บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การคัดเลือกสภาวะในการเลี้ยงและสายพันธุ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละแหล่ง

1.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย 3 แหล่ง

น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ใช้น้ำนึ่งปลาทูน่าจากโรงงานสงขลาแคนนิ่ง จำกัด มีคุณลักษณะ ดังนี้ คือ มีสีน้ำตาลอมแดง พีเอช 6.5 ซีโอดี 34,240 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด 1,278 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 33,270 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าซีโอดี, ไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด มีค่าต่ำกว่าที่เคยรายงานไว้โดย ศุภารัตน์ รักขพันธ์ (2544) ซึ่ง มีค่าซีโอดี 64,260 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด 7,164 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 63,107 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดีของน้ำนึ่งทูน่าหลังผ่านการเจือจางแล้ว (20,400 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมากกว่า (สุวิทย์ สุวรรณโถ, 2534)

น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานเซาท์แลนด์รับเบอร์จำกัด มีคุณลักษณะ ดังนี้ คือ มีสีขาวขุ่น พีเอช 7.2 ซีโอดี 10,752 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด 522 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งทั้งหมด 753 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าซีโอดีที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่เคยรายงานไว้โดย แน่งน้อย ศรีสุวรรณ (2539) ซึ่งวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่บ่อบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัท ไฮแคร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด พบว่า มีค่าซีโอดี เท่ากับ 13,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าไนโตรเจนใกล้เคียงกับรายงานของ อาภรณ์ รักเกิด (2541) ซึ่งวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นจำนวน 18 ตัวอย่างโดยสุ่มจาก 3 โรงงานในจังหวัดสงขลา พบว่ามีค่าไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 543-1,268 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ใช้น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำอายุ 3 เดือน จังหวัดพัทลุง มีคุณลักษณะของน้ำทิ้ง ดังนี้ คือ มีสีขาวอมเขียวใส พีเอช 7.04 ซีโอดี 135.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด 29.87 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งทั้งหมด 184 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลที่ได้ใกล้เคียงกับรายงานของ สันตกิจ นิลอุดมศักดิ์ (2535) ซึ่งศึกษาคุณสมบัติน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่อำเภอ สิงหนคร จังหวัดสงขลา เมื่อเลี้ยงได้ 4 เดือน 10 วัน พบว่า ค่าซีโอดีมีค่ามากเท่ากับ 253.95 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าไนโตรเจนทั้งหมดมีปริมาณที่สูงกว่า คือ 877 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจเกิดจากระยะเวลาในการเลี้ยงที่แตกต่างกันและสภาพของการเลี้ยงแตกต่างกัน

ตารางที่ 5 คุณลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

Table 5 Characteristics of wastewater from different sources

Parameter	Mean ± SD.
Tuna condensate	
pH	6.5
COD (mg/l)	34,240 ± 856
Total nitrogen (mg/l)	1,278.7 ± 6.6
Total solid (mg/l)	33,270 ± 163.3
Latex concentrate effluent	
pH	7.2
COD (mg/l)	10,752 ± 153.6
Total nitrogen (mg/l)	522.7 ± 13.2
Total solid (mg/l)	753 ± 22
Shrimp farm Wastewater	
pH	7.0
COD (mg/l)	135.2 ± 4.4
Total nitrogen (mg/l)	29.9 ± 2.7
Total solid (mg/l)	184 ± 13

[1]Mean ± standard deviation of three replications.

1.2 การคัดเลือกสภาวะและสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย

เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทนเค็มจำนวน 5 สายพันธุ์ คือ SS3, SS4, SH5, FS3, และ ES16 ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง ในขวดแบนขนาด 250 มิลลิลิตร (ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์) พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้อง และสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง ใน ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร บนเครื่องเขย่า (200 rpm) ในน้ำเสียที่ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละแหล่ง ภายใต้ 2 สภาวะดังกล่าว

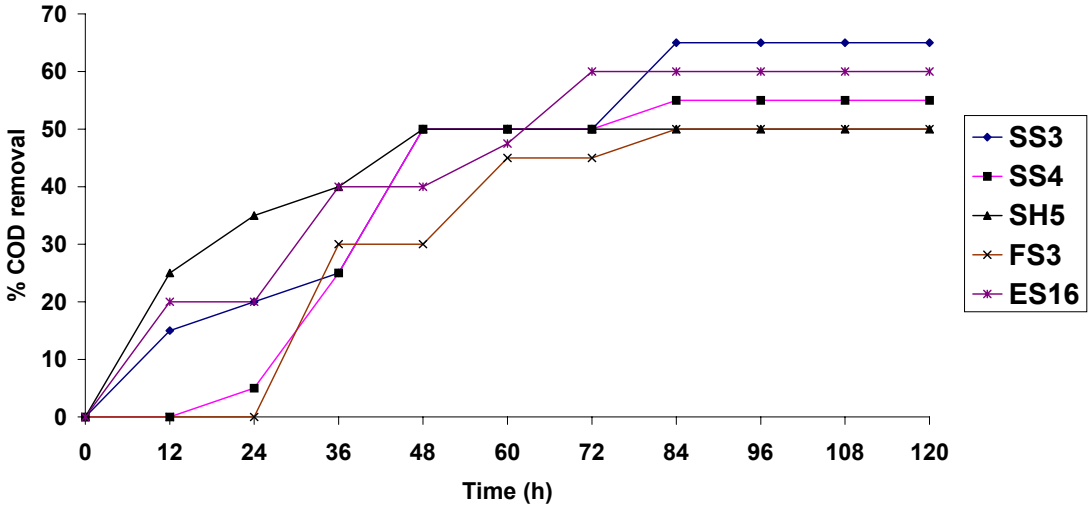
1.2.1 ผลของการบำบัดน้ำในแต่ละแหล่งน้ำเสีย มีดังนี้

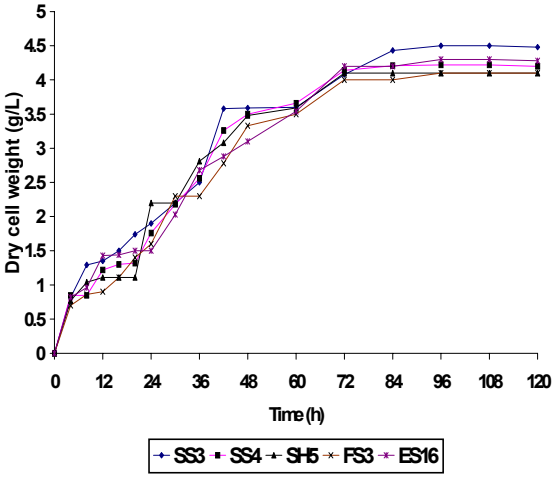
น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

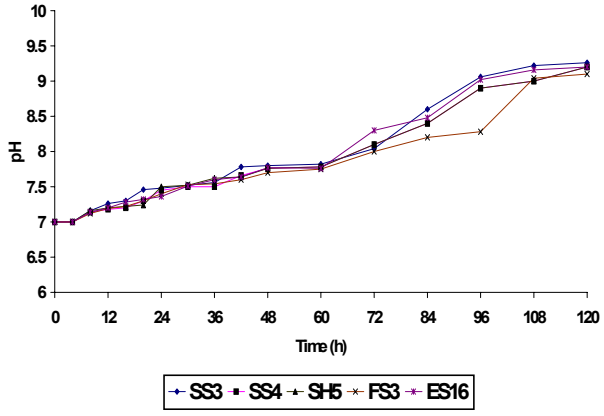
จากการเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจำนวน 5 สายพันธุ์ คือ SS3, SS4, SH5, FS3 และ ES16 ในน้ำนึ่งปลาทูน่า โดยเลี้ยงภายใต้ 2 สภาวะเป็นเวลา 120 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง (รูปที่ 3) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SS3 ให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงที่สุด (4.48 กรัมต่อลิตร) รองลงมาคือ ES16, SS4, SH5 และ FS3 (4.28, 4.20, 4.10 และ 4.10 กรัมต่อลิตรตามลำดับ) และสายพันธุ์ SS3 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีลดลงสูงที่สุด (65%) รองลงมาคือ ES16, SS4, FS3 และ SH5 (60%, 55%, 50% และ 50% ตามลำดับ) ซึ่งปริมาณเซลล์ที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ถูกใช้ไปส่งผลให้ค่าซีโอดีที่ใช้ได้น้อยลง โดยที่เวลา 84 ชั่วโมงทุกสายพันธุ์ให้ปริมาณเซลล์และค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงที่สุด สำหรับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 6) มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับทั้ง 2 ค่าที่กล่าวมาแล้วเช่นเดียวกัน โดยสายพันธุ์ SS3 ให้ค่าการบำบัดสูงที่สุดคือ 38.32% รองลงมาคือ ES16, SS4, FS3 และ SH5 (35.77%, 32.12%, 30.66% และ 29.93% ตามลำดับ)

ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (รูปที่ 4) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SS3 ให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด คือ 4.58 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สายพันธุ์ ES16, SS4, FS3 และ SH5 (4.45, 4.38, 4.25 และ 4.20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัด (ซีโอดี) สูงสุดเท่ากันคือ สายพันธุ์ SS3 และ ES16 (68.9%) รองลงมาซึ่งให้ค่าเท่ากัน (60%) คือ สายพันธุ์ SS4, FS3 และ SH5 ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลงสอดคล้องกับค่าปริมาณมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณมวลชีวภาพสูงที่สุดที่ เวลา 72 ชั่วโมงและประสิทธิภาพการลดซีโอดีสูงสุดในทุกสายพันธุ์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง สำหรับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 7) ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ ES16 ให้ค่าการบำบัดสูงสุด (41.98%) รองลงมาคือ FS3, SS3, SH5 และ SS4 (35.04%, 33.80%, 33.58% และ 31.39% ตามลำดับ)

จากผลการทดลองพบว่า ทั้ง 5 สายพันธุ์ คือ SS3, SS4, SH5, FS3 และ ES16 มีประสิทธิภาพในการบำบัด (ค่าซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมด) ที่สภาวะมีอากาศ-ไร้แสงสูงกว่าที่สภาวะไร้อากาศ-มีแสง มีค่าซีโอดีลดลงสูงสุดเท่ากับ 68.9% เช่นเดียวกับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับ 41.98% อย่างไรก็ตามพบว่าที่สภาวะมีอากาศ-ไร้แสงเชื้อเจริญได้ดีกว่าที่สภาวะไร้อากาศ-มีแสง โดยให้ค่ามวลชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 4.58 กรัมต่อลิตร ซึ่งขัดแย้งกับ ผลการทดลองของสุวิทย์ สุวรรณโณ (2534) ซึ่งรายงานว่าปริมาณชีวมวลสูงสุดของ *Rhodocyclus gelatinosus* R_7 ที่เลี้ยงในน้ำนึ่งปลาทูน่าที่เจือจางด้วยน้ำต้มกุ้ง 10 เท่า ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (5.6 กรัมต่อลิตร) อาจเนื่องจากเป็นเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงคนละสายพันธุ์กันซึ่งได้แยกจากที่มาที่ต่างกันทำให้สภาวะการเลี้ยงที่เหมาะสมแตกต่างกัน

