บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

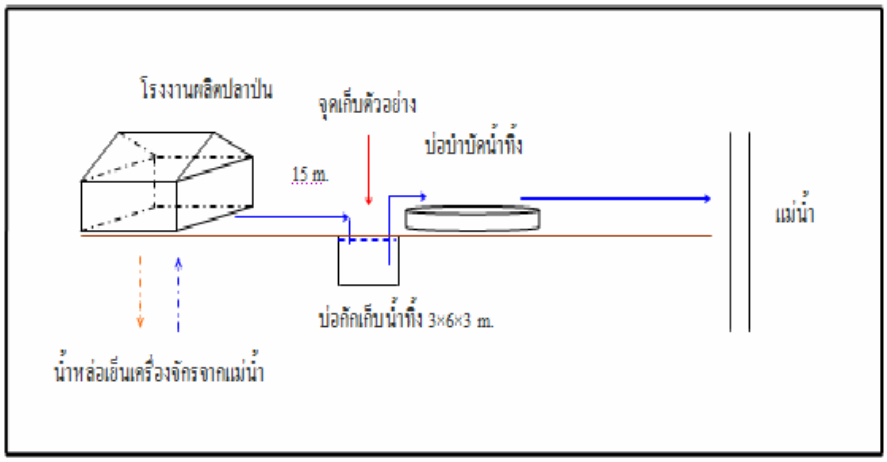
จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี ของน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น เพื่อประเมินปริมาณของธาตุอาหารและความแปรปรวนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น จากนั้นทำการศึกษาอายุของน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นต่อการการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีสมบัติทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ เป็นเวลา 30 วัน เพื่อทราบถึงศักยภาพของน้ำทิ้งในการนำมาไปใช้ประโยชน์ เพื่อการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา และทำการศึกษาอัตราการให้จำนวนลูกของแม่พันธุ์ไรแดง เปรียบเทียบจำนวนลูกที่ได้ในแต่ละรุ่น เพื่อประเมินสายพันธุ์ไรแดงที่มีอยู่ และทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับจำนวนเซลล์คลอเรลลาเพื่อใช้ประเมินจำนวนคลอเรลลาในการศึกษาทดลอง จากนั้นทำการศึกษาเจือจางหาความเข้มข้น ซีโอดีที่เหมาะสมของน้ำทิ้งที่ให้จำนวนเซลล์คลอเรลลาดีที่สุดและมีความสามารถในการใช้เลี้ยงไรแดงได้ โดยการปล่อยเลี้ยงคลอเรลลาเป็นเวลาต่อไปอีก 24 ชั่วโมง เพื่อดูปริมาณคลอเรลลาและทดสอบใส่ไรแดงลงเลี้ยงในความเข้มข้นซีโอดีที่มีเซลล์คลอเรลลาเหลืออยู่ หาค่าซีโอดีที่เหมาะสมนำไปศึกษาการลดลงของธาตุอาหารต่อ และเมื่อได้ค่าซีโอดีที่เหมาะสมจึงนำค่าซีโอดีที่ได้นั้นไปศึกษาอิทธิพลของเวลาในการเติมหัวเชื้อไรแดง ที่ความหนาแน่นเชื้อ 0.10 กรัมต่อลิตร เพื่อนำสภาวะที่ได้ไปเพาะเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดงแบบมหมวลในระบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว และศึกษาสมดุลมวลไนโตรเจนในระบบ (ระหว่างน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น คลอเรลลาและไรแดง) และทำการประเมินต้นทุนการผลิตต่อหน่วย เพื่อให้เกษตรกรหรือผู้สนใจได้รับข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดในการนำน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นไปใช้ประโยชน์ จากการศึกษาข้อมูลต่างๆได้ผล ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของน้ำทิ้ง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงานภายใน จังหวัดปัตตานี โดยทำการศึกษาในช่วงเดือนสิงหาคม 2550 ถึง เดือนเมษายน 2551 พบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปลาป่นมาจากการซื้อปลาขนาดเล็กซึ่งเป็นผลพลอยได้ทำการประมงโดยเรืออวนลาก, อวนล้อมหรืออวนซั้ง, ส่วนเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำและปลาที่เหลือจากการขายเพื่อการบริโภค เช่น ปลาทับทิม ปลาสวาย เป็นต้น จากการศึกษา น้ำทิ้งอุตสาหกรรมปลาป่นส่วนใหญ่มาจากของเหลวในตัวปลาจากการบดป่นวัตถุดิบให้เป็นชิ้นเล็กก่อนเข้าสู่กระบวนการปรุงสุก พบว่าน้ำจากกระบวนการดังกล่าวจะมีปริมาณสูงหากปลาที่เป็นวัตถุดิบเป็นปลาอวนล้อมหรืออวนซั้ง ซึ่งวัตถุดิบที่เป็นปลาอวนล้อมหรือปลาอวนซั้ง 1 ตัน จะได้น้ำทิ้ง

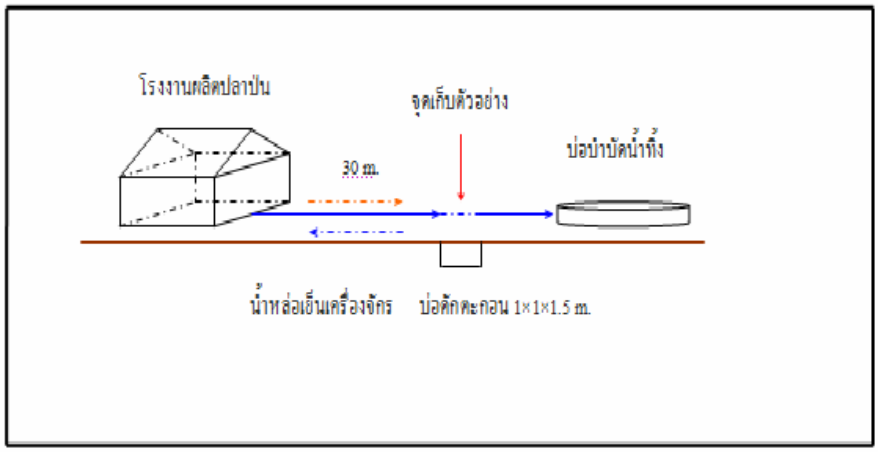
ประมาณ 50 ลิตร ส่วนวัตถุดิบที่ได้จากอวนลากจะมีน้ำออกมาน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปลาอวนซั้ง และเมื่อรวมกับน้ำที่ได้จากการล้างพื้นและเครื่องจักรภายในโรงงานซึ่งจะใช้น้ำประมาณ 300 ลิตรต่อวัน พบว่าจะมีน้ำทิ้งเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียประมาณ 350 ลิตรต่อวัน ซึ่งแต่ละโรงงานจะมีระบบการบำบัดแตกต่างกันออกไปดังนี้

จากการสำรวจและสอบถาม พบว่า โรงงานที่ 1 ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ตะกอนเร่ง โรงงานที่ 2 ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียระบบเติมอากาศ (Aerated pond) โรงงานที่ 1 และ โรงงานที่ 2 มีการสร้างบ่อกักเก็บน้ำทิ้งก่อนจะส่งเข้าสู่ระบบบำบัด การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งสามารถเก็บได้ ณ บ่อกักเก็บน้ำทิ้งดัง รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งโรงงานที่ 1 และ 2

ในส่วนโรงงานที่ 3 ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) ซึ่งในส่วนของโรงงานที่ 3 จะแตกต่างจากสองโรงงานแรกคือไม่พบบ่อกักเก็บน้ำทิ้งก่อนจะส่งเข้าสู่ระบบบำบัด แต่ทางโรงงานจะปล่อยน้ำทิ้งไหลลงสู่คูระบายน้ำ น้ำทิ้งจะถูกเจือจางเข้ากับน้ำหล่อเย็นและน้ำส่วนอื่นๆ ดังนั้นขั้นตอนการเก็บน้ำทิ้งในส่วนโรงงานที่ 3 จึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ณ บ่อกักเก็บน้ำทิ้งได้ ต้องทำการเก็บตัวอย่างในคูระบายน้ำดัง รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งโรงงานที่ 3

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่น พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของทั้ง 3 โรงงาน ที่ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างยิ่งที่ ($p<0.05$) โดยมีรายละเอียดดังนี้

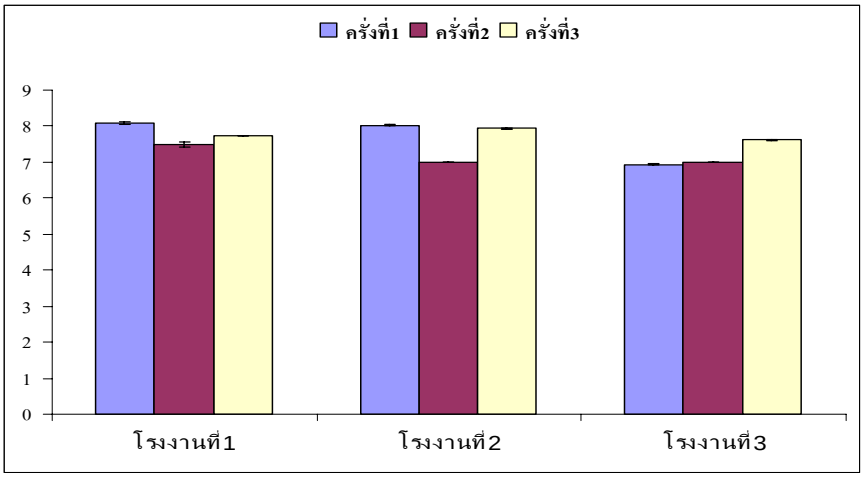
4.1.1 ผลศึกษาสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งโรงงานปลาป่นมีสถานะเป็นของเหลวที่มีสารแขวนลอย มีสีน้ำตาลอมแดง และมีกลิ่นคาวปลา

1. ค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาค่าความเป็น กรด-ด่าง ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า ค่าอยู่ในช่วง 6.94-8.09 ดัง รูปที่ 4.3 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ความเป็น กรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.5-9.0 กรมควบคุมมลพิษ (2551 ข.) และเมื่อเทียบกับค่าความเป็น กรด-ด่าง ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตอาหารสัตว์มีค่าใกล้เคียงกันคือ 6.14-8.3 กรมควบคุมมลพิษ (2551 ก.)

