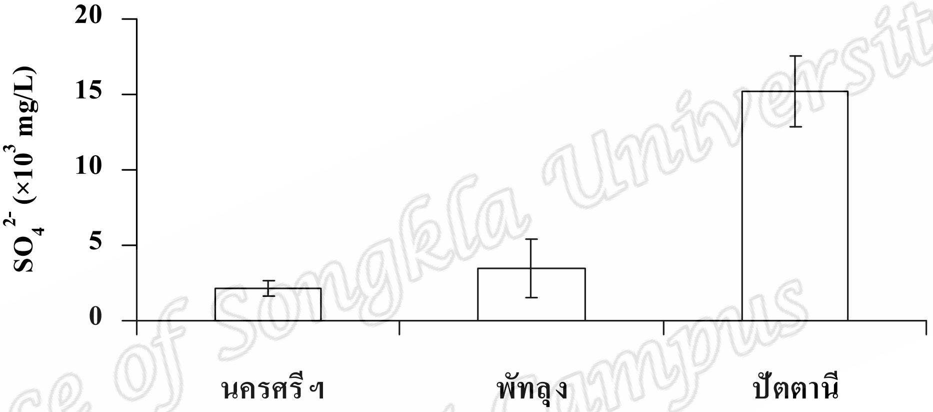


รูปที่ 4.10 ปริมาณโพแทสเซียมของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.4 ปริมาณซัลเฟต

จากการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าปริมาณซัลเฟตในช่วง 1,573-2,535 เฉลี่ย 2,156±513 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 2,071-5,722 เฉลี่ย 3,465±1,972 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 12,931-17,656 เฉลี่ย 15,193±2,368 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.11) ปริมาณซัลเฟตที่พบมีปริมาณสูงกว่ารายงานของพัฒนวรรณ (2544) ที่พบ ปริมาณซัลเฟตในบ่อดักยาง 290 - 1,456 มิลลิกรัมต่อลิตร

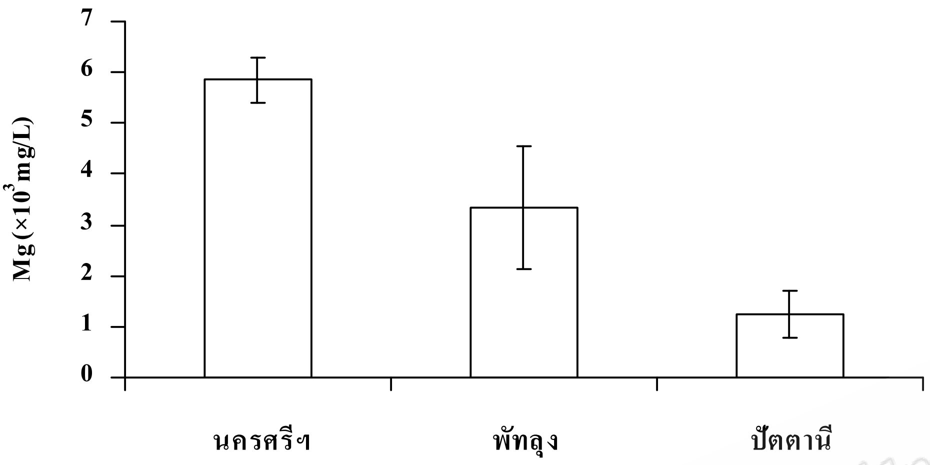


รูปที่ 4.11 ปริมาณซัลเฟตของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2 ปริมาณธาตุอาหารอาหารแมกนีเซียม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแมกนีเซียมของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นพบโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าปริมาณแมกนีเซียมในช่วง 5,347-6,194 เฉลี่ย 5,847±443 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานในจังหวัดพัทลุงในช่วง 2,000-4,375 เฉลี่ย 3,340±1,216 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงงานในจังหวัดปัตตานีในช่วง 792-1,708 เฉลี่ย 1,254±458 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 ปริมาณแมกนีเซียมของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น (n=3)