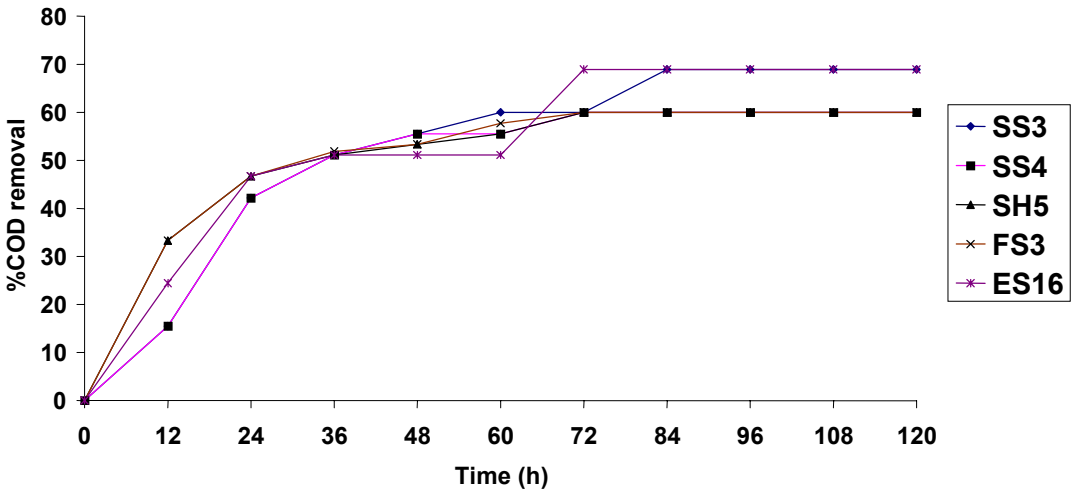


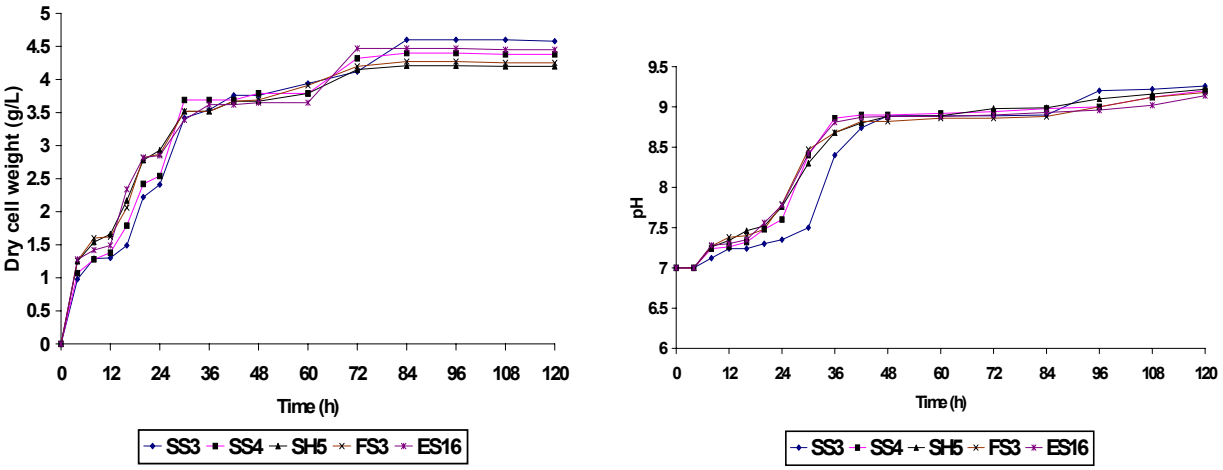




รูปที่ 3 เปรียบเทียบการเจริญและการบำบัดน้ำนึ่งปลาทูน่า (พีเอช 7) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (3,000 ลักซ์) ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 3 Comparison on growth and treatment of tuna condensate (pH 7) of 5 strains of photosynthetic bacteria cultivation under anaerobic-light (3,000 lux) at room temperature.





รูปที่ 4 เปรียบเทียบการเจริญและการบำบัดน้ำนึ่งปลาทูน่า (พีเอช 7) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 4 Comparison on growth and treatment of tuna condensate (pH 7) of 5 strains of photosynthetic bacteria cultivation under aerobic-dark (200 rpm) at room temperature.

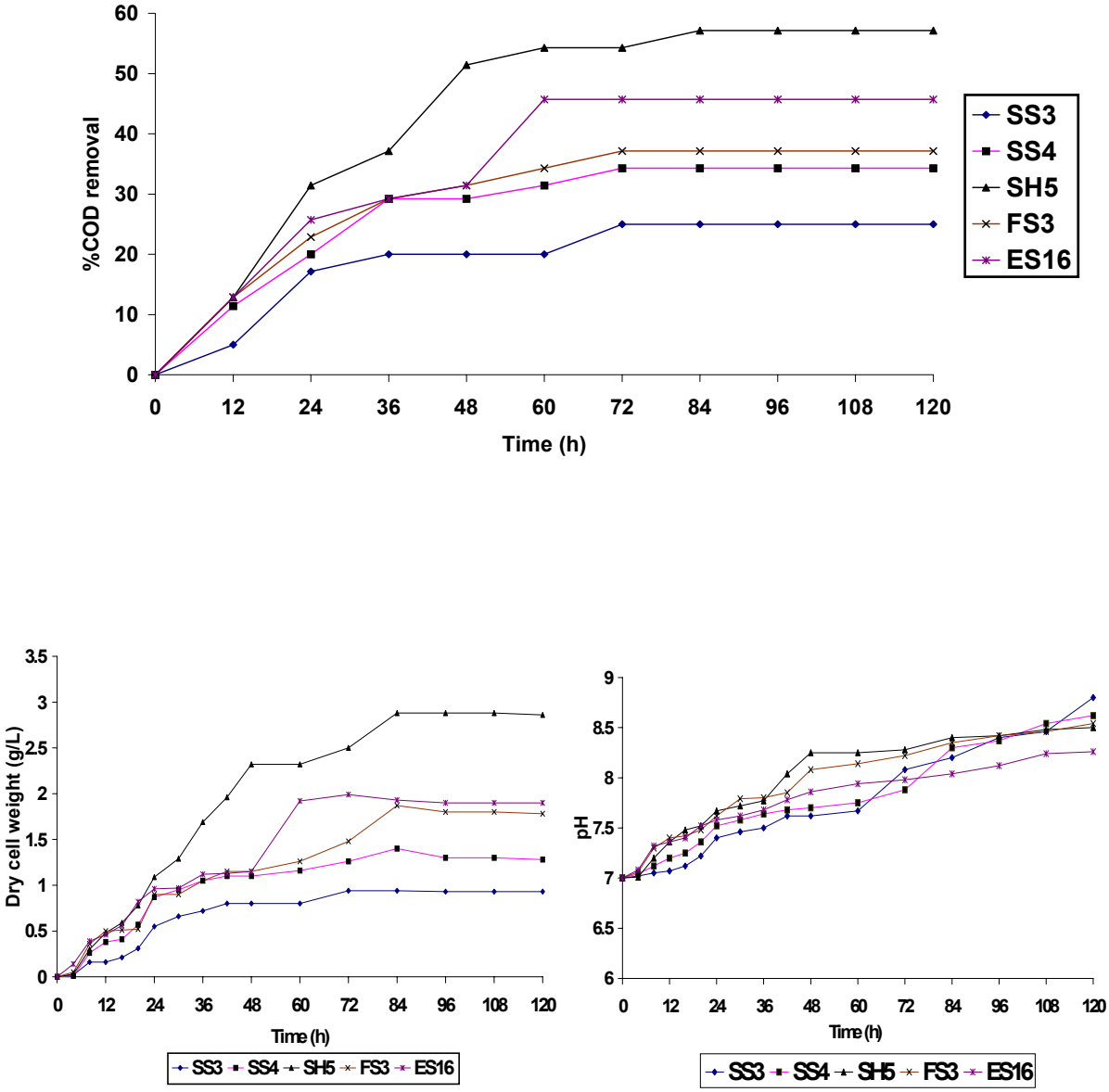
น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น

เมื่อนำน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นมาเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจำนวน 5 สายพันธุ์ คือ SS3, SS4, SH5, FS3,และ ES16 โดยเลี้ยงในทั้ง 2 สภาวะดังกล่าวเป็นเวลา 120 ชั่วโมง เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าในสภาวะไร้อากาศ-มีแสงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SH5 ให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงที่สุด (2.84 กรัมต่อลิตร) รองลงมาคือ สายพันธุ์ ES16, FS3, SS4 และ SS3 (2.00, 2.00, 1.38 และ 1.20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดพบว่าสายพันธุ์ SH5 ให้ค่าการลดลงของซีโอดีสูงสุด (57.14%) รองลงมาคือ ES16, FS3, SS4 และ SS3 (45.71%, 37.14%, 34.29% และ 25% ตามลำดับ) ดังรูปที่ 5 ที่เวลา 84 ชั่วโมง เชื้อทุกสายพันธุ์จะให้ปริมาณมวลชีวภาพและประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด สำหรับค่าการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 6) เชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ SH5 (71.43%) รองลงมาคือ ES16, FS3, SS4 และ SS3 (71.07%, 65.00%, 65.00% และ 64.82% ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้ทั้ง 2 ค่าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SH5 ให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด (2.86 กรัมต่อลิตร) รองลงมาคือ ES16, FS3, SS4 และ SS3 (1.90, 1.78, 1.28 และ0.92 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งปริมาณมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการลดลงของซีโอดี โดยสายพันธุ์ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ SH5 (57.14%) รองลงมา คือ ES16, FS3, SS4 และ SS3 (51.43%, 51.43%, 42.86% และ 42.86% ตามลำดับ) ดังรูปที่ 6 โดยที่ช่วงเวลาที่เชื้อทุกสายพันธุ์ให้ปริมาณมวลชีวภาพและประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด คือ 72 ชั่วโมง สำหรับค่าการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 7) เชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ ES16 ให้ประสิทธิภาพสูงสุด (71.97%) รองลงมาคือ SH5, FS3, SS3 และ SS4%(71.43%, 66.25%, 66.07% และ 65.54% ตามลำดับ)

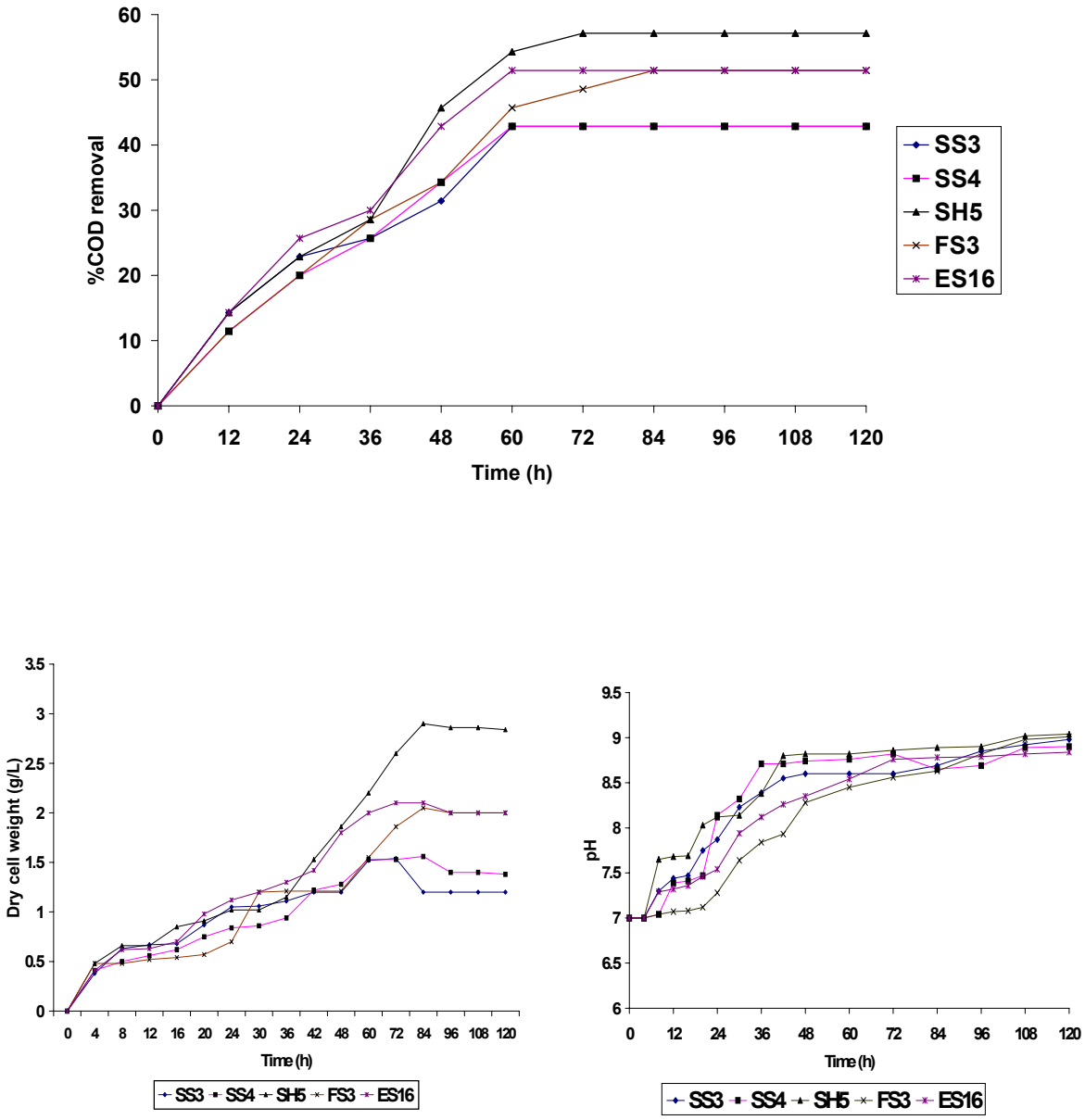
จากผลการทดลอง เลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้ง 5 สายพันธุ์ ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น พบว่าที่สภาวะมีอากาศ-ไร้แสงให้ประสิทธิภาพในการบำบัด (ค่าซีโอดี) สูงกว่าที่สภาวะไร้อากาศ-มีแสงในทุกสายพันธุ์ยกเว้นสายพันธุ์ SH5 ซึ่งให้ค่าซีโอดีที่ลดลงสูงสุด (57.14%) ไม่แตกต่างกันในทั้ง 2 สภาวะส่วนการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง โดยให้สูงสุดเท่ากับ 71.97% ที่สภาวะมีอากาศ-ไร้แสงเชื้อเจริญและให้ค่ามวลชีวภาพสูงสุด (2.86 กรัมต่อลิตร) สูงกว่าที่สภาวะไร้อากาศ-มีแสง ค่าที่ได้สูงกว่าค่าที่ได้จากแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 10 สายพันธุ์ที่

เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น (1.659 กรัมต่อลิตร และลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 34.1) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (3,000 ลักซ์) อุณหภูมิห้อง (จรินทร์ ทองประดิษฐ์, 2542)



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการเจริญและการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น (พีเอช 7) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (3,000 ลักซ์) ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 5 Comparison on growth and treatment of latex concentrate effluent (pH 7) of 5 strains of photosynthetic bacteria cultivation under anaerobic-light (3,000 lux) at room temperature.



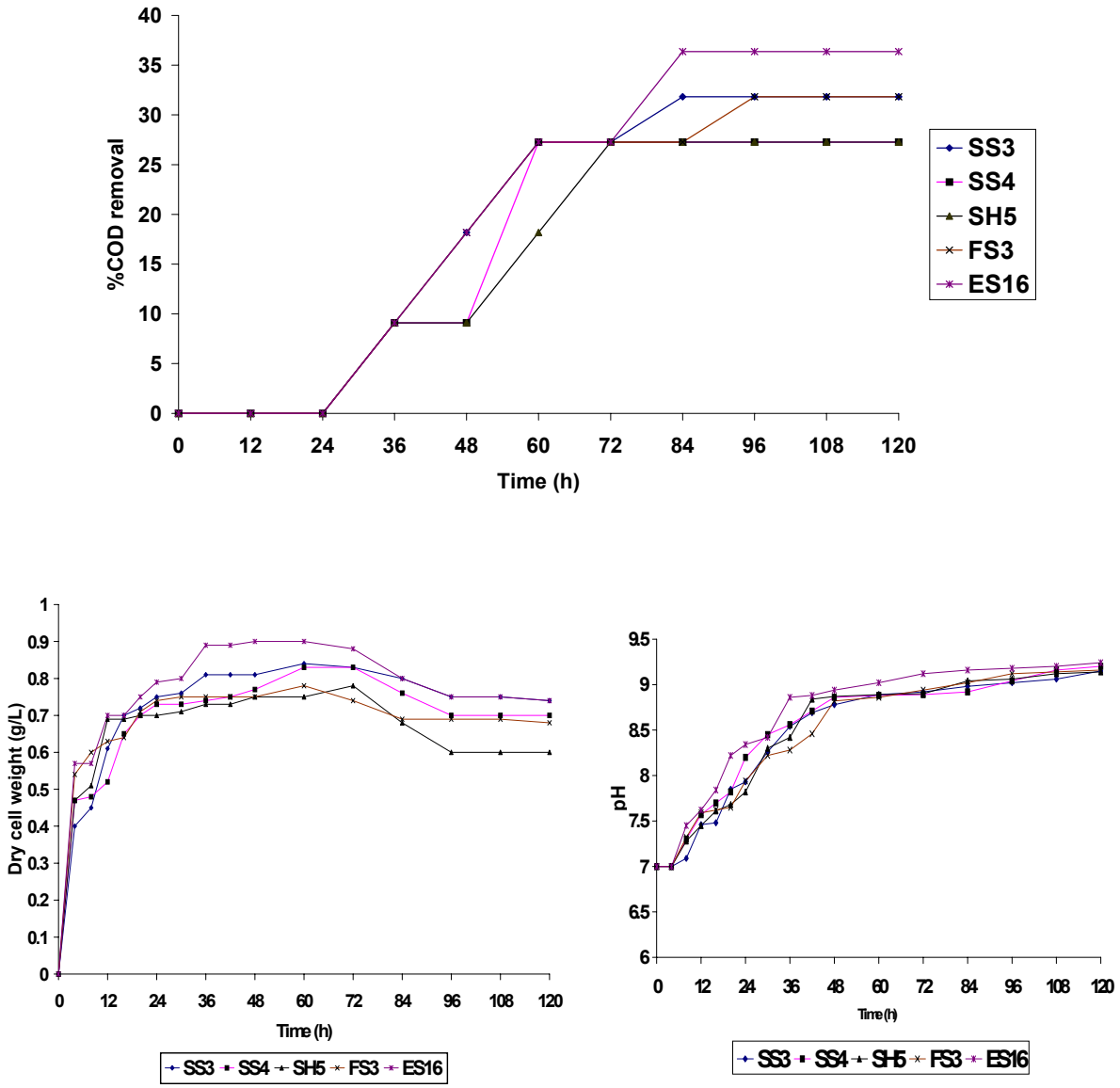
รูปที่ 6 เปรียบเทียบการเจริญและการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น (พีเอช 7) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 6 Comparison on growth and treatment of latex concentrate effluent (pH 7) of 5 strains of photosynthetic bacteria cultivation under aerobic-dark (200 rpm) at room temperature.

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

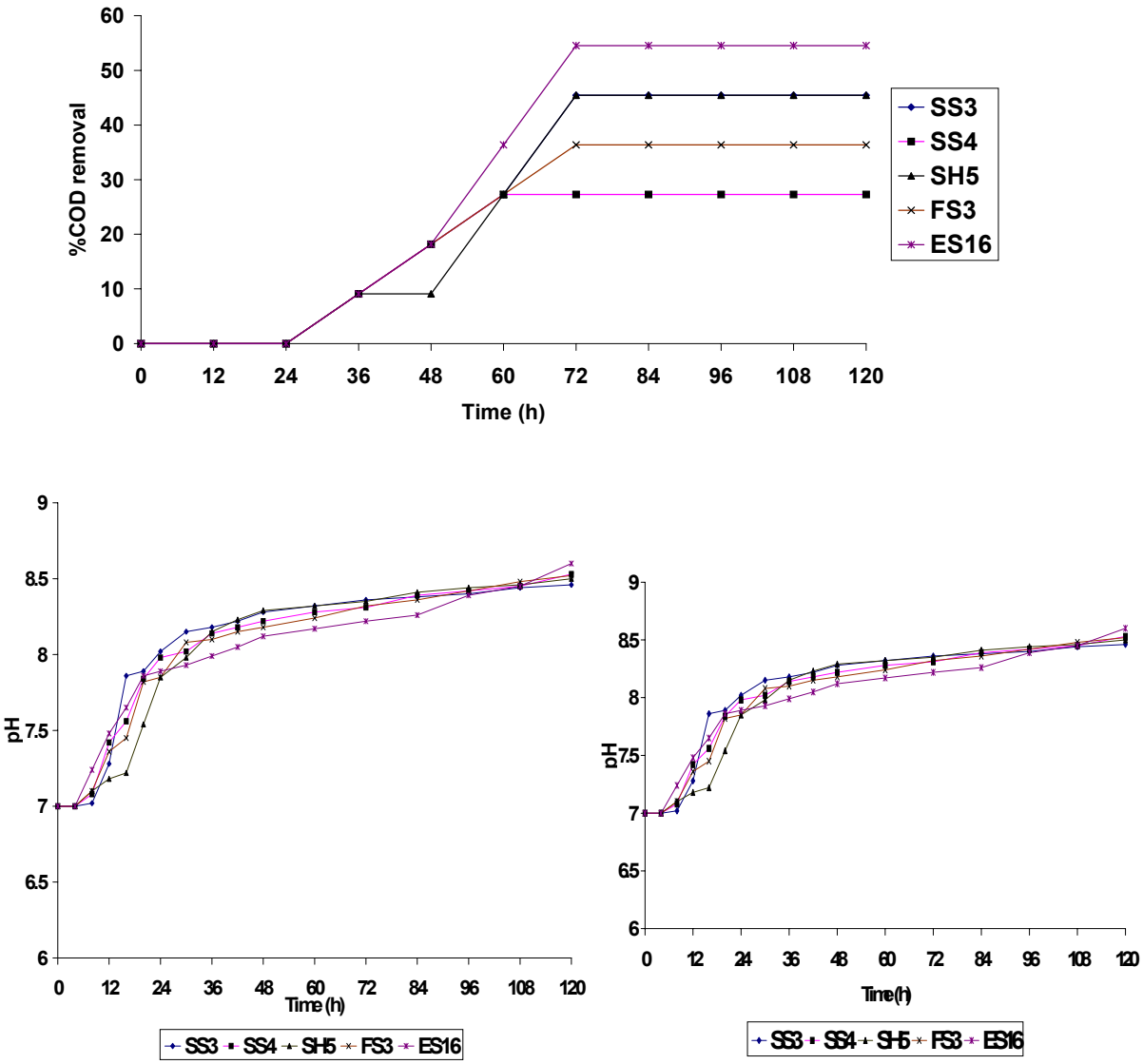
เมื่อเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ คือ SS3, SS4, SH5, FS3,และ ES16 ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง และสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง เป็นเวลา 120 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง สายพันธุ์ ES16 และ SS3 เจริญดีที่สุดและให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงสุดเท่ากัน (0.74 กรัมต่อลิตร) รองลงมา คือ SS4, FS3 และ SH5 (0.70, 0.68 และ 0.60 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดสายพันธุ์ ES16 ให้ประสิทธิภาพสูงสุด (36.36%) รองลงมาคือ SS3, FS3, SS4 และ SH5 (31.82%, 31.82%, 27.28% และ 27.28% ตามลำดับ) ทุกสายพันธุ์ให้ค่าเหล่านี้สูงสุดในชั่วโมงที่ 84 ยกเว้นสายพันธุ์ FS3 ซึ่งให้ค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 ดังรูปที่ 7 สำหรับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 6) สายพันธุ์ ES16 ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด (20.02%) รองลงมาคือ SS3, SS4, SH5 และ FS3 (18.89%, 18.15%, 17.21% และ 16.87% ตามลำดับ)

ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง เชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ ES16 ให้ค่ามวลชีวภาพสูงสุด (1.27 กรัมต่อลิตร) รองลงมาคือ SH5, FS3, SS4 และ SS3 (1.24, 1.20, 1.20 และ 1.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) นอกจากนี้สายพันธุ์ ES16 ยังให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดด้วย (54.55%) รองลงมาคือ SH5, SS3, FS3 และ SS4 (45.46%, 45.46%, 36.37% และ 27.27% ตามลำดับ) โดยทุกสายพันธุ์ให้ปริมาณมวลชีวภาพและประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงสุดในชั่วโมงที่ 72 ดังรูปที่ 8 สำหรับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 7) พบว่าสายพันธุ์ ES16 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 25.64% รองลงมาคือสายพันธุ์ SH5, SS3, FS3, และ SS4 (24.37%, 23.77%, 20.02% และ19.39% ตามลำดับ)



รูปที่ 7 เปรียบเทียบการเจริญและการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (พีเอช 7) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ที่สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (3,000 ลักซ์) ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 7 Comparison on growth and treatment of shrimp farm wastewater (pH 7) of 5 strains of photosynthetic bacteria cultivation under anaerobic-light (3,000 lux) at room temperature.