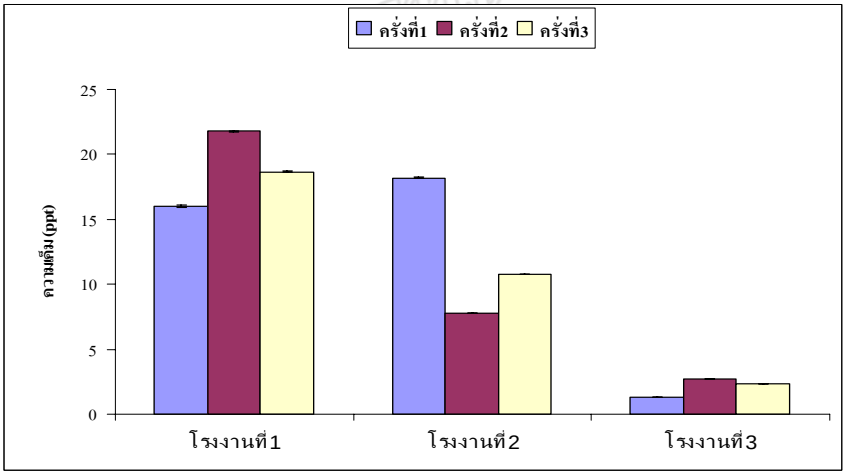
Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

2. ความเค็ม (Salinity)

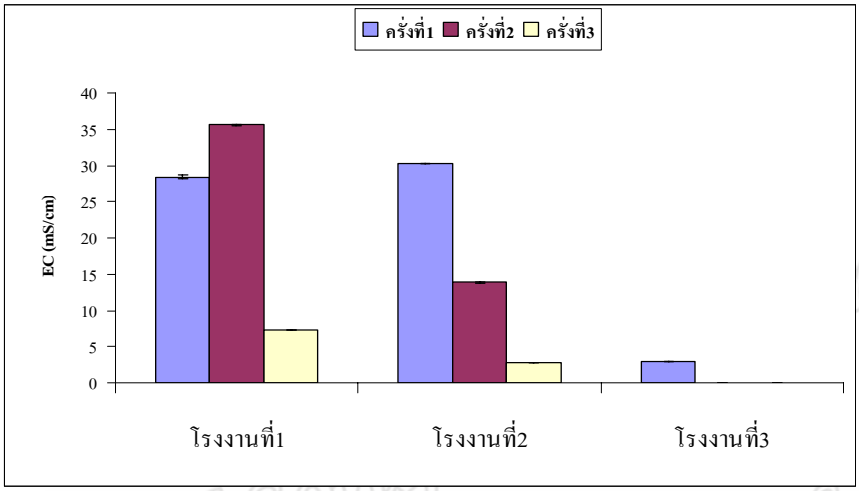
จากการศึกษาความเค็ม ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 18.7-1.3 ส่วนในพันส่วน ดัง รูปที่ 4.4 มีค่าน้อยกว่าที่ Vidal *et al.* (1997) ได้ศึกษาในน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่น พบที่ 30 ส่วนในพันส่วน มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดความเค็มไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าความเค็มของแหล่งรองรับน้ำทิ้งในขณะนั้น กรมควบคุมมลพิษ (2551 ข.) ความเค็มของแหล่งรองรับน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นที่ทำการศึกษาเท่ากับ 20-25 ส่วนในพันส่วน



รูปที่ 4.4 ค่าความเค็มในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

3. ค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC)

จากการศึกษาค่าการนำ ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-35.57 มิลลิซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดัง รูปที่ 4.5 ค่าสูงสุดมีค่าสูงกว่าค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารสัตว์ 14 เท่า ที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.18-2.86 มิลลิซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าที่สูงอาจเนื่องมาจากน้ำทิ้งมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายในปริมาณสูงซึ่งพิจารณาได้จากค่าความเค็มข้างต้น



รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

4. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids Content, TSC)

จากการศึกษาปริมาณของแข็งทั้งหมด ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า อยู่ในช่วง 0.0153-2.3020 % (w/w) ดัง รูปที่ 4.6

5. ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile Solids Content, VSC)

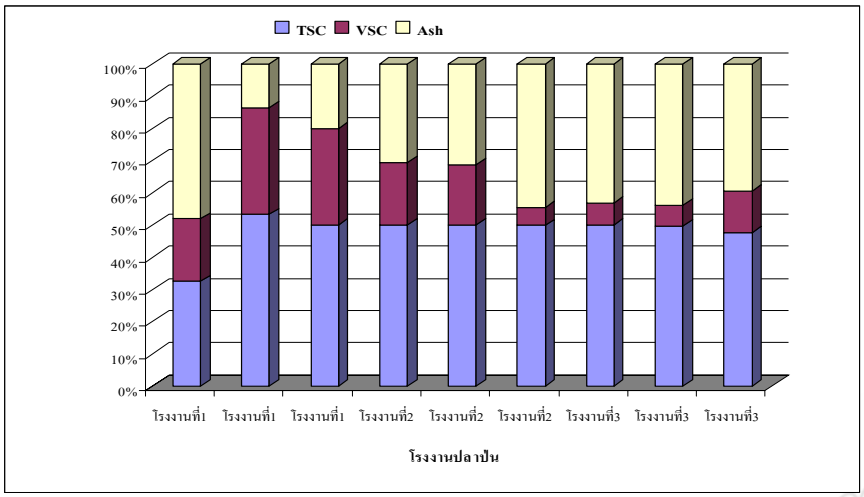
จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า อยู่ในช่วง 0.0020-1.4382 % (w/w) ดัง รูปที่ 4.6

6. ปริมาณเถ้า (Ash)

จากการศึกษาปริมาณเถ้า ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.0135-2.1646 % (w/w) ดัง รูปที่ 4.6

จากผล พบว่าปริมาณ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณเถ้า ที่ได้ส่วนใหญ่มาจากของแข็งที่ละลาย และแขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นพวกเศษเนื้อและกระดูกปลา และเกลือของธาตุต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเลี้ยงคลอเรลลาโดยสารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนรูปด้วยแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrosomanas sp.* และกลุ่ม *Nitrobacter sp.* เปลี่ยนไปเป็นสารที่

คลอเรลลาสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่หากพบมากเกินไปอาจมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของคลอเรลลาได้ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร (2552)

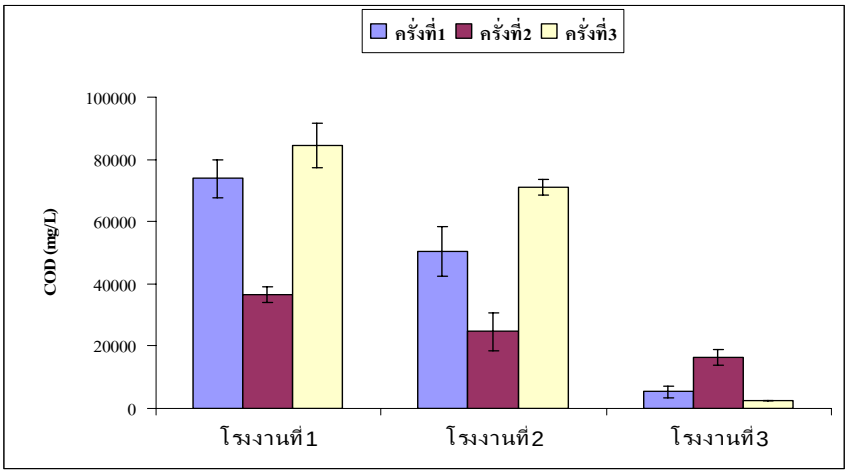


รูปที่ 4.6 ของแข็งทั้งหมด ของแข็งที่ระเหยได้และเถ้าในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

7. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

จากการศึกษาซีโอดี ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2464-84480 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง รูปที่ 4.7 สอดคล้องกับค่าที่ Vidal *et al.* (1997) ที่ศึกษาในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น พบในช่วง 5000-6000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งซีโอดีที่พบมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดให้ซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงสุดไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร กรมควบคุมมลพิษ (2551 ข.) ค่าซีโอดีสูงสุดที่พบมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดถึง 211 เท่า แต่การศึกษานี้เพื่อนำน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดง ดังนั้นจึงเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ในการศึกษา ซึ่งซีโอดีที่พบมีองค์ประกอบส่วนใหญ่มาจากน้ำซีรั่ม เลือดและเศษเนื้อปลาซึ่งเป็นสารอินทรีย์ สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์และเป็นประโยชน์ต่อสาหร่ายเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

Prince of Songkla University Pattani Campus

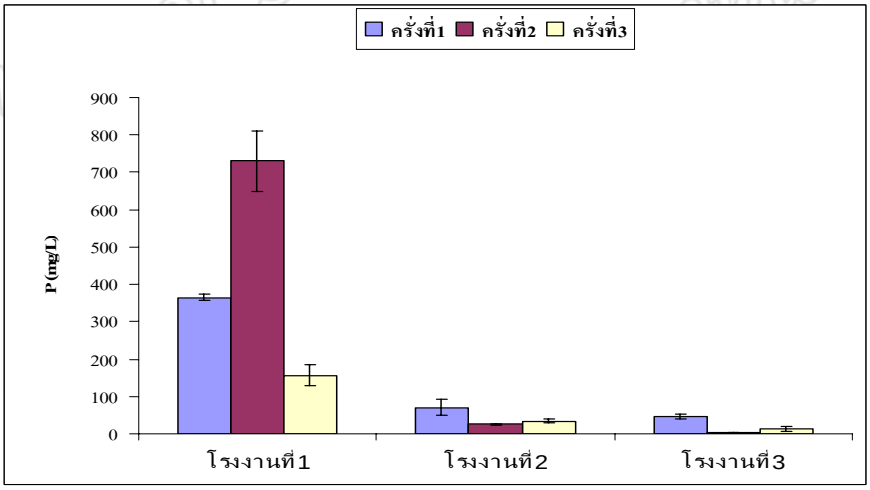


รูปที่ 4.7 ซีโอดีในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

4.1.2 ผลศึกษาปริมาณธาตุอาหารของน้ำทิ้ง

1) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP)

