บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง พบว่า น้ำทิ้งมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง คือ อยู่ในช่วง 6.5-7.4 ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้ง่ายต่อการบำบัด (กองสิ่งแวดล้อมโรงงาน,2524) และ อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง คือ 6.8-7.0 (VanNiel, 1944 ; Koparatnaraporn, 1986) จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพให้มีลักษณะเป็นกลาง สำหรับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะเห็นว่ามีค่าไม่สูงมากนัก โดยพิจารณาจากค่าซีโอดี อยู่ในช่วง 900-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 700-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าซีโอดีและบีโอดีนี้ ก็ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 พ.ศ.2525) ดังนั้น ยังมีความจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยน้ำทิ้งออกจากโรงงาน ส่วนปริมาณสารแขวนลอยมีค่าประมาณ 150-700 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าประมาณ 1,800-3,600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นว่าปริมาณสารแขวนลอยและปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำทิ้งนี้มีค่าไม่สูงนัก และลักษณะน้ำทิ้งส่วนใหญ่เป็นตะกอนเบา มีสารตกตะกอนได้น้อยมาก ดังนั้นการใช้วิธีตกตะกอนจะไม่สามารถกำจัดน้ำทิ้งนี้ได้ (ธงชัย,2525) สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลริดิวซ์ มีค่าประมาณ 1,500-2,200 และ 30-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจน,ฟอสเฟต และคลอไรด์ มีค่าประมาณ 140-360 ,10-15 , 820-1,050 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งตามรายงานของ Prasertsan และคณะ (1993) มีค่าไนโตรเจน,ฟอสเฟต และ คลอไรด์ ประมาณ 524,260 และ 4,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตในระบบตะกอนเร่ง

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง

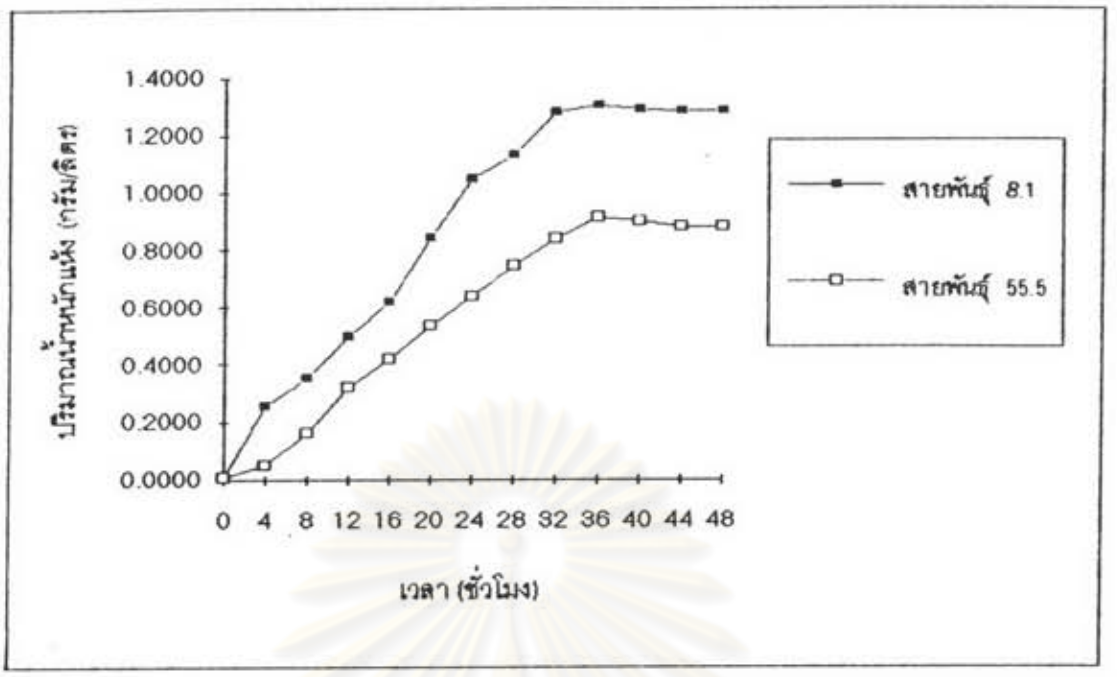
ลักษณะสมบัติ	ปริมาณ	
pH	6.5-7.4	
อุณหภูมิ	20-25	องศาเซลเซียส
COD	900-1,200	มิลลิกรัมต่อลิตร
BOD (5 วัน)	700-1,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	1,800-3,600	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณสารแขวนลอย	150-700	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณไนโตรเจน	140-360	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณฟอสเฟต	10-15	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณคลอไรด์	820-1,050	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	1,500-2,200	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	30-100	มิลลิกรัมต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

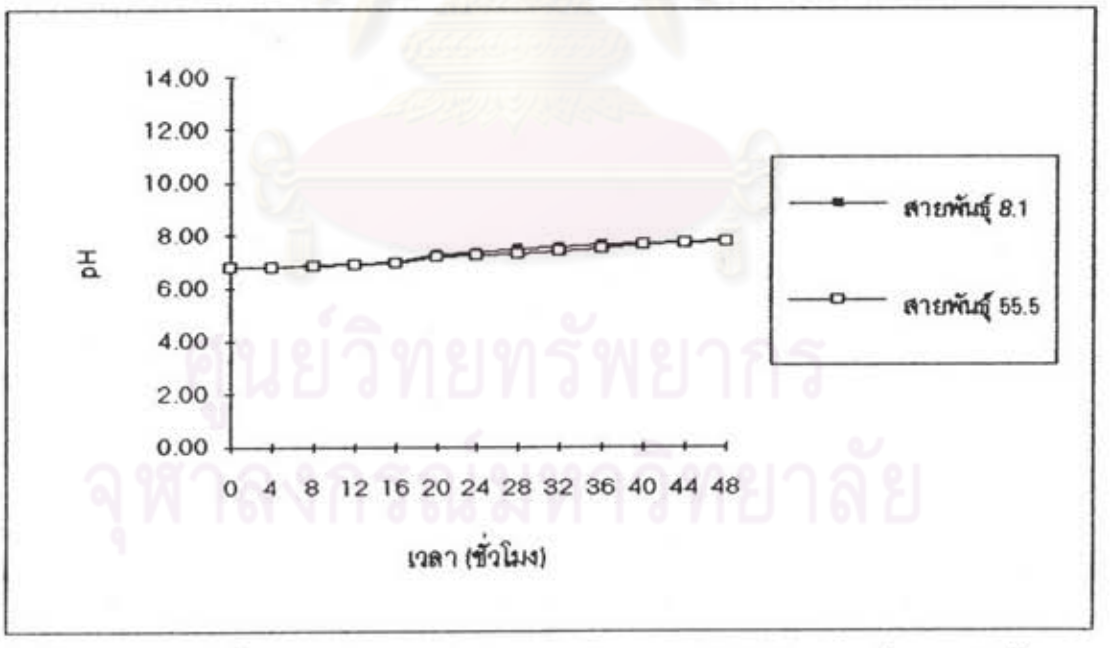
ต้องการในอัตราส่วนบีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสเฟตเท่ากับ 100:5:1 (สุรพล,2531) และเมื่อพิจารณาอัตราส่วน บีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส ของน้ำทิ้งนี้มีค่า เท่ากับ 100:14-36:1-1.5 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณสารไนโตรเจนมีมากเกินมออย่างมาก ส่วนสารฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้สำหรับระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตในน้ำทิ้งน่าจะเพียงพอต่อการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสง

4.2 <u>เปรียบเทียบอัตราการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงในน้ำทิ้งโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง</u>

ผลการศึกษาลักษณะการเจริญ และ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสองสายพันธุ์คือ สายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 โดยเพาะเลี้ยงในอาหารGlutamate-malate ซึ่งบรรจุในหลอดฝาเกลียวขนาดความจุ 70 มิลลิลิตร อาหารเลี้ยงนี้ได้ทำการปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.8 และผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เลี้ยงภายใต้สภาวะมีอากาศน้อย-มีแสงโดยส่องไฟด้วยความเข้มแสง 3,000-5,000 ลักซ์ ข้อมูลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก ค (ตาราง ค1) โดยผลการทดลองสรุปได้ว่าแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 มีอัตราการเจริญและมีผลผลิตเซลล์ดีกว่าแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 55.5 ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 4.1 โดยแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 มีการเจริญโดยวัดปริมาณน้ำหนักแห้งได้สูงสุด 1.3045 กรัมต่อลิตรที่ชั่วโมงที่ 36 มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.065 ต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงกว่าสายพันธุ์ 55.5 ซึ่งวัดปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดได้เพียง 0.9156 กรัมต่อลิตรที่ชั่วโมงที่ 36 เช่นเดียวกัน มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.048 ต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าพีเอชจะเห็นว่าทั้งสองสายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเพียงเล็กน้อยเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากผลการทดลองนี้อาจสรุปได้ว่าแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 สามารถเจริญได้เร็วกว่าสายพันธุ์ 55.5



รูปที่ 4.1 การเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 เพาะเลี้ยงในอาหาร Glutamate-malate ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 เพาะเลี้ยงในอาหาร Glutamate-malate ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

4.3 สูตรสารอาหารเสริมที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียลังเคราะห์แสง

ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส จัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรีย สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบตะกอนเร่ง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบบำบัดชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ บีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100:5:1 (สุรพล ,2531 ดังนั้น จึงได้มีการตรวจสอบว่า ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำทิ้งมีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์หรือไม่ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1 ว่าปริมาณสารไนโตรเจนมีมากเกินความต้องการอย่างมาก แต่ปริมาณสารฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับตัวเลขที่กำหนดไว้ ดังนั้น จึงได้ทดลองโดยใช้น้ำทิ้งไม่เติมสารอาหารใดๆ (สูตรที่ 1) เปรียบเทียบกับ น้ำทิ้งที่เติมสารอาหารต่างๆ ได้แก่ น้ำทิ้งที่เพิ่มแหล่งธาตุไนโตรเจน โดยเติมไดแอมโมเนียมซัลเฟต, $(NH_4)_2SO_4$ (สูตรที่ 2) เติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต, $(NH_4)_2HPO_4$ (สูตรที่ 3) เพิ่มแหล่งธาตุฟอสฟอรัสโดยเติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต, (KH_2PO_4) (สูตรที่ 4) และเติมไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต, K_2HPO_4 (สูตรที่ 5) ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารราคาถูกและหาได้ง่าย สารอาหารที่เติมลงไปในแต่ละสูตร เป็นสารอาหารที่มีอยู่ในสูตรอาหาร Glutamate-malate และ สูตรอาหารที่ใช้ในการคัดเลือกแบคทีเรียลังเคราะห์แสงซึ่งรายงานโดย ดวงพร (2525), จารุวรรณ (2532) และ ทัศนีย์ (2534) นอกจากนี้ ดวงพร (2525) และ วรรณา (2528) ได้รายงานว่า กรดนิโคตินิค , ไธอามีน และ ไบโอติน เป็นวิตามินที่เหมาะสมต่อการเจริญ และการสร้างรงควัตถุของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงในอาหารน้ำคั้นเปลือกและแกนลับปะรด แบคทีเรียลังเคราะห์แสงต้องการกรดนิโคตินิค หรือ ไนอาซิน เพราะว่าเป็นวิตามินที่สำคัญชนิดหนึ่งของกลุ่มวิตามินบีรวม ซึ่งเป็นวิตามินต้นกำเนิดของสารที่เป็นโคเอนไซม์ที่สำคัญ และ เอนไซม์ที่สำคัญๆในกระบวนการเมตาบอลิซึ่มต่างๆของแบคทีเรีย (Hutner,1950; สิรินทร์ และคณะ, 2523 ; ดวงพร, 2525; จารุวรรณ, 2532; ทัศนีย์, 2534) เช่นเดียวกับไธอามิน Hutner(1950) รายงานว่าเป็นวิตามินต้นกำเนิดของโคเอนไซม์และเอนไซม์ที่สำคัญ ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสง และ วิตามินอีกชนิดหนึ่งคือ ไบโอตินหรือวิตามินเอช Izumi และ Ogata (1977) รายงานว่า ทั้งวิตามิน และ โคเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทในด้านการลังเคราะห์กรดอะมิโนต่างๆ เป็นสารที่สำคัญมากในการเจริญของจุลินทรีย์ และของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงด้วย