รูปที่ 8 เปรียบเทียบการเจริญและการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (พีเอช 7) ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 5 สายพันธุ์ที่สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm)ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 8 Comparison on growth and treatment of shrimp farm wastewater (pH 7) of 5 strains of photosynthetic bacteria cultivation under aerobic-dark (200 rpm) at room temperature.

จากผลการทดลองข้างต้นในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่งพบว่า การเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง และให้ปริมาณเซลล์สูงสุดด้วย นอกจากนี้ยังใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้อยกว่า (72 ชั่วโมง) ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง (84 ชั่วโมง) ดังนั้นสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงจึงเหมาะสมต่อการนำมาใช้มากกว่าสภาวะไร้อากาศ-มีแสง

1.2.2 การคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทนเค็มทั้ง 5 สายพันธุ์ในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง (จากผลการทดลองข้างต้นในข้อ 1.2.1) พบว่าในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง (ตารางที่ 6) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SS3, SS4, SH5, FS3 และ ES16 ให้ค่าซีโอดีลดลงเท่ากับ 65%, 55%, 50%, 50% และ 60% ตามลำดับการบำบัดในน้ำนึ่งปลาทูน่า 25%, 34.29%, 57.14%, 37.14%และ 45.71% ตามลำดับในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และ 31.82%, 27.28%, 27.28%, 31.82% และ 36.36% ตามลำดับจากการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (ตารางที่ 7) สายพันธุ์ SS3, SS4, SH5, FS3 และ ES16 สามารถลดค่าซีโอดีได้เท่ากับ 68.9%, 60%, 60%, 60% และ 68.9% ตามลำดับ, 42.86%, 42.86%, 57.14%, 51.43% และ 51.43% ตามลำดับ และ 45.46%, 27.27%, 45.46%, 36.37% และ 54.55% ตามลำดับจากการบำบัดน้ำนึ่งปลาทูน่า น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ตามลำดับ

การเลี้ยงในน้ำนึ่งปลาทูน่า เชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SS3 และ ES16 ลดค่าซีโอดีได้สูงสุดทั้งสองสภาวะ (65%, 60% ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง และ 68.9%, 68.9% ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงตามลำดับ) ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น สายพันธุ์ SH5 และ ES16 ลดค่าซีโอดีสูงในทั้งสองสภาวะ (57.1%, 45.7% ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง และ 57.14%, 51.43% ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงตามลำดับ) และในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สายพันธุ์ ES16 ลดค่าซีโอดีได้สูงทั้งสองสภาวะ (36.4% ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง และ 54.6% ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ ES16 ลดค่าซีโอดีได้สูงในทุกสภาวะและในน้ำเสียทุกชนิด และยังสามารถลดค่าไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงเมื่อเลี้ยงในน้ำนึ่งปลาทูน่า, น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง (35.77%, 71.07% และ 20.02% ตามลำดับ) และในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (41.98%, 71.97% และ 25.64% ตามลำดับ) และให้มวลชีวภาพในปริมาณที่สูง ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง (4.28, 1.90 และ 0.74 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) และในสภาวะที่มีอากาศ-ไร้แสง (4.45, 2.00 และ 1.27 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วน

ค่าพีเอชของทุกสายพันธุ์จะเห็นว่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงเชื้อ ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนทำให้มีการปลดปล่อยแอมโมเนีย หรือสารที่เป็นด่างออกมา (Pfennig, 1967) ดังนั้นจึงคัดเลือกได้สายพันธุ์ ES16 เพื่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง ซึ่งจากการเทียบเคียงเชื้อสายพันธุ์ ES16 โดยวาริท หมัดหมาน (2545) พบว่าเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ ES16 เทียบเคียงได้เป็น *Rhodobacter sphaeroides* ES16 (100% identity จากผลการทำ 16S rDNA) คุณลักษณะของเชื้อ *R. sphaeroides* คือ เชื้อมีรูปร่างกลม หรือ รูปไข่ ในอาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาล มีขนาด (กว้างXยาว) เท่ากับ 2.0-2.5 X 2.5X3.5 ไมโครเมตร สามารถเจริญได้ดีในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง โดยใช้สารอาหารหลายชนิดเป็นแหล่งคาร์บอนได้ (Staley *et al.,* 1989) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ ES16 หรือ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 จึงเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมาบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง สำหรับ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 เป็นสายพันธุ์ที่แยกได้จากชายฝั่งตะวันออก อำเภอ พัทยา จังหวัด ชลบุรี (อมรรัตน์ ตั้งประสิทธิภาพ, 2543) ถึงแม้ว่าจะไม่ได้แยกมาจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล, โรงงานแปรรูปน้ำยางข้น หรือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยตรง แต่ก็มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดีที่ลดลง) สำหรับประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น แต่ไม่สูงนักในน้ำนึ่งปลาทูน่าและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ อาจเนื่องจากความแตกต่างของรูปไนโตรเจน เช่น ในน้ำทิ้งของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นไนโตรเจนอยู่ในรูป แอมโมเนีย,ไนเตรต ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำนึ่งปลาทูน่าอยู่ในรูปโปรตีนที่ละลายซึ่งจุลินทรีย์นำไปใช้ได้ยากกว่า ส่วนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ค่าซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดไม่สูงมากนัก จึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารน้อยการเจริญจึงต่ำกว่าส่งผลให้การบำบัดมีค่าต่ำกว่าด้วย

ตารางที่ 6 ผลของแหล่งน้ำเสีย(พีเอช 7)ต่อการเจริญและการบำบัดโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทนเค็ม 5 สายพันธุ์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (3,000 ลักซ์) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา120 ชั่วโมง

Table 6 Effect of wastewater sources (pH 7) on growth and treatment by five strains of halotolerant photosynthetic bacteria under anaerobic-light (3,000 lux) condition at room temperature for120 hours.

Sources	strains	Final pH	DCW (g/l)	COD(mg/l)	%COD removal	TKN (mg/l)	%TKN removal
Tuna condensate	**SS3**	9.26[a]	**4.48[a]**	11,984±856[a]	**65[a]**	788.67±6.6[a]	**38.32[a]**
	SS4	9.20[a]	4.20[a]	15,408±856[c]	55[c]	886.67±13.2[a]	30.66[b]
	SH5	9.20[a]	4.10[a]	17,120±856[c]	50[c]	896±11.43[a]	29.93[b]
	FS3	9.10[a]	4.10[a]	17,120±856[c]	50[c]	868±39.6[a]	32.12[b]
	ES16	9.20[a]	**4.28[a]**	13,696±856[a]	**60[b]**	821.33±13.2[a]	**35.77[a]**
Latex concentrate Effluent	SS3	8.80[a]	0.92[c]	7,987.2±153.6[d]	25[d]	183.87±1.32[a]	64.82[b]
	SS4	8.62[a]	1.28[b]	7,065.6±307.2[c]	34.29[c]	182.93±5.28[a]	65[b]
	SH5	8.50[a]	**2.86[a]**	4,608±217.2[a]	57.14[a]	149.33±6.6[b]	71.43[a]
	FS3	8.54[a]	1.78[b]	6,758.4±217.2[c]	37.14[c]	182.93±1.32[a]	65[b]
	ES16	8.26[a]	**1.90[c]**	5,836.8±217.2[b]	45.71[b]	151.2±3.96[b]	71.07[a]
Shrimp farm wastewater	SS3	9.15[a]	0.74[a]	92.16±4.34[b]	31.82[b]	24.23±0.52[a]	18.89[a]
	SS4	9.20[a]	0.70[a]	98.30±4.34[c]	27.28[c]	24.45±0.26[a]	18.15[a]
	SH5	9.14[a]	0.60[a]	98.30±4.34[c]	27.28[c]	24.73±0.13[a]	17.21[a]
	FS3	9.16[a]	0.68[a]	92.16±4.34[b]	31.82[b]	24.83±0.13[a]	16.87[a]
	ES16	9.24[a]	**0.74[a]**	86.02.±8.69[a]	**36.36[a]**	23.89±0.26[a]	**20.02[a]**

[1]Mean ± standard deviation of three replications. [abcd]Different superscripts in column indicate significant differences between values ($P<0.05$).

ตารางที่ 7 ผลของแหล่งน้ำเสีย(พีเอช 7)ต่อการเจริญและการบำบัดโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทนเค็ม 5 สายพันธุ์ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา120 ชั่วโมง

Table 7 Effect of wastewater sources (pH 7) on growth and treatment by five strains of halotolerant photosynthetic bacteria under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature for 120 hours.

Sources	strains	Final pH	DCW (g/l)	COD(mg/l)	%COD removal	TKN (mg/l)	%TKN removal
Tuna condensate	**SS3**	9.26[a]	4.58[a]	10,752±627.1[a]	**68.9[a]**	836±33.94[a]	**33.84[b]**
	SS4	9.20[a]	4.38[a]	13,824±627.1[b]	60[b]	877.33±6.6[a]	31.39[b]
	SH5	9.22[a]	4.20[a]	13,824±627.1[b]	60[b]	849.33±13.2[a]	33.58[b]
	FS3	9.18[a]	4.25[a]	13,824±627.1[b]	60[b]	830.67±13.2[a]	35.04[b]
	ES16	9.14[a]	4.45[a]	10,752±627.1[a]	**68.9[a]**	742±11.43[b]	**41.98[a]**
Latex concentrate effluent	SS3	8.98[a]	1.20[c]	6,144±125.4[a]	42.86[a]	177.3±6.6[a]	66.07[b]
	SS4	8.90[a]	1.38[c]	6,144±125.4[a]	42.86[a]	180.13±1.32[a]	65.54[b]
	SH5	9.04[a]	2.84[a]	4,608±125.4[a]	**57.14[a]**	149.33±6.6[b]	**71.43[a]**
	FS3	9.01[a]	2.00[b]	5,222.4±125.4[a]	51.43[a]	176.4±3.96[a]	66.25[b]
	ES16	8.84[a]	2.00[b]	5,222.4±125.4[a]	**51.43[a]**	146.53±5.75[b]	**71.97[a]**
Shrimp farm wastewater	SS3	8.46[a]	1.15[a]	73.73±5.02[b]	45.46[b]	22.59±0.26[a]	24.37[a]
	SS4	8.53[a]	1.20[a]	98.30±5.02[d]	27.27[d]	24.08±0.46[a]	19.39[a]
	SH5	8.50[a]	1.24[a]	73.73±5.02[b]	45.46[b]	22.77±0.26[a]	23.77[a]
	FS3	8.52[a]	1.20[a]	86.02±5.02[c]	36.37[c]	23.89±0.26[a]	20.02[a]
	ES16	8.60[a]	1.27[a]	61.44±5.02[a]	**54.55[a]**	22.21±0.26[a]	**25.64[a]**

[1]Mean ± standard deviation of three replications. [abcd]Different superscripts in column indicate significant differences between values ($P<0.05$).