จากการศึกษาฟอสฟอรัสทั้งหมด ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.87-731.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง รูปที่ 4.8

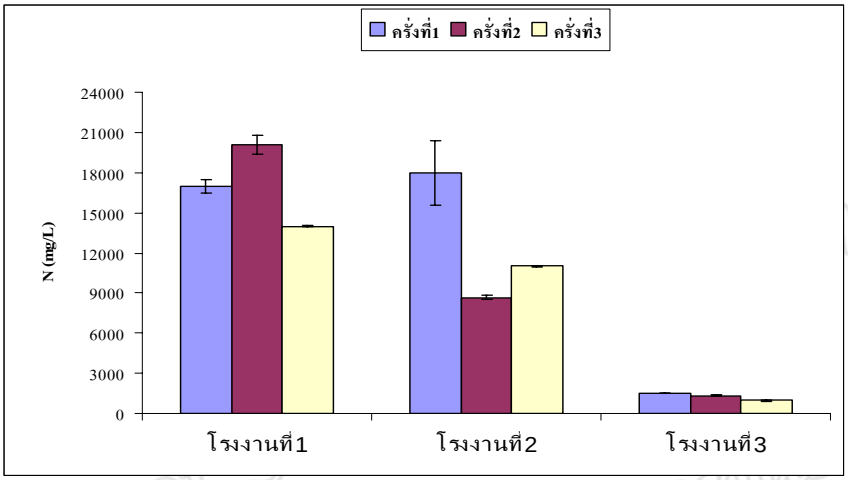


รูปที่ 4.8 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

2) ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

จากการศึกษาไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 986-20067 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง รูปที่ 4.9 สอดคล้องกับค่าที่ Vidal *et al.* (1997) ได้ศึกษาในน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่นพบในช่วง 3000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร

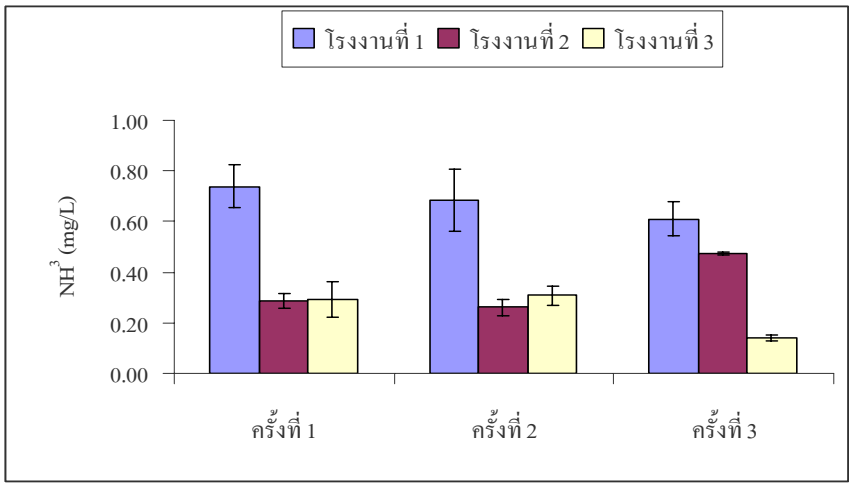
ค่าที่พบมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ค่าไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงสุดไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กรมควบคุมมลพิษ (2551 ข.) ซึ่งจากการศึกษาค่าสูงสุดที่พบ มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดถึง 100 เท่า แต่ผลการศึกษานี้เพื่อนำน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดง ดังนั้นจึงเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ในการศึกษา สาเหตุที่ค่าไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น มีค่าสูงเนื่องมาจากลักษณะน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมปลาป่น มีเศษเนื้อปลา น้ำซีรั่มและเลือดปลาเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งมีไนโตรเจนเป็นธาตุประกอบที่สำคัญ



รูปที่ 4.9 ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

3) ค่าแอมโมเนีย (Ammonia)

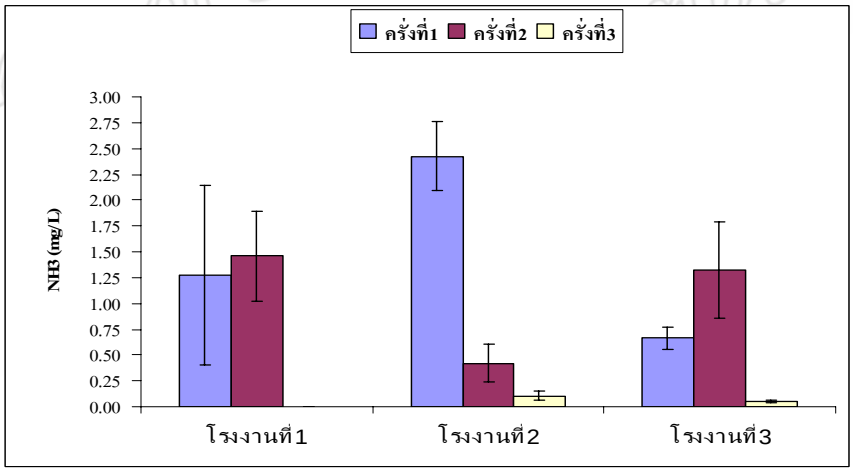
จากการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง รูปที่ 4.10 ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าระดับที่ส่งผลต่อสัตว์น้ำซึ่งมีค่า 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร อังสนาและสังวาล (2551)



รูปที่ 4.10 ค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

4) ค่าไนเตรท (Nitrate)

จากการศึกษาไนเตรท ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.15-36.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง รูปที่ 4.11 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำดื่มองค์การอนามัยโลกที่กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (หนังสือพิมพ์ไทยโพส, 2551)



รูปที่ 4.11 ค่าไนเตรทในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

5) ไนไตรท์ (Nitrite)

จากการศึกษาไนไตรท์ ในน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นจำนวน 3 โรงงาน พบว่า มีปริมาณต่ำกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์ที่พบมีค่าต่ำ อาจเนื่องจากสารประกอบไนไตรท์มีความไม่เสถียร โดยจะถูกแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrobacter sp.* เปลี่ยนเป็นสารประกอบไนเตรทในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร (2552)

4.2 ผลศึกษาอายุของน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเบื้องต้นทางเคมีและกายภาพ

จากการศึกษากักเก็บน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นเป็นเวลา 30 วัน เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพและระยะเวลาในการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งโรงงานปลาป่น วันที่ 0, 10, 20 และ 30

พบฟอสฟอรัสทั้งหมด 6521±271, 6331±358, 5822±238 และ 6172±153 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง รูปที่ 4.12

ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็นมีปริมาณ 4825±198, 4630±135, 4695±163 และ 4413±260 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง รูปที่ 4.13

แอมโมเนีย 0.89±0.19, 0.70±0.06, 0.89±0.08 และ 0.92±0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง รูปที่ 4.14

ปริมาณไนเตรทมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.48±.94, 36.77±5.72, 28.59±2.45 และ 27.22±0.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณไนเตรทในวันแรกของการกักเก็บมีปริมาณไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเวลากักเก็บผ่านไปวัน 10 แต่จะมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเวลาผ่านไป 20 และ 30 วัน ดัง รูปที่ 4.15

ปริมาณซีโอดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49131±1811, 17771±1811, 11499±905 และ 8885±905 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยซีโอดีมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างต่อเนื่องถึงวันกักเก็บที่ 20 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อระยะเวลากักเก็บ 30 วัน ดัง รูปที่ 4.16

ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.9±0.4, 22.1±0.4, 20.1±0.4 และ17.9±0.4 มิลลิซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลากักเก็บ ดัง รูปที่ 4.17

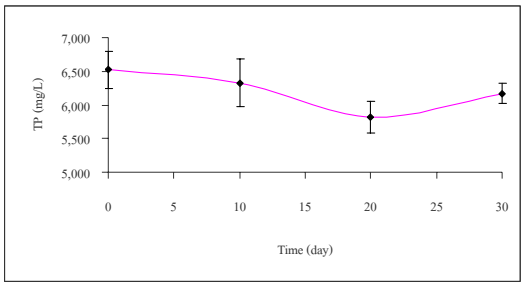
ค่าความเป็น กรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.58±0.12, 7.74±0.11, 7.80±0.06 และ 7.30±0.18 ตามลำดับ โดยระยะเวลากักเก็บช่วง 20 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลากักเก็บ 30 วัน ดัง รูปที่ 4.18

อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.2±0.6, 28.5±0.8, 29.0±0.9 และ 29.2±0.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดัง รูปที่ 4.19

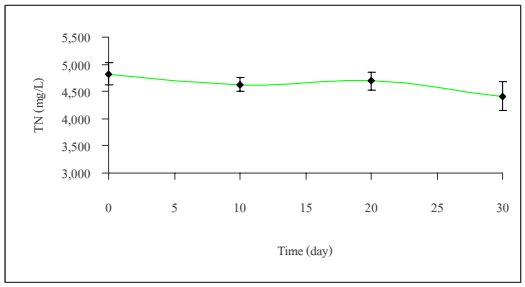
Prince of Songkla University Pattani Campus