4.2 ผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น

จากการศึกษาของชลธี (2546) พบ สัดส่วนการใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นสามารถเพาะเลี้ยงคลอเรลลาได้ที่สัดส่วนน้ำทิ้งในช่วงร้อยละ 1-5 โดยปริมาตร และจากการศึกษาของ Kayombo *et al.* (2003) พบ คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้ในระดับความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 200-800 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบสัดส่วนความต้องการซีโอดี (Kayombo *et al.*, 2003) และสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงของคลอเรลลา (Tam and Wong, 1996, Becker, 1994 และ Eyster, 1978) กับปริมาณสารอาหารที่พบในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้นจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นจังหวัดพัทลุง (วันที่เก็บ 9 ธันวาคม 2550) พบ สัดส่วนการเจือจางน้ำทิ้งในช่วง 3.5-17.5 โดยปริมาตร (หรือในช่วงซีโอดีเริ่มต้น 0-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังตาราง 4.2 ซึ่งจากค่าสัดส่วนน้ำทิ้งที่เจือจางลงแล้ว มีปริมาณสารอาหาร ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงที่ต้องการของคลอเรลลา แม้ว่าปริมาณแอมโมเนียที่เจือจางลง จะมีปริมาณน้อยกว่าค่าที่คลอเรลลาต้องการ แต่คาดว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งจะช่วยสลายสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ ให้เป็นแอมโมเนียให้คลอเรลลาได้ใช้ต่อไปได้ ซึ่งทำให้ในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการเพิ่มแอมโมเนียลงไปในระหว่างการเพาะเลี้ยง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.2 สมบัติน้ำทิ้งที่ใช้เพาะเลี้ยงคลอเรลลา และปริมาณสารอาหารที่คลอเรลลาต้องการในการเจริญเติบโต

พารามิเตอร์	ปริมาณ (มก. /ล.)		ร้อยละการเจือจางน้ำทิ้ง (โดยปริมาตร)				
	น้ำทิ้ง	สาหร่ายต้องการ	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5
ซีโอดี	5813	200 - 800	203	407	610	814	1,017
ที เค เอ็น ไนโตรเจน	2489	140 - 700	87	174	261	348	436
แอมโมเนีย	21.95	20 - 250	0.77	1.54	2.30	3.07	3.84
ฟอสฟอรัส	45.04	0.05 - 20	1.58	3.15	4.73	6.31	7.88
โพแทสเซียม	2.12	0.39 - 19.54	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37
ซัลเฟต	2603	0.96 - 19.21	91	182	273	364	456
แมกนีเซียม	2000	0.24 - 2.4	70	140	210	280	350

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.1 สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา

หลังการศึกษาสัดส่วนเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นต่อการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา โดยใช้สัดส่วนน้ำทิ้งในช่วงร้อยละ 0-17.5 โดยปริมาตร ในระบบการเพาะเลี้ยงและเก็บเกี่ยวครั้งเดียว โดยวัดจากปริมาณคลอโรฟิลล์ พบ คลอเรลลามีรูปแบบการเติบโต สามรูปแบบได้แก่ รูปแบบแรก คลอเรลลาไม่มีการเติบโต หรือไม่มีการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งได้แก่ คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงโดยไม่มีเติมน้ำทิ้ง รูปแบบที่สอง ได้แก่ คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 3.5 และ 7.0 โดยปริมาตร คลอเรลลาจะเติบโตโดยแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงระยะพักตัว (Lag phase) จะไม่มีการเพิ่มขึ้นของการเติบโต หรือปริมาณคลอโรฟิลล์ ช่วงระยะการเติบโตทวีคูณ (Exponential phase) คลอเรลลาจะมีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงระยะการเติบโตคงที่ (Stationary phase) คลอเรลลาจะเติบโตคงที่ไม่มีการเพิ่มหรือลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ และรูปแบบที่สามได้แก่ คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 10.5, 14.0 และ 17.5 โดยปริมาตรคลอเรลลาเติบโตโดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ พบเฉพาะช่วงระยะพักตัว และช่วงระยะการเติบโตทวีคูณ ดังรูป 4.13