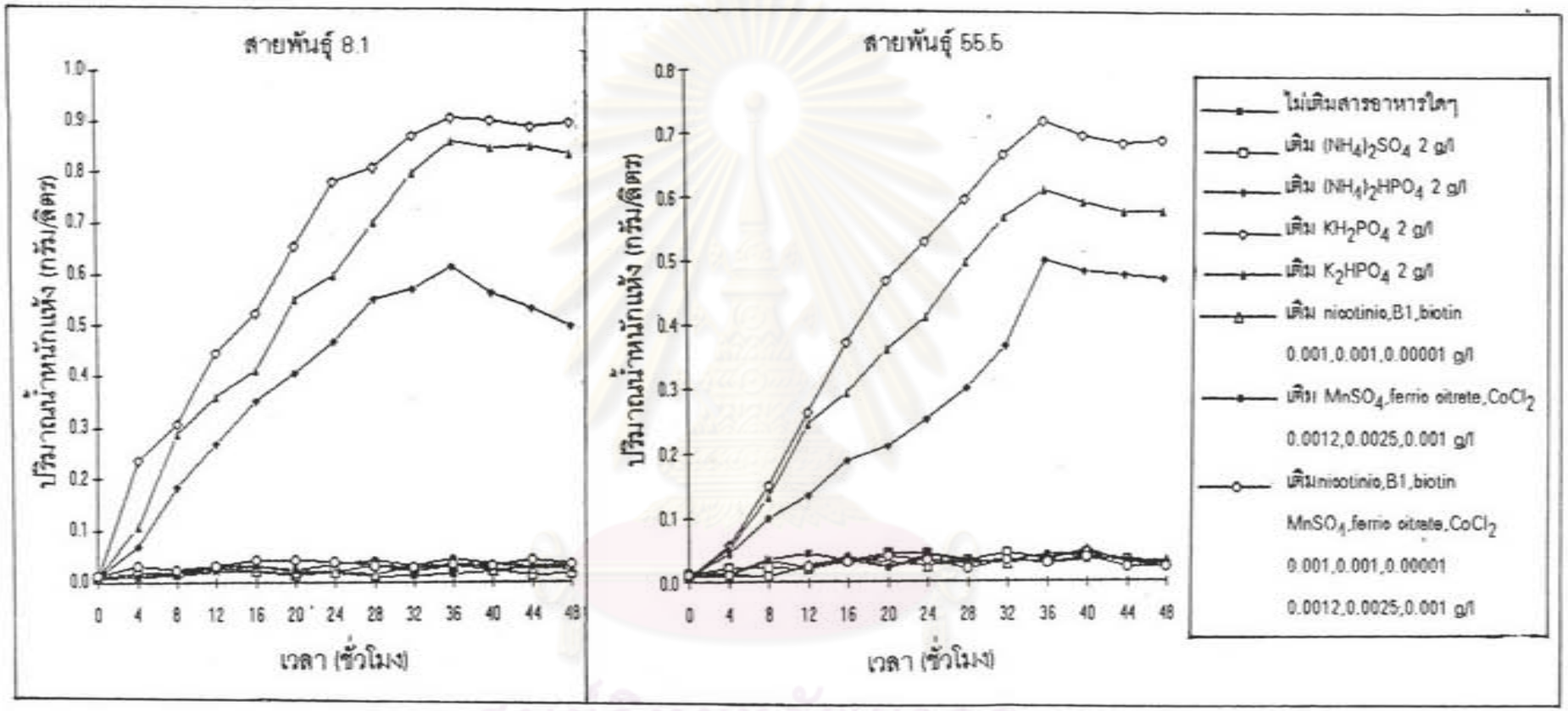
เช่นกัน ดังนั้น จึงได้ทดลองเติมวิตามินทั้ง 3 ชนิด คือ กรดนิโคตินิค $1x10^{-3}$ กรัมต่อลิตร ไธอามีน $1x10^{-3}$กรัมต่อลิตร และ ไบโอติน $1x10^{-5}$ กรัมต่อลิตร (สูตรที่ 6) นอกจากนี้ ดวงพรและคณะ (1982) รายงานว่า กรดนิโคตินิค ,ไธอามีน , ไบโอติน , โคบอลต์คลอไรด์, แมงกานีสซัลเฟต และเฟอริคซิเตรต มีผลทำให้การเจริญ,การสร้างรงควัตถุ และวิตามินบี12 ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้น จึงได้ทดลองเติมโคบอลต์คลอไรด์, แมงกานีสซัลเฟต, เฟอริคซิเตรต ในปริมาณ $1.2x10^{-3}$,$2.5x10^{-3}$ และ $1x10^{-3}$ กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สูตรที่ 7) และกรดนิโคตินิค, ไธอามีน, ไบโอติน, โคบอลต์คลอไรด์, แมงกานีสซัลเฟต, เฟอริคซิเตรต ในปริมาณดังกล่าวข้างต้น (สูตรที่ 8) ตารางที่ 4.2 แสดงสูตรอาหารเสริมต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก ค. (ตาราง ค2 และ ค3) รูปที่ 4.3 แสดงการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์ที่สูตรอาหารเสริมต่างๆ จากผลการศึกษาการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในอาหารน้ำทิ้งสูตรต่างๆ ซึ่งบรรจุในหลอดฝาเกลียวขนาด 70 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว พบว่า สูตรอาหารที่ 1,2,6,7 และ 8 ทั้งสองสายพันธุ์ ไม่สามารถเจริญได้เลย แต่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์สามารถเจริญได้ในสูตรอาหารที่มีฟอสฟอรัสอยู่ซึ่งได้แก่ สูตรอาหารที่มีการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (สูตรที่3), โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (สูตรที่4)และไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (สูตรที่5) โดยสายพันธุ์ 8.1 จะได้เซลล์ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 36 ทั้งสามสูตร ส่วนสูตรที่ 4 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดมากที่สุดคือ เท่ากับ 0.9040 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สูตรที่ 5 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุด เท่ากับ 0.8580 กรัมต่อลิตร และสูตรที่ 3 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.6120 กรัมต่อลิตร ทั้งสามสูตรมีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.05,0.047 และ 0.036 ต่อชั่วโมงตามลำดับ (รูปที่ 4.3) ส่วนสายพันธุ์ 55.5 จะได้เซลล์ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 36 ทั้งสามสูตรเช่นเดียวกับสายพันธุ์ 8.1 โดยสูตรที่ 4 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดมากที่สุดคือเท่ากับ 0.7150 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือสูตรที่ 5 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุด เท่ากับ 0.6063 กรัมต่อลิตร และสูตรที่ 3 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.4970 กรัมต่อลิตร ทั้งสามสูตรมีอัตราการเจริญจำเพาะ เท่ากับ 0.044,0.042 และ0.035 ต่อชั่วโมงตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 สูตรอาหารเสริมที่ใช้ในการทดลอง

สูตรที่	สารอาหารที่เติมลงในน้ำทิ้ง	ปริมาณ (กรัมต่อลิตร)
1	ไม่เติมสารอาหารใดๆ	–
2	ไดแอมโมเนียมซัลเฟต	2.0
3	ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	2.0
4	โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	2.0
5	ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	2.0
6	กรดนิโคตินิค	1.0×10^{-3}
	ไทอามีนไฮโดรคลอไรด์	1.0×10^{-3}
	ไบโอติน	1.0×10^{-5}
7	แมงกานีสซัลเฟต	1.2×10^{-3}
	เฟอริคซิเตรต	2.5×10^{-3}
	โคบอลต์คลอไรด์	1.0×10^{-3}
8	กรดนิโคตินิค	1.0×10^{-3}
	ไทอามีนไฮโดรคลอไรด์	1.0×10^{-3}
	ไบโอติน	1.0×10^{-5}
	แมงกานีสซัลเฟต	1.2×10^{-3}
	เฟอริคซิเตรต	2.5×10^{-3}
	โคบอลต์คลอไรด์	1.0×10^{-3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



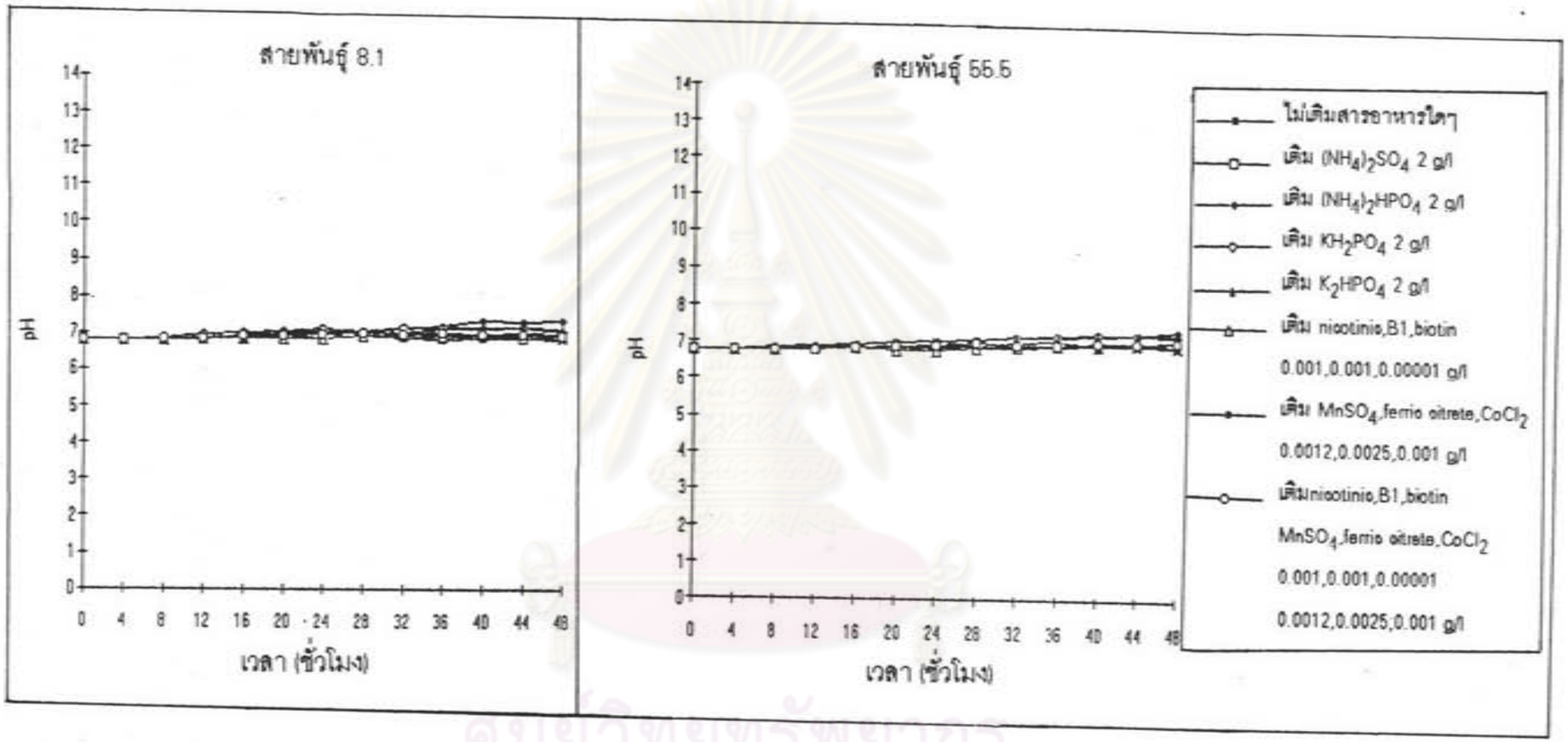
รูปที่ 4.3 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารน้ำทิ้งที่เสริมด้วยสารอาหารต่างๆ ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของทุกสูตรอาหารทั้งสองสายพันธุ์ จะเห็นว่าเริ่มต้นที่พีเอช 6.8 เท่ากัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองทุกสูตรอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และแต่ละสูตรจะมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชแตกต่างกันไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.4

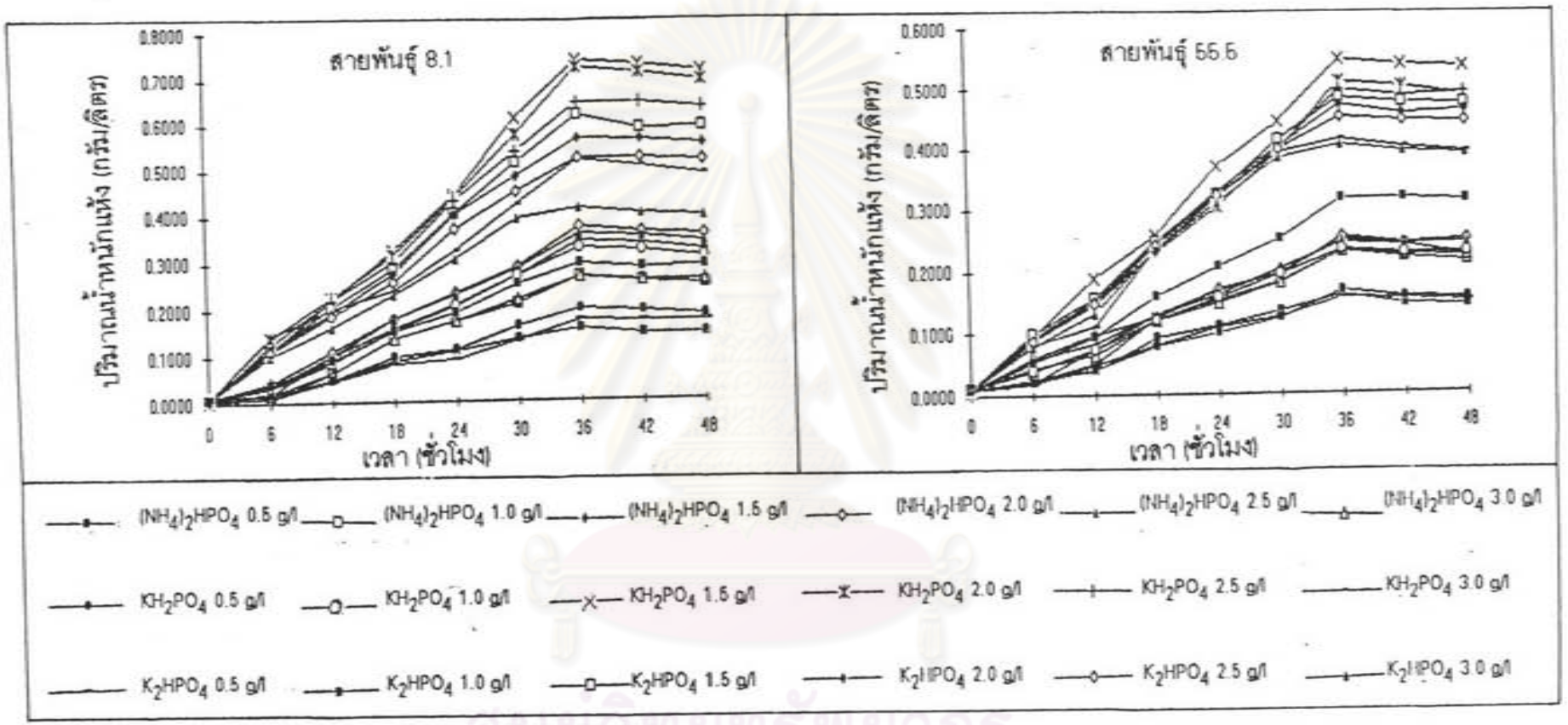
จะเห็นว่าทั้งสามสูตรอาหาร คือ สูตรที่ 3,4 และ 5 ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดและอัตราการเจริญจำเพาะของสายพันธุ์ 8.1 มีค่ามากกว่าปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดและอัตราการเจริญจำเพาะของสายพันธุ์ 55.5 แสดงว่าสายพันธุ์ 8.1 สามารถเจริญและใช้สารอาหารในน้ำทิ้งได้ดีกว่าสายพันธุ์ 55.5 โดยที่สูตรอาหารที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตให้ปริมาณน้ำหนักแห้งและ อัตราการเจริญจำเพาะที่สูงกว่าอีกสองสูตรทั้งสองสายพันธุ์ จากผลการทดลองแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์ สามารถเจริญได้ในสูตรอาหารที่มีฟอสฟอรัสเท่านั้น แสดงว่าปริมาณไนโตรเจน, วิตามิน และ แร่ธาตุอื่นๆ ในอาหารน้ำทิ้งนั้นมีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญอยู่แล้ว แต่ปริมาณฟอสฟอรัสมีไม่เพียงพอกับการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์ ดังนั้น จึงควรเติมสารอาหารฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง ในการบำบัดโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 สามารถเจริญได้ดีกว่าสายพันธุ์ 55.5 ในการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งนี้ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อ 4.2 ดังกล่าวสรุปมาแล้ว