จากผลการทดลอง พบว่า การลดลงของปริมาณซีโอดี และค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรงกัน ดังนั้นการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาสามารถใช้ค่าการนำไฟฟ้าประเมินการลดลงของธาตุอาหารรวมในระบบเลี้ยงได้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับค่าการนำไฟฟ้าโดยละเอียดต่อไป การใช้ประโยชน์น้ำทิ้งเพื่อการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาควรใช้น้ำทิ้งอายุไม่เกิน 10 วัน เนื่องจากปริมาณไนเตรทซึ่งเป็นอาหารหลักในการเพาะเลี้ยงคลอเรลลามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อผ่านเวลากักเก็บไป 10 วัน

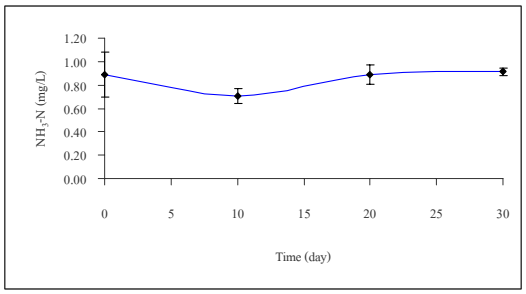
Prince of Songkla University
Pattani Campus



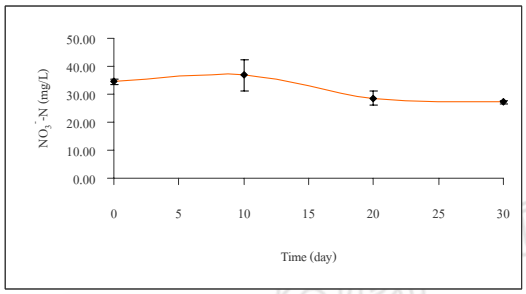
รูปที่ 4.12 ปริมาณ TP (mg/L) ต่ออายุน้ำทิ้ง



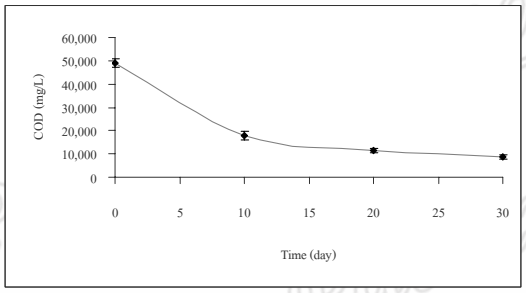
รูปที่ 4.13 ปริมาณ TN (mg/L) ต่ออายุน้ำทิ้ง



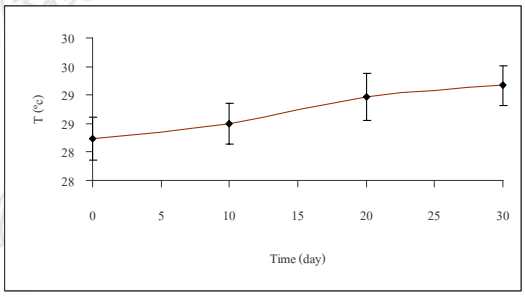
รูปที่ 4.14 ปริมาณ NH_3-N (mg/L) ต่ออายุน้ำทิ้ง



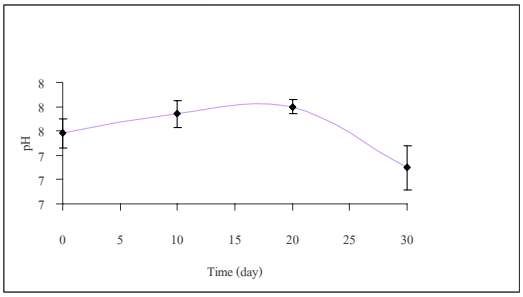
รูปที่ 4.15 ปริมาณ NO_3^--N (mg/L) ต่ออายุน้ำทิ้ง



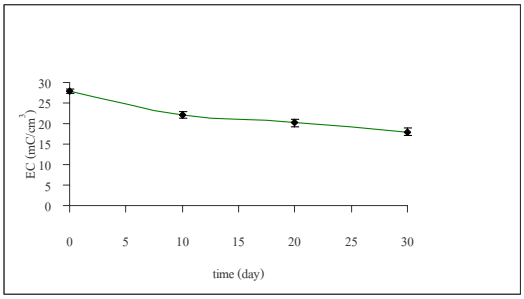
รูปที่ 4.16 ปริมาณ COD (mg/L) ต่ออายุน้ำทิ้ง



รูปที่ 4.17 ค่า EC (mC/cm^3) ต่ออายุน้ำทิ้ง



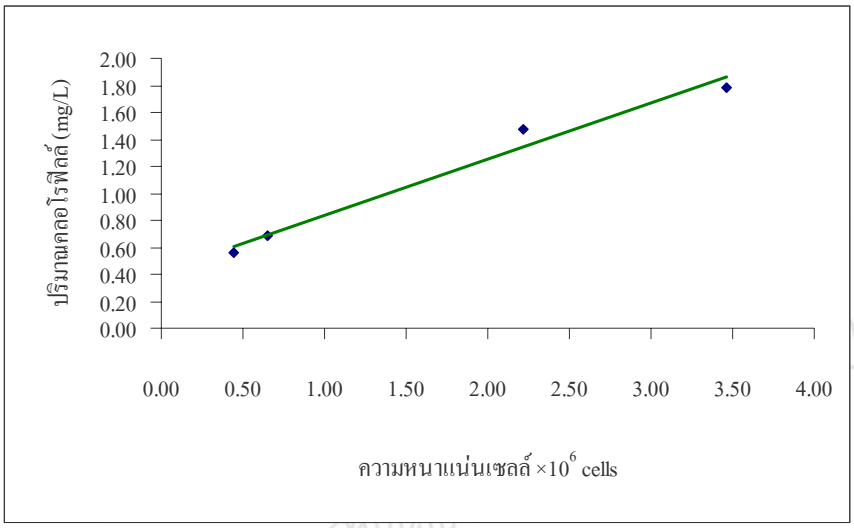
รูปที่ 4.18 ค่า pH ต่ออายุน้ำทิ้ง



รูปที่ 4.19 ค่า T (°c) ต่ออายุน้ำทิ้ง

4.3 ผลศึกความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับจำนวนเซลล์คลอเรลลา

การศึกษาทดลอง พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่วิเคราะห์โดยใช้วิธี ดูดกลืนแสง (Aslan and Kapdan, 2006 อ้างโดย Becker, 1994) มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับความหนาแน่นเซลล์คลอเรลลา โดยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.9777 โดยได้สมการเส้นตรงเป็น $y = 0.4137x + 0.4244$ ดัง รูปที่ 4.20

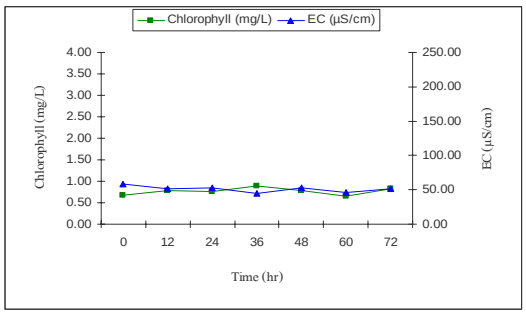


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ปริมาณคลอโรฟิลล์กับความหนาแน่นเซลล์

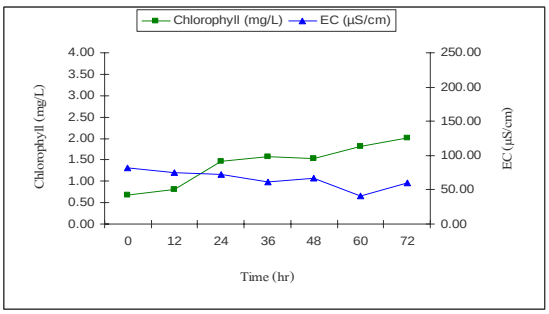
4.4 ผลศึกษาปริมาณซีโอดีที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา

การทดลอง พบว่า ที่เวลา 0, 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง ความเข้มข้นซีโอดี 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอโรฟิลล์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มปริมาณขึ้น ดัง รูปที่ 4.23-4.28 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาการเพาะเลี้ยง แต่คลอโรฟิลล์มีปริมาณการเพิ่มไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ปริมาณขึ้นของคลอโรฟิลล์นั้นบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนคลอเรลลาในระบบเลี้ยง จากผลการทดลอง พบว่า ความเป็น กรด-ด่าง มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ และจำนวนคลอเรลลา ดัง ตารางที่ 4.1-4.6 แต่ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ ดัง รูปที่ 4.21-4.26

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.21 การเจริญของคลอเรลลาที่ซีโอดี 0 มิลลิกรัมต่อลิตร



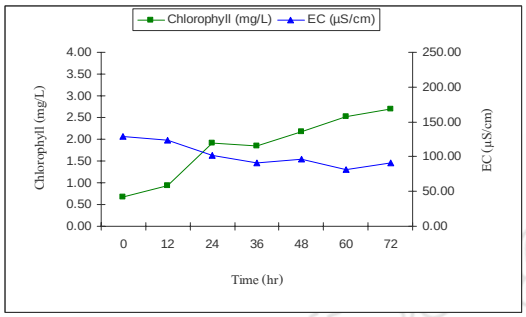
รูปที่ 4.22 การเจริญของคลอเรลลาที่ซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพที่ซีโอดี 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

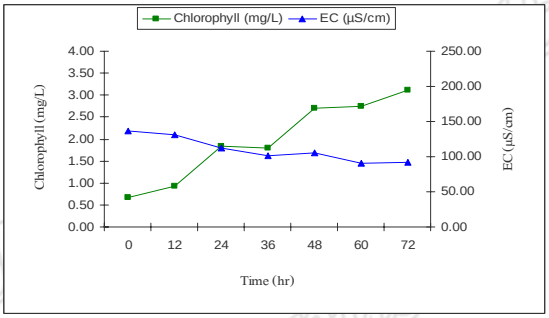
t (hr)	0	12	24	36	48	60	72
pH	8.94	8.84	9.03	9.32	9.07	8.54	8.71
T (°c)	32.48	26.59	30.47	26.41	31.17	26.91	28.74