ที่แต่ละสัดส่วนน้ำทิ้ง พบ ระยะพักตัวของคลอเรลลา อยู่ในช่วง 12 ชั่วโมงแรกของการเพาะเลี้ยง ลักษณะเส้นกราฟจะไม่มีความชัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบไม่มีการเพิ่มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับปริมาณคลอโรฟิลล์เริ่มต้น เนื่องจากเซลล์อยู่ระหว่างการปรับตัวต่ออาหาร ซึ่งจะทำให้ไม่มีเพิ่มจำนวนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ภายในเซลล์จะมีการเตรียมพร้อมเพื่อแบ่ง

เซลล์ในระยะต่อไป (Richmond, 1986) หลังผ่านช่วงระยะพักตัว การเติบโตของคลอเรลลาเข้าสู่ช่วงระยะการเติบโตทวีคูณ ซึ่งระยะนี้คลอเรลลาจะมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้เส้นกราฟการเติบโตมีความชันเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นเข้าสู่ระยะการเติบโตคงที่ โดยคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร เริ่มเข้าสู่ระยะการเติบโตคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 เป็นต้นไป และคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0 โดยปริมาตร เริ่มเข้าสู่ระยะการเติบโตคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 60 เป็นต้นไป ส่วนคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 10.5, 14.0 และ 17.5 โดยปริมาตร ไม่พบระยะการเติบโตคงที่ภายใน 72 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ยังคงเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และคาดว่าปริมาณสาอาหารที่เหลืออยู่ยังคงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตต่อไป

จากการศึกษานี้พบ คลอเรลลามีการเจริญโตเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น และที่เวลา 72 ชั่วโมง ที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 3.5, 7.0, 10.5, 14.0 และ 17.5 โดยปริมาตร พบปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยเท่ากับ 2.04±0.37, 3.10±0.18, 3.40±0.05, 3.27±0.30 และ 2.88±0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) โดยมีอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.513±0.079, 0.653±0.033, 0.684±0.054, 0.676±0.037 และ 0.623±0.038 ต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) จากการพิจารณาการเติบโต โดยประเมินจากปริมาณคลอโรฟิลล์ และอัตราการเติบโตจำเพาะของคลอเรลลาที่แต่ละสัดส่วนน้ำทิ้ง สามารถแบ่งเป็นสามกลุ่มคือ กลุ่มแรก คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงโดยไม่มีเติมน้ำทิ้ง กลุ่มที่สอง คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร และกลุ่มที่สาม คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 7.0, 10.5, 14.0 และ17.5 โดยปริมาตร คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงด้วยสัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นในกลุ่มที่สาม มีการเจริญเติบโตด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ดีกว่า คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงด้วยสัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นในกลุ่มแรก และกลุ่มที่สอง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (รูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.3)