เพื่อให้ทราบปริมาณสารอาหารเสริมที่เหมาะสม จึงได้ดำเนินการทดลองเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยใช้สูตรอาหารที่ 3,4 และ 5 โดยเตรียมสารอาหารที่เติมที่ความเข้มข้น 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 , 2.5 และ 3 กรัมต่อลิตร ข้อมูลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค.(ตาราง ค4-ค9) รูปที่ 4.5 แสดงการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์ที่สูตรอาหารเสริมความเข้มข้นต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าทุกสูตรอาหารมีปริมาณเซลล์สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 36 ทั้งสองสายพันธุ์หลังจากนั้นจะคงที่และเริ่มลดลง โดยสายพันธุ์ 8.1 สูตรอาหารที่เติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้ง 0.3718 กรัมต่อลิตร และ มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.0394 ต่อชั่วโมง สูตรอาหารที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้ง 0.7350 กรัมต่อลิตร และมีอัตราการเจริญ



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารน้ำทิ้งที่เสริมด้วยสารอาหารต่างๆ ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

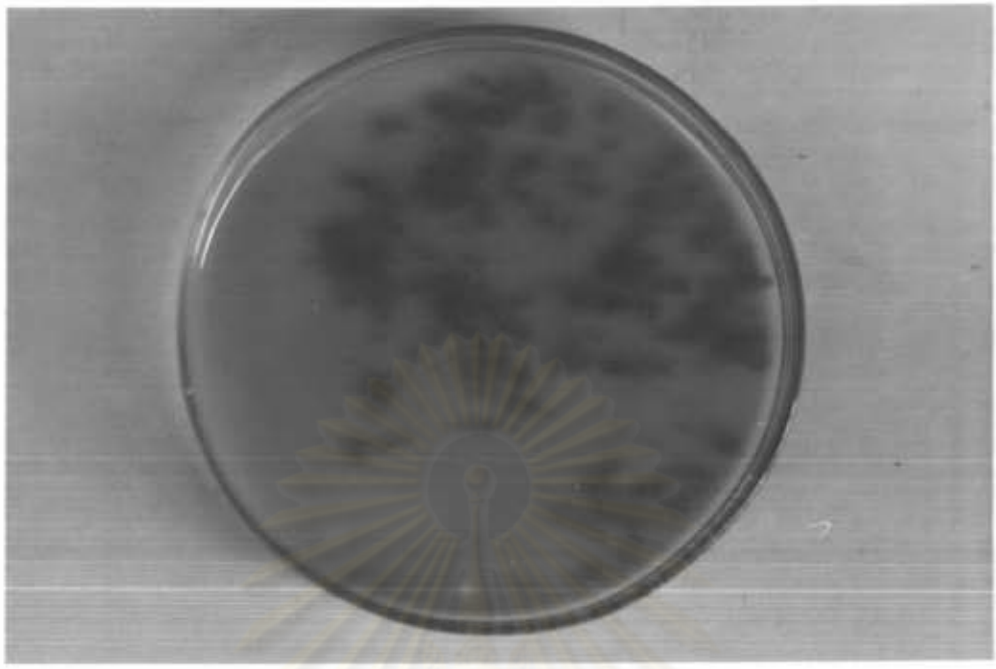
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในสูตรอาหารน้ำทิ้งที่เสริมด้วยสารอาหารในปริมาณต่างๆ ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำเพาะ 0.0528 ต่อชั่วโมง สูตรอาหารที่เติมไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้ง 0.6125 กรัมต่อลิตร และมีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.0490 ต่อชั่วโมง ส่วนสายพันธุ์ 55.5 สูตรอาหารที่เติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้ง 0.2518 กรัมต่อลิตร และ มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.0367 ต่อชั่วโมง สูตรอาหารที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้ง 0.5432 กรัมต่อลิตร และ มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.0455 ต่อชั่วโมง สูตรอาหารที่เติมไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้ง 0.4800 กรัมต่อลิตร และ มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.0423 ต่อชั่วโมง ทั้งสองสายพันธุ์เซลล์ที่ได้จะมีลักษณะจับกันเป็นฟลอคดังรูปที่ 4.6 ส่วนที่ไม่ใช่เซลล์หรือส่วนของอาหารจะมีลักษณะใ แต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 1.5 กรัมต่อลิตรหลังจากชั่วโมงที่ 36 ส่วนน้ำของอาหารจะเริ่มมีเซลล์ที่หลุดไม่จับรวมตัวกันทำให้เห็นส่วนน้ำนั้นมีสีแดง เกี่ยวกับเรื่องนี้ได้เคยมีรายงานของ Hiraishi และ Kitamura (1984) ได้รายงานเกี่ยวกับผลของการใช้ปริมาณฟอสฟอรัสเข้มข้นสูงที่มีต่อแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodopseudomonas species* ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง ความเข้มแสง 9,000 ลักซ์ พบว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะทนต่อปริมาณฟอสเฟตไม่เท่ากัน โดยความสามารถในการทนทานต่อปริมาณฟอสเฟตจะเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ คือ *Rhodopseudomonas sphaeroides* มากกว่า *R.palustris* มากกว่า *R.gelatinosa* มากกว่า *R.capsulata* และ พบว่า *R.sphaeroides* สามารถเจริญได้ในฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิโมล(mM) ในขณะที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอีกสามสายพันธุ์ไม่สามารถเจริญได้ นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนก็มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์เช่นกัน สุเมธ (2530) พบว่าแบคทีเรียทั่วๆไปถ้ามีธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะเป็นพิษต่อเซลล์แบคทีเรียหรือทำให้เปลี่ยนสภาพแบคทีเรียได้เช่น การเกิดตะกอนของแบคทีเรียลอยตัวหลุดออกมาจากระบบ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนบีโอดี:ฟอสฟอรัส ของสูตรอาหารเสริมทั้งสามสูตรที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 100:26-47 (จากการคำนวณมวลโมเลกุล ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตรมีฟอสฟอรัส 0.47 กรัมต่อลิตร โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต

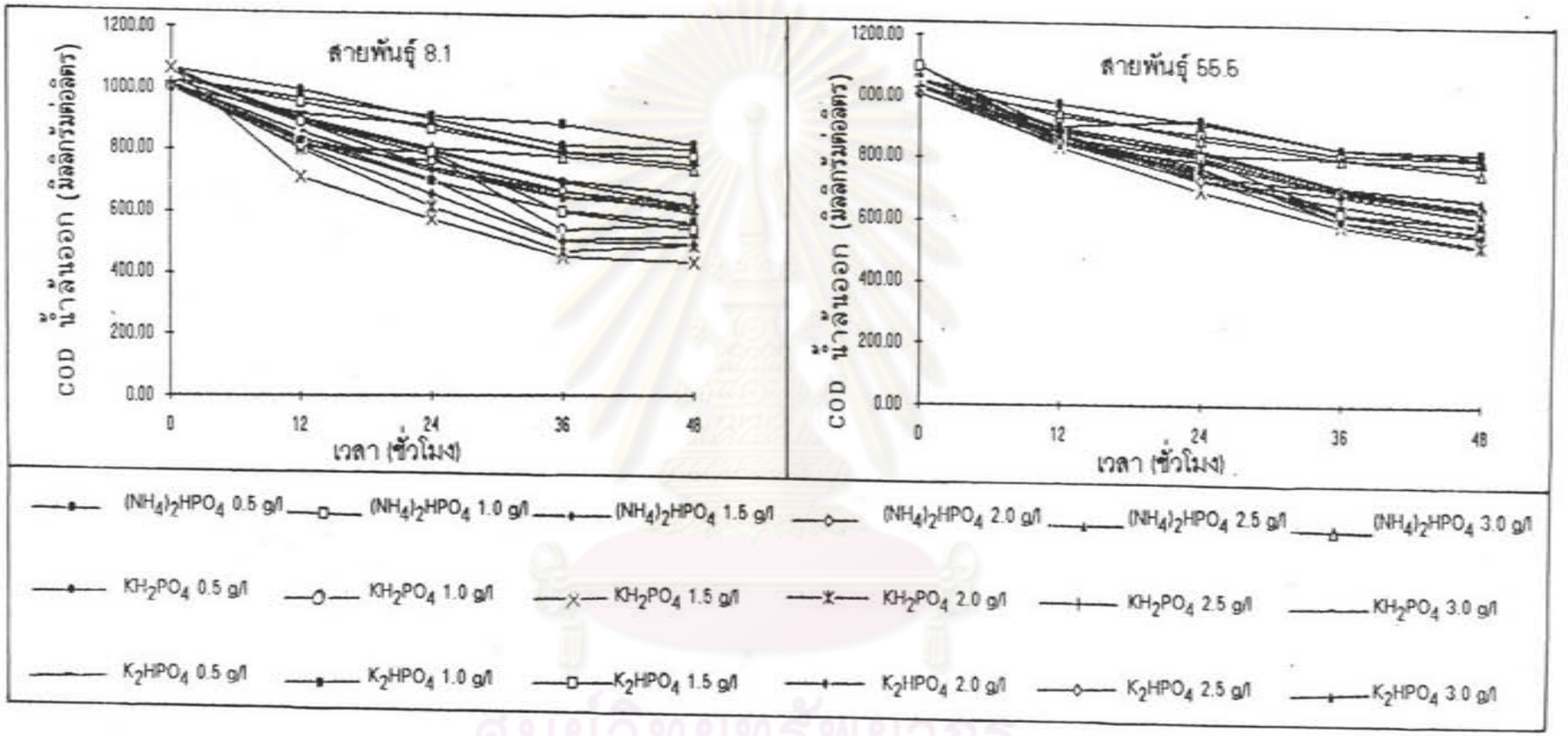


รูปที่ 4.6 เซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ในสูตรอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 36 ชั่วโมง เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