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

t (hr)	0	12	24	36	48	60	72
pH	8.66	8.55	9.09	9.31	9.15	8.78	8.97
T (°c)	32.64	27.06	30.73	26.48	31.76	26.90	28.72



รูปที่ 4.23 การเจริญของคลอเรลลาที่ซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร



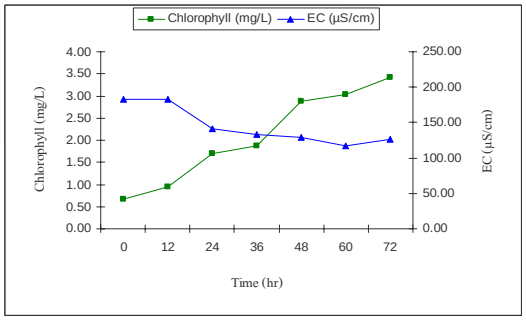
รูปที่ 4.24 การเจริญของคลอเรลลาที่ซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพที่ซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

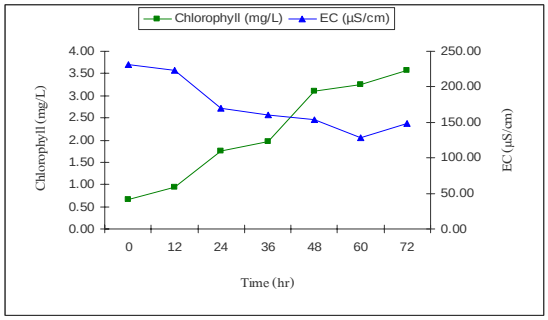
t (hr)	0	12	24	36	48	60	72
pH	8.66	8.55	9.09	9.31	9.15	8.78	8.97
T (°c)	32.64	27.06	30.73	26.48	31.76	26.90	28.72

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร

t (hr)	0	12	24	36	48	60	72
pH	8.38	8.38	9.13	9.00	9.54	9.18	9.29
T (°c)	32.72	27.27	30.71	26.64	31.76	26.97	29.22



รูปที่ 4.25 การเจริญของคลอเรลลาที่ซีโอดี 800 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.26 การเจริญของคลอเรลลาที่ซีโอดี 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพที่ซีโอดี 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

t (hr)	0	12	24	36	48	60	72
pH	8.23	8.23	8.97	8.86	9.32	8.94	9.17
T (°c)	32.94	27.20	30.72	26.68	32.01	27.01	29.32

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพซีโอดี 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

t (hr)	0	12	24	36	48	60	72
pH	8.14	8.23	8.80	8.75	9.17	8.84	9.17
T (°c)	32.63	27.22	30.58	26.66	31.74	27.03	29.08

4.5 ผลศึกษาการลดลงของธาตุอาหารและผลผลิตไรแดงที่เลี้ยงด้วยโรงงานปลาป่น

การศึกษาทดลองอัตราการเจริญของคลอเรลลาในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมปลาป่นที่ค่าซีโอดีต่าง ๆ พบว่าที่ซีโอดี 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เหมาะสมต่อการนำไปใช้เพื่อเพาะเลี้ยงไรแดง จึงทำการทดลองศึกษาการลดลงของธาตุอาหารในระบบเลี้ยงและเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงที่เลี้ยงด้วยซีโอดี 600 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ผลผลิตไรแดงเป็นเกณฑ์ในการตัดสินเลือกใช้ระดับการเจือจางความเข้มข้นของค่าซีโอดีการทดลองต่อไป ผลศึกษาทดลองการลดลงของธาตุอาหารที่ซีโอดี 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 0-72 ชั่วโมง พบว่า

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงจาก 13.73±0.82 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 9.30±0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 16.58±1.16 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 9.62±1.21 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 32.24±0.36 และ 38.73±0.30 ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจาก 314±20 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 207±34 และ 310±20 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 207±24 คิดเป็นร้อยละ 34.13±4.16 และ 34.13±12.17 ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ปริมาณไนเตรทลดลงจาก 4.33±0.89 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.76±0.52 และ 4.33±0.52 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 1.36±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 68.68±8.54 และ 68.68±11.90 ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ปริมาณแอมโมเนียมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จาก 0.31±0.06 เป็น 0.69±0.02 และ 0.30±0.01 เป็น 0.48±0.01 ตามลำดับ ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8

ค่าซีโอดีจาก 199±18 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 63±31 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 303±18 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 105±18 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 65.52±4.29 และ 65.52±0.00 ตามลำดับ ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8

ค่าการนำไฟฟ้าลดลงจาก 416±64 ไมโครซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เหลือ 280±15 และ 480±59 ไมโครซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เหลือ 377±17 ไมโครซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 21.58±10.20 และ 21.58±8.80 ตามลำดับ ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8

ค่าความเป็น กรด-ด่าง ในระบบเลี้ยง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.62±0.13 เป็น 8.31±0.15 และ 7.65±0.04 เป็น 8.69±0.17 ตามลำดับ ดัง ตารางที่ 4.7 และ 4.8

ผลการทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงเปรียบเทียบที่ซีโอดี 400 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ยเท่ากับ 0.3501±0.0003 กรัมต่อลิตร และที่ซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ยเท่ากับ 0.5858±0.0004 กรัมต่อลิตร เมื่อเทียบผลผลิตไรแดงที่ได้จากการเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งสองความเข้มข้น พบว่าค่าซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ยสูงกว่าค่าซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้นซีโอดี 600ในการทดลองต่อไป

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ ซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

COD 400 mg/L	เวลา (ชั่วโมง)						
	0	12	24	36	48	60	72
TP (mg/L)	13.73±0.82	11.15±0.82	12.12±0.56	11.50±0.96	12.39±0.82	12.93±0.94	9.30±0.87
TN (mg/L)	310±20	289±8	274±39	262±34	225±25	205±28	198±34
NH_3-N (mg/L)	0.31±0.06	0.28±0.05	0.36±0.05	0.37±0.06	0.53±0.03	0.68±0.05	0.69±0.02
NO_3^--N (mg/L)	4.93±0.89	2.85±0.52	1.65±0.52	4.93±0.89	0.76±0.52	2.85±1.03	0.76±0.52
COD (mg/L)	199±18	220±0	167±36	146±18	63±0	42±18	63±31
EC (mS/cm^3)	416±64	409±50	329±44	303±36	287±43	272±32	280±15
pH	6.62±0.13	6.52±0.03	7.44±0.02	7.45±0.04	7.75±0.17	8.19±0.12	8.31±0.15
T (°c)	28.4±0.5	28.0±0.6	26.6±0.3	26.6±0.3	25.6±0.7	25.7±0.4	26.5±0.2

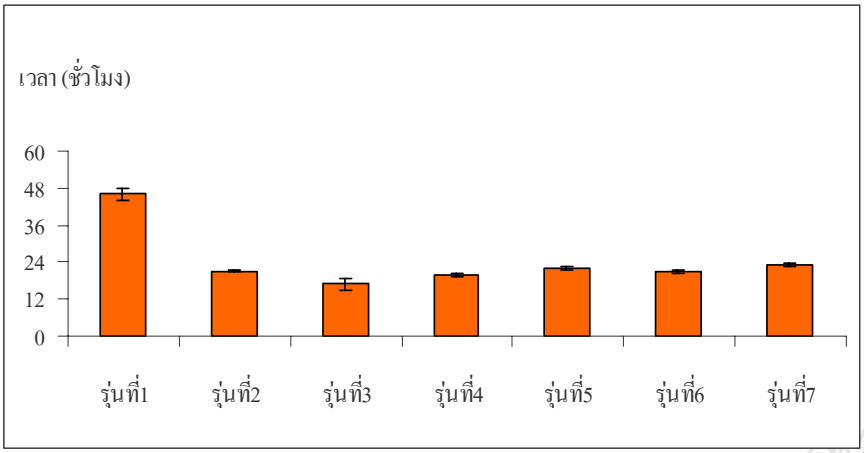
ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร

COD 600 mg/L	เวลา (ชั่วโมง)						
	0	12	24	36	48	60	72
TP (mg/L)	16.58±1.16	13.37±0.53	13.64±0.96	12.93±0.67	14.97±1.22	13.82±0.41	10.16±1.21
TN (mg/L)	314±64	292±56	286±55	302±34	267±10	265±6	207±24
NH_3-N (mg/L)	0.30±0.01	0.26±0.02	0.24±0.02	0.28±0.01	0.47±0.00	0.54±0.04	0.48±0.01
NO_3^--N (mg/L)	4.33±0.52	6.12±0.52	7.31±1.36	7.31±1.36	4.33±1.03	1.06±0.52	1.36±0.00
COD (mg/L)	303±18	251±0	240±18	230±18	125±0	73±3	105±18
EC (mS/cm^3)	480±59	406±48	452±31	422±28	398±17	384±14	377±17
pH	7.65±0.04	7.40±0.08	7.33±0.28	7.55±0.08	7.95±0.08	8.27±0.08	8.69±0.17
T (°c)	29.2±0.3	29.1±0.4	27.0±0.6	27.2±0.4	25.6±0.2	26.0±0.2	26.6±0.2

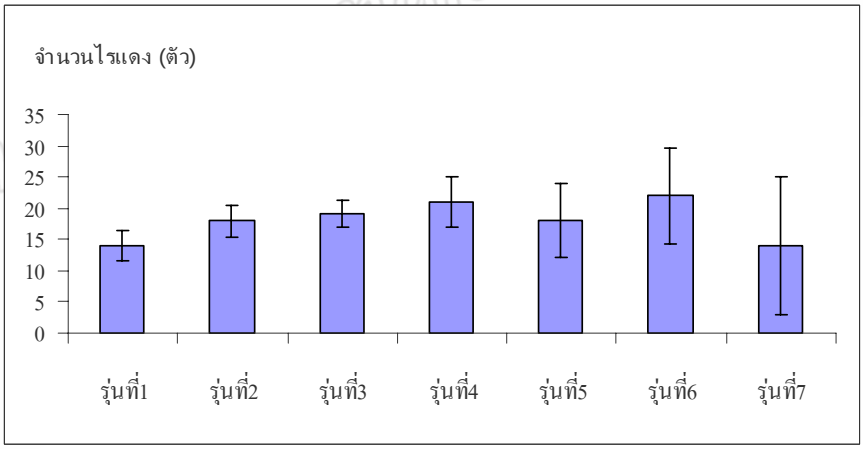
4.6 ผลศึกษาอัตราการให้จำนวนลูกของแม่พันธุ์ไรแดง

การศึกษาอัตราการให้จำนวนลูกของแม่พันธุ์ไรแดง และเวลาการให้ลูกแต่ละครอก เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของสายพันธุ์ไรแดงที่มีอยู่ พบว่า ลูกไรแดงเกิดใหม่ใช้เวลาในการเจริญเติบโตและสามารถให้ลูกครอกแรกได้ที่เวลาเฉลี่ย 46±2 ชั่วโมง เวลาในการให้ลูกแต่ละครอกห่างกันเฉลี่ย 24±9 ชั่วโมง และแม่ไรแดง 1 ตัว ที่มีลักษณะสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศสามารถให้ลูกเฉลี่ยครอกละ 18±3 ตัว ซึ่งได้จำนวนใกล้เคียงกันกับที่ ภาณุและคณะ (2541) รายงานว่า ไรแดงสามารถให้ลูกครอกละ 19-23 ตัว ส่วนจำนวนครอกไรแดงจากการศึกษา พบว่าไรแดงสามารถให้ลูกได้ประมาณ 7-9 ครอก เมื่อเปรียบเทียบกับ ภาณุและคณะ (2541) แพร่พันธุ์ได้ 1-5

ครอก หรือเฉลี่ย 3 ครอก พบว่า แม่ไรแดงที่ศึกษาจะแพร่พันธุ์เฉลี่ยได้มากครั้งกว่าถึง 5 ครอก และพบว่าไรแดงร้อยละ 50 จะให้ลูก 8 ครอก ระยะเวลาในการให้ลูกแต่ละครอกห่างกันเฉลี่ย 20 ชั่วโมง ดัง รูปที่ 4.27 และ รูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 เวลาเฉลี่ยที่แม่ไรแดงให้ลูกแต่ละครอก



รูปที่ 4.28 จำนวนลูกไรแดงเฉลี่ยที่ได้แต่ละครอก

4.7 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการเติมหัวเชื้อไรแดง

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการเติมหัวเชื้อไรแดง ที่เวลา 48 และ72 ชั่วโมงของการเลี้ยงคลอเรลลาที่ซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเติมเชื้อไรแดง เพื่อให้ได้ผลผลิตไรแดงดีที่สุด โดยใช้ผลผลิตไรแดงเป็นเกณฑ์ตัดสิน พบว่า การเติมเชื้อไรแดงที่เวลา 48 และ72 ชั่วโมง ของการเพาะเลี้ยงคลอเรลลา และเติมเชื้อไรแดงความหนาแน่น 0.0100 กรัมต่อลิตรเลี้ยงต่อเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบได้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0 และ 0.5857±0.0103

กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตไรแดงที่ได้จากการเติมเชื้อไรแดงทั้งสองช่วงเวลาแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

การเติมเชื้อไรแดงที่เวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ไรแดงไม่สามารถดำรงชีวิตและให้ผลผลิตไรแดงได้ อาจเป็นผลมาจากพารามิเตอร์บางตัวที่ผู้วิจัยไม่ได้ทำการศึกษา ณ เวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลต่อไรแดงจึงเสนอให้มีการศึกษาต่อในรายละเอียดเพิ่มเติม เพื่อสามารถอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

4.8 ผลศึกษาการเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดงแบบมหมวลน้ำทิ้งโรงงานปลาป่น

จากการศึกษาการผลิตไรแดงและคลอเรลลาแบบ มหมวลด้วยน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นความเข้มข้นซีโอดี 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระบบแบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว ในถังขนาด 300 ลิตร โดยน้ำเลี้ยงเริ่มต้นมีจำนวนเซลล์คลอเรลลาเฉลี่ย 5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็น กรด-ด่าง 7.06 ค่าการนำไฟฟ้า 326 ไมโครซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 30.6 องศาเซลเซียส และหลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าจำนวนเซลล์ คลอเรลลาเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 6×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 2.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็น กรด-ด่าง 8.20 ค่าการนำไฟฟ้าลดลงเหลือ 165.3 ไมโครซีเมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 29.6 องศาเซลเซียส พบว่า หลังจากทำการเติมไรแดงเฉลี่ย 0.10 กรัมต่อลิตร และเพาะเลี้ยงไรแดงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ได้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ย เท่ากับ 0.64±0.03 กรัมต่อลิตร ผลผลิตไรแดงที่ได้มีค่ามากกว่า หยกแก้วและคณะ (2526) ที่เลี้ยง *Chlorella* sp. K_3 ด้วยน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเป็นเวลา 3 วัน ใช้ไรแดงเริ่มต้น 0.01 กรัมต่อลิตรและเวลาเลี้ยงไรแดง 5-6 วัน ที่ความหนาแน่นของสาหร่ายเริ่มต้น 0.1 ได้ผลผลิตไรแดง 0.252 กรัมต่อลิตร และใกล้เคียงกัน เมื่อความหนาแน่นของสาหร่ายเริ่มต้น 0.2 ได้ผลผลิตไรแดง 0.6290 กรัมต่อลิตร แต่มีค่าน้อยกว่า ที่ความหนาแน่นของสาหร่ายเริ่มต้น 0.3 และ 0.4 ได้ผลผลิตไรแดง เท่ากับ 1.042 และ 1.356 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้อยกว่าที่ ภาณุและคณะ (2541) เลี้ยงไรแดงด้วยสูตรปุ๋ยในระบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว ได้ผลผลิตไรแดง 1.4 กรัมต่อลิตร และน้อยกว่าที่ Prathumratana (2001) เลี้ยง *Chlorella* sp. ในน้ำทิ้งครัวเรือนและใช้เพาะเลี้ยงไรแดง ที่ความเข้มข้นสาหร่าย 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ไรแดงเริ่มต้น 0.01 กรัมต่อลิตร ให้ผลผลิตไรแดงรวมทั้งหมด 3.66 กรัมต่อลิตร ภายในเวลา 6 วัน

4.9 ผลศึกษาดุลยภาพมวลไนโตรเจนและซีโอดีในระบบเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดง

ผลการศึกษาดุลยภาพมวลซีโอดีในระบบคลอเรลลาจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่นที่ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำทิ้ง 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำไปเป็นอาหารเพาะเลี้ยงไรแดง โดยเติมเชื้อไรแดงเริ่มต้น 0.10 กรัมต่อลิตร

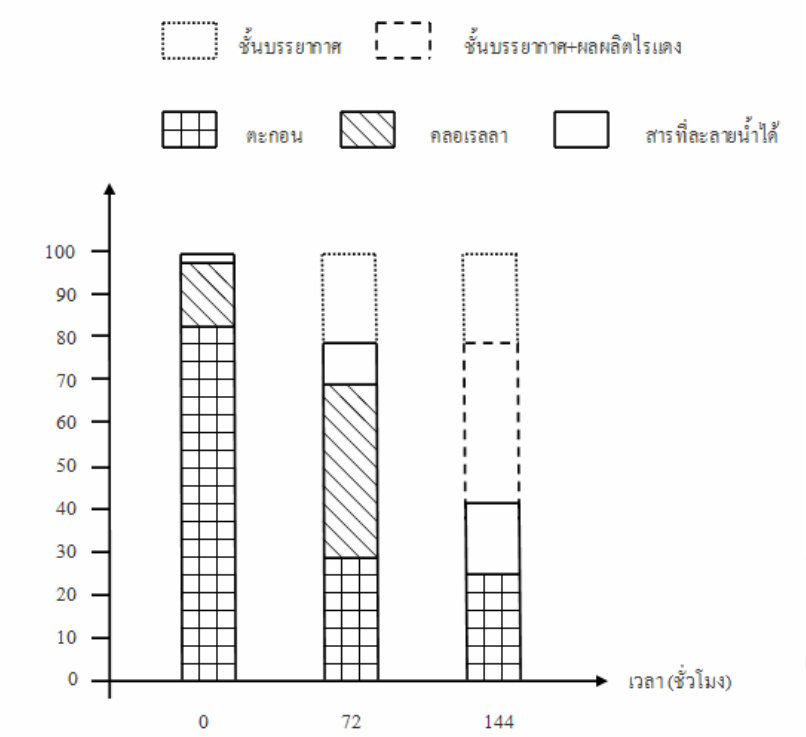
พบว่า ค่าซีโอดีในระบบเริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 584±5 มิลลิกรัมต่อลิตร แยกได้เป็นในตะกอนแขวนลอย 478±5 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 82 เซลล์หัวเชื้อคลอเรลลา 20±0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 3 และสารที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย 86±0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 15