2.การคัดเลือกตัวพยุงที่เหมาะสม

จากการเลี้ยง *R. sphaeroides* ES16 ในสภาวะที่คัดเลือกได้คือ สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง โดยเลี้ยงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำนึ่งปลาทูน่า, น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (พีเอช 7) และเติมตัวพยุงแต่ละชนิด คือ แผ่นใยขัด, ฟองน้ำ และ ถ่านหัก เลี้ยงเชื้อบนเครื่องเขย่า (200 rpm) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 ชั่วโมง พบว่าในน้ำนึ่งปลาทูน่า (รูปที่ 9 และ ตารางที่ 8) แผ่นใยขัดให้ค่าประสิทธิภาพในการตรึงสูงที่สุด คือ 17.02% รองลงมาคือ ฟองน้ำ 11.49% และถ่านหัก 6.25% การลดลงของซีโอดีสูงสุด เท่ากับ 67.39%, 66.60% และ 65.22% ตามลำดับ เช่นเดียวกับการลดลงสูงสุดของไนโตรเจนทั้งหมด คือ 46.52%, 44.69% และ 44.54% ตามลำดับ

ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น เมื่อทดลองใช้ตัวพยุง 3 ชนิดได้แก่ แผ่นใยขัด, ฟองน้ำ และ ถ่านหัก ในการตรึงเซลล์ *R. sphaeroides* ES16 (รูปที่ 10 และตารางที่ 9) พบว่าแผ่นใยขัดให้ค่าประสิทธิภาพในการตรึงสูงที่สุด คือ 25.48% รองลงมาคือฟองน้ำ 20.92% และถ่านหัก 10.75% ค่าซีโอดีลดลงสูงสุดเท่ากับ 54.89%, 52.45% และ 52.38% ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดลดลงสูงที่สุด เท่ากับ 76.91%, 75.27% และ 75.10% ตามลำดับ

ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เมื่อทดลองใช้ตัวพยุง 3 ชนิดได้แก่ แผ่นใยขัด, ฟองน้ำ และ ถ่านหัก ในการตรึง *R. sphaeroides* ES16 (รูปที่ 11 และตารางที่ 10) พบว่าฟองน้ำให้ค่าประสิทธิภาพในการตรึงสูงสุด 52.45% รองลงมาคือ แผ่นใยขัด 44.95% และ ถ่านหัก 19.43% แต่การใช้แผ่นใยขัดเป็นตัวพยุงให้ค่าการลดลงของซีโอดีสูงสุด (47.98%) รองลงไปคือฟองน้ำและถ่านหัก (44.00% และ 44.00% ตามลำดับ) รวมทั้งการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 35.30%, 34.32% และ 34.04% ตามลำดับ

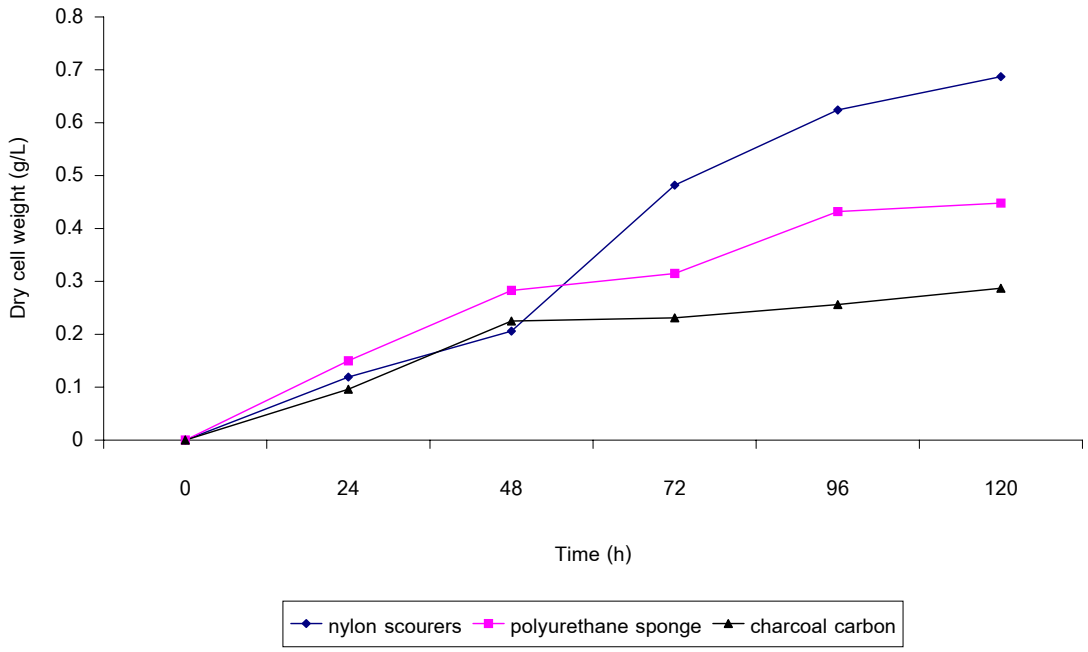
จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าตัวพยุงที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง คือ แผ่นใยขัดเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการตรึงที่สูงในน้ำนึ่งปลาทูน่า น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (17.02%, 25.48% และ44.95% ตามลำดับ) (ตารางที่ 11) และเมื่อนำมาใช้ในการตรึงเซลล์ของ *R. sphaeroides* ES16 พบว่าบำบัดน้ำเสียโดยลดค่าซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงสุดในทั้ง 3 แหล่งน้ำเสียคือ น้ำนึ่งปลาทูน่า, น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ตารางที่ 12)

แผ่นใยขัด, ฟองน้ำและถ่านหัก เป็นวัสดุที่มีความเป็นรูพรุนสูงจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ การที่แผ่นใยขัดมีประสิทธิภาพในการตรึงเซลล์สูงสุดอาจเนื่องมากจากแผ่นใยขัดเป็นวัสดุที่คงสภาพได้เป็นอย่างดีมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูงเมื่อเทียบกับอิฐหักที่เมื่อ

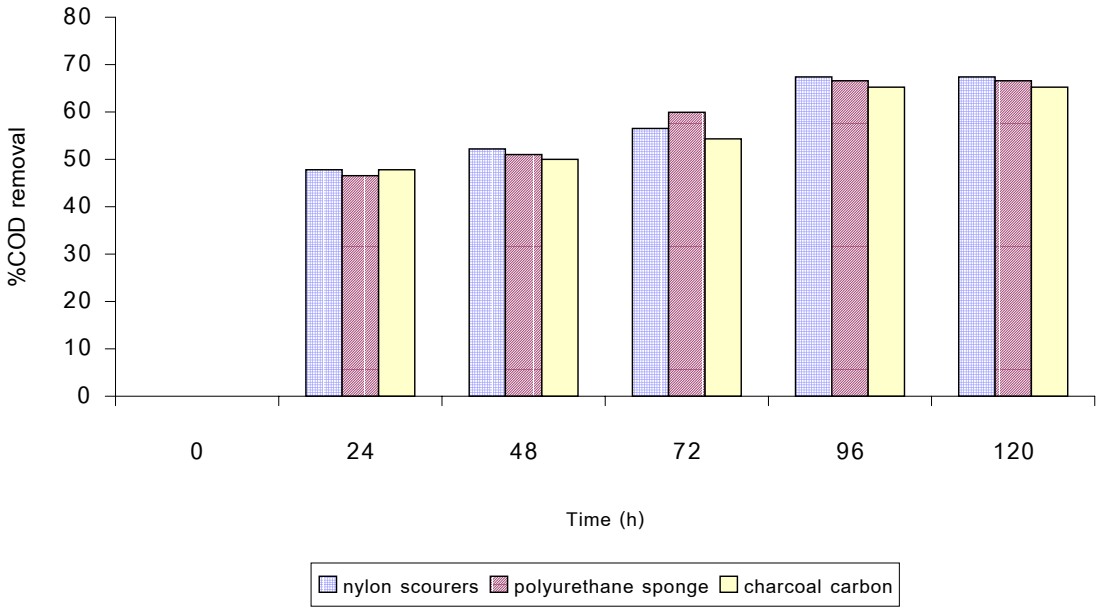
ระยะเวลาในการใช้นานขึ้นจะเสียสภาพได้ง่ายกว่าเนื่องจากแตกหักได้ง่าย ฟองน้ำจะดูดซับน้ำมากกว่าแผ่นใยขัดจึงทำให้พื้นที่ในการตรึงเซลล์ลดลงเนื่องจากพื้นที่ส่วนหนึ่งจะเสียไปกับการที่น้ำเข้าไปแทรกอยู่และอาจทำให้การตรึงเซลล์เกิดขึ้นได้ยากกว่าถึงแม้ว่าฟองน้ำจะมีรูพรุนมากก็ตาม อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการตรึงของแผ่นใยขัดจะสูงสุด แต่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากตัวพยุงทั้ง 3 ชนิดไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลง แต่สามารถทำให้เชื้อจุลินทรีย์อยู่ในระบบได้นานขึ้น จึงใช้ประสิทธิภาพในการตรึงเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาเลือกชนิดของตัวพยุงเพราะการที่เชื้อจุลินทรีย์อยู่ในระบบนานขึ้น จะทำให้การบำบัดน้ำเสียในระบบที่ตรึงเซลล์มีประสิทธิภาพสูงเพิ่มขึ้นกว่าระบบที่ไม่ตรึงเซลล์เมื่อนำมาใช้ในสภาวะจริง

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการลดลงของซีโอดีและการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดในสภาวะที่มีการตรึงเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและไม่มีการตรึงเซลล์ (รูปที่ 12) พบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งเป็นผลเนื่องจากทั้ง 2 สภาวะดังกล่าวเป็นการเลี้ยงในฟลาสก์ซึ่งเป็นระบบปิดไม่ได้มีการเปลี่ยนน้ำเสียเข้ามาใหม่ ทั้ง 2 สภาวะจึงให้ค่าในการบำบัดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

(a)



(b)



รูปที่ 9 การเจริญ (a) และการบำบัด (b) ของ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงกับวัสดุต่างๆ ระหว่างการบำบัดในน้ำนึ่งปลาทูน่าภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm)ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 9 Growth (a) and Treatment (b) of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 immobilized on different materials during treatment of tuna condensate under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature.

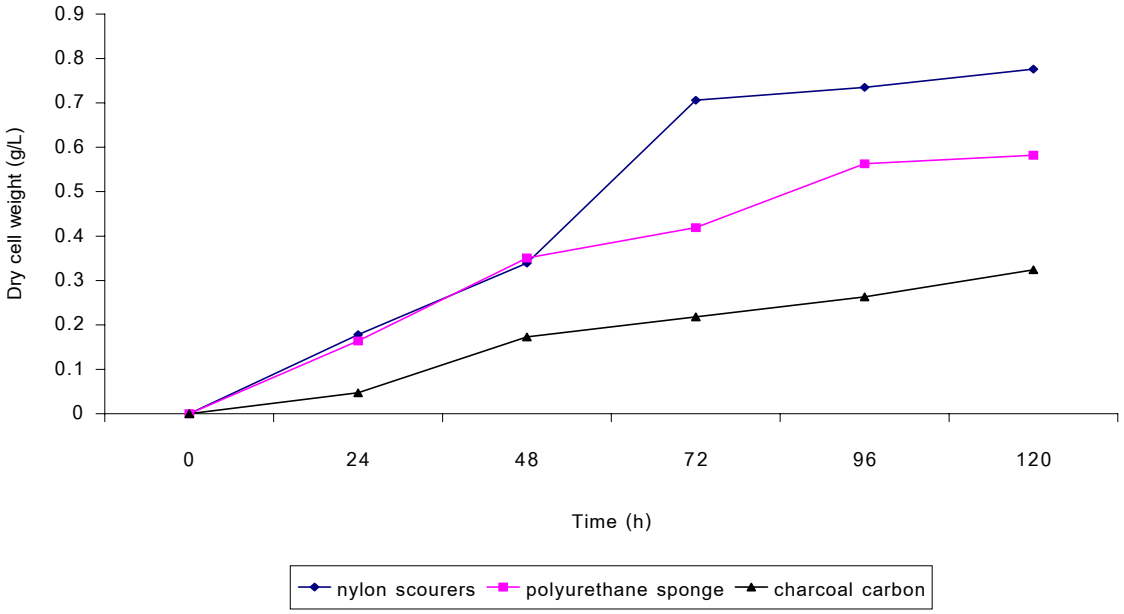
ตารางที่ 8 คุณลักษณะของน้ำนึ่งปลาทูน่าก่อนและหลังการบำบัดโดย *Rhodobacter sphaeroides* ES16

Table 8 Characteristics of tuna condensate before and after treatment by *Rhodobacter sphaeroides* ES16