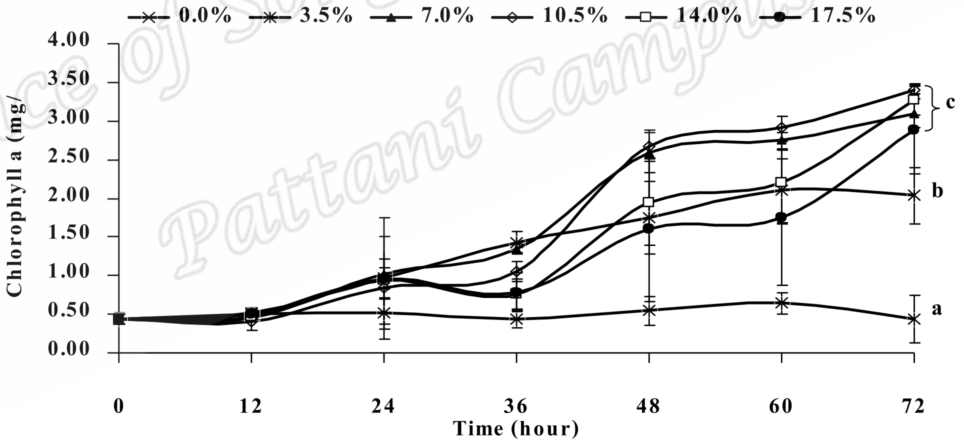
หากพิจารณาจากปริมาณคลอเรลลา โดยวัดจากปริมาณคลอโรฟิลล์ ภายในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 72 ชั่วโมง ความเป็นไปได้ของสัดส่วนน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาคือ ที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0, 10.5, 14.0 และ 17.5 โดยปริมาตรซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบ และอัตราการเติบโตจำเพาะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) โดยที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 10.5 โดยปริมาตรพบปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด ตามด้วยสัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 14.0, 7.0 และ 17.5 โดยปริมาตร จึงพิจารณาที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 10.5 โดยปริมาตร เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากการประเมินปริมาณธาตุอาหารในน้ำ จากค่าการนำไฟฟ้า พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเลี้ยงคลอเรลลาที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 10.5 โดยปริมาตร ยังมีค่าที่สูงอยู่ (รูปที่ 4.14) ซึ่งเป็นไปได้ว่าธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำยังคงเพียงพอกับการเติบโตต่อไปได้ แสดงว่าการเก็บผลผลิตคลอเรลลา

Prince of Songkla University Pattani Campus

ในช่วงนี้อาจไม่ได้ผลดีทางด้านบำบัดน้ำทิ้ง จึงได้เลือกอีกหนึ่งสัดส่วนคือ ที่สัดส่วนร้อยละ 7.0 โดยปริมาตร เพื่อการศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากที่สัดส่วนน้ำทิ้งดังกล่าว คลอเรลลาเข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตคงที่ ตั้งแต่เวลา 60 ชั่วโมง ซึ่งเป็นไปได้ว่า สารอาหารในน้ำทิ้งกำลังจะหมด ซึ่งจะให้ผลดีกับการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งในขั้นตอนต่อไป

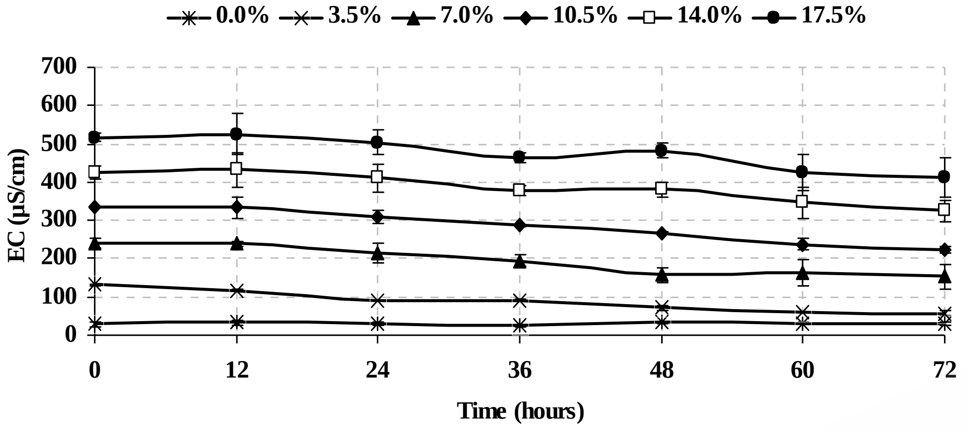
หากพิจารณาการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาโดยใช้เวลา 48 ชั่วโมง สัดส่วนน้ำทิ้งที่เป็นไปได้คือกลุ่มของสัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร เนื่องจากให้ผลดีที่สุด แต่เนื่องจากในระยะนี้คลอเรลลาเข้าสู่ช่วงการเติบโตทวีคูณ และมีค่าการนำไฟฟ้ามากอยู่ ดังนั้นจึงคาดว่าสารอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำเลี้ยงจึงยังคงมีอยู่มาก ซึ่งไม่ส่งผลดีในด้านการบำบัดน้ำทิ้ง ดังนั้น ที่เวลาภายใน 48 ชั่วโมง สัดส่วนที่เป็นไปได้มากที่สุดคือ ที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร เนื่องจากเข้าสู่ช่วงการเติบโตคงที่เวลา 48 ชั่วโมง และค่าการนำไฟฟ้าได้ลดต่ำลงมาแล้ว ซึ่งคาดว่าสารอาหารในน้ำเลี้ยงน่าจะเหลือน้อยแล้ว