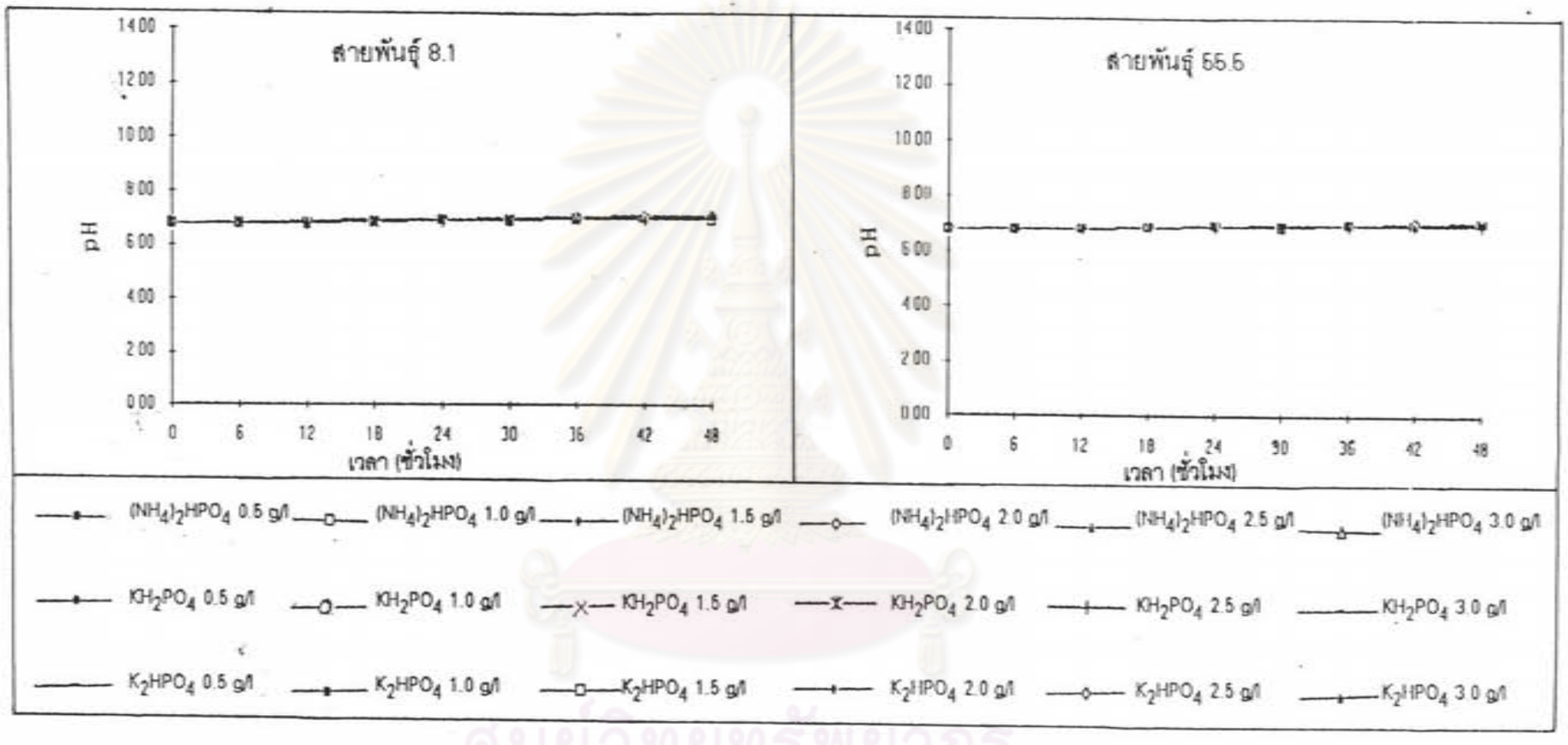
และไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร มีฟอสฟอรัส 0.34 และ 0.26 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนบีโอดี:ฟอสฟอรัส ของระบบบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ออกซิเจนซึ่งมีค่าเท่ากับ 100:1 (สุรพล,2531) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเตรียมอาหารน้ำทิ้งจะต้องมีการต้มเพื่อตกตะกอนโปรตีนออกบางส่วนและกรองตะกอนส่วนนี้ทิ้งก่อนจะเติมสารอาหาร เพื่อไม่ให้เกิดตะกอนในอาหารหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อ ความร้อนอาจทำให้ฟอสฟอรัสทั้งที่อยู่ในน้ำทิ้งและในสารอาหารเสริมที่เติมไป เกิดการตกตะกอนหรือเปลี่ยนรูปไปบ้างบางส่วน ดังนั้น จึงต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่าความต้องการของระบบบำบัดน้ำทิ้งทั่วไป และเมื่อพิจารณาค่าซีโอดีดังรูปที่ 4.7 แสดงการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดีระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์ จากผลการทดลอง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 สูตรอาหารที่เติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตรสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงที่สุดเท่ากับ 41.99 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงที่สุดเท่ากับ 59.55 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่เติมไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงที่สุดเท่ากับ 51.25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ 55.5 สูตรอาหารที่เติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงที่สุดเท่ากับ 39.82 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1.5 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงที่สุดเท่ากับ 52.42 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่เติมไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงที่สุดเท่ากับ 49.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของทุกสูตรอาหารทั้ง 2 สายพันธุ์ จะเห็นว่าเริ่มต้นที่พีเอช 6.8 เท่ากัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองทุกสูตรอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และแต่ละสูตรจะมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชแตกต่างกันไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.8

จากการทดลองสรุปได้ว่าสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 เพาะเลี้ยงได้ดีในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้นที่มีการเจริญและลดปริมาณสารอินทรีย์สูงที่สุด คือ 1.5 กรัมต่อลิตร และสายพันธุ์ 8.1 มีการเจริญและลดปริมาณสารอินทรีย์ดีกว่าสายพันธุ์55.5



รูปที่ 4.7 การลดปริมาณสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี) ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในสูตรอาหารน้ำทิ้งที่เสริมด้วยสารอาหารในปริมาณต่างๆ ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในสูตรอาหารน้ำทิ้งที่เสริมด้วยสารอาหารในปริมาณต่างๆ ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

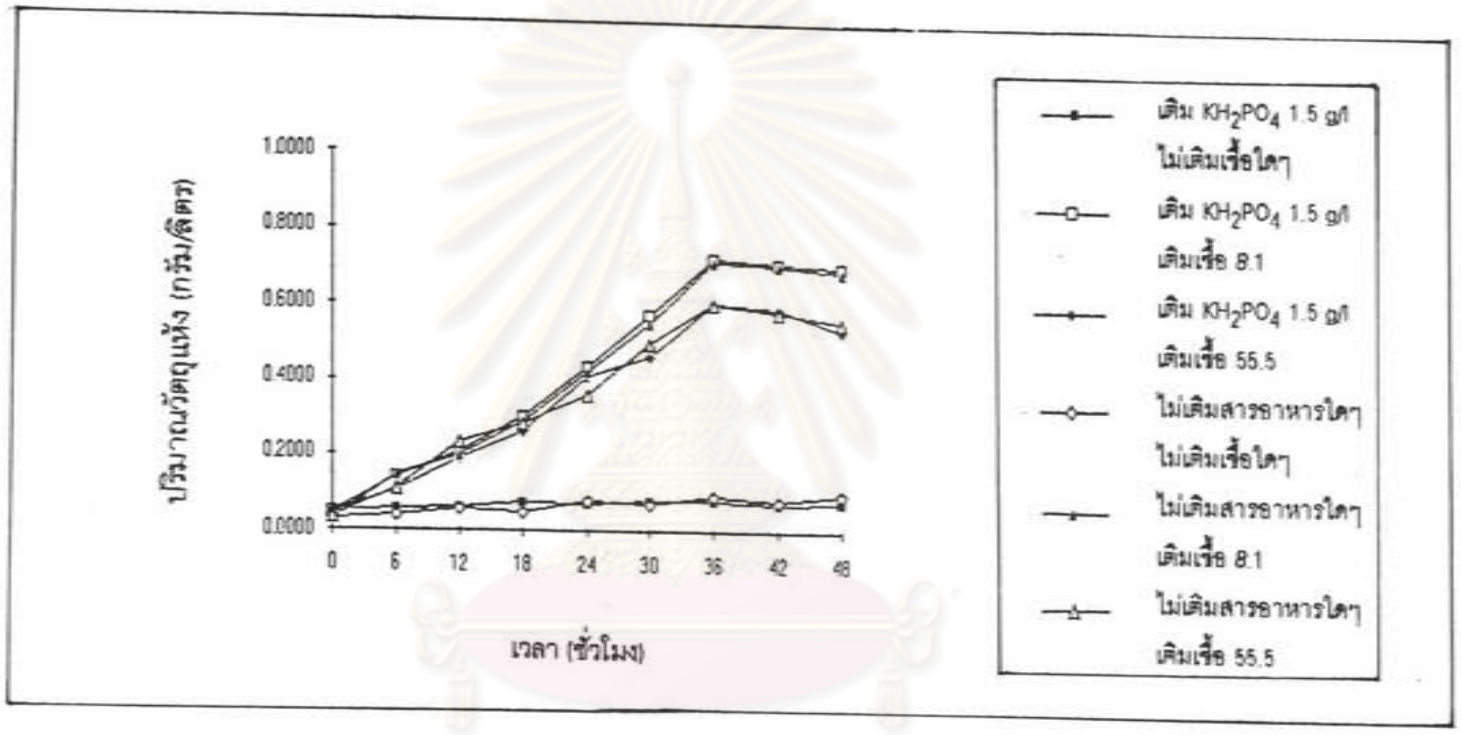
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การศึกษาระบบหมักแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบกะขนาด 1,500 มิลลิลิตร

เมื่อทำการทดลองโดยเปรียบเทียบแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 2 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในอาหารน้ำทิ้งเติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งที่ไม่ได้เติมสารอาหารในขวดแบบรูห์(Rhoux)ขนาด 1.5 ลิตร เลี้ยงภายใต้สภาวะมีอากาศน้อย-มีแสง โดยส่องไฟด้วยความเข้มแสงประมาณ 3,000-5,000 ลักซ์ และ ไม่ปลอดเชื้อ ข้อมูลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. (ตาราง ค10-ค14)

รูปที่ 4.9 แสดงการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 จากการทดลองพบว่า เมื่อไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ใดๆจะไม่มีการเจริญเกิดขึ้นทั้งในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร เมื่อเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ลงในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตรและน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร วิเคราะห์การเจริญได้ปริมาณวัตถุแห้งสูงสุดที่เวลา 36 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 0.7197 และ 0.7100 กรัมต่อลิตรตามลำดับ มีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.0533 และ 0.0528 ต่อชั่วโมงตามลำดับ หลังจากชั่วโมงที่ 36 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงลดลง ส่วนสายพันธุ์ 55.5 ในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร วิเคราะห์การเจริญได้ปริมาณวัตถุแห้งสูงสุดที่เวลา 36 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.5985 และ 0.6000 กรัมต่อลิตรตามลำดับ มีอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 0.0453 และ 0.0462 ต่อชั่วโมงตามลำดับ หลังจากชั่วโมงที่ 36 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงลดลง รูปที่ 4.10 แสดงการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง แบบกะในขวดแบบรูห์ 1.5 ลิตร ในสภาวะมีอากาศน้อย-มีแสง และไม่ปลอดเชื้อ

รูปที่ 4.11 แสดงการลดปริมาณสารอินทรีย์(ค่าซีโอดี)ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 จากการทดลองพบว่า เมื่อไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ทั้งในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร สามารถลดซีโอดีได้เพียง 21.21 และ 18.35 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ลงในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5

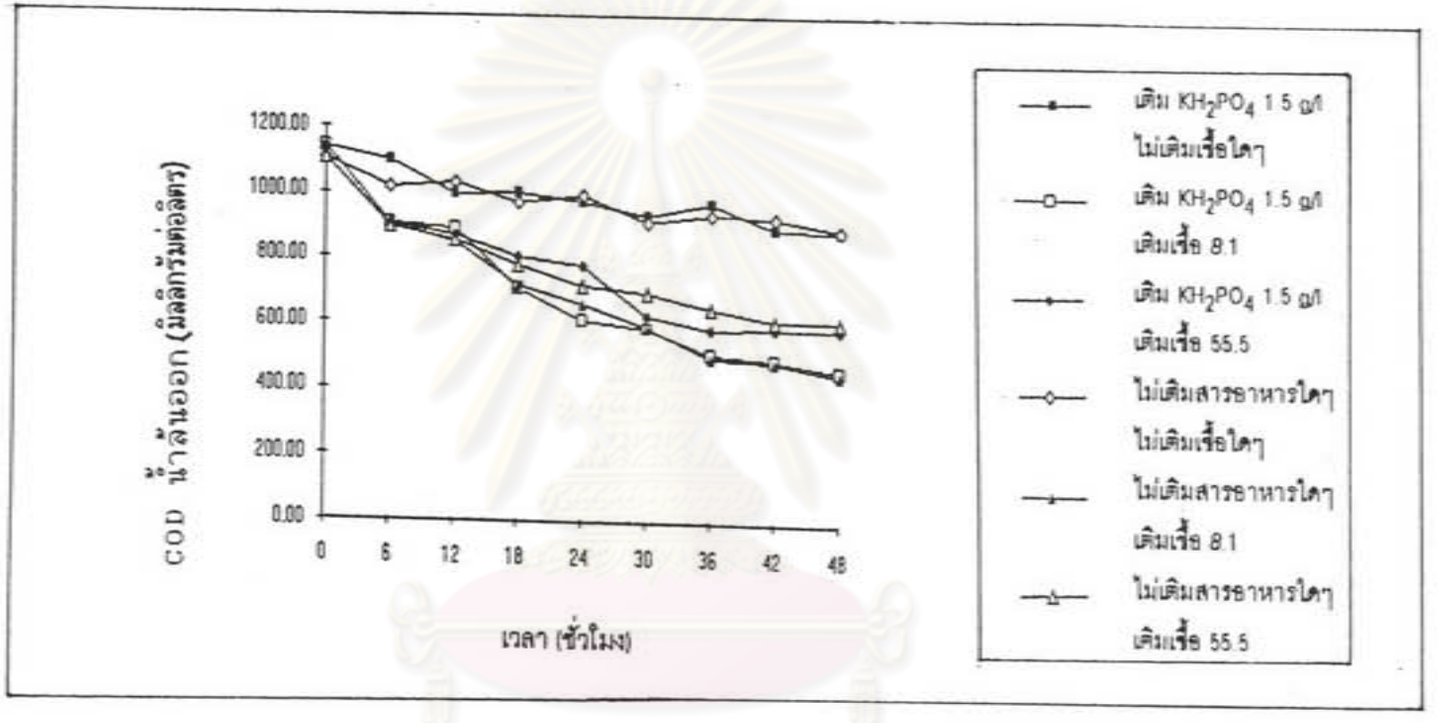


รูปที่ 4.9 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในขวดแบบรูหัวความจุ 1,500 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.10 การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียลังเคราะห์แสง สายพันธุ์ S.1 ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งแบบกะในขวดแบบรูห์ความจุ 1,500 มิลลิลิตร ที่เวลา 36 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