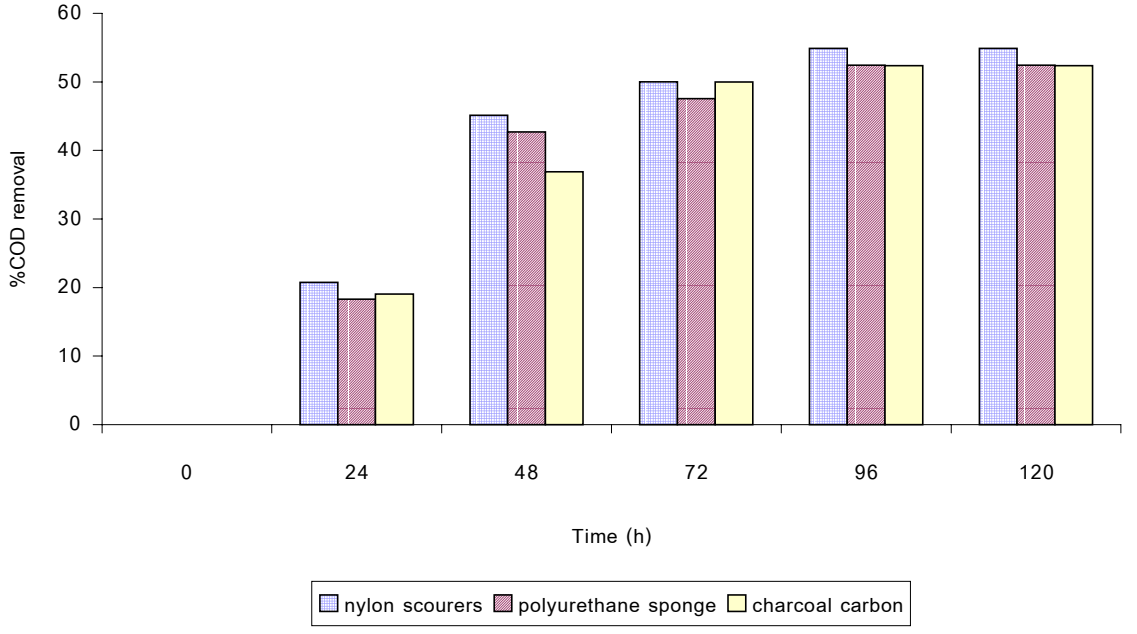
Parameter	Nylon scourers	Polyurethane sponge	Charcoal carbon
Influent COD (mg/l)	30544 ±1084.31	30544 ±1084.31	30544 ±1084.31
Effluent COD (mg/l)	9960±542.15	10200±555.22	10624±542.15
%COD removal	67.39	66.60	65.22
Influent total nitrogen (mg/l)	1274±11.43	1274±11.43	1274±11.43
Effluent total nitrogen removal (mg/l)	681.33±13.2	704.67±6.6	706.53±5.75
% Total N removal	46.52	44.69	44.54

[1]Mean ± standard deviation of three replications.

(a)



(b)



รูปที่ 10 การเจริญ (a) และการบำบัด (b) ของ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงกับวัสดุต่างๆ ระหว่างการบำบัดในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm)ที่อุณหภูมิห้อง

Fig. 10 Growth (a) and Treatment (b) of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 immobilized on different materials during treatment of latex concentrate effluent under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature.

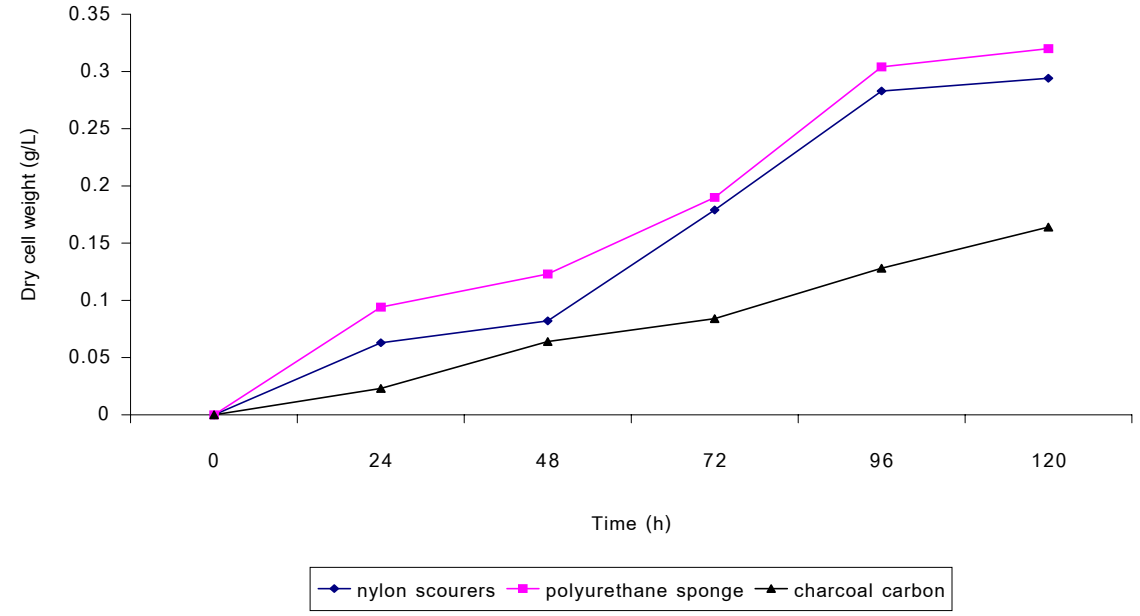
ตารางที่ 9 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นก่อนและหลังการบำบัดโดย *Rhodobacter sphaeroides* ES16

Table 9 Characteristics of Latex concentrate effluent before and after treatment by *Rhodobacter sphaeroides* ES16

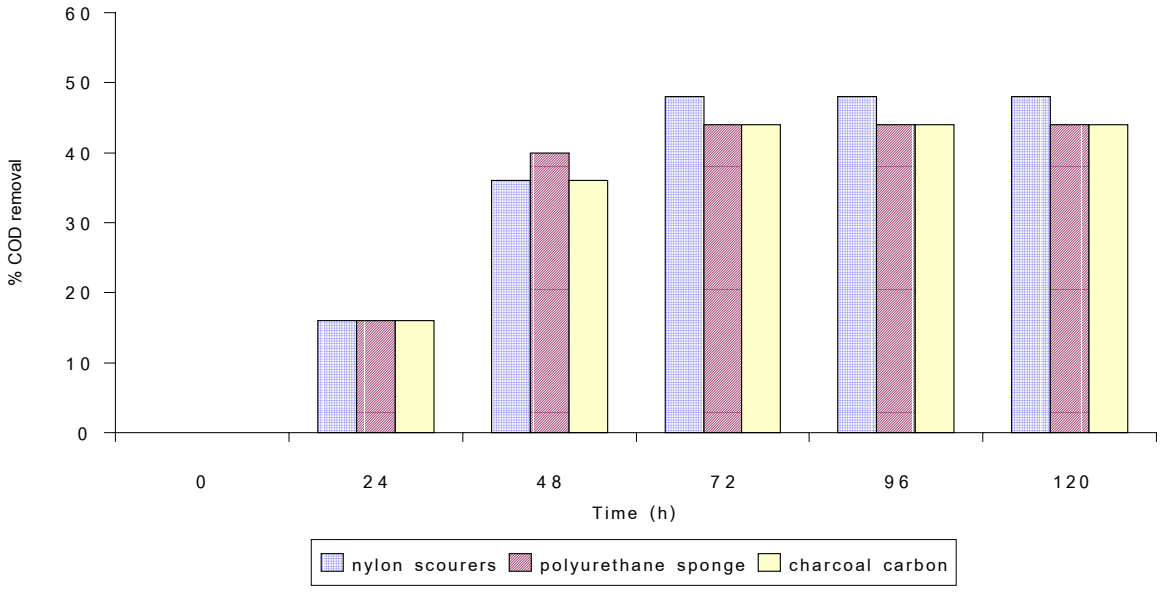
Parameter	Nylon scourers	Polyurethane sponge	Charcoal carbon
Influent COD (mg/l)	11155.2±108.43	11155.2±108.43	11155.2±108.43
Effluent COD (mg/l)	5032±222.02	5304±222.02	5312±216.86
% COD removal	54.89	52.45	52.38
Influent total nitrogen (mg/l)	513.33±6.60	513.33±6.60	513.33±6.60
Effluent total nitrogen removal (mg/l)	118.53±1.32	126.93±1.32	127.87±1.32
% Total N removal	76.91	75.27	75.10

[1]Mean ± standard deviation of three replications.

(a)



(b)



รูปที่ 11 การเจริญ (a) และการบำบัด (b) ของ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงกับวัสดุต่างๆ ระหว่างการบำบัดในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) ที่อุณหภูมิห้อง

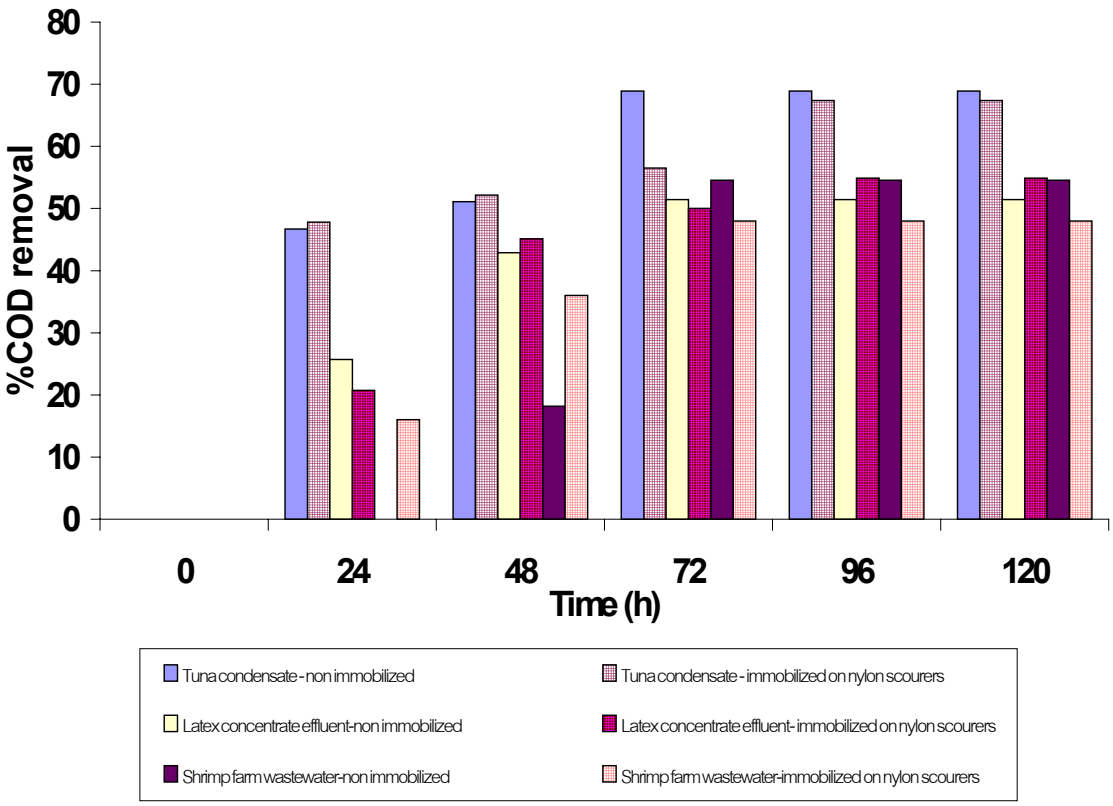
Fig. 11 Growth (a) and Treatment (b) of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 immobilized on different materials during treatment from shrimp farm wastewater under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature.

ตารางที่ 10 คุณลักษณะน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนและหลังการบำบัดโดย *Rhodobacter sphaeroides* ES16

Table 10 Characteristics of Shrimp farm wastewater before and after treatment by *Rhodobacter sphaeroides* ES16

Parameter	Nylon scourers	Polyurethane sponge	Charcoal carbon
Influent COD (mg/l)	132.81±2.12	132.81±2.12	132.81±2.12
Effluent COD (mg/l)	69.06±6.50	74.37±4.34	74.37±4.34
% COD removal	47.98	44.00	44.00
Influent total nitrogen (mg/l)	31.73±2.64	31.73±2.64	31.73±2.64
Effluent total nitrogen removal (mg/l)	20.53±0..26	20.84±0.17	20.93±0.15
% Total N removal	35.30	34.32	34.04

[1]Mean ± standard deviation of three replications.



รูปที่ 12 เปรียบเทียบค่าร้อยละการลดลงของซีโอดี เมื่อเลี้ยง *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงและไม่ตรึงเซลล์ด้วยแผ่นใยขัด ในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง

Fig.12 Comparison of COD removal of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 strain immobilized and non-immobilized with nylon scourers in various effluents under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature for 120 hours.

ตารางที่11ประสิทธิภาพในการตรึงบนตัวพยุงชนิดต่างๆของ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่เลี้ยงในน้ำเสียแต่ละแหล่งภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) พีเอช 7 ที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา120 ชั่วโมง

Table 11 Immobilization effciency with various materials of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 strain immobilized with materials in various effluents under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature for 120 hours.

Materials / Effluents	Tuna condensate	Latex concentrate effluent	Shrimp farm wastewater
Nylon scourers	17.02[a]	25.48[a]	44.95[a]
Polyurethane sponge	11.49[b]	20.92[b]	52.45[b]
Charcoal carbon	6.25[c]	10.75[c]	19.43[c]

[1]Mean ± standard deviation of three replications. [abcd]Different superscripts in column indicate significant differences between values ($P<0.05$).

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการตรึงเซลล์ของ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 บนตัวพยุง 3 ชนิด โดยเลี้ยงในน้ำเสีย 3 แหล่งภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง

Table 12 Comparison on immobilization of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 on three supporters by cultivating in three effluents under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature for 120 hours.

Sources	material	pH	DCW (g/l)	COD (mg/l)	%COD removal	TKN (mg/l)	% TKN removal
Tuna condensate	Nylon scourers	9.28[a]	0.687[a]	9960±542.15[a]	67.39[a]	681.33±13.2[a]	46.52[a]
	Polyurethane sponge	9.04[a]	0.448[b]	10200±555.22[a]	66.60[a]	704.67±6.6[a]	44.69[a]
	Charcoal carbon	8.68[a]	0.287[c]	10624±542.15[a]	65.22[a]	706.53±5.75[a]	44.54[a]
Latex concentrate effluent	Nylon scourers	9.22[a]	0.776[a]	5032±222.02[a]	54.89[a]	118.53±1.32[a]	76.91[a]
	Polyurethane sponge	9.18[a]	0.582[b]	5304±222.02[a]	52.45[a]	126.93±1.32[a]	75.27[a]
	Charcoal carbon	9.20[a]	0.324[c]	5312±216.86[a]	52.38[a]	127.87±1.32[a]	75.10[a]
Shrimp farm wastewater	Nylon scourers	9.14[a]	0.294[a]	69.06±6.50[a]	47.98[a]	20.53±0..26[a]	35.30[a]
	Polyurethane sponge	9.05[a]	0.320[a]	74.37±4.34[a]	44.00[a]	20.84±0.17[a]	34.32[a]
	Charcoal carbon	9.00[a]	0.164[b]	74.37±4.34[a]	44.00[a]	20.93±0.15[a]	34.04[a]

[1]Mean ± standard deviation of three replications. [abcd]Different superscripts in column indicate significant differences between values ($P<0.05$).

3. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงไม่ตรึงรูปและตรึงรูปในระบบเปิด

เมื่อเลี้ยง *R. sphaeroides* ES16 ที่ถูกตรึงบนแผ่นใยขัดในน้ำนึ่งปลาทูน่า,น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยไม่ต้องทำให้ปราศจากเชื้อ ปรับพีเอชเป็น 7.0 ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง โดยเลี้ยงในอ่างแก้วทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขนาดกว้างXยาวXสูง คือ 25X50X20 เซนติเมตร) ให้อากาศ 0.37 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที (vvm) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง จากนั้นทำการเปลี่ยนน้ำเสียชุดใหม่เข้ามาแทนที่โดยเหลือน้ำเสียเดิมไว้ 10%เพื่อเป็นเชื้อเริ่มต้น แล้วทดลองต่อไปเป็นเวลาอีก 120 ชั่วโมง รวมเป็น 240 ชั่วโมง

เพื่อทำการเปรียบเทียบชุดทดลองที่เติมตัวพยุงและไม่เติมตัวพยุง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 120 ชั่วโมง การลดลงของซีโอดีเท่ากับ 68.46% และ 66.92% ตามลำดับ ในน้ำนึ่งปลาทูน่า (รูปที่ 13a) 51% และ 50% ตามลำดับ ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น (รูปที่ 14a) และ 48.39 % และ 45.17% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (รูปที่ 15a) ซึ่งการลดลงของซีโอดีในน้ำเสียทั้ง 3 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างชุดทดลองที่มีตัวพยุงและไม่มีตัวพยุง ($p>0.05$)

สำหรับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อเวลาผ่านไป 120 ชั่วโมง (ตารางที่ 13) พบว่า ชุดทดลองที่มีตัวพยุงและไม่มีตัวพยุงให้ค่าการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 46.52% และ 45.79% ตามลำดับในน้ำนึ่งปลาทูน่า 77.46% และ 74.54% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และ 30.93 % และ 30.93% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ค่าต่างๆเหล่านี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างชุดทดลองที่มีตัวพยุงและไม่มีตัวพยุง($p>0.05$)

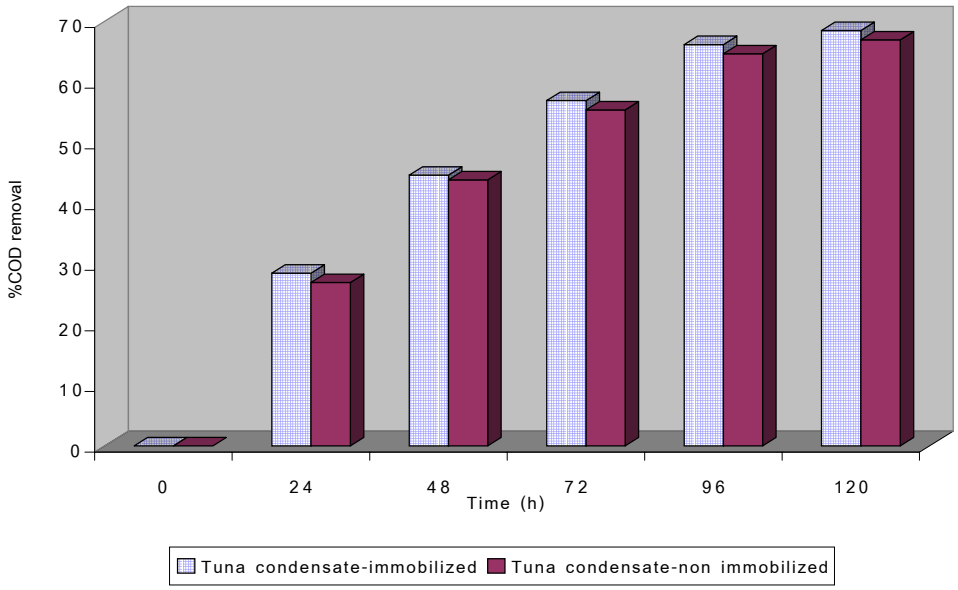
อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำเสียชุดใหม่เข้ามาแทนที่แล้วทดลองไปอีก 120 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 240 พบว่า ชุดทดลองที่มีตัวพยุงและไม่มีตัวพยุงให้ค่าการลดลงของซีโอดีเท่ากับ 76.15% และ 69.23% ตามลำดับในน้ำนึ่งปลาทูน่า (รูปที่ 13b) ชุดทดลองที่มีตัวพยุงและไม่มีตัวพยุงให้ค่าการลดลงของซีโอดีเท่ากับ 60% และ 53% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น (รูปที่ 14b) และ 51.60% และ 45.97% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (รูปที่ 15b) จากผลการทดลองที่ได้พบว่าผลการบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่มีตัวพยุงให้ค่าการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าชุดทดลองที่ไม่มีตัวพยุงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

สำหรับการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 14) เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำเสียชุดใหม่เข้ามาแทนที่แล้วทดลองไปอีก 120 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 240 พบว่า ชุดทดลองที่มีตัวพยุงและไม่มีตัวพยุงให้การลดลงของไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 50.18% และ 45.93% ตามลำดับในน้ำนึ่งปลาทูน่า 80% และ 75.27% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น และ 32.21% และ 31.27% ตามลำดับในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียทั้ง 3 แหล่งเมื่อเวลาผ่านไปอีก 120 ชั่วโมง พบว่า ผลการบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่มีตัวพยุงจะให้ค่าการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าชุดทดลองที่ไม่มีตัวพยุงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในการบำบัดน้ำนึ่งทูน่าและในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น ส่วนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

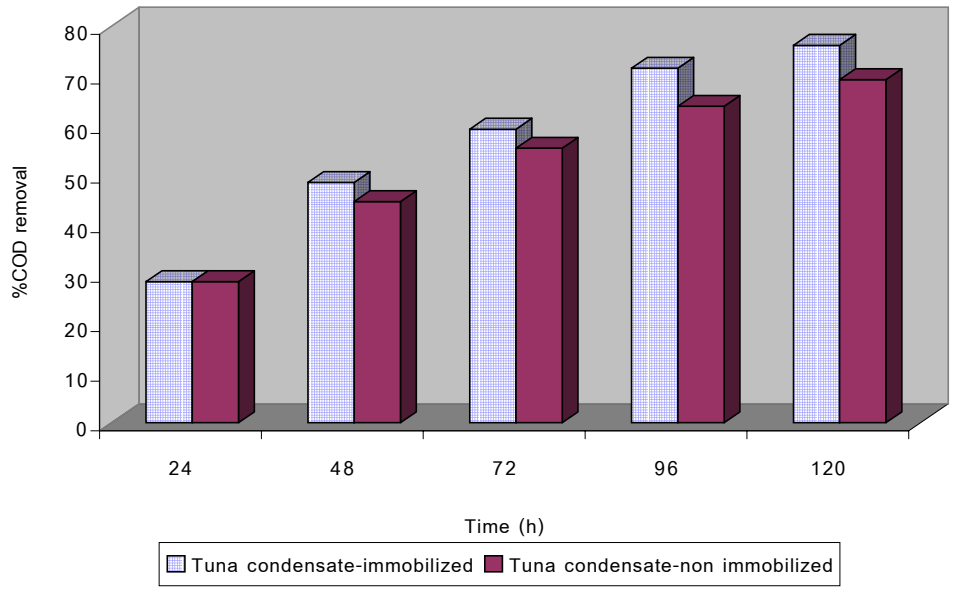
จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นว่าในช่วงแรก (120 ชั่วโมงแรก) ในระบบที่มีตัวพยุงและในระบบที่ไม่มีตัวพยุงให้ผลในการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของระบบที่

ยังมีปริมาณของเซลล์ที่ถูกตรึงไม่มากนักระบบเริ่มต้นไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากผ่านไปอีก 120 ชั่วโมง (จนถึงชั่วโมงที่ 240) พบว่าระบบที่มีตัวพยุงจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีตัวพยุง เนื่องจากระบบที่มีตัวพยุงปริมาณเชื้อมากกว่าระบบที่ไม่มีตัวพยุงทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบที่มีตัวพยุง เมื่อนำไปใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม การตรึงเซลล์จุลินทรีย์ในระบบจึงจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้น ซึ่งอาจนำไปใช้ในระบบขั้นต้นก่อนการบำบัดในขั้นอื่นต่อไปจะช่วยให้ลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบอื่นๆ ทำให้ช่วยประหยัดระยะเวลาในการบำบัดได้มากขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายน้อยลง อีกทั้งแผ่นใยขัดที่นำมาใช้เป็นตัวพยุงเป็นวัสดุที่มีราคาไม่สูงและนำมาใช้ได้สะดวกจึงสามารถนำมาใช้จริงในระดับอุตสาหกรรมได้ง่าย นอกจากนี้การที่ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้โดยไม่ต้องทำการเจือจางหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบใดๆของน้ำเสียก่อนบำบัด ยกเว้นปรับค่าพีเอชให้อยู่ที่ ประมาณ 7 ซึ่งน้ำนึ่งปลาทูน่า, น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก็มีพีเอชประมาณ 7 อยู่แล้วยังเป็นข้อดีที่น่าสนใจต่อการนำไปปฏิบัติจริงในโรงงานอุตสาหกรรมและบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