ดังนั้นสัดส่วนน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในขั้นตอนต่อไป คือ ที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร โดยใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 72 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 0, 3.5, 7.0, 10.5, 14.0 และ 17.5 โดยปริมาตร

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.14 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเลี้ยงคลอเรลลาที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 0, 3.5, 7.0, 10.5, 14.0 และ 17.5 โดยปริมาตร

ตารางที่ 4.3 อัตราการเติบโตของคลอเรลลาที่สัดส่วนน้ำทิ้งต่าง ๆ โดยวัดจากปริมาณคลอโรฟิลล์

ร้อยละสัดส่วนน้ำทิ้ง (โดยปริมาตร)	อัตราการเติบโตจำเพาะ (หน่วย ต่อวัน)
0.0	0[a]
3.5	0.513 ± 0.079[b]
7.0	0.653 ± 0.033[c]
10.5	0.684 ± 0.054[c]
14.0	0.676 ± 0.037[c]
17.5	0.623 ± 0.038[c]

จากการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในช่วงสัดส่วน น้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 3.5-17.5 โดยปริมาตร โดยมีปริมาณซีโอดีเริ่มต้นในช่วง 200-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสามารถเพาะเลี้ยงคลอเรลลาได้ เช่นเดียวกันกับการใช้ตะกอนของเสียจากบ้านเรือนเป็นแหล่งคาร์บอน (Kayombo *et al*., 2003) โดยใช้ ในช่วงความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 200-800 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Travieso *et al.,* 2006) ในช่วงซีโอดีเริ่มต้น 250-1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นการยืนยันว่า การเพาะเลี้ยงคลอเรลลาสามารถใช้น้ำทิ้ง แทนการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2 การลดลงของธาตุอาหาร จากการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา

หลังการศึกษาการลดลงของธาตุอาหาร ที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร พบว่า ปริมาณซีโอดี และปริมาณ ที เค เอ็น ไนโตรเจน ที่เหลืออยู่ในน้ำเลี้ยงหลังการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2552) กำหนดปริมาณซีโอดีน้ำทิ้งไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และที เค เอ็น ไนโตรเจนไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงได้ศึกษาที่สัดส่วนน้ำทิ้ง ร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร เพิ่มอีกหนึ่งสัดส่วนเพื่อศึกษาการลดลงของธาตุอาหาร โดยทำการเพาะเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 30×60×30 เซนติเมตร ปริมาตร 50 ลิตร ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 1×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ให้แสงตามธรรมชาติช่วง 78,700-81,700 ลักส์

จากการศึกษา พบ ปริมาณซีโอดีของการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้สารอินทรีย์ของสาหร่าย (Travieso *et al.,* 2006) ณ เวลาสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0, 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร มีค่าซีโอดีลดลงเหลือ 106±18, 234±36 และ 432±27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 66.67, 43.59 และ 31.06 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) จากผลการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลงเมื่อสัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานของ Tarlan *et al.* (2002) ซึ่งพบว่าในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่สภาวะเดียวกัน แต่ค่าซีโอดีเริ่มต้นต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลงเมื่อซีโอดีเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยชิ้นนี้พบ การเติบโตเพิ่มขึ้นของเซลล์คลอเรลลา 1×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตรใช้ปริมาณซีโอดีเฉลี่ย 44±6 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณ ที เค เอ็น ไนโตรเจน (TKN) ที่ 72 ชั่วโมงของการเพาะเลี้ยงพบว่าที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0, 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร มีปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจนลดลงจาก 202±5, 286±5 และ 373±16 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เหลือ 90±10, 143±14 และ 331±5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจนลดลง 112±16, 143±19 และ152±10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัด ที เค เอ็น ไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 55.38, 50.00 และ 40.83 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) การใช้ปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้นของคลอเรลลาในการเจริญเติบโตพบว่า ใช้มากกว่า คลอเรลลา (*Chlorella* sp. T9) ที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ซึ่งใช้ปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน 102-106 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรองจันทร์, 2536) จากผลการศึกษาสามารถลดปริมาณข้างต้นสรุปได้เช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี คือ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจะลดลงเมื่อปริมาณซีโอดีเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลจากข้อจำกัดของการใช้ไนโตรเจนของสาหร่ายเพื่อการเจริญเติบโต ในงานวิจัยชิ้นนี้พบ การ

Prince of Songkla University Pattani Campus

เติบโตเพิ่มขึ้นของเซลล์คลอเรลลา 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรใช้ปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจนเฉลี่ย 30±5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ 72 ชั่วโมงของการเพาะเลี้ยงพบว่าที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0, 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงจาก 0.71±02.0, 0.87±0.02 และ 0.98±0.03 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เหลือ 0.37± 0.02, 0.50 ± 0.04 และ 0.68 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และสามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 48.60, 41.95 และ 31.15 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) จากผลการศึกษาข้างต้นสรุปได้เช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี คือ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจะลดลงเมื่อปริมาณซีโอดีเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลจากข้อจำกัดของการใช้ฟอสฟอรัสของคลอเรลลาเพื่อการเจริญเติบโต ในงานวิจัยชิ้นนี้พบว่า การเติบโตเพิ่มขึ้นของเซลล์คลอเรลลา 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรใช้ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.08±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในด้านของความหนาแน่นเซลล์พบว่า ที่เวลา 72 ชั่วโมง คลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0 โดยปริมาตร มีความหนาแน่นเซลล์มากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 5.0 และ 10.5 โดยปริมาตร ซึ่งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับการทดลองหาสัดส่วนน้ำทิ้งที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าที่สัดส่วนน้ำทิ้ง 10.5 ให้ผลผลิตมากที่สุด อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขนาดของการเพาะเลี้ยงจาก 8 ลิตร เป็น 50 ลิตรทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการบดบังแสง ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของคลอเรลลา (คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร, 2552) ทำให้ผลผลิตคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 10.5 โดยปริมาตร น้อยกว่าผลผลิตคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 7.0 โดยปริมาตร

หลังการศึกษาพบว่า การเพาะเลี้ยงคลอเรลลาด้วยสัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร เท่านั้นที่สามารถบำบัดน้ำจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ หรือปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ เนื่องจากปริมาณซีโอดี และปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน หลังเก็บเกี่ยวคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ซึ่งค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งของค่าซีโอดี และที เค เอ็น ไนโตรเจน ที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ มีค่าไม่เกิน 120 และ100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสรุปได้ว่า ในการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำยางข้น ภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง ควรทำการเพาะเลี้ยงที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สัดส่วนน้ำทิ้งร้อยละ 5.0, 7.0 และ 10.5 โดยปริมาตร

ร้อยละสัดส่วนน้ำทิ้ง	พารามิเตอร์	เวลา (ชั่วโมง)				ร้อยละการบำบัด
		0	24	48	72	
5.0	Cell (10^6 cell/mL)	1.04±0.04	2.73±0.06	4.75±0.13	5.35±0.11	-
	TP (mg/L)	0.71±0.02	0.48±0.03	0.41±0.03	0.37±0.02	48.6
	TKN (mg/L)	202±5	174±14	124±5	90±10	55.38
	COD (mg/L)	320±32	261±24	192±16	107±18	66.67
	pH	6.12±0.03	6.34±0.10	7.78±0.13	8.38±0.07	-
	EC (µS/cm)	546±7	437±13	392±6	384±4	-
7.0	Cell (10^6 cell/mL)	1.04±0.04	2.36±0.28	5.39±0.28	5.91±0.19	-
	TP (mg/L)	0.87±0.02	0.73±0.01	0.58±0.02	0.5±0.04	41.95
	TKN (mg/L)	286±5	236±5	180±5	143±14	50
	COD (mg/L)	416±16	378±9	266±18	234±36	43.59
	pH	6.02±0.05	6.17±0.21	7.52±0.16	8.14±0.12	-
	EC (µS/cm)	735±4	683±6	609±3	524±6	-
10.5	Cell (10^6 cell/mL)	1.03±0.03	0.64±0.00	0.86±0.00	5.09±0.94	
	TP (mg/L)	0.98±0.03	0.83±0.02	0.75±0.02	0.68±0.04	31.15
	TKN (mg/L)	373±16	320±25	264±10	221±5	40.83
	COD (mg/L)	627±23	491±18	416±32	432±28	31.06
	pH	5.82±0.04	6.09±0.11	6.57±0.09	7.92±0.15	-
	EC (µS/cm)	1010±5	990±4	918±8	860±9	-

หมายเหตุ- ค่ามาตรฐานของน้ำทิ้ง ปริมาณซีโอดี และที เค เอ็น ไนโตรเจน มีค่าไม่เกิน 120 และ100 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

Prince of Songkla University
Pattani Campus

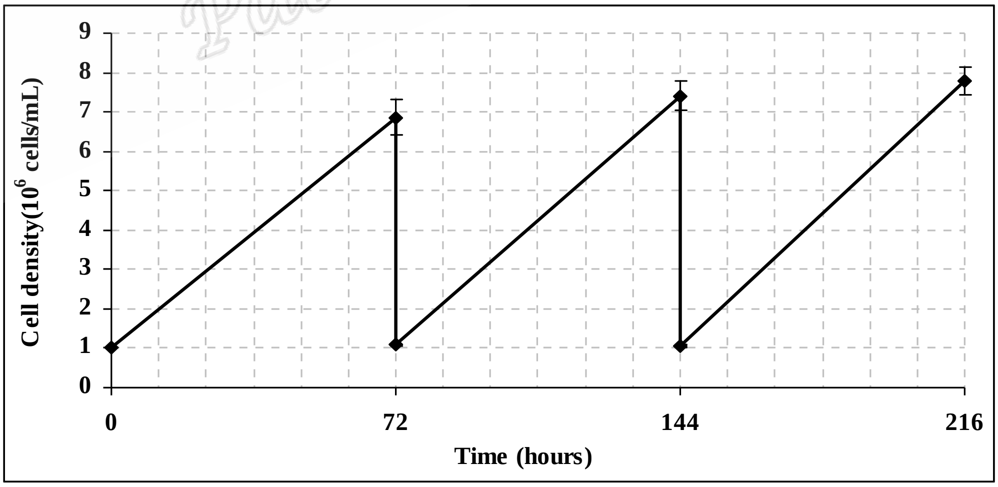
4.2.3 ระบบการเพาะเลี้ยงและเก็บเกี่ยวคลอเรลลาแบบต่อกึ่งเนื่อง

การเพาะเลี้ยงคลอเรลลาในระบบการเพาะเลี้ยงและเก็บเกี่ยวแบบกึ่งต่อเนื่องในตู้กระจกขนาด 30×60×30 เซนติเมตร ปริมาตร 50 ลิตร ที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ $1.00\pm0.09\times10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ทำการเก็บผลผลิตคลอเรลลา 3 รอบทุก ๆ 72 ชั่วโมง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงทั้งหมด 216 ชั่วโมง

การเก็บผลผลิตคลอเรลลาในรอบ ที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 (รูปที่ 4.15) พบว่า ความหนาแน่นเซลล์ และอัตราการเติบโตจำเพาะของคลอเรลลาทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) ผลผลิตคลอเรลลามีความหนาแน่นเซลล์ในช่วง $6.35\text{-}8.27\times10^6$ เฉลี่ย $7.35\pm0.52\times10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร อัตราการเติบโตจำเพาะในช่วง 0.62-0.67 เฉลี่ย 0.65 ± 0.01 ต่อวัน โดยทั้ง 3 รอบ สามารถเก็บผลผลิตได้ในช่วงร้อยละ 84.25-87.55 เฉลี่ยร้อยละ 86.33 ± 1.00 ซึ่งปริมาณร้อยละการเก็บผลผลิต จะเท่ากับปริมาณร้อยละอาหารที่เติมเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

จากการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาในระบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าความหนาแน่นเซลล์คลอเรลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากในขณะเก็บเกี่ยวผลผลิต เซลล์ได้ผ่านช่วงการปรับตัวต่ออาหารแล้ว เมื่อเติมสารอาหารใหม่เข้าไป เซลล์จึงพร้อมที่จะแบ่งตัว โดยไม่ต้องปรับตัวต่อสารอาหารใหม่ (Richmond, 1986) สอดคล้องกับรายงานของ Imamoglu *et al.* (2009) ในการเพาะเลี้ยง *Haematococcus pluvialis* ด้วยระบบกึ่งต่อเนื่องพบว่า ปริมาณผลผลิตของ *Haematococcus pluvialis* เพิ่มขึ้นเมื่อรอบการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.15 ความหนาแน่นเซลล์ของคลอเรลลา ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร

การศึกษาการลดลงของธาตุอาหารในระบบการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาแบบกึ่งต่อเนื่องโดยใช้สัดส่วนน้ำทิ้งเริ่มต้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร จำนวน 3 รอบ โดยทำการเก็บผลผลิตทุกๆ 72 ชั่วโมง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงทั้งหมด 216 ชั่วโมง

พบว่า การบำบัดซีโอดี ที เค เอ็น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้ง 3 รอบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดปริมาณซีโอดี ได้ร้อยละ 53.84-72.41 เฉลี่ยร้อยละ 63.72±6.93 ปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจนได้ร้อยละ 50.00-65.38 เฉลี่ยร้อยละ 58.26±4.27 และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 64.42-71.08 เฉลี่ยร้อยละ 67.95±2.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ทั้งปริมาณซีโอดี และปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน ที่เหลืออยู่ในน้ำหลักจากการแยกคลอเรลลาออกแล้วสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณที เค เอ็น ไนโตรเจน ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร และพารามิเตอร์ต่างๆในระบบกึ่งต่อเนื่อง

	เวลา (ชั่วโมง)	ซีโอดี (มก. /ล.)	ที เค เอ็น ไนโตรเจน (มก. /ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก. /ล.)
รอบที่ 1	0	306±12	236.61±5.39	1.49±0.03
	72	119±12	93.40±9.34	0.49±0.02
รอบที่ 2	72	317±6	221.96±14.27	1.54±0.01
	144	105±25	94.96±7.13	0.47±0.04
รอบที่ 3	144	306±12	227.27±5.39	1.43±0.03
	216	112±22	96.51±5.39	0.47±0.04

Prince of Songkla University Pattani Campus