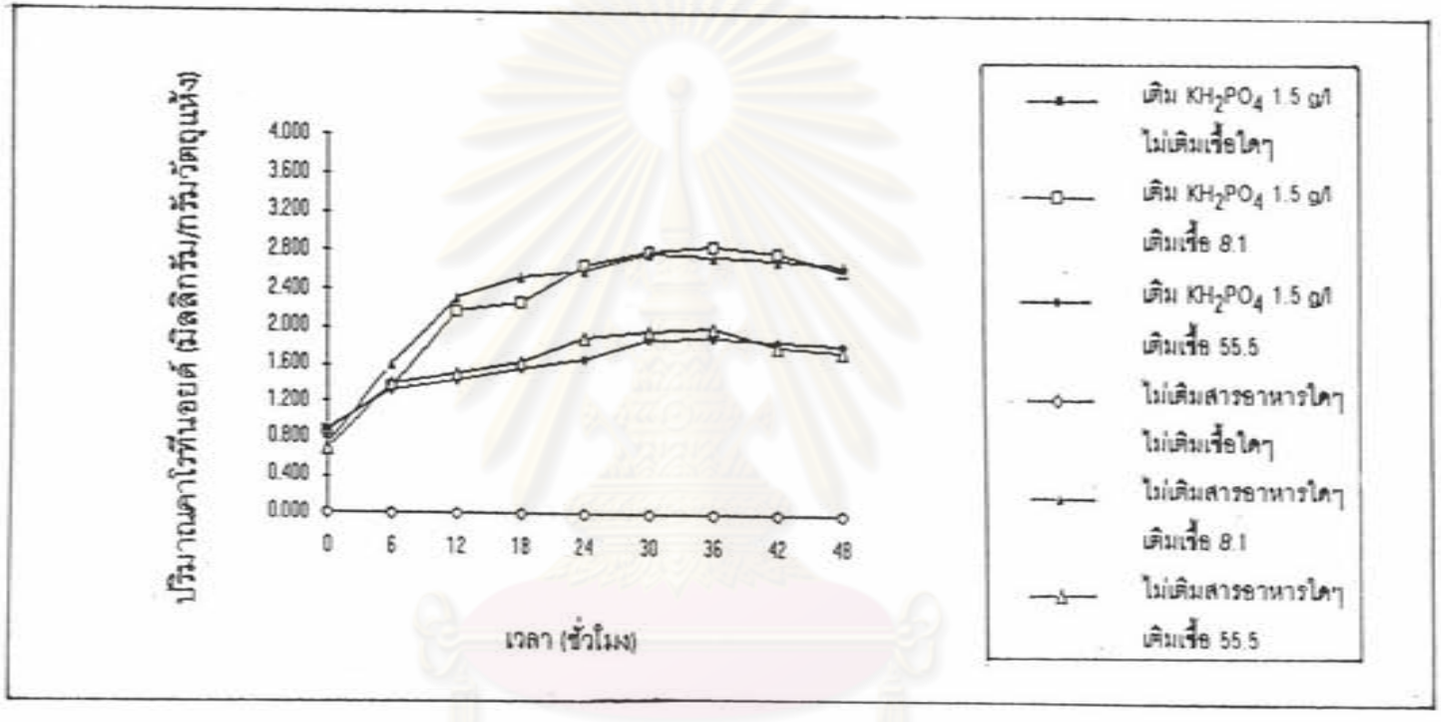
รูปที่ 4.11 การลดปริมาณสารอินทรีย์(ค่าซีโอดี) ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในขวดแบบรูห์ ความจุ 1,500 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรัมต่อลิตรและน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร ลดค่าซีโอดีได้ 59.12 และ 58.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับภายใน 48 ชั่วโมง ส่วนสายพันธุ์ 55.5 ในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร ลดค่าซีโอดีได้ 48.48 และ 44.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับภายใน 48 ชั่วโมง

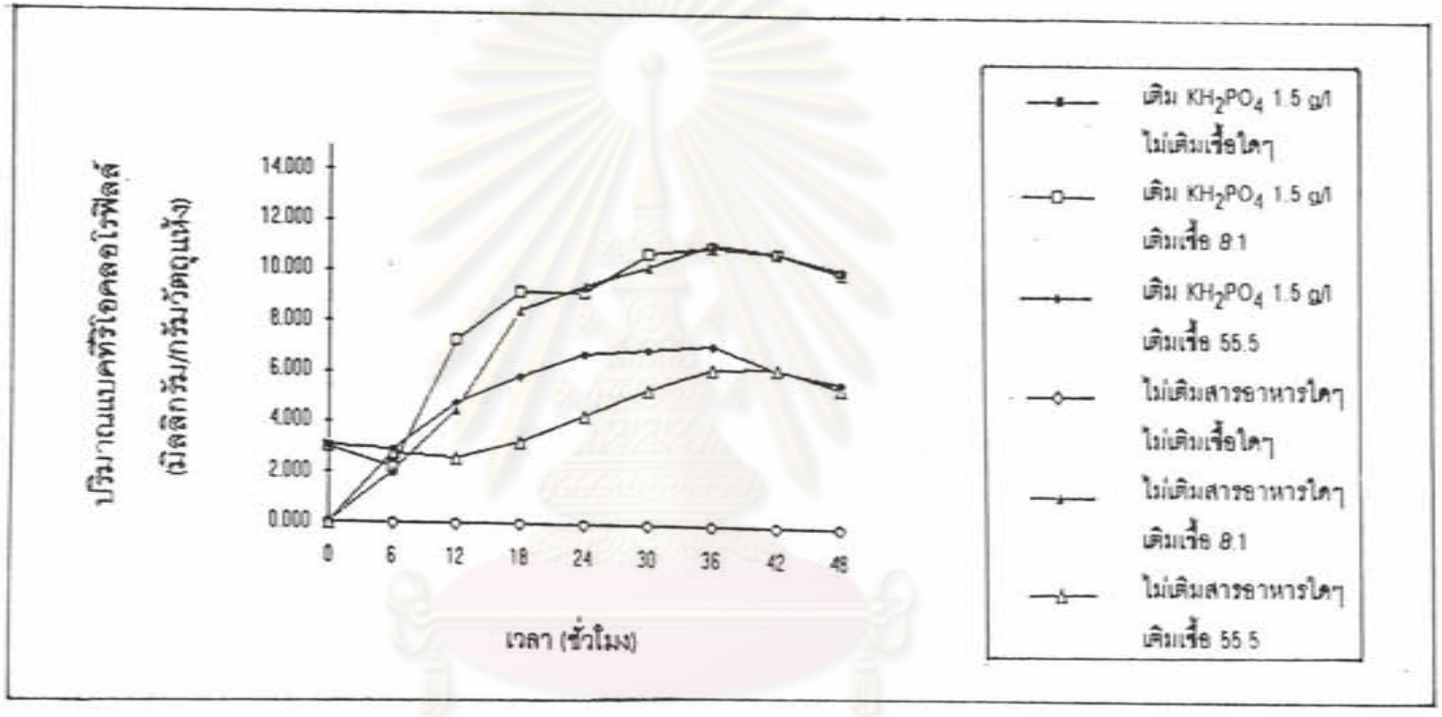
รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณคาโรทีนอยด์ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 จากการทดลองพบว่า เมื่อไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ทั้งในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และ น้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร ไม่มีการเจริญจึงไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณคาโรทีนอยด์ได้ และเมื่อเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ลงในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และ น้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร ได้ปริมาณคาโรทีนอยด์สูงสุดที่ 36 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 2.835 และ 2.730 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ หลังจากชั่วโมงที่ 36 การสร้างคาโรทีนอยด์เริ่มลดลง ส่วนสายพันธุ์ 55.5 ในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และ น้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร ได้ปริมาณคาโรทีนอยด์สูงสุดที่ 36 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 1.898 และ 2.005 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หลังจากชั่วโมงที่ 36 การสร้างคาโรทีนอยด์เริ่มลดลง

รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 จากการทดลองพบว่า เมื่อไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ทั้งในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหารไม่มีการเจริญเกิดขึ้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ได้ และเมื่อเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ลงในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหารได้ปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์สูงสุดที่เวลา 36 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 11.064 และ 11.208 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ หลังจากชั่วโมงที่ 36 การสร้างแบคทีริโอคลอโรฟิลล์เริ่มลดลง ส่วนสายพันธุ์ 55.5 ในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.5 กรัมต่อลิตร และ น้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร ได้ปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์สูงสุดที่เวลา 36 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 7.164 และ 6.208 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ หลังจากชั่วโมงที่ 36 การสร้างแบคทีริโอคลอโรฟิลล์เริ่มลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช



รูปที่ 4.12 ปริมาณคาโรทีนอยด์ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในขวดแบบรูพ่นความจุ 1,500 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



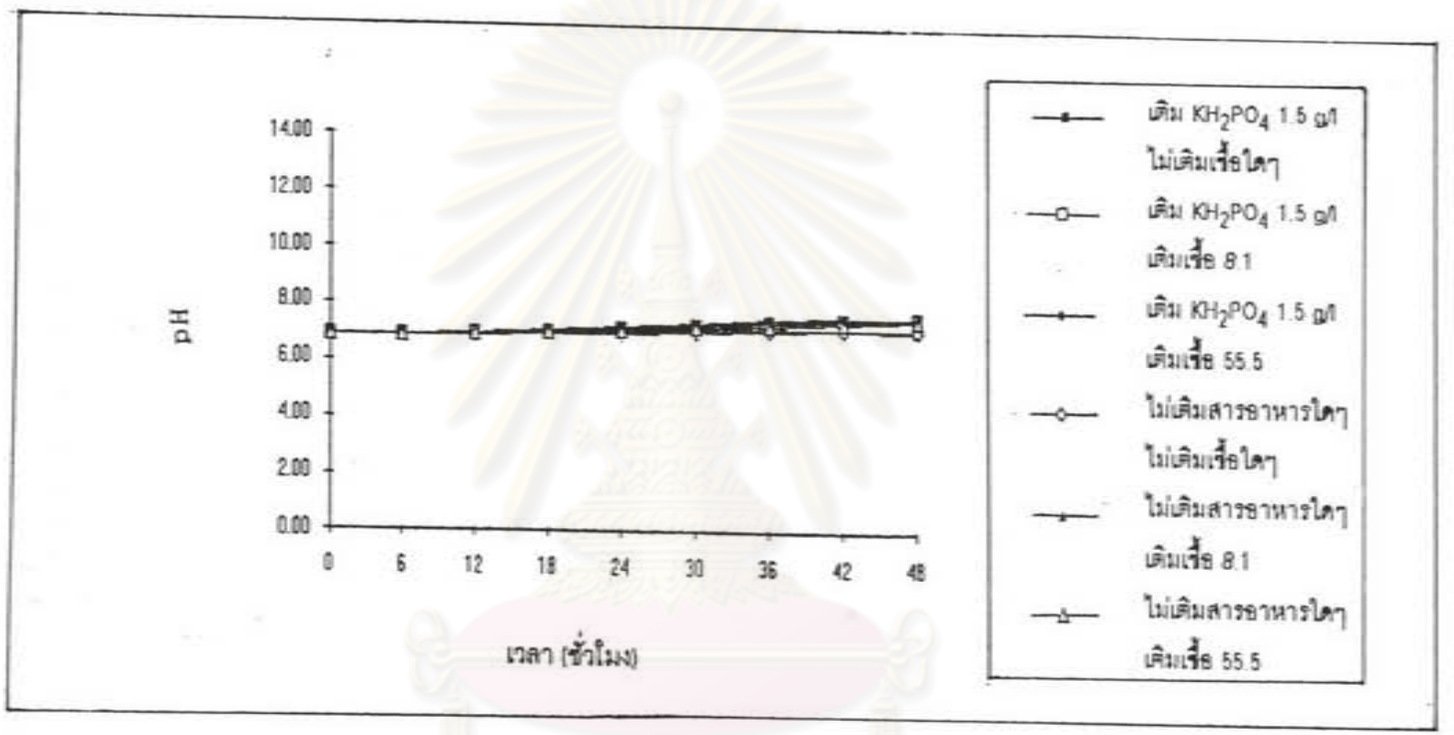
รูปที่ 4.13 ปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในขวดแบบรูหัดความจุ 1,500 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีความแตกต่างของการทดลองน้อยมากเช่นเดียวกับการทดลองอื่นๆที่กล่าวมาข้างต้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14

จากการทดลองจะเห็นว่าในสภาวะไม่ปลอดเชื้อเมื่อพิจารณาจากการเจริญ, อัตราการเจริญจำเพาะ , ความสามารถในการลดสารอินทรีย์ และ การสร้างรงควัตถุ จะเห็นว่าทั้งที่ไม่เติมเชื้อใดๆหรือจะเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 หรือ 55.5 เมื่อเลี้ยงในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตมีความแตกต่างกันน้อยมาก เมื่อเทียบกับเมื่อเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร และสายพันธุ์ 8.1 จะให้การเจริญโดยดูจากปริมาณวัตถุแห้ง, อัตราการเจริญจำเพาะ, ความสามารถในการลดสารอินทรีย์ และ การสร้างรงควัตถุ ที่มากกว่าเมื่อไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ใดๆ และ มากกว่าสายพันธุ์ 55.5 ทั้งเมื่อเลี้ยงในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจน และเมื่อเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร และเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงเชื้อในสภาวะปลอดเชื้อทั้งสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 จะเห็นว่าต้องการฟอสเฟตในการเจริญ ขณะที่ในสภาวะไม่ปลอดเชื้อไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆลงไปก็สามารถเจริญได้ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า ในสภาวะปลอดเชื้อเมื่อมีการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง ฟอสเฟตที่อยู่ในน้ำทิ้งคงมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบตัวอื่น เช่น แคลเซียมฟอสเฟต แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสองสายพันธุ์นี้จึงไม่สามารถใช้ฟอสเฟตในน้ำทิ้งได้ ดังนั้น จึงต้องเติมสารฟอสฟอรัสซึ่งอยู่ในรูปที่จะสามารถใช้ได้

จากผลการทดลองที่ผ่านมาสรุปได้ว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 มีการเจริญ และ การลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง ได้ดีกว่าสายพันธุ์ 55.5 และในสภาวะไม่ปลอดเชื้อ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งสองสายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหารน้ำทิ้งที่เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และ ในน้ำทิ้งที่ไม่เติมสารอาหาร อย่างไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งโดยไม่มีการเติมสารอาหารในสภาวะไม่ปลอดเชื้อ ที่เวลา 48 ชั่วโมง มีค่าพีเอช 7.45, ปริมาณวัตถุแห้ง 0.6848 กรัมต่อลิตร, อัตราการเจริญจำเพาะ 0.0528 ต่อชั่วโมง, ลดค่าซีโอดีได้ 58.82 เปอร์เซ็นต์,ปริมาณคาโรทีนอยด์และแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ 2.649 และ 10.286 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ



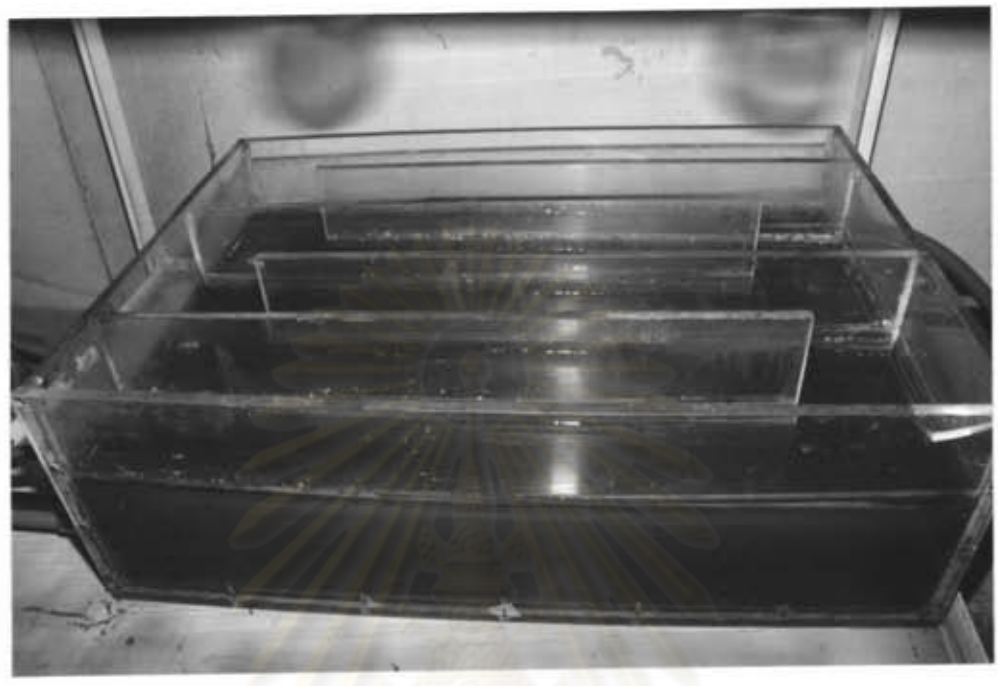
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 และ 55.5 ในขวดแบบรูหัวความจุ 1,500 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ระบบหมักแบคทีเรียลังเคราะห์แสง แบบกะ ขนาด 30 ลิตร

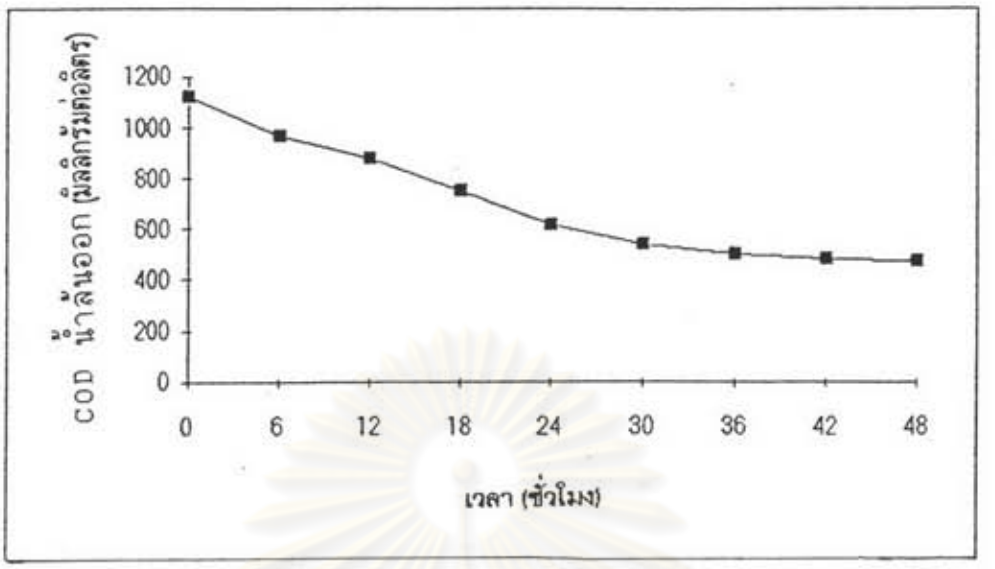
ทำการทดลองโดยใช้แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ซึ่งให้การเจริญ,การลดปริมาณสารอินทรีย์ และ การสร้างรงควัตถุ ได้ดีกว่าสายพันธุ์ 55.5 ทำการทดลองในถังหมักแบบเปิดปริมาตรรวม 30 ลิตร เลี้ยงแบคทีเรียลังเคราะห์แสงแบบไม่ต่อเนื่องภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อมีอากาศน้อย-มีแสง ล่องไฟด้านบนด้วยความเข้มแสง 3,000-4,000 ลักซ์ และไม่ควบคุมอุณหภูมิวัดได้ 38-40 องศาเซลเซียส ข้อมูลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ค.(ตาราง ค15) รูปที่ 4.15 แสดงการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง แบบกะในถังหมักเปิดขนาด 30 ลิตร ในสภาวะมีอากาศน้อย-มีแสง และไม่ปลอดเชื้อ รูปที่ 4.16 แสดงการลดปริมาณสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี) พบว่า ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าซีโอดีจะลดลงจนภายหลัง 48 ชั่วโมง สามารถลดค่าซีโอดีได้ 57.63 เปอร์เซ็นต์ โดยจากค่าซีโอดีเริ่มต้นจาก 1120.13 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 474.57 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณวัตถุแห้งจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 36 มีค่าเท่ากับ 0.7186 กรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.05 ต่อชั่วโมง หลังจากชั่วโมงที่ 36 การเจริญจะคงที่และเริ่มลดลง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 ส่วนการสร้างรงควัตถุระหว่างการเจริญซึ่งแสดงไว้ในรูป 4.18 พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสามารถสร้างรงควัตถุได้เพิ่มขึ้น โดยปริมาณคาโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นรวดเร็วจนถึงชั่วโมงที่ 12 หลังจากนั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นน้อย จนมีค่าสูงสุด 2.822 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้งที่ชั่วโมง 42 ส่วนปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์จะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุด 7.671 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ที่ชั่วโมง 36 หลังจากนั้นปริมาณแบคทีริโอคลอโรฟิลล์เริ่มลดลง ตลอดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพียงเล็กน้อย ดังแสดงไว้ในรูป 4.19

จากผลการทดลองระบบหมักแบบกะขนาด 30 ลิตร ที่เวลา 48 ชั่วโมง มีค่าพีเอช 7.80 , ปริมาณวัตถุแห้ง 0.6978 กรัมต่อลิตร , อัตราการเจริญจำเพาะ 0.050 ต่อชั่วโมง, ลดค่าซีโอดีได้ 57.63 เปอร์เซ็นต์ , ปริมาณคาโรทีนอยด์และแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ 2.786 และ 7.022 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

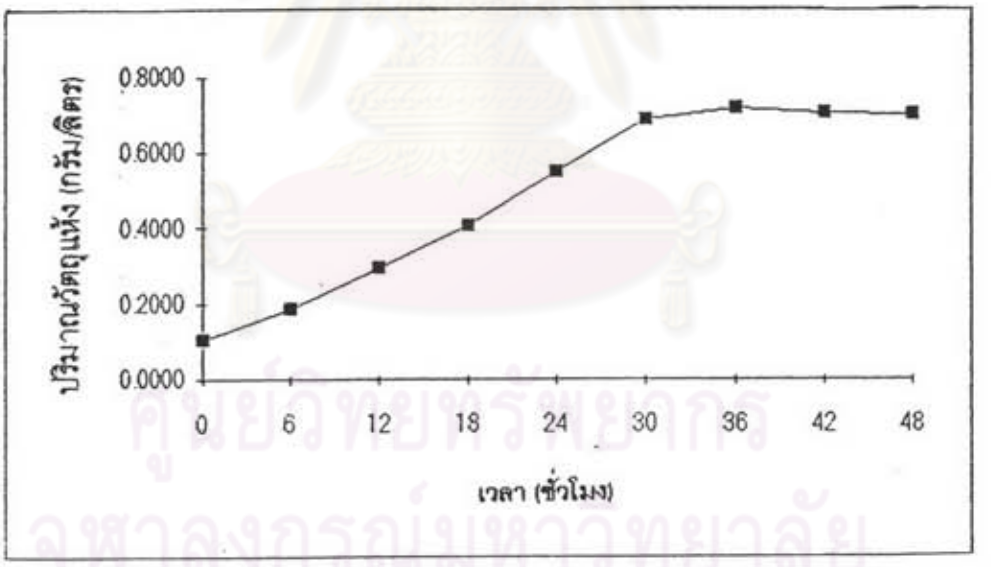


รูปที่ 4.15 การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง แบบกะในถังหมักแบบเปิด ที่เวลา 36 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้ออากาศน้อย-มีแสง

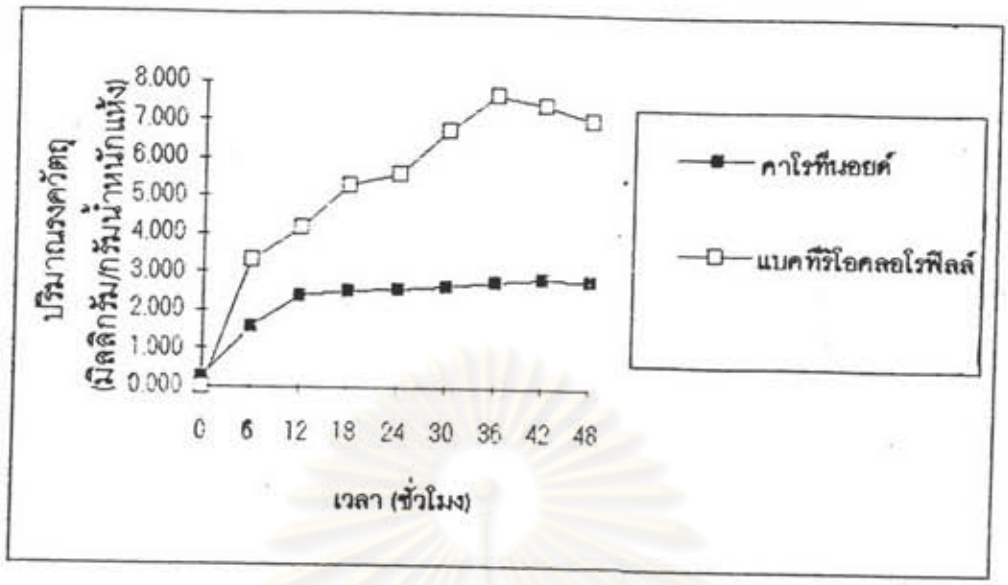
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



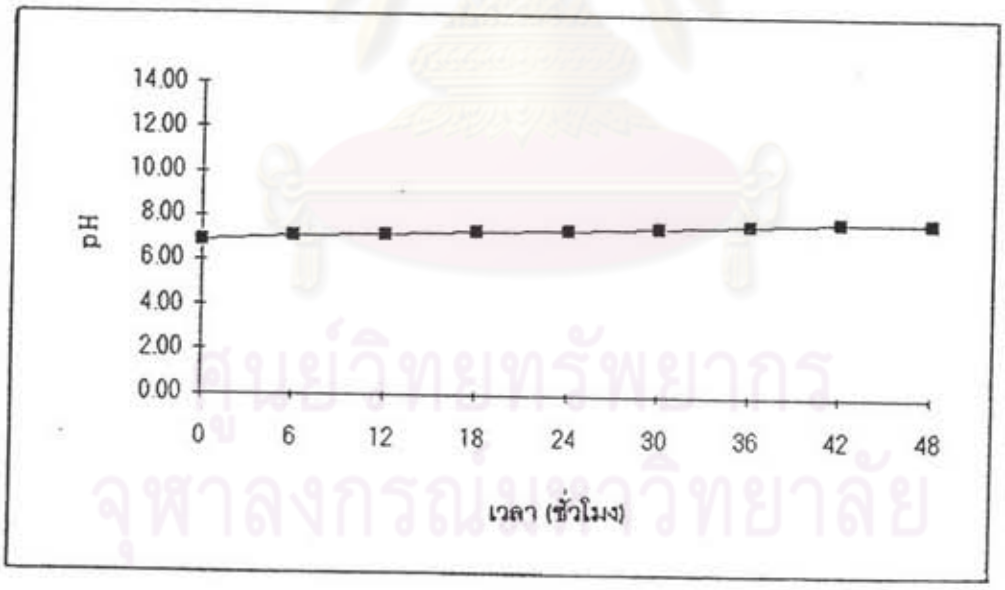
รูปที่ 4.16 การลดปริมาณสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี)ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1แบบกะในถังหมักแบบเปิด ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้ออากาศน้อย-มีแสง



รูปที่ 4.17 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบกะในถังหมักแบบเปิด ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง



รูปที่ 4.18 ปริมาณรงควัตถุระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบกะในถังหมักแบบเปิด ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง



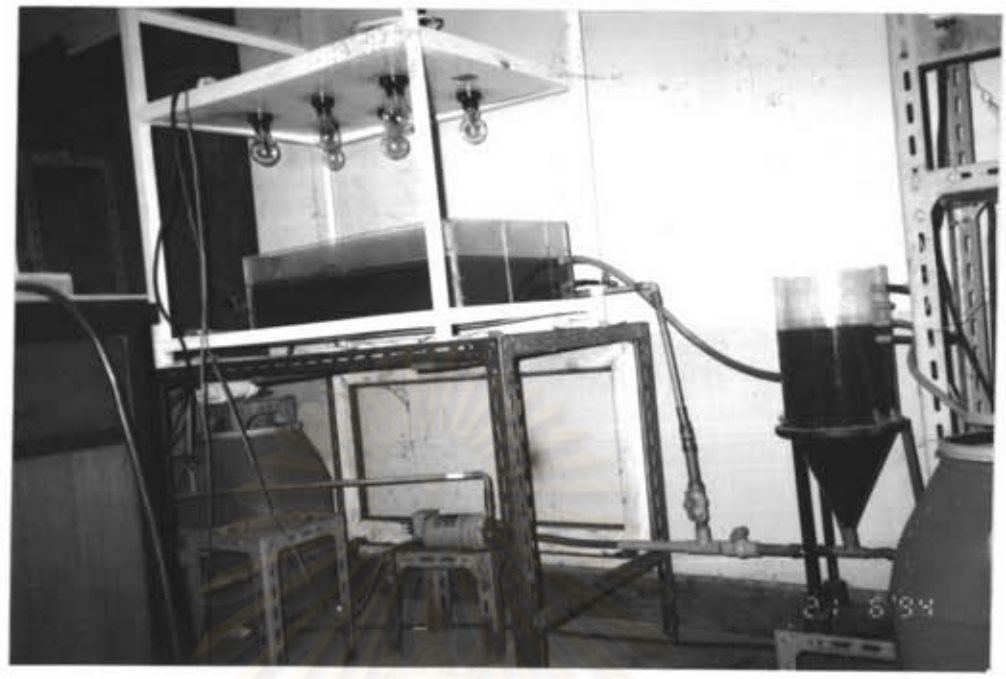
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบกะในถังหมักแบบเปิด ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

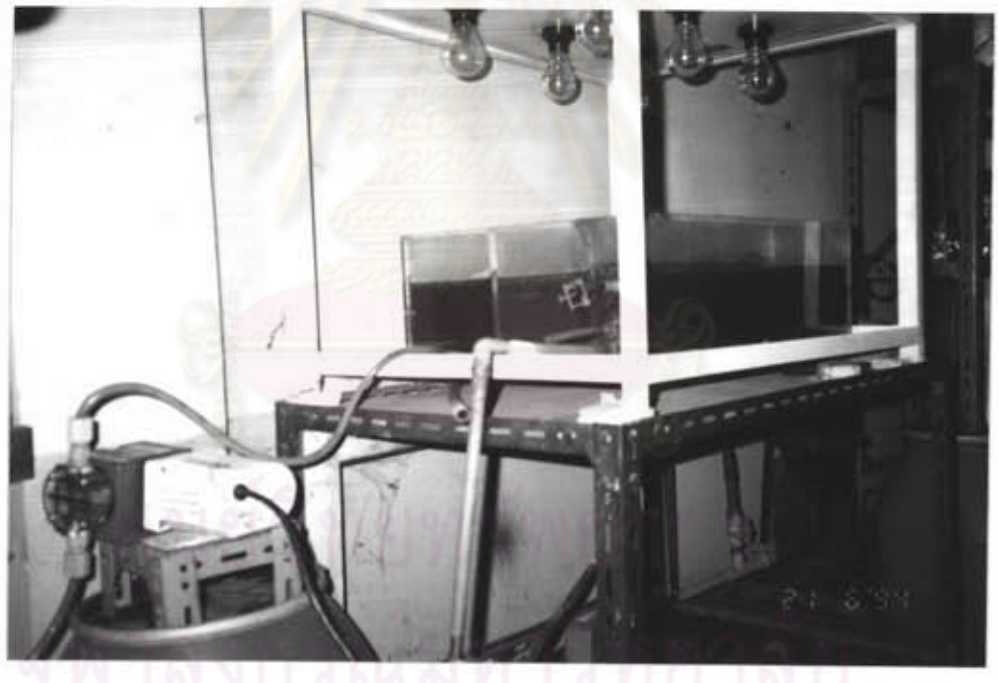
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ระบบหมักแบคทีเรียลังเคราะห์แสง แบบต่อเนื่อง

การทดลองในถังหมักแบบเปิดปริมาตรรวม 30 ลิตร เลี้ยงแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบต่อเนื่องมีการป้อนอาหารน้ำทิ้งเข้าสู่ถังหมักอย่างต่อเนื่อง ด้วยปั๊มป้อนอาหารเข้า มีการใช้ปั๊มหมุนเวียนภายในถังหมักและนำเซลล์ที่ตกตะกอนภายในถังตกตะกอนหมุนเวียนมาใช้ในถังหมัก ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ วัดได้ 38-40 องศาเซลเซียส เลี้ยงภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อมีอากาศน้อย-มีแสงโดยส่องไฟด้านบนด้วยความเข้มแสง 3,000-4,000 ลักซ์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.20 แต่ละการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) การพิจารณาว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อประสิทธิภาพการลดปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณเซลล์ในถังหมักคงที่ ข้อมูลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. (ตารางที่ ค16-ค21 และ รูปที่ ค1-ค4) ตารางที่ 4.3 แสดงค่าดรรชนีต่างๆ และ ประสิทธิภาพของระบบหมักที่ทดลอง ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) โดยเฉลี่ยประมาณ 7 วัน จะทำการทดลองถึงวันที่ 12 ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวนี้อาจมีการแปรเปลี่ยนได้ ขึ้นกับการที่ระบบถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมของระบบ ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมมาก แบคทีเรียในระบบจะต้องใช้เวลาในการปรับตัวยาวนานขึ้นกว่าที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังนั้น ในการทำการทดลอง จึงควรทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน เช่น อุณหภูมิ , ความเข้มแสง และ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน เป็นต้น สำหรับรายละเอียดของผลการทดลองจะได้กล่าวถึงต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.20 การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบต่อเนื่องในถังหมักแบบเปิดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่เวลา 12 วัน ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้ออากาศน้อย-มีแสง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

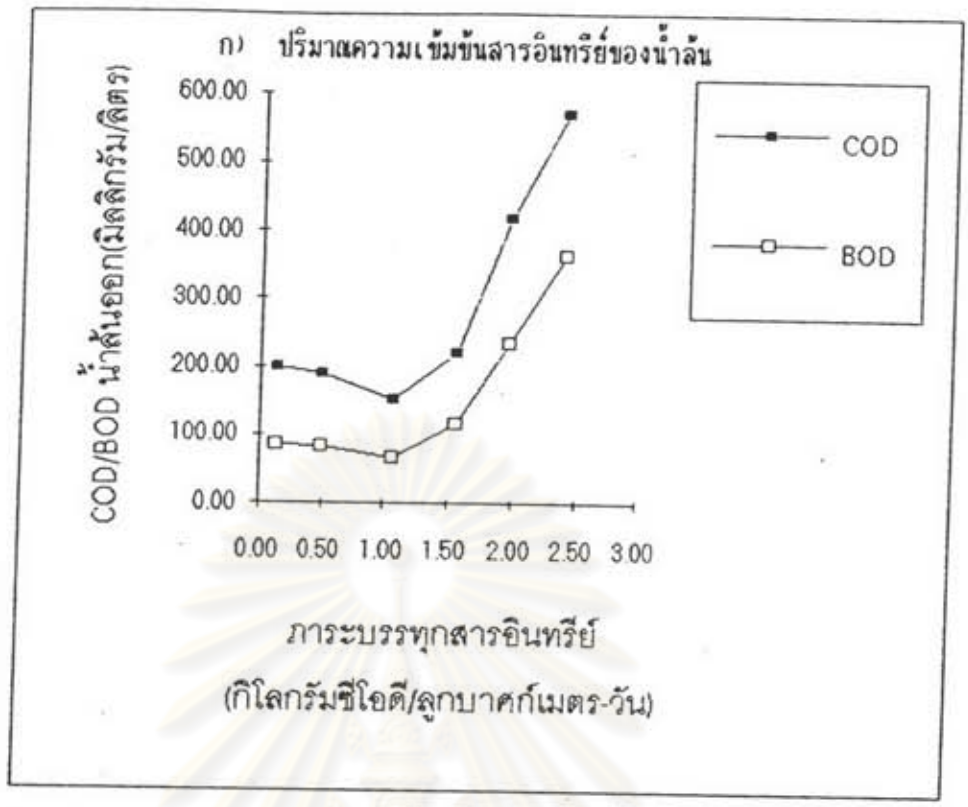
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์		กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	0.13	0.49	1.07	1.66	1.97	2.41
อัตราการป้อนสารอินทรีย์		ลิตร/วัน	3.75	13.74	29.95	42.17	64.18	67.31
ระยะเวลาเก็บกัก		ชั่วโมง	192.0	52.3	24.0	16.6	13.2	10.8
สารอินทรีย์ที่ป้อน	pH		7.0	7.1	7.0	6.9	7.0	6.9
	COD	มิลลิกรัม/ลิตร	1066	1078	1075	1111	1093	1074
	BOD	มิลลิกรัม/ลิตร	767	833	803	853	853	847
น้ำทิ้งหลังการบำบัด	pH		7.3-8.0	7.3-7.85	7.3-7.9	7.4-7.8	7.3-7.8	7.2-7.75
	CODที่สภาวะคงตัว	มิลลิกรัม/ลิตร	199	190	151	221	416	569
	% COD removal		81.4	82.4	85.9	80.1	61.9	46.9
	BODที่สภาวะคงตัว	มิลลิกรัม/ลิตร	86	83	66	117	234	362
	%BOD removal		88.8	90.0	91.8	86.3	72.6	57.2
ปริมาณวัตถุแห้งสูงสุดในถังหมัก		กรัม/ลิตร	0.8179	1.0086	1.1761	0.8106	0.6510	0.6261
ปริมาณรงควัตถุสูงสุด	คาโรทีนอยด์	มิลลิกรัม/กรัมวัตถุแห้ง	3.674	4.647	4.948	4.294	2.893	2.876
	แบคทีริโอคลอโรฟิลล์	มิลลิกรัม/กรัมวัตถุแห้ง	16.667	20.266	24.896	20.296	13.279	13.888

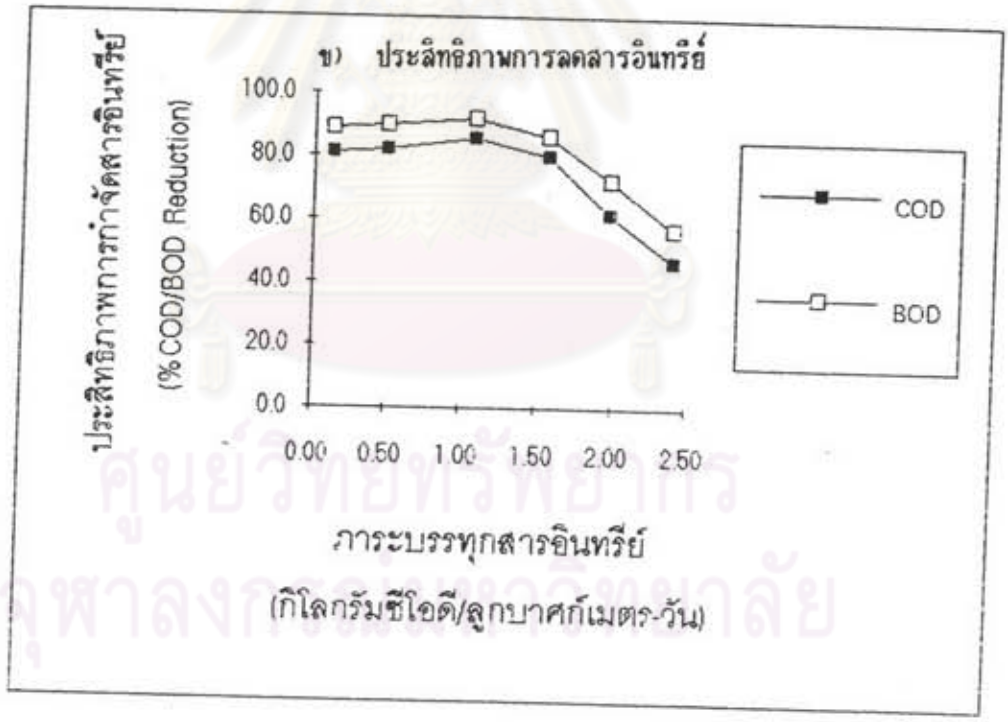
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์

ในการทดลองนี้ได้ควบคุมที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ การเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ทำโดยปรับอัตราการป้อนน้ำทิ้งให้สูงขึ้นและให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบในแต่ละวันคงที่ ดังนั้นเมื่อปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์เป็น 3.75,13.74,29.95, 42.17,54.18 และ 67.31 ลิตรต่อวัน จะได้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.13,0.49,1.07, 1.56,1.97 และ 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ที่ปริมาตรถังตกตะกอน 8 ลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ สามารถพิจารณาได้จากค่าซีโอดี และ บีโอดีที่ลดลง (% COD และ BOD reduction) รูปที่ 4.21 แสดงปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์ของน้ำล้นออกจากระบบบำบัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ แบบต่อเนื่อง พบว่า ค่าซีโอดีและบีโอดีที่ลดลงสำหรับระบบนี้อยู่ในช่วง 46.92-85.94 และ 57.19-91.80 เปอร์เซ็นต์ที่สภาวะคงตัว โดยที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.13,0.49,1.07,1.56, 1.97 และ 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะมีระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งเท่ากับ 192.0,52.3,24.0,16.6,13.2 และ 10.8 ชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 0.13 ถึง 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งจะลดลง และความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 1.0 จนถึง 2.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักสารอินทรีย์ลดต่ำลงซึ่งทำให้ความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ลดลงอย่างมากโดยเฉพาะที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.97 และ 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากระบบสูญเสียแบคทีเรีย กล่าวคือที่อัตราการป้อนน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบสูงมากเกินไป ทำให้เซลล์แบคทีเรียถูกพาออกไปจากระบบ (wash out)

จากผลการทดลอง พบว่า ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์สูงสุดโดยการลดซีโอดีและบีโอดี ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เหมาะสมนี้ มีค่าเท่ากับ 85.94 และ 91.80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