(a)



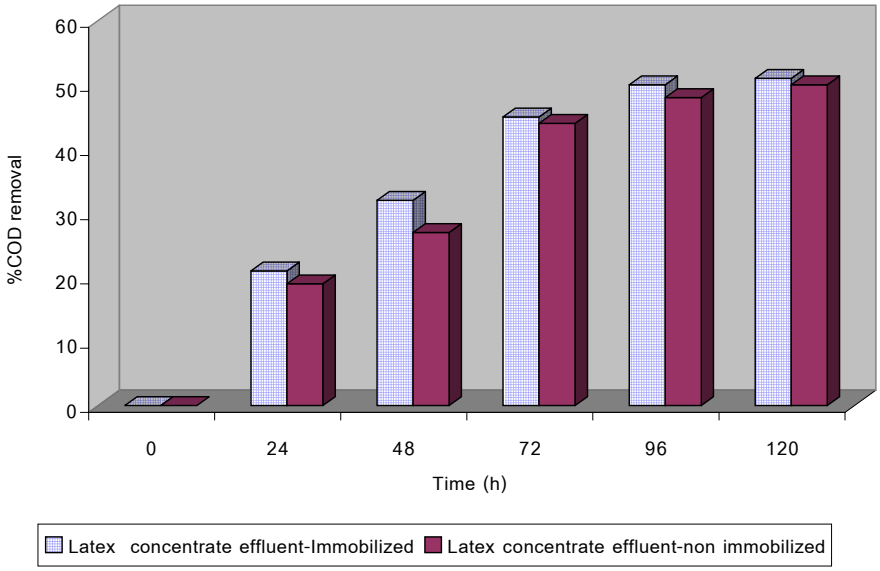
(b)



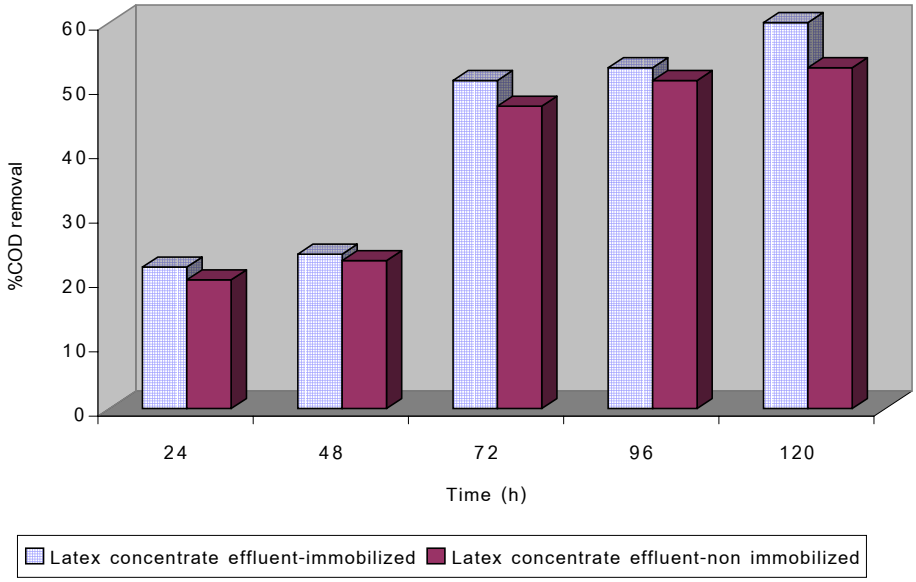
รูปที่ 13 เปรียบเทียบการบำบัดน้ำนึ่งปลาทูน่า (พีเอช7) ในระบบเปิด ด้วย *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงเซลล์ด้วยแผ่นใยขัดและไม่ตรึงเซลล์ ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง ที่อุณหภูมิห้อง (a) 120ชั่วโมงแรก, (b) 120 ชั่วโมงหลัง (ใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10%จากชุดแรก)

Fig. 13 Comparison treatment in tuna condensate under aerobic-dark condition pH7 by *Rhodobacter sphaeroides* ES16 strain immobilized with nylon scourers and non immobilized at room temperature (a) at 120 first, (b) the last 120 hours.

(a)



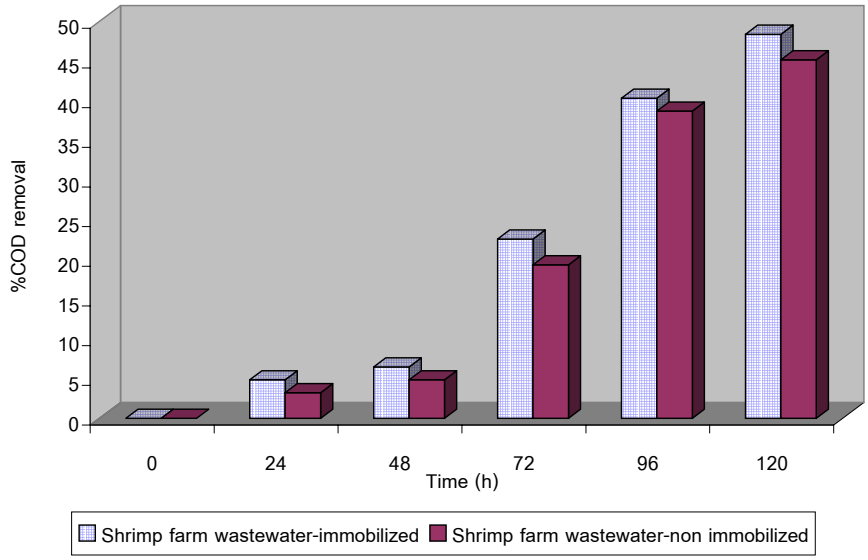
(b)



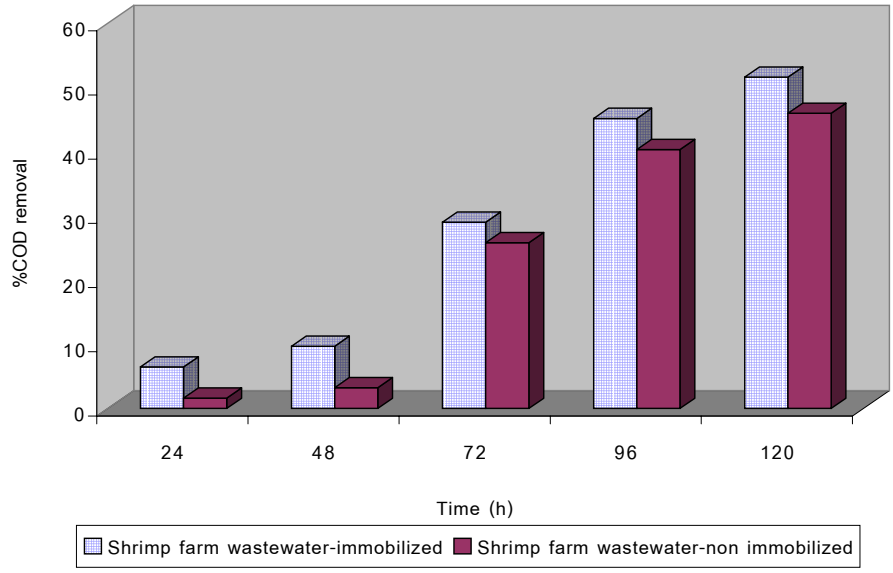
รูปที่ 14 เปรียบเทียบการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น (พีเอช7) ในระบบเปิด ด้วย *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงเซลล์ด้วยแผ่นใยขัดและไม่ตรึงเซลล์ ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง ที่อุณหภูมิห้อง (a) 120ชั่วโมงแรก, (b) 120 ชั่วโมงหลัง (ใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10%จากชุดแรก)

Fig. 14 Comparison treatment in latex concentrate effluent under aerobic-dark condition pH7 by *Rhodobacter sphaeroides* ES16 strain immobilized with nylon scourers and non immobilized at room temperature (a) at 120 first, (b) the last 120 hours.

(a)



(b)



รูปที่ 15 เปรียบเทียบการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (พีเอช7) ในระบบเปิด ด้วย *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงเซลล์ด้วยแผ่นใยขัดและไม่ตรึงเซลล์ ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง ที่อุณหภูมิห้อง (a) 120ชั่วโมงแรก, (b) 120 ชั่วโมงหลัง (ใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10%จากชุดแรก)

Fig. 15 Comparison treatment in effluent from shrimp farm wastewater under aerobic-dark condition pH7 by *Rhodobacter sphaeroides* ES16 strain immobilized with nylon scourers and non immobilized at room temperature (a) at 120 first, (b) the last 120 hours.

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลของการใช้ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงเซลล์และไม่ตรึงเซลล์ในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่งภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 ชั่วโมง

Table 13 Comparison on using immobilized and non immobilized in cells of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 for treatment of three effluents under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature at 120 hours.

effluents	parameters	Final pH	COD (mg/l)	%COD removal	TKN(mg/l)	%TKN removal
Tuna condensate	Immobilized	9.86[a]	10933.33±754.25[a]	68.46[a]	681.33±13.2[a]	46.52[a]
	Non-Immobilized	9.84[a]	11466.67±754.25[a]	66.92[a]	685.07±46.23[a]	45.79[a]
Latex concentrate effluent	Immobilized	9.24[a]	5226.67±150.85[a]	51[a]	115.73±2.64[a]	77.46[a]
	Non-Immobilized	9.20[a]	5333.33±150.85[a]	50[a]	130.67±10.56[a]	74.54[a]
Shrimp farm wastewater	Immobilized	8.46[a]	68.27±3.02[a]	48.39[a]	20.63±0.13[a]	30.93[a]
	Non-Immobilized	8.62[a]	72.53±3.02[a]	45.17[a]	20.63±0.13[a]	30.93[a]

[1]Mean ± standard deviation of three replications. [abcd]Different superscripts in column indicate significant differences between values ($P<0.05$).

ตารางที่ 14 การบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แหล่งโดยใช้ *Rhodobacter sphaeroides* ES16 ที่ตรึงเซลล์และไม่ตรึงเซลล์จากการเลี้ยงใน 120 ชั่วโมงแรกเป็นหัวเชื้อ (10%) ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง (200 rpm) พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง

Table 14 Treatment of three sources of wastewater using immobilized and non immobilized in cells of *Rhodobacter sphaeroides* ES16 from the previous 120 hours treatment as starter culture under aerobic-dark (200 rpm) condition at room temperature for 120 hours.

effluents	parameters	Final pH	COD (mg/l)	%COD removal	TKN(mg/l)	%TKN removal
Tuna condensate	Immobilized	9.89[a]	8266.67±754.25[a]	76.15[a]	673.87±2.64[a]	50.18[a]
	Non-Immobilized	9.86[a]	10666.67±377.12[b]	69.23[b]	683.2±12.01[b]	45.93[b]
Latex concentrate effluent	Immobilized	9.26[a]	4266.67±150.85[a]	60[a]	102.67±2.64[a]	80[a]
	Non-Immobilized	9.22[a]	5013.33±150.85[b]	53[b]	126.93±2.64[b]	75.27[b]
Shrimp farm wastewater	Immobilized	8.62[a]	64±5.23[a]	51.6[a]	20.25±0.13[a]	32.21[a]
	Non-Immobilized	8.58[a]	71.47±3.99[b]	45.97[b]	20.53±0.13[a]	31.27[a]

[1]Mean ± standard deviation of three replications. [abcd]Different superscripts in column indicate significant differences between values ($P<0.05$).