หลังเลี้ยงคลอเรลลาเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบซีโอดีในระบบลดลงเฉลี่ย เหลือ 461±10 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 79 แยกได้เป็นในตะกอนแขวนลอยเฉลี่ย 157±13 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 27 เซลล์คลอเรลลาที่เพิ่มจำนวนขึ้นเฉลี่ย 240±0 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 41 และสารที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย 65±14 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 11 และคาดว่าซีโอดีหายไปจากระบบในชั้นบรรยากาศเฉลี่ย 123±11 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 21 จากผลการลดลงของซีโอดีการเลี้ยงคลอเรลลาเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ส่งผลให้ซีโอดีรวมลดลง จากการเปลี่ยนรูปเป็นเซลล์คลอเรลลา ร้อยละ 21 สูงกว่าที่ Inthorn *et al.* (2001) ทดลองเลี้ยง *Chlorella saccharophila* และ *Chlorella vulgaris* ในน้ำทิ้งกากน้ำตาล พบว่า สามารถลดซีโอดีได้ร้อยละ 9.0 และ 17.3 ตามลำดับภายในเวลา 3 วัน แต่น้อยกว่าที่ Przytocka-Jusiak *et al.* (1984) ทดลองเลี้ยง *Chlorella vulgaris*/AA ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไนโตรเจนซึ่งผ่านการบำบัดขั้นที่สอง พบว่า สามารถลดซีโอดีได้ร้อยละ 94.0-99.9

และหลังเก็บเกี่ยวไรแดง พบซีโอดีในระบบลดลง เหลือ 230±24 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 39 แยกได้เป็นในตะกอนแขวนลอยเฉลี่ย 142±24 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 24 สารที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย 88±4 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 15 และคาดว่าซีโอดีหายไปจากระบบในชั้นบรรยากาศรวมกับผลผลิตไรแดงเฉลี่ยที่ได้ 0.64±0.03 กรัมต่อลิตร ร้อยละ 40 ดัง รูปที่ 4.29

ผลการศึกษา พบว่า ระบบเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดงจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่นสามารถบำบัดซีโอดีได้ร้อยละ 61 โดยแยกได้เป็น 3 ส่วน คือ คาดว่าซีโอดีหายไปจากระบบในรูปแอมโมเนียโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นสู่ชั้นบรรยากาศ ระหว่างช่วงการเลี้ยงคลอเรลลา ร้อยละ 21 ระหว่างช่วงการเลี้ยงไรแดงรวมกับผลผลิตไรแดงที่ได้ คิดเป็นร้อยละ 40

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.29 ปริมาณร้อยละซีโอดีหมุนเวียนในระบบ

ผลการศึกษาดุลยภาพมวลไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงไรแดงจากคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งอุตสาหกรรมผลิตปลาป่น ในระบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว ที่ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำทิ้ง 600 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า

ปริมาณไนโตรเจนรวมในระบบเลี้ยงที่เวลา 0 ชั่วโมง มีค่า 122.20 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แยกได้เป็นไนโตรเจนที่มาจาก น้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่น, น้ำประปา และหัวเชื้อคลอเรลลา พบว่า ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงมาจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่นเป็นองค์ประกอบหลัก แยกได้ในรูปตะกอนอินทรีย์ 109.11 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 88.71 รูปแอมโมเนีย 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.02 รูปไนเตรท 1.99 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 1.62 ไนโตรเจนจากน้ำประปาที่ใช้ในการเจือจางแยกได้ในรูปตะกอนอินทรีย์ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 2.44 รูปแอมโมเนีย 0.41 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.33 และไนโตรเจนจากหัวเชื้อคลอเรลลา แยกได้ในรูปตะกอนอินทรีย์ 7.95 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 6.47 รูปเซลล์คลอเรลลา 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.02 รูปแอมโมเนีย 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.04 รูปไนเตรท 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.36 ดัง รูปที่ 4.30

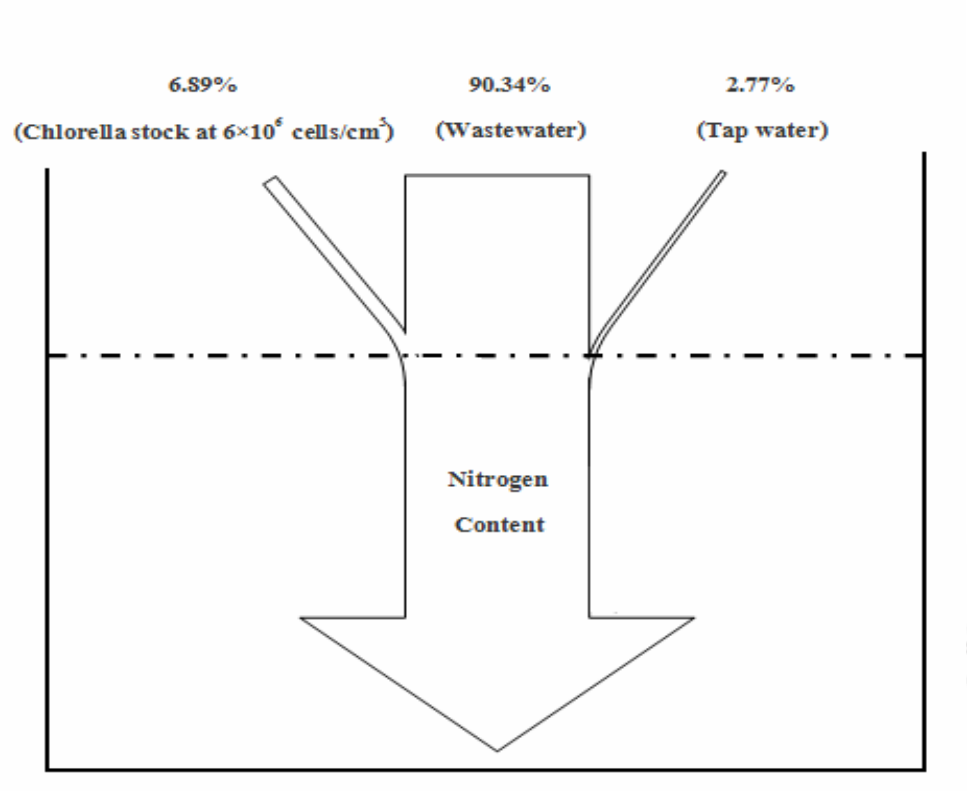
ที่เวลา 72 ชั่วโมง หลังเลี้ยงคลอเรลลา ก่อนเลี้ยงไรแดง ไนโตรเจนรวมในระบบลดลงเหลือ 102.22 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 83.1 แยกได้ในรูปตะกอนอินทรีย์ 69.25 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 56.31 รูปแอมโมเนีย 0.96 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.78 รูปไนเตรท 26.06

มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 21.17 ไนโตรเจนจากเซลล์คลอเรลลา 5.95 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 4.84 พบว่าไนโตรเจนในระบบเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์โปรตีนคลอเรลลาน้อยกว่าที่ Sreesai and Pakpain (2007) ทดลองเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ในน้ำทิ้งอาคารบ้านเรือน พบว่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งไปเปลี่ยนแปลงเป็นโปรตีนในเซลล์สาหร่าย *Chlorella vulgaris* ประมาณ ร้อยละ 24 และจรูญ (2531) เลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. K_3 ในน้ำกากส่าเหล้าเข้มข้นร้อยละ 1.5 เป็นเวลา 10 วัน พบว่าไนโตรเจนในน้ำกากส่าเหล้าเข้มข้นเปลี่ยนแปลงเป็นโปรตีนเซลล์สาหร่ายร้อยละ 16.6 และคาดว่าไนโตรเจนหายไปจากระบบในรูปแอมโมเนียโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 20.29 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 16.90 ดัง รูปที่ 4.31

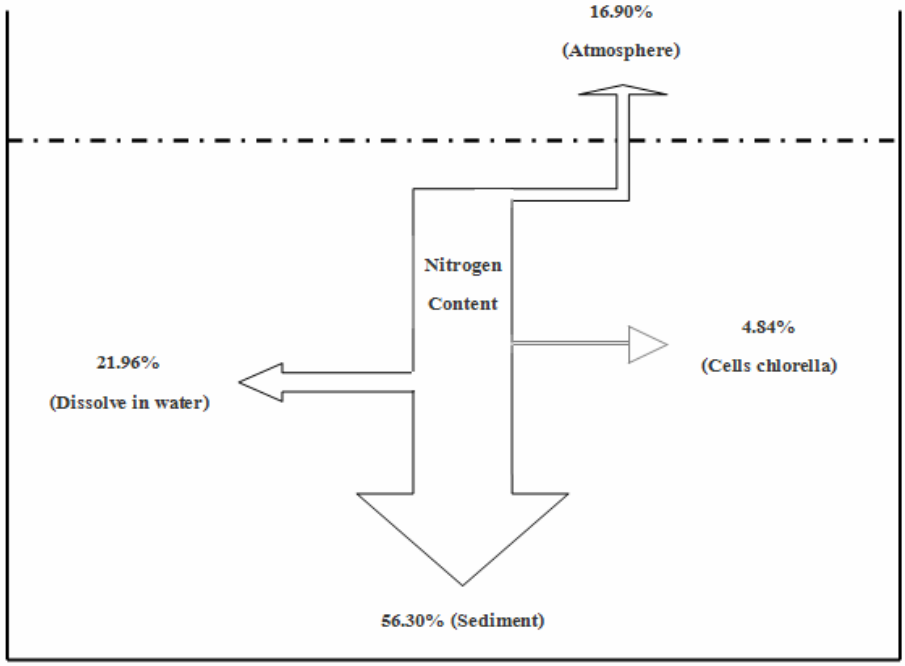
ที่เวลา 0 ชั่วโมง ก่อนเติมเชื้อไรแดง ไนโตรเจนรวมในระบบ 102.71 มิลลิกรัม คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปตะกอนอินทรีย์ 69.25 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 67.43 รูปแอมโมเนีย 0.96 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.93 รูปไนเตรท 26.06 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 25.37 ไนโตรเจนจากเซลล์คลอเรลลา 5.95 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 5.79 และเชื้อไรแดง 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.48 ดัง รูปที่ 4.32

ที่เวลา 72 ชั่วโมง หลังเลี้ยงไรแดง ไนโตรเจนรวมในระบบลดลงเหลือ 89.59 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 87.22 แยกได้ในรูปตะกอนอินทรีย์ 75.58 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 73.59 รูปแอมโมเนีย 0.79 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.77 รูปไนเตรท 9.62 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 9.37 ไนโตรเจนจากผลผลิตไรแดง 3.60 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 3.50 และคาดว่าไนโตรเจนหายไปจากระบบในรูปแอมโมเนียโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 13.12 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 12.77 ดัง รูปที่ 4.33

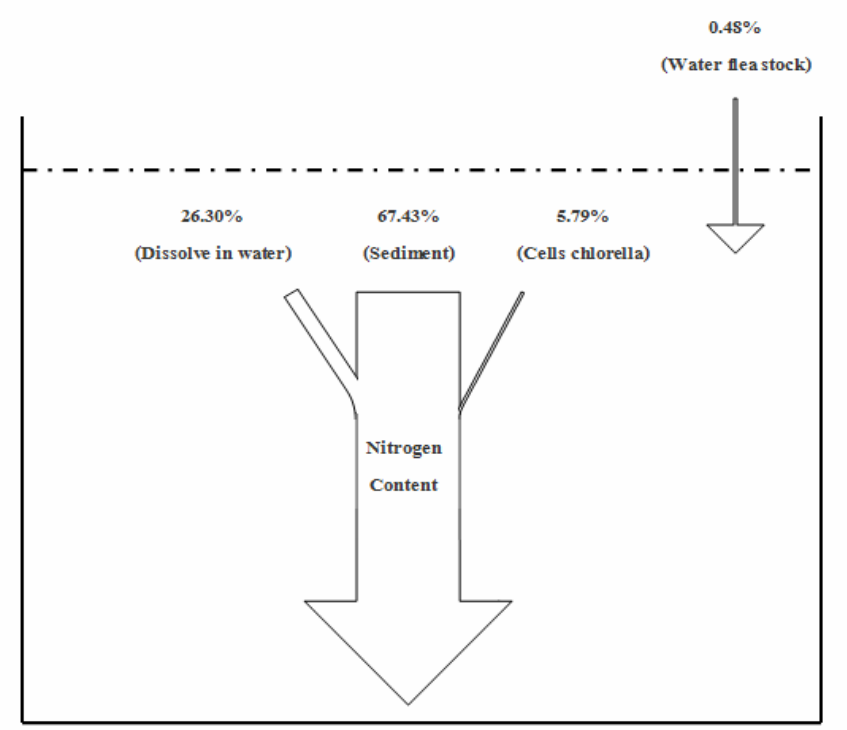
Prince of Songkla University Pattani Campus



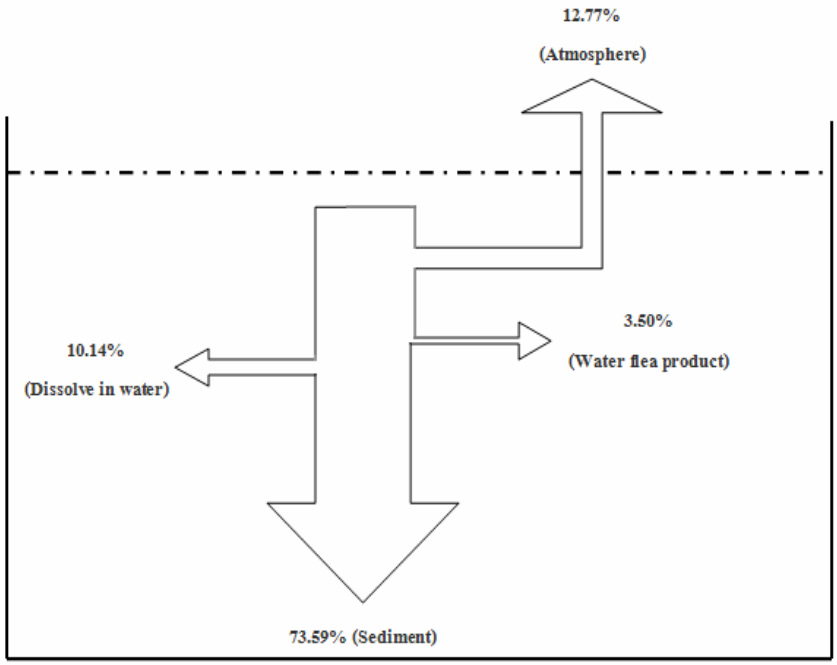
รูปที่ 4.30 ปริมาณร้อยละธาตุอาหารไนโตรเจนหมุนเวียนในระบบเลี้ยงคลอเรลลา ที่เวลา 0 ชั่วโมง



รูปที่ 4.31 ปริมาณร้อยละธาตุอาหารไนโตรเจนหมุนเวียนในระบบ
ที่เวลา 72 ชั่วโมง หลังเลี้ยงคลอเรลลา



รูปที่ 4.32 ปริมาณร้อยละธาตุอาหารไนโตรเจนหมุนเวียนในน้ำคลอเรลลา ที่เวลา 0 ชั่วโมง ก่อนเติมหัวเชื้อไรแดง



รูปที่ 4.33 ปริมาณร้อยละธาตุอาหารไนโตรเจนหมุนเวียนในระบบเลี้ยงไรแดง ที่เวลา 72 ชั่วโมง หลังเลี้ยงไรแดง

ผลการศึกษาหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไรแดง พบว่า ระบบเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดงจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่น สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ 36.52 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 29.68 โดยแยกได้เป็น 3 ส่วน คือ คาดว่าไนโตรเจนหายไปจากระบบในรูปแอมโมเนียโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นออกสู่ชั้นบรรยากาศ ระหว่างช่วงการเลี้ยงคลอเรลลา 20.29 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 16.49 ระหว่างช่วงการเลี้ยงไรแดง 13.12 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 10.67 และผลผลิตไรแดงที่เก็บเกี่ยวได้ (ไม่รวมเชื้อไรแดง) 3.11 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 2.52 เทียบกับปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้น หลังการเก็บเกี่ยวไรแดงพบไนโตรเจนเหลืออยู่ในระบบทั้งหมด 85.99 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 69.92

เมื่อคิดเฉพาะปริมาณไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น พบเหลือ 76.37 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 100 สูงสุดไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กรมควบคุมมลพิษ (2551 ข.) สามารถปล่อยน้ำหลังการเลี้ยงไรแดงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ แต่ปริมาณไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น ที่เหลือสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง ดังนั้นเสนอควรมีการศึกษาการนำน้ำหลังการเลี้ยงไรแดงจากการวิจัยครั้งนี้ มาใช้ประโยชน์ต่อเพื่อจะนำไนโตรเจนที่เหลือมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า และการคำนวณย้อนกลับ พบว่าค่าตัวเลข หายไปจากการคำนวณร้อยละ 0.4 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในระบบเลี้ยงไรแดง 300 ลิตร

ไนโตรเจน (mg)	0 ชั่วโมง					72 ชั่วโมง				144 ชั่วโมง			ชั้นบรรยากาศ
	น้ำทิ้ง	น้ำประปา	หัวเชื้อ			น้ำเลี้ยงคลอเรลลา				ไรแดง	น้ำหลังเลี้ยงไรแดง		
			คลอเรลลา	ตะกอน	น้ำ	คลอเรลลา	ตะกอน	น้ำ	ไรแดง		น้ำ	ตะกอน	
Organic-N	32732	900	7	2385	-	1785	20776	-	147	1079	-	22674	6089
NH_3-N	7	122	-	-	14	-	-	287	-	-	237	-	
NO_3^--N	597	-	-	-	135	-	-	7818	-	-	2886	-	3937
NO_2^--N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ผลรวม	33338	1022	7	2385	149	1785	20776	8105	147	1079	3123	22674	10026
ผลรวมทั้งหมด	36901					30813				26876			10026

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.10 ผลศึกษาประเมินต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าของผลการตอบแทน

ผลจากการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่นและนำมาเลี้ยงไรแดง เมื่อประเมินต้นทุนการผลิต และความคุ้มค่าของผลการตอบแทน โดยคิดคำนวณจากต้นทุนการขนส่งน้ำทิ้ง ราคาต้นทุนค่าแรงงานและค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลกรัม) รายได้จากการขายไรแดง และผลตอบแทน เปรียบเทียบกับการเลี้ยงไรแดงด้วยปุ๋ยวิทยาศาสตร์ของ ภาณุและคณะ (2541) ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไรแดงใน บ่อขนาด 15000 ลิตร จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาป่นและปุ๋ยวิทยาศาสตร์ของ ภาณุและคณะ (2541)

ประเภทค่าใช้จ่าย	เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยวิทยาศาสตร์	เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้ง
ค่าปุ๋ย (บาท)	116.80	20.70
ค่าไฟฟ้า (บาท)	14.00	14.00
ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ (บาท)	172.32	172.32
ค่าแรง (บาท)	17.00	17.00
ต้นทุนรวม (บาท)	320.12	224.02
ผลผลิตไรแดง (กิโลกรัม)	13	9.6
ต้นทุนไรแดง (บาทต่อกิโลกรัม)	**24.62**	**23.34**

หมายเหตุ

- การเทียบคำนวณค่าใช้จ่ายอย่างอื่นเหมือนกันทุกประการแต่นำน้ำทิ้งทดแทนในส่วนค่าปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (เป็นราคาปุ๋ยปี 2540)

- การเพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งคิดที่ความเข้มข้น ซีโอดี 600 มิลิกรัมต่อลิตร ต้องใช้น้ำทิ้ง 138 ลิตร (ค่าความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ยสูงที่พบในน้ำทิ้งที่ 65000 มิลลิกรัมต่อลิตร)

- คิดค่าน้ำมันลำเลียงน้ำทิ้งด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ ไป-กลับ 100 กิโลเมตร กิโลเมตรละ 6 บาท สามารถลำเลียงได้ครั้งละ 4000 ลิตร (เฉลี่ยน้ำทิ้ง ลิตรละ 0.1 บาท)

Prince of Songkla University Pattani Campus