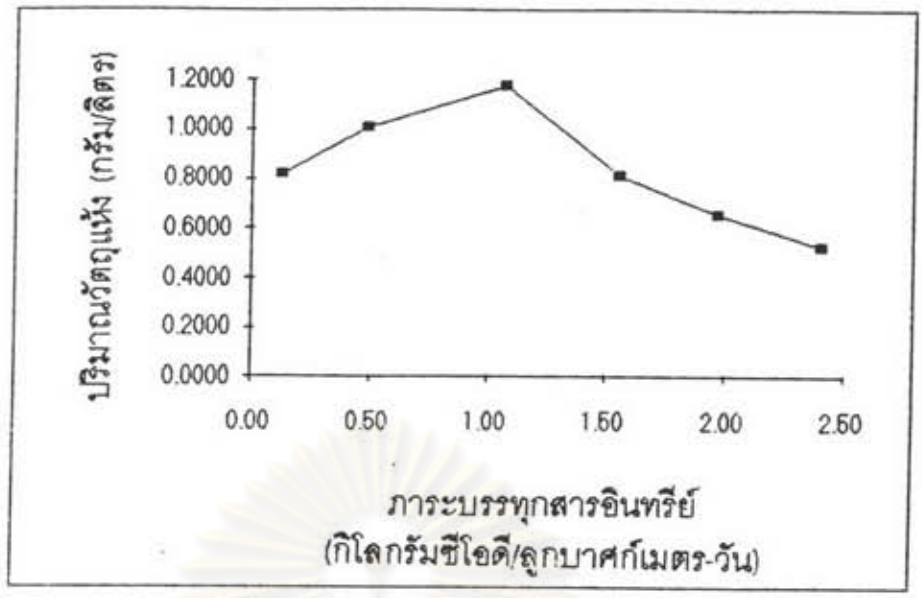




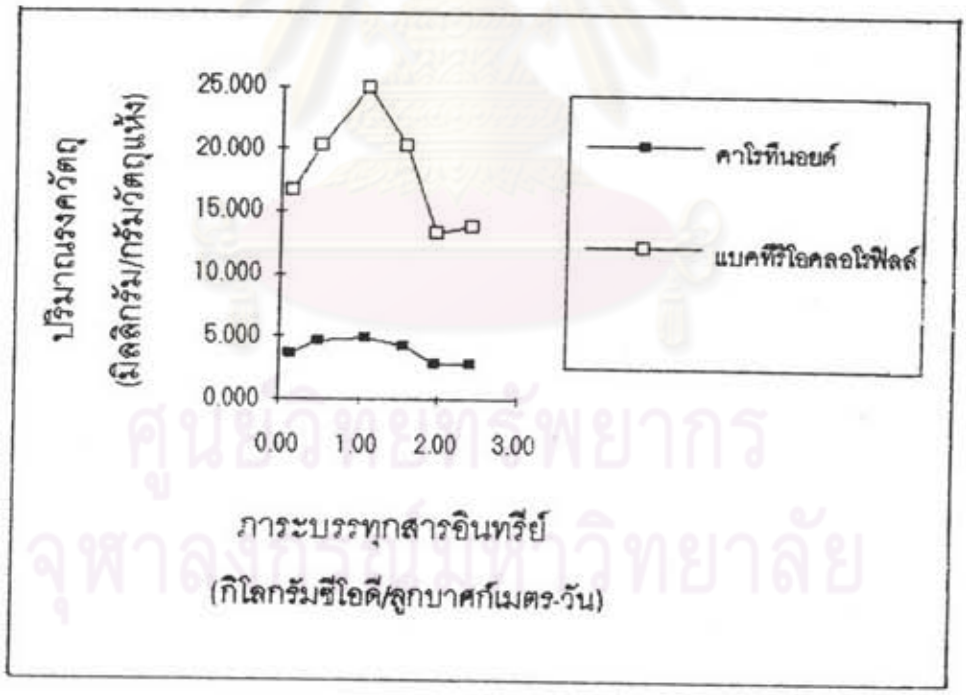
รูปที่ 4.21 ปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์ของน้ำล้น และ ประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ S.1 แบบต่อเนื่องในถังหมักแบบเปิดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

4.6.2 ปริมาณแบคทีเรียในระบบ

รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณแบคทีเรียในระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ปริมาตรถังตกตะกอน 8 ลิตร โดยปริมาณแบคทีเรียในระบบวัดเป็นวัตถุแห้ง โดยในช่วงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.13-1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มสูงขึ้น เมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 1.07 จนถึง 2.41กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณแบคทีเรียในระบบมีค่าลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณวัตถุแห้งสูงสุดของระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.07 และ 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าเท่ากับ 1.1751 และ 0.5251 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีปริมาณแบคทีเรียในระบบน้อยกว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประมาณสองเท่าจากผลการทดลองข้อที่ 4.2 ถึง 4.5 จะเห็นว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 สามารถเจริญได้สูงสุดที่เวลา 36 ชั่วโมง ดังนั้น การทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.13,0.49 และ1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงมีแบคทีเรียที่อยู่ในช่วง log phase ในปริมาณที่มากกว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.56, 1.97 และ 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งแบคทีเรียอยู่ในช่วงที่เริ่มจะเข้าสู่ log phase ยังไม่ทันโตก็ต้องออกจากระบบ (wash out) ทำให้อัตราการเจริญของแบคทีเรียต่ำกว่าอัตราการที่ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากถังหมัก รูปที่ 4.23 แสดงปริมาณรงควัตถุของเซลล์แบคทีเรียในระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ โดยในช่วงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.13-1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณรงควัตถุสูงสุดของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 1.07 จนถึง 2.41 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณรงควัตถุสูงสุดของระบบจะมีค่าลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดซึ่งวัดในรูปวัตถุแห้ง



รูปที่ 4.22 การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบต่อเนื่องในถังหมักแบบเปิด ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง



รูปที่ 4.23 ปริมาณรงควัตถุของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 แบบต่อเนื่องในถังหมักแบบเปิด ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลอง พบว่า ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีปริมาณแบคทีเรียในระบบมากที่สุด คือมีค่า เท่ากับ 1.1751 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณรงควัตถุได้แก่ คาโรทีนอยด์และแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 4.948 และ 24.896 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

4.6.3 คุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสง

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในถังหมัก 30 ลิตร แบบต่อเนื่องที่ภาระบรรทุก 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อใช้ปริมาตรถังตกตะกอน 8 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่า เซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 มีปริมาณโปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, ไฟเบอร์ และ เถ้า เท่ากับ 52.38, 11.11, 7.94, 7.94 และ 20.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณคาโรทีนอยด์และแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 4.64 และ 24.71 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสง สายพันธุ์ 8.1 กับจุลินทรีย์ชนิดอื่น พบว่า แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 มีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Chlorella vulgari*(40.50 เปอร์เซ็นต์) รา *Chaetomium cellulolyticum* (45.0 เปอร์เซ็นต์) และยีสต์ *Saccharomyces anomalus* (50.50 เปอร์เซ็นต์) โปรตีนและรงควัตถุในเซลล์คือสารลิประเภทคาโรทีนอยด์นี้ พบว่า เป็นประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์ประเภทให้ไข่โดยการเพิ่มสีให้ไข่แดง และอาหารสำหรับปลาสวยงามโดยการเพิ่มสีผิว (Noparatnaraporn ,1987) ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า โปรตีนภายในเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนคือ ไลซีน, เมทไธโอนีน, ทรีโอนีน, ทริปโตเฟน, เวลีน, ไอโซลูซีน, ลูซีน, เฟนิลอะลานีน, ฮิสติดีน และอาร์จินีนในปริมาณ 2.11, 0.79, 2.14, 1.15, 2.06, 1.54, 3.18, 3.04, 0.84 และ 1.99 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนจำเป็น เมทไธโอนีน, ทริปโตเฟน และเฟนิลอะลานีนของโปรตีนในเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 มีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่พบในเซลล์ยีสต์ สาหร่าย และไข่ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยกรด

ตารางที่ 4.4 คุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียลังเคราะห์แสงสายพันธุ์ เพาะเลี้ยงในถังหมัก แบบต่อเนื่องที่ภาระบรรทุก 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	52.38
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	11.11
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	7.94
ไฟเบอร์ (เปอร์เซ็นต์)	7.94
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	20.63
รงควัตถุ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	
- คาโรทีนอยด์	4.64
- แบคทีเรียคลอโรฟิลล์	24.71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 กับสาหร่าย , รา และยีสต์

คุณค่าทางโภชนาการ (กรัม/100กรัมน.น.แห้ง)	แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1	สาหร่าย[1]	รา[1]	ยีสต์[1]
โปรตีน	52.38	40.50	45.00	50.50
ไขมัน	11.11	2.15	10.00	2.15
คาร์โบไฮเดรต	7.94	10-15	35.00	39.30
ไฟเบอร์	7.94	1-12	-	2.10
เถ้า	20.63	5-12	5.00	7.00

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่ได้วิเคราะห์

[1] ศิริลักษณ์ (2531)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 กับ เซลล์สาหร่าย , เซลล์ยีสต์ และไข่

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1	ยีสต์[1]	สาหร่าย[2]	ไข่[1]
กรดอะมิโนที่จำเป็น				
-ไลซีน	2.11	3.76	2.71	0.69
-เมทไธโอนีน	0.79	0.51	0.27	0.38
-ทรีโอนีน	2.14	2.63	2.28	0.44
-ทริปโตเฟน	1.15	0.66	-	0.16
-เวลีน	2.06	3.20	3.02	0.70
-ไอโซลูซีน	1.54	2.63	2.44	0.54
-ลูซีน	3.18	3.54	4.46	0.86
-เฟนิลอะลานีน	3.04	2.20	2.65	0.64
-ฮิสติดีน	0.84	0.90	1.06	-
-อาร์จีนีน	1.99	-	3.24	-

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่ได้วิเคราะห์

[1] Sasaki และคณะ (1981)

[2] Kobayashi และ Kurata (1978)

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1	ยีสต์[1]	สาหร่าย[2]	ไข่[1]
กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น				
-กรดแอสปาร์ติค	3.73	-	4.74	-
-ไทโรซีน	1.53	-	0.96	-
-ซิสตีน	0.35	-	-	-
-เซรีน	1.78	-	2.12	-
-กรดกลูตามิค	3.60	-	4.62	-
-โพรลีน	1.44	-	2.12	-
-ไกลซีน	2.16	-	2.28	-
-อะลานีน	2.89	-	2.98	-

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่ได้วิเคราะห์

[1] Sasaki และคณะ (1981)

[2] Kobayashi และ Kurata (1978)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อะมิโนชนิดอื่นๆอีก เช่น กรดแอสปาร์ติค, ไทโรซีน, ซิสตีน, เซรีน, กรดกลูตามิค, โพรลีน, ไกลซีน, อะลานีน ในปริมาณ 3.73, 1.53, 0.35, 1.78, 3.60, 1.44, 2.16, 2.89 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า คุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในถังหมัก 30 ลิตร แบบต่อเนื่องนี้มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเซลล์ของจุลินทรีย์อื่นที่ใช้เป็นอาหารเสริมในสัตว์ เช่น สาหร่าย *Chlorella vulgari*, รา *Chaetomium cellulolyticum* และยีสต์ *Saccharomyces anomalus* จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ 8.1 เป็นแหล่งทดแทนโปรตีน และสารสีประเภทคาโรทีนอยด์ในอาหารสัตว์

4.6.4 <u>เสถียรภาพของระบบหมักแบคทีเรียสังเคราะห์แสง</u>

เสถียรภาพของระบบหมัก ขึ้นกับการรักษาสมดุลการทำงานของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระบบหมัก สิ่งที่แสดงว่าเสถียรภาพของระบบลดลง คือ การลดลงอย่างรวดเร็วของปริมาณเซลล์แบคทีเรียในระบบ โดยเป็นเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงซึ่งมีสีแดงเห็นได้ชัดเจน สาเหตุที่อาจทำให้เสถียรภาพของระบบลดลง ได้แก่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป (over loading) ทำให้แบคทีเรียในระบบต้องการเวลาในการปรับตัวให้กับสภาวะในการทำงาน ซึ่งในช่วงนี้แบคทีเรียจะมีอัตราการเจริญของแบคทีเรียต่ำกว่าอัตราการที่ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากถังหมักแบคทีเรียจึงถูก wash out สูง ทำให้ปริมาณเซลล์แบคทีเรียในระบบหมักและการสร้างรงควัตถุในเซลล์แบคทีเรียต่ำ

จากผลการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มากกว่า 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีเสถียรภาพของระบบหมักที่ลดลง โดยพิจารณาจากปริมาณเซลล์แบคทีเรียในระบบและประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลงอย่างรวดเร็ว

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดลองหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) ต่อไปอีก 30 วัน พบว่าประมาณวันที่ 21 หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเริ่มมีสาหร่ายสีเขียวขึ้นในระบบหมัก และเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่าเสถียรภาพของระบบหมักแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเริ่มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สภาวะที่ทำการทดลองยังเอื้ออำนวยให้สาหร่าย

เพิ่มจำนวนได้ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการลดเวลาเก็บกักให้สั้นลง

4.6.5 สภาวะเหมาะสมของระบบบำบัดหมักแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

สภาวะที่เหมาะสมของระบบหมัก พิจารณาจากประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์, ปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและรงควัตถุของเซลล์ที่ผลิตได้ในระบบ และเสถียรภาพของระบบหมักเป็นสำคัญ สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์, ปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและรงควัตถุของเซลล์ที่ผลิตได้ในระบบสูงสุด คือ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ ประมาณ 86 เปอร์เซนต์ซีโอดีที่ถูกกำจัด และ 92 เปอร์เซ็นต์บีโอดีที่ถูกกำจัด , ปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ประมาณ 1.2 กรัมต่อลิตร และรงควัตถุของเซลล์ที่ผลิตได้ในระบบประมาณ 5 มิลลิกรัมคาโรทีนอยด์ต่อกรัมวัตถุแห้ง และ 25 มิลลิกรัมแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ต่อกรัมวัตถุแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย