

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ชื่อเรื่อง การใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ในการบำบัดน้ำเสีย
Using *Chlorella* sp. to Treat Wastewater



T099468



โดย

นางสาวสุนิสา เพชรสนธิ รหัส 41544076

ร.พ.

8818ก

2544

เลขหมู่.....99468
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง การใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ในการบำบัดน้ำเสีย
Using *Chlorella* sp. to Treat Wastewater

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุนิสา เพชรสนธิ์ รหัส 41544076
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบุญณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย
อาจารย์ที่ปรึกษา.....

.....
(อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบุญณ์)

ภาควิชาประมงแล้ว

.....
.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ ๑๒ เดือน พ.ค. พ.ศ. ๒๕๔๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ภาษาไทย การใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ในการบำบัดน้ำเสีย

Using *Chlorella* sp. to Treat Waste Water

การใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่ระดับจำนวนเซลล์ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, ออโรฟอสเฟต และไนโตรเจนรวม เริ่มต้นเท่ากับ 62.167, 1.216, 1.864, 11.012, 5.157 และ 58.827 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับพบว่า ที่ระดับจำนวนเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดคือสามารถลดปริมาณคุณภาพน้ำเหล่านั้นลงได้ 95.31%, 88.9%, 69.59%, 77.5%, 80.87% และ 93.27%

การใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่ระดับจำนวนเซลล์ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร บำบัดน้ำเสียจากธรรมชาติ ซึ่งมีค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนไตรท์-ไนโตรเจน, ไนเตรท-ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, ออโรฟอสเฟต และไนโตรเจนรวม เริ่มต้นเท่ากับ 7.655, 0.054, 0.813, 11.193, 10.563 และ 10.184 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับพบว่า ที่ระดับจำนวนเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดคือสามารถลดปริมาณคุณภาพน้ำเหล่านั้นลงได้ 85.2%, 64.82%, 67.29%, 73.56%, 70.64% และ 81.43%

การบำบัดน้ำเสียจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเสียให้มากขึ้น และประสิทธิภาพของ *Chlorella* sp. ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สูงกว่าน้ำเสียธรรมชาติ เนื่องจากในน้ำเสียธรรมชาติมีชนิดของสิ่งปนเปื้อนมากกว่า ซึ่งสิ่งปนเปื้อนบางชนิดเป็นตัวขัดขวางการบำบัดน้ำเสียของ *Chlorella* sp. ได้ เช่น ไขมัน ยาฆ่าแมลง โลหะหนัก เป็นต้น

คำนิยม

การทำปัญหาพิเศษเรื่องการใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ในการบำบัดน้ำเสียครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์สุนีรัตน์ เรื่องสมบุญณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดเสร็จสิ้นการทดลอง

ขอขอบคุณ ร.ศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ดร. ปวีณา ทวีกิจการ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาพร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในการจัดซื้ออุปกรณ์ในการทดลองครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผ.ศ. สมชาย หวังวิบูลย์กิจ ที่คอยชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ขอขอบคุณ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ และอาจารย์รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์ ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ คุณนิพนธ์ จิตตำนาน คุณแสง พักหอม และคุณมณฑา นิมแสง ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองจนสำเร็จ

และขอขอบคุณ คุณเทิดศักดิ์ ศรีประสิทธิ์ชัย ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ อย่าง และคอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุนิสา เพชรสนธิ์

9 พฤษภาคม 2545

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	18
ผลการทดลองและวิจารณ์	22
สรุปและข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของอุจจาระและปัสสาวะของคน	9
2	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	34
3	ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	35
4	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	36
5	ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	37
6	ปริมาณออกซิฟอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	38
7	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	39
8	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	40
9	ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	41
10	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	42
11	ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	43
12	ปริมาณออกซิฟอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	44
13	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	49
2	ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	49
3	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	50
4	ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	50
5	ปริมาณออกซิฟอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	51
6	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	51
7	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	52
8	ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	52
9	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	52
10	ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	53
11	ปริมาณออกซิฟอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	53
12	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟการเจริญเติบโตของสาหร่าย	3
2	ห่วงโซ่อาหารในบ่อเลี้ยงกุ้ง (อาจมีการให้อาหารเพื่อเสริมอาหารธรรมชาติ)	6
3	ส่วนประกอบของน้ำเสียในชุมชน	9
4	บ่อบำบัดแบบกึ่งแอโรบิก	11
5	การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน	13
6	การแปรเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป	14
7	ปฏิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ และความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่าง แบคทีเรีย และสาหร่าย	15
8	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	28
9	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	29
10	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	30
11	ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	31
12	ปริมาณออกซิฟอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	32
13	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	33
14	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	40
15	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	41
16	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17	ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัด ด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	43
18	ปริมาณออกซิฟอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัด ด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	44
19	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัด ด้วยสาหร่ายสีเขียว <i>Chlorella</i> sp.	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

น้ำเสียเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นทุกขณะ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้มีอัตราการบริโภคในด้านต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นเป็นเงาตามตัว น้ำเป็นอีกทรัพยากรหนึ่งที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในด้านอุปโภคและบริโภค ซึ่งน้ำที่ผ่านกิจกรรมของมนุษย์ 80-85 % จะกลายเป็น้ำเสีย ดังนั้นเมื่อมีการใช้น้ำมากขึ้นน้ำเสียก็จะเกิดมากขึ้นเมื่อน้ำเสียมีคุณภาพลงโดยสิ่งต่าง ๆ ที่เจือปนลงในน้ำก็จะเป็นอันตรายต่อระบบสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ รวมทั้งการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ ในประเทศไทยเกิดปัญหาเหล่านี้มากโดยเฉพาะในชุมชนใหญ่ ๆ ในขณะเดียวกันการแก้ปัญหาเหล่านี้โดยนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้ จะต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงทำได้เป็นบางที่และตามความรุนแรงของปัญหา ในปัจจุบันวิธีการบำบัดน้ำเสียทำได้หลายวิธีเช่น การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีทางกายภาพ และทางชีวภาพ ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีวภาพนั้นจะเป็นการอาศัยธรรมชาติเป็นตัวช่วยในการบำบัด โดยการอาศัยการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซึ่งเป็นตัวสร้างออกซิเจนให้กับแบคทีเรีย และแบคทีเรียจะเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะทำให้แหล่งน้ำสะอาดขึ้น สาหร่ายที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีหลายชนิด ได้แก่ *Oscillatoria* sp. , *Scenedesmus* sp. และ *Chlorella* sp. ซึ่ง *Chlorella* sp. เป็นแพลงก์ตอนพืชสีเขียวขนาดเล็ก เเพาะเลี้ยงง่าย เจริญเติบโตรวดเร็ว และใช้พื้นที่เพียงเล็กน้อยในการเพาะเลี้ยง จึงเป็นแพลงก์ตอนพืชชนิดหนึ่งซึ่งสมควรนำมาศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ *Chlorella* sp. ในการบำบัดน้ำเสีย

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

Chlorella sp. เป็นสาหร่ายสีเขียว ที่จัดอยู่ใน Division Chlorophyta Class Chlorophyceae หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Green algae ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว ที่มีขนาดเล็กประมาณ 1-10 ไมครอน อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ลักษณะเซลล์มีรูปร่างหลายแบบ เช่น ทรงกลม รูปไข่ และรูปรี เซลล์จะมีหลายขนาดในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน *Chlorella* มีคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) รูปร่างคล้ายถ้วย หรือระฆัง หรือเป็นแถบแบนข้าง (perietal) อยู่ริมเซลล์ อาจมีหรือไม่มีไพร์นอยด์ ไม่มีระยะยงศ์ และคอนแทรกไทล์แวคิวโอล (contractile vacuole) สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแบ่งเซลล์ จนได้จำนวนเซลล์ 4 หรือ 8 เซลล์ ซึ่งยังคงอยู่รวมกับเซลล์พ่อแม่ เซลล์ของ *Chlorella* จะเจริญเติบโตได้ในแหล่งที่มีความเข้มข้นของสารอาหารอยู่ในช่วงกว้าง ดังนั้นในธรรมชาติจึงพบ *Chlorella* ทั้งในสภาพน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำเสีย เซลล์ของ *Chlorella* มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

1.1. สารสีสำหรับสังเคราะห์แสง ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ เอ บี , แอลฟา เบตา และแกมมาแคโรทีน , แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) หลายชนิด ชนิดที่มีมาก ได้แก่ ลูเทอีน (lutein) ไวโอแลแซนทิน (vioxanthin) และ นีโอแซนทิน (neoxanthin) (ลัดดา , 2539)

1.2. ผนังเซลล์ ผนังเซลล์ของ *Chlorella* มี 3 ชั้น ผนังเซลล์จะหนาและแข็ง ผนังชั้นกลางจะหนาที่สุดประกอบด้วย เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ผนังชั้นนอกเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ จะทำหน้าที่จับกับโลหะหนักและสารพิษ และชั้นในสุดจะเป็นของชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ (วิสัย , 2534)

1.3. อาหารสะสม สาหร่ายสีเขียวส่วนใหญ่มีอาหารสะสมในส่วนของเซลล์ที่เรียกว่า ไพร์นอยด์ อาหารสะสมเป็นพวกแป้ง ซึ่งประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) (ลัดดา , 2539)

2. การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp

แบ่งการเจริญเติบโตได้ 5 ระยะ ดังนี้

2.1. ระยะปรับตัว (Lag phase or inductional phase) เป็นระยะที่เซลล์ปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่น แสง อุณหภูมิ และธาตุอาหาร ระยะนี้ไม่มีการแบ่งเซลล์ถ้าเซลล์ไม่สามารถปรับตัวได้ก็จะตาย

2.2. ระยะเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential phase) เป็นระยะที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วระยะนี้จะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารและคุณสมบัติ

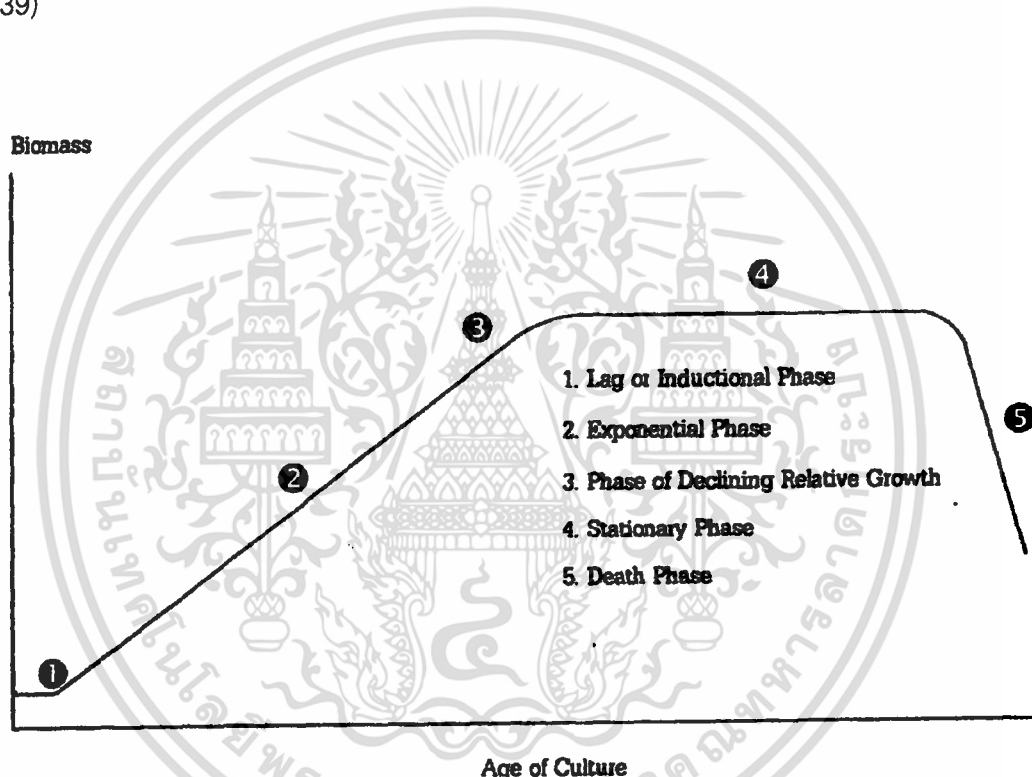
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางฟิสิกส์ เคมี ของสิ่งแวดล้อม ระยะการเจริญเติบโตในระยะนี้เป็นแบบที่รวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆ ช้าลงตามลำดับ

2.3. ระยะเฉื่อย (Retardation phase or phase of declining relative growth) เป็นช่วงที่เซลล์มีการเจริญเติบโตช้าลงเพราะขาดแคลนอาหาร

2.4. ระยะคงที่ (Stationary phase) เป็นระยะที่การเจริญเติบโตหยุดนิ่งเนื่องจากธาตุอาหารลดน้อยลงและเกิดสารพิษจากขบวนการเมตาบอลิซึมหรือสลายตัวของเซลล์เพิ่มมากขึ้น

2.5. ระยะตาย (Death phase) เป็นระยะที่เซลล์มีการเจริญเติบโตหยุดนิ่งโดยสิ้นเชิงเนื่องจากธาตุอาหารหมดลง เซลล์เริ่มตายและการตายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และรวดเร็ว (ลัดดา , 2539)



ภาพที่ 1 กราฟการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ที่มา : Fox (1983) อ้างโดย ลัดดา (2539)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

3.1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเป็นกรดเป็นด่างในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 6-9 ซึ่งจะแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่นลักษณะพื้นดินและหิน ปริมาณน้ำฝนซึ่งละลายเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศให้กลายเป็นกรดคาร์บอนิก ตลอดจนการใช้ดินในบริเวณแหล่งน้ำเหล่านั้น นอกจากนี้การสลายตัวของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ต่างๆ เมื่อลดลงแหล่งน้ำจะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำลงได้ (ไมตรี และจากรุวรรณ , 2528) สันติ (2537) รายงานว่า ค่า pH ของอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีผลต่อ ขบวนการต่างๆ ทางชีววิทยาของเซลล์ ค่า pH จะเป็นดั่งบ่งบอกการละลายของ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือปริมาณไบคาร์บอเนตในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อม ต่อขบวนการ Metabolism ของเซลล์สาหร่าย การตอบสนองต่อค่า pH ของสาหร่ายจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย สำหรับ *Chlorella* sp. สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH กว้าง แต่ โดยทั่วไปสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วง pH ที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงกลางและบางสายพันธุ์ เช่น *Chlorella saccharophila* สามารถเติบโตได้ที่ pH เท่ากับ 2 และ *Chlorella homophaere* เติบโต ได้ดีที่ค่า pH เท่ากับ 6

3.2. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทาง อ้อมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมระดับ เซลล์และการหายใจของสิ่งมีชีวิต โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศมีผล ทำให้พืชน้ำบางชนิดโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนในปริมาณที่ แตกต่างกันไป บางชนิดชอบอาศัยในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ไดอะตอม สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ อุณหภูมิระหว่าง 15-25 °C สาหร่ายสีเขียว ชอบอาศัยในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 23-35 °C (ไมตรี และจากรุวรรณ , 2528) *Chlorella* sp. สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิค่อนข้างกว้างแต่ใน กรณีที่ความเข้มข้นสูงมากเกินไป จะทำให้ *Chlorella* sp. ตายได้ (สุนีย์ , 2527) ธิดา และมา วิทย์ (2534ก) รายงานว่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนได้ในระดับอุณหภูมิต่ำดีกว่า อุณหภูมิสูง คือที่ระดับอุณหภูมิ 21 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Chlorella* sp.

3.3. ความเข้มแสง (light) แสงเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของ แพลงก์ตอนพืชโดยความเข้มแสงเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งในแพลงก์ตอนพืชจะมี Chlorophyll เป็นตัวดูดซับแสงไว้เพื่อใช้เป็นพลังงานในการเพิ่มจำนวน เซลล์ และกระบวนการต่างๆ เช่น การหายใจ โดยปกติความเข้มแสงจะผันแปรตามฤดูกาล ช่วง เวลาในรอบวัน ปริมาณเมฆ ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ความขุ่นของน้ำ ความเรียบของผิวน้ำ และ ความลึกของน้ำ (สุนีย์ , 2527) มาวิทย์ และธิดา (2534 ก) รายงานว่า ความสัมพันธ์ของ ปริมาณความเข้มแสงกับช่วงเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์เป็น 2 เท่า ที่ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ คือ 1000 , 3000 และ 5000 lux พบว่าเซลล์ของ *Chlorella* sp. จะเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ใน เวลา 2.0 , 1.2 และ 1.2 วัน ตามลำดับ (มาวิทย์ และธิดา , 2534 ก) ดังนั้นสรุปได้ว่า แสงมี ความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชซึ่งมีปริมาณความเข้มแสงมากเท่าใดการ

เจริญเติบโตก็จะมากตาม จนถึงระดับที่เซลล์รับไม่ได้อัตราการเจริญเติบโตจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. ปริมาณ O_2 ที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องใช้ O_2 ในกระบวนการต่างๆ เพื่อการเจริญเติบโต ปริมาณ O_2 ที่ละลายในน้ำจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ความเร็วของกระแสน้ำ อุณหภูมิ น้ำ อัตรากายหายใจ และความกดดันของอากาศ O_2 ในน้ำได้จากบรรยากาศโดยตรงและจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้ O_2 ในน้ำได้มากที่สุด ในทางกลับกันในการหายใจของสัตว์น้ำและพืชน้ำ การเน่าสลายของอินทรีย์วัตถุต่างๆ โดย Bacteria ทำให้ O_2 ในน้ำลดลงได้เช่นกัน ความสามารถในการละลาย O_2 ในน้ำจัดอยู่ในช่วงระหว่าง 14.6 mg/L ที่ $0^\circ C$ และ 6.9 mg/L ที่ $35^\circ C$ ในสภาพของความกดอากาศ 1 บรรยากาศ (ไมตรี และจากรวรรณ , 2528) แพลงก์ตอนพืชจะใช้สารประกอบอนินทรีย์ ธาตุอาหาร และแสงแดด ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์และพลังงาน เป็นกระบวนการเพื่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแพลงก์ตอนพืช โดยมีสมการทางเคมีดังต่อไปนี้



ผลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงคือก๊าซออกซิเจน ดังนั้นการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจึงเป็นแหล่งเกิดออกซิเจนที่สำคัญ (สิริ และสุรางค์ , 2533) ความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนกับแพลงก์ตอนพืชมีค่อนข้างน้อยเนื่องจากออกซิเจนเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชนั่นเอง

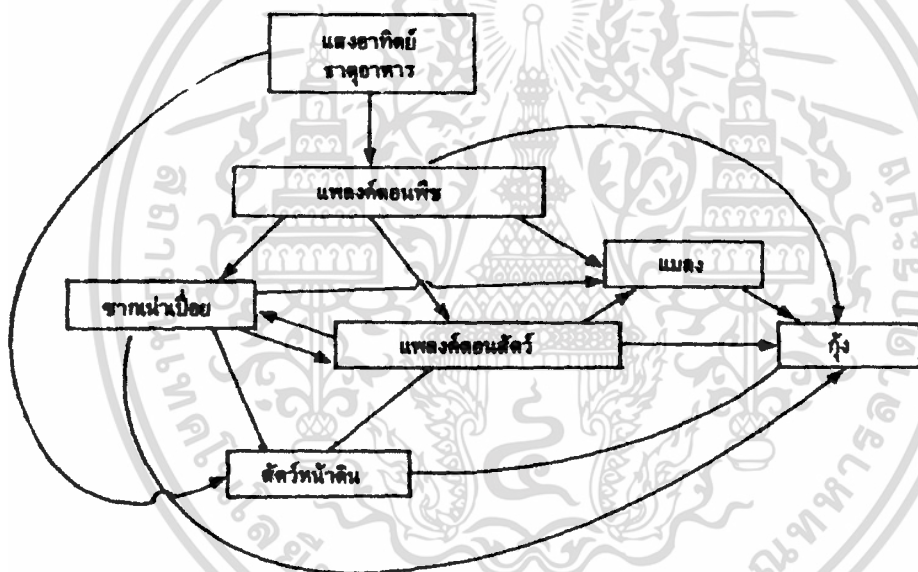
3.5. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) มีความสำคัญกับแพลงก์ตอนพืชมากเพราะจะถูกดึงเข้าไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นอาหารในรูปของแป้ง ดังสมการ



คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำได้มาจากบรรยากาศและการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำและยังได้จากการหายใจของแพลงก์ตอนพืชในเวลาที่ไม่ได้มีแสงใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงอีกด้วย ในบางวันที่ไม่มีแสงแดด ท้องฟ้ามีดึกครึ้มหรือมีฝนตกจะทำให้แพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์แสงไม่ได้ จะมีปริมาณออกซิเจนต่ำมาก บางครั้งทำให้แพลงก์ตอนพืชในปริมาณมากตายเกิดการเน่าสลาย โดยการใช้ออกซิเจนจะทำให้มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น และทำให้เกิดภาวะการขาดออกซิเจนหรือปริมาณออกซิเจนเท่ากับศูนย์ได้ (สิริ และสุรางค์ , 2533)

4. ประโยชน์ของสาหร่าย

4.1. ใช้เป็นอาหารขั้นต้นในการอนุบาลสัตว์น้ำ ในปัจจุบันได้มีอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยจะมีการให้อาหารแทนการปล่อยให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตและขยายพันธุ์เองตามธรรมชาติ ดังนั้นอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญและอาหารที่ได้รับความสนใจและมีการใช้อย่างแพร่หลายได้แก่ สาหร่าย *Chlorella* sp. เนื่องจากเป็นสาหร่ายขนาดเล็กเจริญเติบโตได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถทำการผลิตได้เองและการใช้สาหร่ายชนิดนี้จะไม่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของน้ำในบ่อเลี้ยง (ปาจารย์ และคณะ , 2529) นอกจากนี้ประโยชน์โดยตรงของสาหร่ายแล้ว สาหร่ายยังมีประโยชน์โดยอ้อมคือสาหร่ายเหล่านี้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ เช่น ไรแดง กุ้ง ปลา หอย ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ กล่าวได้ว่าสาหร่ายเป็นจุดเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหาร



ภาพที่ 2 ห่วงโซ่อาหารในบ่อเลี้ยงกุ้ง (อาจมีการให้อาหารเพื่อเสริมอาหารธรรมชาติ)
ที่มา : Boyd (1989) อ้างโดย สิริและสุรางค์ (2533)

4.2. ใช้เป็นอาหารเสริมในมนุษย์ เนื่องจากสาหร่าย *Chlorella* sp. มีโปรตีนอยู่ในปริมาณที่สูงจึงประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดและยังมีวิตามิน เค็ลล์แร่ อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมในการใช้เป็นอาหาร นอกจากนี้ *Chlorella* sp. ยังมีสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ที่เป็นอาหารมนุษย์ ได้แก่ *Scenedesmus* sp. และ *Spirulina* sp. เจียมจิตต์ (2530) รายงานว่า ในประเทศเปรูและเม็กซิโก ได้ทดลองนำโปรตีนจากสาหร่ายมาให้เด็กขาดสารอาหารรับประทาน พบว่าเด็กที่ขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอาหารจะฟื้นตัวจากโรคขาดสารอาหารอย่างรวดเร็วและมีน้ำหนักตัวมากกว่าเด็กที่ให้อาหาร
ควบคุม

4.3. ประโยชน์ทางการแพทย์ ในประเทศไทยยังไม่มีให้นำสาหร่ายมาใช้ในการ
แพทย์ แต่ชาวจีนโบราณได้นำสาหร่ายมาใช้รักษาโรคและได้มีการวิจัยแล้วว่า *Chlorella* sp.
สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ Bacteria *Staphylococcus aureus* ได้ โดยการสร้างสารคลอ
เรลลิน (Chlorellin) (ประภาศิริและสายใจ, 2541) และได้พบว่าไขมันจากสาหร่ายทำให้แตกตัว
(fractionated) เป็นฟอสโฟลิปิดซึ่งจะใช้ในการผลิตไลโปโซม ซึ่งเป็นพาหะนำยารักษาโรคที่ไม่
สามารถละลายน้ำได้เข้าสู่อวัยวะเป้าหมายที่ต้องการได้

4.4. ประโยชน์ด้านการวิจัยและการศึกษา ได้มีการใช้สาหร่ายน้ำจืดหลายชนิดในการ
ศึกษาวิจัย เช่น ใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. ในการศึกษากระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการ
เปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเซลล์ (metabolism)

4.5. ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย ในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะมีการใช้พลัง
งานจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน และได้รับคาร์บอนไดออกไซด์และแร่ธาตุต่าง ๆ จากสาร
อินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนเซลล์ของสาหร่ายจะเป็นการ
ช่วยให้ลำน้ำมีความสะอาดไม่เน่าเสีย สิริ และสุรางค์ (2533) รายงานว่าสิ่งแวดล้อมของแพลงก์
ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา พบว่าอาหารที่กุ้งกินเข้าไปมีเพียง 25-35 % ที่กุ้งนำไปใช้
ประโยชน์ ส่วนที่เหลือค้างอยู่ในบ่อรวมกับของเสียที่ถูกขับออกมาจากตัวกุ้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น
แร่ธาตุพวกโปรตีน วิตามิน และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในรูปของ ไนเตรท ฟอสเฟต และของเสียพวก
แอมโมเนีย สารอินทรีย์ทั้งหมดเหล่านี้จะเป็นอาหารอย่างดีสำหรับแพลงก์ตอนพืชในบ่อได้เจริญ
เติบโตและขยายพันธุ์ จากคุณสมบัติดังกล่าวได้มีการนำสาหร่ายไปใช้ในการรักษาคุณภาพน้ำใน
บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำและในการบำบัดน้ำเสียสาหร่ายที่มีบทบาทมาก ได้แก่ *Chlorella* sp. และ
Scenedesmus sp.

4.6. ประโยชน์ทางด้านนิเวศวิทยา

4.6.1 ทั้งสาหร่ายทะเล และสาหร่ายน้ำจืดเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สำคัญในห่วงโซ่
อาหาร

4.6.2 มีบทบาทสำคัญในการแลกเปลี่ยนทางเคมีระหว่างบรรยากาศกับน้ำ โดย
ควบคุมวัฏจักรของก๊าซ และ CO₂ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อแหล่งน้ำ

4.6.3 การใช้สาหร่ายน้ำจืดในการบำบัดน้ำเสีย

4.6.4 การใช้สาหร่ายน้ำจืดเป็นดัชนีแสดงสภาพของน้ำดีและน้ำเสียได้ เพราะมี
สาหร่ายบางชนิดที่สามารถเจริญเติบโตในน้ำที่มี O₂ ต่ำได้

4.6.5 การใช้สาหร่ายน้ำจืดในการจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.6 ทั้งสาหร่ายทะเลและน้ำจืดมีประสิทธิภาพในการดูดซึมโลหะหนักได้สูงมาก

5 น้ำเสีย

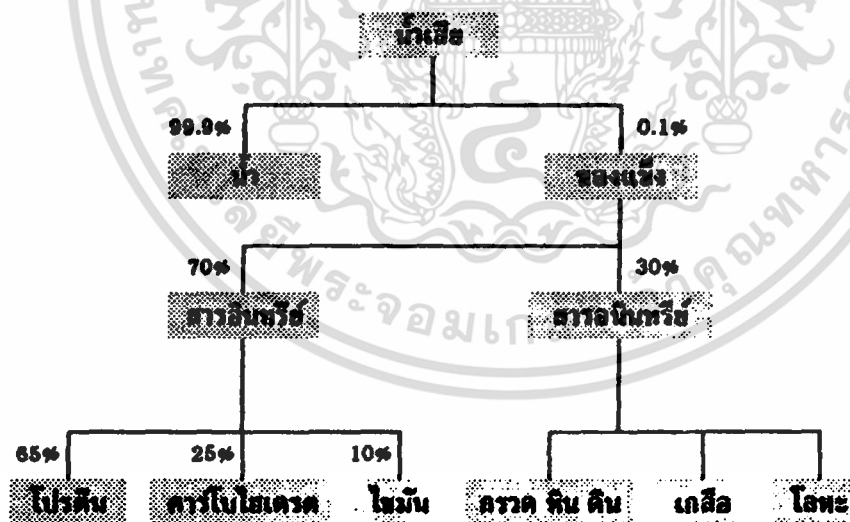
5.1. ประเภทและคุณสมบัติของน้ำเสีย พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , 2535) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียว่าเป็นของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น นอกจากนี้ จัตรชัย (2533) ได้อธิบายว่า น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์มาแล้วซึ่งอาจเป็นการใช้ประโยชน์จากบ้านเรือน ในการเกษตร หรือในกิจกรรมอุตสาหกรรมต่าง ๆ การใช้น้ำเหล่านี้จะทำให้น้ำมีคุณสมบัติต่างไปจากเดิม เช่น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง หรือสิ่งเจือปนเพิ่มขึ้น ชนิดและความเข้มข้นของสิ่งเจือปนขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำ เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือนจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง น้ำเสียจากการเกษตรจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตลอดจนสารพิษจากสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรปะปนอยู่มาก ส่วนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จะขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม

5.1.1 น้ำเสียจากชุมชน (domestic waste) น้ำเสียประเภทนี้โดยทั่วไปแล้วมาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ น้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัยขนาดต่าง ๆ และน้ำเสียจากที่ประกอบการต่าง ๆ รวมทั้งตลาด ร้านค้า โรงแรม และสถานที่ทำงานนานาชนิด (สุรสวัสดิ์ , 2542) เริ่มแรกน้ำเสียจะมีสีเทาดำ ชุ่น และประกอบด้วยสารเจือปนนานาชนิด ทั้งที่เป็นสารแขวนลอย และสารละลาย มีกลิ่นไม่เหม็นนักแต่มีสภาพไม่น่าดู และมีพิษค่อนข้างรุนแรง เนื่องจากประกอบด้วยจุลินทรีย์ นำเชื้อโรคหลายชนิด ในประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิสูง น้ำเสียจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการแปรสภาพและเน่าเหม็น ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ซึ่งล้วนเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (จัตโรไชย , 2533)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอุจจาระและปัสสาวะของคน

ตัวแปร	อุจจาระ	ปัสสาวะ
ปริมาณทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน)	0.14-0.27	1.0-1.3
ปริมาณในรูปของแข็งแห้ง (dry solid) (กรัม/วัน)	35-70	50-70
องค์ประกอบโดยประมาณ(%)		
ความชื้น	60-80	93-96
สารอินทรีย์	88-97	65-85
ไนโตรเจน	5-7	15-19
ฟอสฟอรัส	3.0-5.4	2.5-5.0
โปรตีน	1.0-2.5	3.0-4.5
คาร์บอน	44-55	11-17
แคลเซียม	4.5	4.5-6.0

ที่มา : Gotaas (1956) อ้างโดย จิตรชัย (2533)



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของน้ำเสียในชุมชน

ที่มา : Tebbutt (1970) อ้างโดย จิตรชัย (2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment) หมายถึง ขบวนการกำจัดน้ำโสโครกหรือ กระบวนการแยกหรือทำลายสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำให้ลดลงหรือหมดไป ทำให้มีคุณภาพดีขึ้นก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียมีอยู่หลายแบบ แต่การเลือกที่จะใช้วิธีใดต้อง ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและความเข้มข้นของน้ำเสีย วิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธีซึ่ง จะให้กระบวนการผสมผสานทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะขจัดหรือ ลดสิ่งเจือปนในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่สามารถปล่อยลงสู่ธรรมชาติได้ โดยไม่เป็นอันตราย (ฉัตร ไชย , 2533) กระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของปฏิกิริยาได้แก่

6.1. กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit operation) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ อาศัยแรงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้น แรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง (Screening) การตัดย่อย (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Removal) เป็นต้น

6.2. กระบวนการทางเคมี (Chemical unit process) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสาร เคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกมลสารต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตก ตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (Neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น

6.3. กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit process) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ อาศัยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลาย และเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศ และได้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ได้แก่ ระบบเลี้ยงตะกอนแบบธรรมดา การกรองหยด และบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีธรรมชาติ บ่อบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติสามารถแบ่งได้ตามการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งพอจะแบ่งได้ดังนี้

6.3.1 บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) บ่อแอโรบิกมีแบคทีเรีย และสาหร่าย แขนงลอยอยู่ เป็นบ่อที่มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อ มีสภาพแอโรบิกตลอดความลึก บ่อแอโรบิกได้รับ ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวหน้า บ่อแอโรบิกนี้แบ่งออก เป็น 2 แบบ ตามวัตถุประสงค์การทำงานคือ

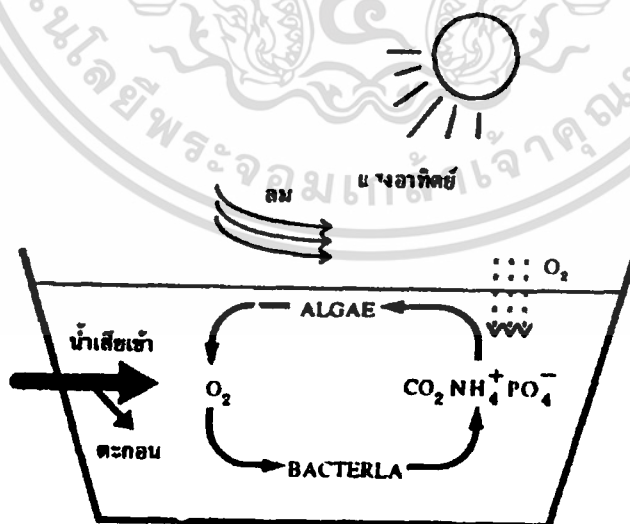
6.3.1.1 บ่อแอโรบิกแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด บ่อแบบนี้มีความลึก ประมาณ 1.5 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำ หรือเครื่องเติมอากาศแบบผิวหน้า (ธีระ , 2524)

6.3.1.2 บ่อแอโรบิกแบบผลิตสาหร่ายให้มากที่สุด หรือบ่อที่อัตราการ ทำงานสูง (High rate pond) ระบบนี้ใช้บ่อตื้น ๆ ความลึกไม่เกิน 0.5 เมตร เพื่อให้แสงแดดส่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะลุถึงกันบ่อย น้ำทิ้งที่จะนำมาบำบัดในบ่อนี้ควรต้องผ่านการกำจัดขั้นต้นแยกตะกอนออกเสียก่อน เพราะจะทำให้บ่อตี้นหากมีตะกอนจะทับถมจนเต็มได้ในเวลาไม่นาน สาหร่ายในบ่อนี้จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเพราะได้รับแสงแดดมาก น้ำทิ้งที่ออกจากบ่อกำจัดจึงมีสีเขียวขุ่นเพราะมีสาหร่ายอยู่มาก หากระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นได้จึงต้องนำน้ำทิ้งจากบ่อ high rate มาแยกสาหร่ายออก ซึ่งอาจทำได้โดยกักน้ำไว้ในบ่อใหญ่เป็นเวลานาน เพื่อให้สาหร่ายตายและตกตะกอน หรือแยกสาหร่ายออกโดยตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation) แล้วแยกตะกอนออกโดยใช้ระบบทำให้ลอยหรือใช้ถังตกตะกอน

6.3.2. บ่อบำบัดแบบกึ่งแอโรบิก (Facultation) บ่อแบบนี้ส่วนบนของบ่ออยู่ในสภาพแอโรบิกเนื่องจากการเติมอากาศที่ผิวน้ำ และจากปฏิกิริยาของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิกที่ซึ่งสารอินทรีย์ตกตะกอนแล้วถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (ธีระ , 2524) บ่อระบบนี้โดยปกติแล้วรับน้ำทิ้งดิบจากที่อยู่อาศัยที่ผ่านการบำบัดขั้นเริ่มต้นเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้บ่อแบบนี้บำบัดน้ำทิ้งที่ผ่านการตกตะกอนจากถังหมักและบ่อหมักก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ บ่อระบบนี้ลึกประมาณไม่เกิน 2 เมตร น้ำทิ้งจะถูกกักเป็นเวลาหลายวันเพื่อให้คงตัวและไม่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือพื้นดิน กระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นมีทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ซึ่งเรียกกันว่าการทำความสะอาดตัวเอง (Self-purification) และเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสาหร่ายและแบคทีเรียภายใต้ปฏิกิริยาของแสงอาทิตย์ สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งจะถูกทำให้คงตัวและเปลี่ยนรูปโดยสาหร่ายส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ที่คงตัวกว่า ซึ่งจะหลุดออกไปในกระแส



ภาพที่ 4 บ่อบำบัดแบบกึ่งแอโรบิก

ที่มา : ฉัตรไชย (2533)

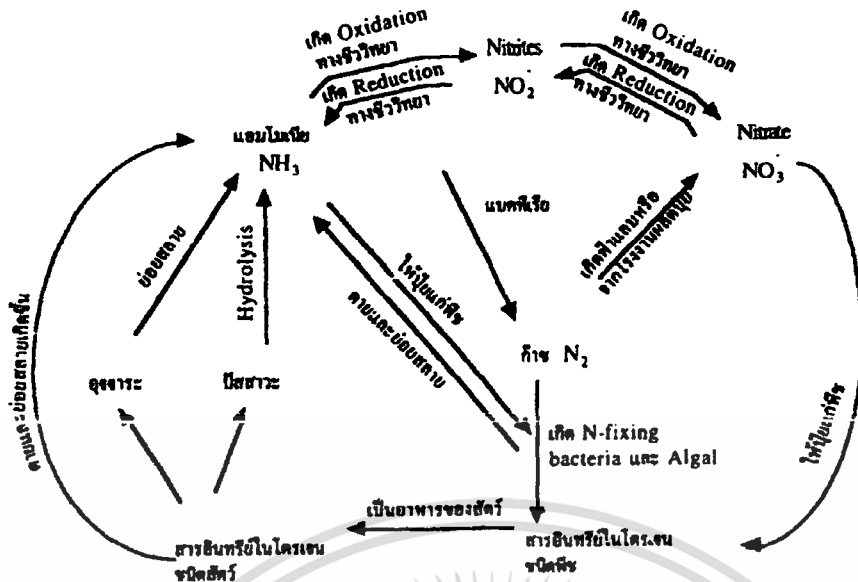
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.3 บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) บ่อแอนแอโรบิกใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง บ่อนี้จะถูกออกแบบให้มีอัตราการรับสารอินทรีย์สูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถป้อนออกซิเจนได้ทัน ดังนั้นภายในบ่อจะไม่มีออกซิเจนอยู่เลย ข้อดีที่สุดของบ่อแบบนี้คือ ใช้บำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูงและมีปริมาณของแข็งสูง ของแข็งเหล่านั้นจะตกอยู่กับบ่อและถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก น้ำใสที่ออกจากบ่อจะถูกปล่อยลงบ่อบำบัดแบบกึ่งแอโรบิก

7. ธาตุอาหารจำเป็นของสาหร่ายที่มีอยู่ในน้ำเสีย

7.1 ไนโตรเจน(Nitrogen)

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชที่มีปริมาณร้อยละ 7-10 ของน้ำหนักแห้งของเซลล์ สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนทั้งในรูปสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ อีกทั้งยังใช้ในโตรเจนในรูปของก๊าซได้อีกด้วย ไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ ได้แก่ แกลือ 3 ชนิด คือ ไนเตรต ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ถ้าแหล่งไนโตรเจนอยู่ในรูปแกลือแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะทำให้ระดับของ pH ของอาหารลดต่ำอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อสาหร่าย ไนไตรท์เป็นสารละลายอนินทรีย์ซึ่งพืชหลายชนิดต้องการใช้ในปริมาณไม่เกิน 1 ml ถ้ามากกว่านี้จะทำให้เกิดอันตราย ส่วนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ ได้แก่ ยูเรีย เอไมด์ (Amide) กลูตามีน (glutamine) และ แอสพาราจีน (asparagine) ซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งไนโตรเจนชนิดดี ส่วนสารอินทรีย์ไนโตรเจนชนิดอื่น ๆ ได้แก่ กรดอะมิโน กรดกลูตามิก และกรดแอสพาร์ติกนั้น สาหร่ายต้องการใช้เพื่อการเจริญเติบโตซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิด ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและปริมาณรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ของเซลล์ รวมทั้งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย (ลัดดา , 2539) ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องมีไนโตรเจนพอเพียงถ้ามีไม่พอจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมสารไนโตรเจนลงไปในน้ำเสีย ให้อยู่ในอัตราส่วน COD : N : P = 150 : 5 : 1 หรือ BOD₅ : N : P = 100 : 5 : 1 แต่ถ้ามีมากเกินไปในแม่น้ำลำคลองหรือบ่อน้ำทั่ว ๆ ไปก็จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นคือ จะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากหรือนิยมเรียกว่า Algal bloom ในแม่น้ำลำคลองนั้น ๆ ได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องควบคุมปริมาณไนโตรเจนในแหล่งน้ำให้เหมาะสม ดังนั้นถ้ามีความเข้มข้นของสารไนโตรเจนมากในบ่อน้ำใช้ทั่วไปตามชนบทแสดงว่าอาจมีสิ่งปนเปื้อนจากอุจจาระหรือปัสสาวะไหลลงในบ่อน้ำนี้ (เกรียงศักดิ์ , 2539) สำหรับกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนได้เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบวิธีชีวภาพ

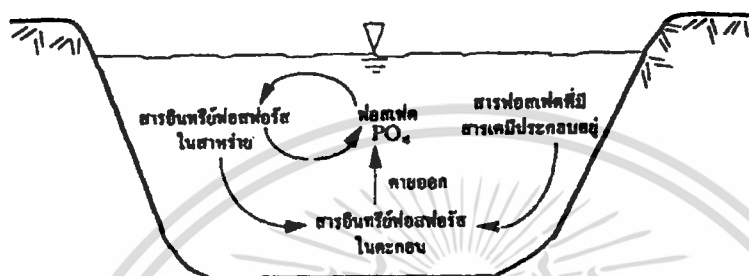


ภาพที่ 5 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน
ที่มา : เกரியงค์กิติ (2539)

ปริมาณของไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ้านเรือนต่าง ๆ จะมีปริมาณของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียมีประมาณ 40 % ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และในน้ำทิ้งที่ถูผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียเรียบร้อยแล้วจะมีปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนน้อยกว่า 10 % ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เกரியงค์กิติ , 2539)

7.2 ฟอสฟอรัส(Phosphorus) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก แม้ว่าในแหล่งน้ำในธรรมชาติจะมีสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าอินทรีย์ฟอสฟอรัสแต่พืชต้องการใช้ฟอสฟอรัสในรูปของสารอินทรีย์มากกว่า ฉะนั้นสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสจึงจัดว่าเป็นแหล่งเบื้องต้นของฟอสฟอรัสซึ่งจะแตกตัวเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ ฟอสฟอรัส และออร์โธฟอสฟอรัส หรือฟอสเฟต โดยอาศัยเอนไซม์ที่เรียกว่าฟอสฟาเทสหรือฟอสโฟเอสทาเรสประมาณ 20 mg/L ทั้งนี้ปริมาณอาจสูงกว่าหรือต่ำกว่านี้ก็ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ระดับ pH และปริมาณของธาตุอาหารชนิดอื่น ได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม หรือแมกนีเซียม ถ้าสารฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต คือปริมาณโปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์-เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่แบ้งหรือคาร์โบไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้นมีผลทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ลัดดา , 2539) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุหลักที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืจลินทรีย์ที่อยู่ในบ่อบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกับไนโตรเจน และก็

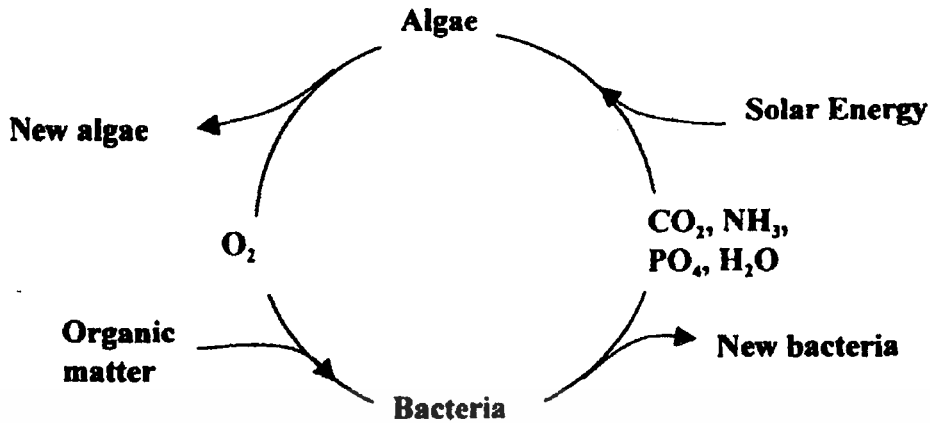
เช่นเดียวกันถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปในแม่น้ำลำคลอง หรือบ่อน้ำทั่ว ๆ ไป ก็จะเป็นผลให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก ในระบบบำบัดน้ำเสียทั่ว ๆ ไป หรือในการทำให้แม่น้ำในลำคลองสะอาดขึ้นโดยตามธรรมชาติ ทั้ง Polyphosphates และ Organic phosphorus จะถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบ Orthophosphate ดังนั้นโดยทั่วไปสารประกอบ Orthophosphate จะเป็นรูปที่มีปริมาณมากที่สุดในพวกฟอสฟอรัสด้วยกันของน้ำจากแม่น้ำลำคลอง หรือน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพขั้นต้นเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 6 การแปรเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป
ที่มา : เกียรติศักดิ์ (2539)

8. สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp กับ การลดมลพิษทางน้ำ

8.1. ความสามารถของสาหร่ายในการบำบัดน้ำทิ้ง ขบวนการบำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดจากแบคทีเรียระหว่างแบคทีเรีย และสาหร่ายโดยแบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สาร ทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไนเตรท ซึ่งสารเหล่านี้ถูกสาหร่ายนำไปใช้ และจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะปลดปล่อยออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำนั้นสะอาดขึ้น ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ และความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียกับสาหร่ายจะมีความสัมพันธ์กันแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiotic relationship) ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 7 ปฏิบัติการย่อยสลายสารอินทรีย์ และความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างแบคทีเรีย และสาหร่าย

ที่มา : Chalas และ คณะ (1991) อ้างโดย เกษม และเสกสรรค์ (2542)

ในแหล่งน้ำปกติจะมีสาหร่ายมากชนิด และปริมาณแต่ละชนิดมีไม่มาก ในทางตรงกันข้ามหากน้ำเกิดมลภาวะจำนวนชนิดของสาหร่ายก็จะลดลงเหลือเพียง 2-3 ชนิด และมีจำนวนมากมาย ได้แก่ *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nitzschia*, *Navicula* และ *Stigeoclonium* ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้สามารถดูดซึมสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำได้ เช่น สารประกอบฟอสฟอรัส สารประกอบไนโตรเจน และโลหะหนักต่าง ๆ จะส่งผลให้มีความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายชนิดต่าง ๆ มาใช้ในเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียมากขึ้น และสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* ก็เช่นเดียวกัน พุทธ (2537) รายงานว่าผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำต่อประชากรแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงของการจัดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา 2 ระบบพบว่าในบ่อเลี้ยงทั้ง 2 ระบบจะมีปริมาณฟอสเฟตอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำอยู่ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (น้อยกว่า 0.03 mg/l) ทั้งนี้เป็นเพราะแพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะนำเอาฟอสเฟตส่วนหนึ่งในน้ำเข้าไปสะสมไว้ในเซลล์ แพลงก์ตอนที่พบมากที่สุดได้แก่ *Chlorella* และ *Spirogyra* ไมตรี และคณะ (2528) รายงานว่าผลกระทบของผงซักฟอกต่อพืชน้ำบางชนิด พบว่า ผลของผงซักฟอกที่มีต่อสาหร่ายสีเขียวที่เลี้ยงในสารละลายที่มีส่วนผสมของผงซักฟอก 10 ระดับความเข้มข้น คือ 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 mg/l เป็นระยะเวลา 5 วัน ปรากฏว่าระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละวันมีผลร่วมกัน ทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวเมื่อคิดเป็นน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน โดยผงซักฟอกที่มีการสลายตัวยาก (hard detergent) ที่ระดับความเข้มข้น 1, 5, 10 และ 15 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้สาหร่ายสีเขียวมีน้ำหนักแห้งมากกว่าชุดควบคุม (980.5 mg/l) คือ 1,043.8 mg/l และในความเข้มข้นของผงซักฟอกที่สูงขึ้นตั้งแต่ 20 mg/l ขึ้นไป น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสีเขียวต่ำกว่าในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่า ผงซักฟอกซึ่งมีสารประกอบของฟอสเฟตอยู่จะช่วยเสริมสร้าง และยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวโดยที่สาหร่ายสีเขียวมีการดูดซึมฟอสเฟตได้ เพราะสารประกอบฟอสเฟตเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของสาหร่าย โดยที่สารประกอบฟอสเฟตในผงซักฟอกจะเป็นตัวกระตุ้นให้สาหร่ายสีเขียวมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วแต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตลดลงได้

สุนีย์ (2524) ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดี่ยวพบว่าคุณสมบัติของสาหร่ายเซลล์เดี่ยวบางชนิดที่ดูดซึมแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลา เมื่อเติมสาหร่ายนั้นในถังเลี้ยงปลาให้มีปริมาณหนาแน่นพอจะมีผลให้ลูกปลาเจริญเติบโตดีขึ้น และมีอัตราการรอดสูงคุณสมบัติของสาหร่ายดังกล่าวจึงนำมาใช้ในการรักษาภาวะของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นของเสียจากปลาและสัตว์น้ำ ทั้งนี้อาจใช้สาหร่ายได้หลายชนิด เช่น *Chlorella* การรักษา น้ำโดยใช้สาหร่ายให้อยู่ในสภาพที่ใช้ได้ตลอดเวลาจะต้องควบคุมปริมาณความหนาแน่นของเซลล์ให้อยู่ในช่วงพอเหมาะด้วย

8.3. ความสามารถของสาหร่ายในการดูดซับโลหะหนัก ในการบำบัดน้ำเสียโดยธรรมชาติจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิดด้วยกัน ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่าย โดยมีการดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำได้แม้ว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำจะมีมากหรือน้อย จุลินทรีย์ที่นำมาใช้อาจอยู่ในรูปของเซลล์ที่มีชีวิตหรือเป็นเซลล์ที่ตายแล้วก็ได้ จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักได้นั้นควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 8.3.1. สามารถทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำได้
- 8.3.2. สามารถดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง
- 8.3.4. สามารถเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพได้ง่าย และรวดเร็ว
- 8.3.5. ควรมีการดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด

8.4. กลไกการดูดซับโลหะหนักเข้าสู่เซลล์ *Chlorella* มี 2 วิธีคือ

8.4.1. กลไกการนำเข้าสู่โดยวิธี passive transport คือ แบบที่ไม่ใช้พลังงาน เป็นกระบวนการที่ไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการเมตาบอลิซึม ที่เรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่ากระบวนการ biosorption เป็นกระบวนการนำโลหะหนักเข้าสู่เซลล์ กระบวนการนี้จะสามารถผันกลับได้และรวดเร็ว และเสถียรสมบูรณ์ภายใน 5-10 นาที ความสามารถในการสะสมโลหะหนักขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะหนัก คือ ถ้าความเข้มข้นของโลหะหนักมากเซลล์ก็มีการดูดซึมได้มาก pH และโลหะไอออนชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายจะมีผลต่อกระบวนการ biosorption ซึ่ง pH และโลหะ

ไอออนจะทำให้โลหะหนักตกตะกอนให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ การดูดซับโลหะหนักจะไม่ขึ้นกับกระบวนการเมตาบอลิซึม และการสังเคราะห์แสง

8.4.2. กลไกการนำเข้าโดยวิธี active transport คือ แบบที่ใช้พลังงาน ซึ่งขึ้นกับกระบวนการเมตาบอลิซึม อาจจะเกี่ยวข้องกับการดูดซึมโลหะหนักเพื่อการเจริญเติบโตหรือการสะสมโลหะหนักภายในเซลล์ ซึ่งโลหะหนักจะถูกทำให้ตกตะกอนโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ กระบวนการ active transport จะขึ้นอยู่กับพลังงานและจะได้รับผลกระทบอย่างรวดเร็วจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ แสง และ pH ซึ่งกระบวนการ active transport จะมีผลดีกว่า passive transport เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่า 1 ppm (Baiguz. A. , 2000)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. หัวเชื้อ *Chlorella* sp.
2. ขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร
3. ถังขนาด 100 ลิตร
4. โหลแก้วขนาด 15 ลิตร
5. ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร
6. ขวดพลาสติกขนาด 120 ซีซี
7. ไม้ลมพร้อมสายยางและหัวทราย
8. กระดาษกรอง (membrane glass filter)
9. เครื่อง centrifuge พร้อมอุปกรณ์
10. เครื่อง spectrophotometer
11. กล้องจุลทรรศน์
12. haematometer
13. เครื่องกดนับจำนวน
14. เครื่องชั่งน้ำหนัก
15. Hot Air Oven
16. Magnetic Stirrer
17. Suction pump
18. สูตรอาหารเลี้ยง *Chlorella* sp.
19. เครื่องแก้ว และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีการทดลอง

แผนการทดลอง

ทำการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนที่ 1 หาความหนาแน่นของเซลล์ *Chlorella* sp. ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ บำบัดน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีอัตราความหนาแน่นของเซลล์ *Chlorella* sp. มีทั้งหมด 6 treatment ดังนี้

treatment ที่ 1 ใช้ *Chlorella* sp. ความหนาแน่น 5×10^3 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

treatment ที่ 2 ใช้ *Chlorella* sp. ความหนาแน่น 5×10^4 เซลล์/ลิตร

treatment ที่ 3 ใช้ *Chlorella* sp. ความหนาแน่น 5×10^5 เซลล์/ลิตร

treatment ที่ 4 ใช้ *Chlorella* sp. ความหนาแน่น 5×10^6 เซลล์/ลิตร

treatment ที่ 5 ใช้ *Chlorella* sp. ความหนาแน่น 5×10^7 เซลล์/ลิตร

treatment ที่ 6 ไม่ใส่เซลล์ *Chlorella* sp. เป็นชุดควบคุม

ในแต่ละ treatment ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยทำการทดลองแบบตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 5 วัน

2. ขั้นตอนที่ 2 นำค่าความหนาแน่นของเซลล์ *Chlorella* sp. ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการมาบำบัดน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือ น้ำเสียจากบ้านเรือน โดยทำการทดลองแบบตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 5 วัน

1 การเตรียมการทดลอง

1.1. ขั้นตอนการเตรียม *Chlorella* sp.

1.1.1. เตรียมขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร ทำความสะอาด และตากให้แห้ง

1.1.2. ใส่น้ำเลี้ยง *Chlorella* sp. ลงในขวดน้ำเกลือขวดละ 900 มิลลิลิตร

สูตรน้ำที่ใช้เลี้ยง *Chlorella* sp. โดยใช้น้ำ stock 1000 มิลลิลิตร มีสารเคมีดังนี้

KNO_3 12.5 กรัม

KH_2PO_4 12.5 กรัม

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 10 กรัม

CaCl_2 0.84 กรัม

H_3BO_3 1.14 กรัม

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 กรัม

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.88 กรัม

$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.14 กรัม

MoO_3 0.07 กรัม

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.16 กรัม

$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.05 กรัม

EDTA 5 กรัม

น้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

โดยใช้น้ำ stock 10 มิลลิลิตร นำไปปรับด้วยน้ำที่ปลอดเชื้อจนได้ 1000 มิลลิลิตร

ใช้เลี้ยง *Chlorella* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3. เติมหิวเชื้อ *Chlorella* sp. เข้มข้น 50 มิลลิลิตร ลงในขวด ใส่บี๊มลม และนำไปตั้งไว้ในที่มีแสงสว่าง

1.1.4. ทิ้งไว้ 4-5 วัน จนน้ำในขวดมีสีเขียวเข้ม นำ *Chlorella* sp. ไปขยายต่อในโหลแก้วขนาด 15 ลิตร เพื่อทำ growth curve หาช่วงเวลาที่เซลล์ *Chlorella* sp. มีการเจริญเติบโตดีที่สุดไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 15 วัน โดยใช้น้ำ stock 100 มิลลิลิตร และน้ำที่ปลอดเชื้อ 10 ลิตร ใส่บี๊มลม และนำไปตั้งไว้ในที่มีแสงสว่าง

1.1.5. เมื่อได้ช่วงเวลาที่เซลล์ *Chlorella* sp. มีการเจริญเติบโตดีที่สุดแล้วก็นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

1.2. ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

1.2.1. น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมโดยใช้

แอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 กรัม/ลิตร

ยูเรีย 0.05 กรัม/ลิตร

ปุ๋ยสูตร 16-20-0 0.1 กรัม/ลิตร

2 การดำเนินการทดลอง

2.1. ขั้นตอนที่ 1 หาจำนวนเซลล์ *Chlorella* sp. ที่เหมาะสมโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 treatment และทำการทดลอง แบบตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน

2.1.1. นำน้ำเสียสังเคราะห์ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร รวมจำนวนเซลล์ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน

2.1.2. นำน้ำตัวอย่างเริ่มต้นไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.1.3. centrifuge เซลล์ *Chlorella* sp. จนได้ความหนาแน่นที่ต้องการแล้วนำไปใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้จนได้ปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร

2.1.4. ภายหลังกินเซลล์ *Chlorella* sp. ใส่ลงในน้ำเสียสังเคราะห์แล้ว เก็บน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 0, 24, 72 และ 120 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์ค่า NH_3 , $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, TP และ SRP

2.2. ขั้นตอนที่ 2 นำระดับเซลล์ *Chlorella* sp. ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไปบำบัดน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทำการทดลอง

2.2.1. นำน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร รวมจำนวนเซลล์ที่เหมาะสม

2.2.2. นำน้ำตัวอย่างเริ่มต้นไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.2.3. เมื่อ centrifuge จนได้จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมแล้วนำไปใส่ในน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติจนได้ปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. ภายหลังจากนำเซลล์ *Chlorella* sp. ใส่ลงในน้ำเสียแล้ว เก็บน้ำตัวอย่างไป วิเคราะห์คุณภาพน้ำ วิเคราะห์ที่ 0, 24, 48, 96 และ 120 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์ค่า NH_3 , NO_2 , NO_3 , TKN, TP และ SRP ตลอดการทดลอง

3 การบันทึกข้อมูล บันทึกคุณสมบัติน้ำได้แก่ วิเคราะห์ค่า NH_3 , $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, TP และ SRP

4 การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลคุณภาพน้ำในการทดลองแต่ละชุดมาหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณ NH_3 , $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, TP และ SRP หลังจากใส่เซลล์ *Chlorella* sp. ลงไปที่ความหนาแน่นต่าง ๆ กัน ด้วยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5 สถานที่ทำการทดลอง ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. ระยะเวลาในการทำการทดลอง

ตุลาคม 2544 ถึง มีนาคม 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)

ความสามารถในการลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3$, 5×10^4 , 5×10^5 , 5×10^6 และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีปริมาณลดลงมากที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมงแรก (ภาพที่ 8) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 62.167 ± 2.285 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 46.352 ± 2.252 , 34.88 ± 11.173 , 25.748 ± 0.730 , 21.405 ± 0.401 , 17.730 ± 0.485 และ 12.829 ± 0.695 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 45.122 ± 2.618 , 32.319 ± 1.130 , 20.18 ± 0.883 , 16.839 ± 0.191 , 14.945 ± 0.803 และ 9.71 ± 10.294 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 37.220 ± 2.314 , 20.848 ± 1.071 , 14.389 ± 0.485 , 10.491 ± 0.192 , 7.595 ± 0.589 , 2.917 ± 0.294 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 2 และตารางผนวกที่ 1)

ความสามารถในการลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียธรรมชาติของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^5$, 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลงมากที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ และที่ความหนาแน่น 5×10^7 เซลล์/ลิตร สามารถลดลงได้ดีที่สุด (ภาพที่ 14) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 7.655 ± 0.468 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 5.056 ± 0.036 , 4.096 ± 0.015 และ 2.853 ± 0.036 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 3.363 ± 0.015 , 2.434 ± 0.041 และ 1.487 ± 0.027 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 2.947 ± 0.018 , 2.018 ± 0.013 และ 1.133 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 8 และตารางผนวกที่ 7)

จากการใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ดีที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมงแรกเป็นเพราะเซลล์ของสาหร่ายก่อนนำมาใช้ในการทดลอง มีการล้างเซลล์จนไม่มีอาหารหลงเหลืออยู่ภายในเซลล์ หรือเหลืออยู่ในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อนำมาใส่น้ำเสียที่มีปริมาณธาตุอาหารสูง จึงดูดซึมสารเหล่านั้นเข้าสู่เซลล์ Lobban et al. (1985) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวว่า ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อกระบวนการสร้างสารพันธุกรรมของสาหร่าย โดยเป็นองค์ประกอบของนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) กรดอะมิโน และรงควัตถุบางชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ ไมตรี และจากรูวรรณ (2528) รายงานว่าพืชสีเขียวใช้ในโตรเจนในรูปสารประกอบ เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท สำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีน

ปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen)

ความสามารถในการลดปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนมีปริมาณลดลงเร็วที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมงแรก และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 9) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจน เริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 1.216 ± 0.087 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.495 \pm 0.005, 0.605 \pm 0.001, 0.571 \pm 0.001, 0.542 \pm 0.001, 0.673 \pm 0.002$ และ 0.629 ± 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.310 \pm 0.001, 0.315 \pm 0.003, 0.422 \pm 0.002, 0.352 \pm 0.003, 0.549 \pm 0.001$ และ 0.340 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.136 \pm 0.002, 0.235 \pm 0.001, 0.196 \pm 0.001, 0.174 \pm 0.002, 0.265 \pm 0.002$ และ 0.161 ± 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 3 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งที่ความหนาแน่น 0 เซลล์/ลิตร สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจน ได้มากที่สุด เนื่องจากไม่มีเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชจึงไม่มีการสังเคราะห์แสงให้ออกซิเจน

ความสามารถในการลดปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำเสียธรรมชาติของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^6, 5 \times 10^7$ เซลล์/ลิตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนลดลงมากที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน และมีแนวโน้มลดลง (ดังภาพที่ 15) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นไนไตรท์-ไนโตรเจน เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 0.054 ± 0.000 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.036 \pm 0.000, 0.039 \pm 0.000$ และ 0.041 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.033 \pm 0.000, 0.037 \pm 0.000$ และ 0.035 ± 0.000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.017 \pm 0.000, 0.020 \pm 0.000$ และ 0.019 ± 0.000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 9 และตารางผนวกที่ 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen)

ความสามารถในการลดปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนมีปริมาณลดลงเร็วที่สุดที่เวลา 72 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ (ภาพที่ 10) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 1.864 ± 0.107 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $1.816 \pm 0.010, 1.731 \pm 0.004, 1.647 \pm 0.003, 1.591 \pm 0.002, 1.552 \pm 0.003$ และ 1.473 ± 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $1.160 \pm 0.003, 1.118 \pm 0.007, 1.097 \pm 0.001, 1.080 \pm 0.004, 0.994 \pm 0.004$ และ 0.888 ± 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.962 \pm 0.005, 0.890 \pm 0.001, 0.801 \pm 0.005, 0.716 \pm 0.002, 0.673 \pm 0.016$ และ 0.567 ± 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4 และตารางผนวกที่ 3)

ความสามารถในการลดปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียธรรมชาติของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่เวลา 24 ชั่วโมงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและลดลงมากที่สุดที่เวลา 72 ชั่วโมง (ภาพที่ 16) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 0.813 ± 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.926 \pm 0.003, 0.899 \pm 0.003$ และ 0.970 ± 0.003 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.343 \pm 0.006, 0.297 \pm 0.003$ และ 0.285 ± 0.003 ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $0.316 \pm 0.003, 0.319 \pm 0.004$ และ 0.266 ± 0.033 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 10 และตารางผนวกที่ 9)

ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวม (TP)

ความสามารถในการลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมลดลงเร็วที่เวลา 24 ชั่วโมง และค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ (ภาพที่ 11) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.012±0.152 มิลลิกกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 7.700±0.156, 7.548±0.096, 6.424±0.073, 6.102±0.006, 5.927±0.008 และ 5.640±0.203 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 7.261±0.084, 6.367±0.023, 5.978±0.137, 5.502±0.006, 5.157±0.022 และ 4.936±0.024 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 5.743±0.035, 4.738±0.089, 4.083±0.030, 3.570±0.066, 2.931±0.120 และ 2.478±0.030 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5 และตารางผนวกที่ 4)

ความสามารถในการลดปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำเสียธรรมชาติของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^6, 5 \times 10^7$ เซลล์/ลิตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมที่เวลา 24 ชั่วโมงแรกสามารถลดลงได้มากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ (ภาพที่ 17) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 11.193±0.063 มิลลิกกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 10.506±0.027, 9.296±0.031 และ 8.224±0.040 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 8.929±0.032, 5.960±0.078 และ 4.660±0.054 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 6.415±0.027, 3.561±0.036 และ 2.960±0.040 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 11 และตารางผนวกที่ 10)

ปริมาณความเข้มข้นของอโลหะฟอสเฟต (SRP)

ความสามารถในการลดปริมาณอโลหะฟอสเฟต ในน้ำเสียสังเคราะห์ของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของอโลหะฟอสเฟต ลดลงที่เวลา 24 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ (ภาพที่ 12) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของอโลหะฟอสเฟตเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 11.012±0.152 มิลลิกกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 7.700±0.156, 7.549±0.098, 6.424±0.073, 6.102±0.007, 5.927±0.008 และ 5.640±0.203 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 7.261±0.084, 6.637±0.023, 5.978±0.137, 5.502±0.006, 5.157±0.022 และ 4.936±0.024 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 5.743±0.035, 4.738±0.089, 4.083±0.030, 3.570±0.066, 2.931±0.120 และ 2.478±0.030 มิลลิกกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 6 และตารางผนวกที่ 5)

ความสามารถในการลดปริมาณอโรพอสเฟต ในน้ำเสียธรรมชาติของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^6, 5 \times 10^7$ เซลล์/ลิตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของอโรพอสเฟต ที่เวลา 24 ชั่วโมงแรกสามารถลดลงได้มากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 18) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของอโรพอสเฟต เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 10.563 ± 0.069 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $9.007 \pm 0.017, 8.303 \pm 0.029$ และ 7.500 ± 0.017 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $6.852 \pm 0.096, 4.098 \pm 0.073$ และ 2.171 ± 0.195 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $5.940 \pm 0.073, 2.925 \pm 0.100$ และ 1.892 ± 0.174 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 12 และตารางผนวกที่ 11)

ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม (TKN)

ความสามารถในการลดปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม ในน้ำเสียสังเคราะห์ของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^3, 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ และ 5×10^7 เซลล์/ลิตร พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม ลดลงเร็วที่เวลา 24 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 13) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม เริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 58.827 ± 0.086 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $38.877 \pm 0.180, 31.383 \pm 0.114, 24.691 \pm 0.347, 18.175 \pm 0.132, 14.892 \pm 0.152$ และ 12.360 ± 0.173 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $34.566 \pm 0.246, 18.375 \pm 0.173, 17.373 \pm 0.328, 12.335 \pm 0.152, 8.551 \pm 0.093$ และ 6.370 ± 0.152 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย $26.270 \pm 0.114, 12.987 \pm 0.066, 10.932 \pm 0.043, 9.102 \pm 0.132, 6.796 \pm 0.086$ และ 3.964 ± 0.066 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 7 และตารางผนวกที่ 6)

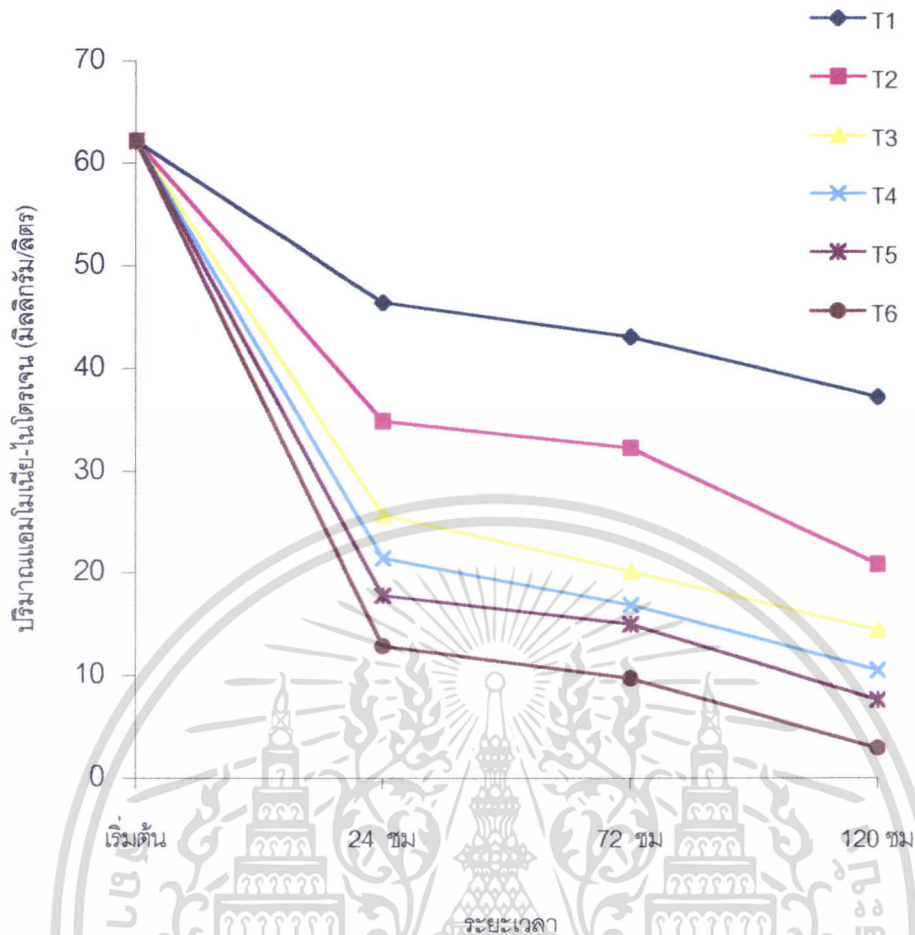
ความสามารถในการลดปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำเสียธรรมชาติของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์แตกต่างกัน คือ $0, 5 \times 10^6, 5 \times 10^7$ เซลล์/ลิตร พบว่าปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม ที่เวลา 24 ชั่วโมงแรกสามารถลดลงได้มากที่สุด และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 19) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ย 10.184 ± 0.145 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 7.448 ± 0.073 , 5.577 ± 0.096 และ 4.461 ± 0.073 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 6.582 ± 0.096 , 4.098 ± 0.073 และ 2.171 ± 0.195 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 5.940 ± 0.073 , 2.925 ± 0.100 และ 1.892 ± 0.174 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำทุก treatment ในแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 13 และตารางผนวกที่ 12)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

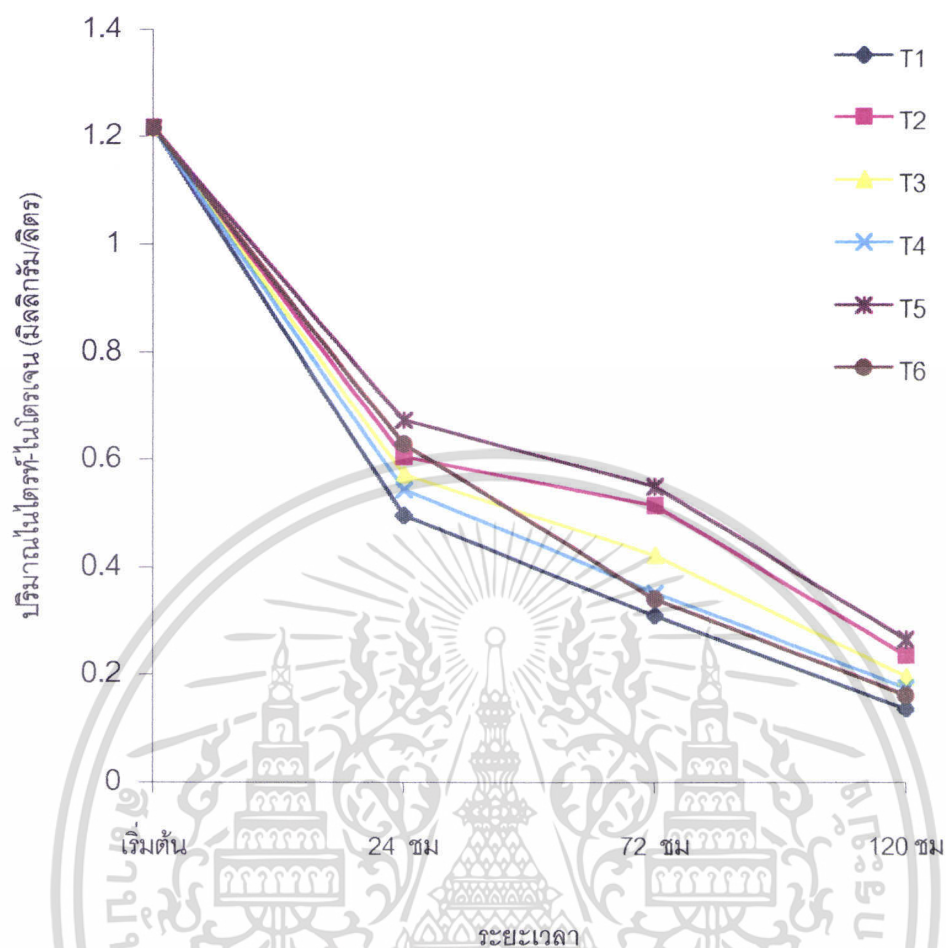


ภาพที่ 8 แสดงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียดั้งเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

หมายเหตุ

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
 T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
 T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
 T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
 T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
 T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

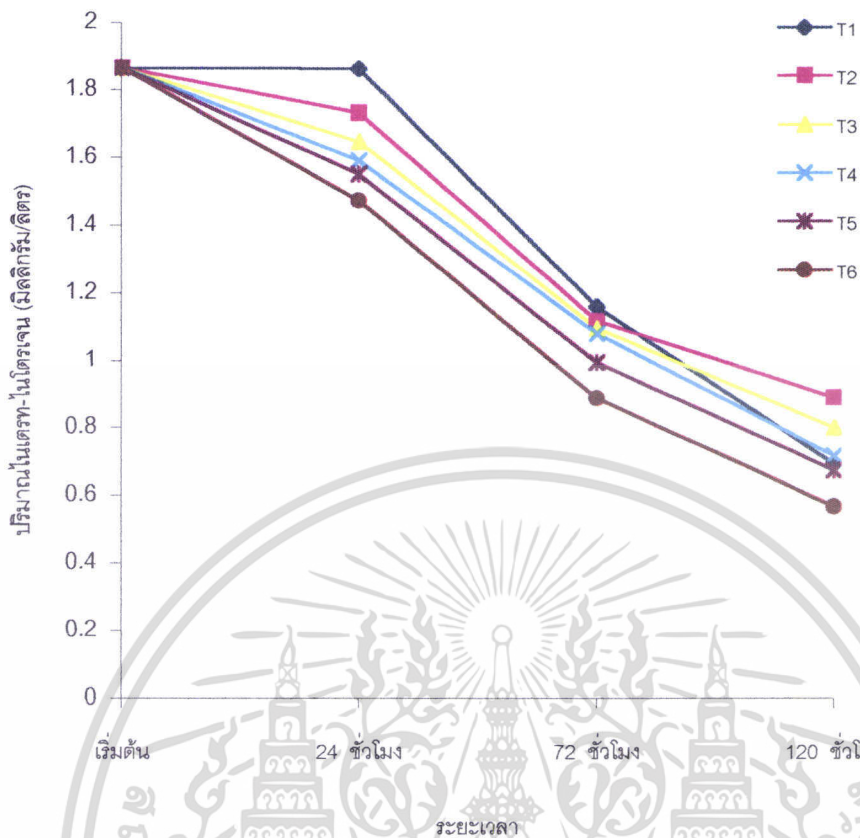


ภาพที่ 9 แสดงปริมาณไนโตรเจนในไตรโตน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

หมายเหตุ

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

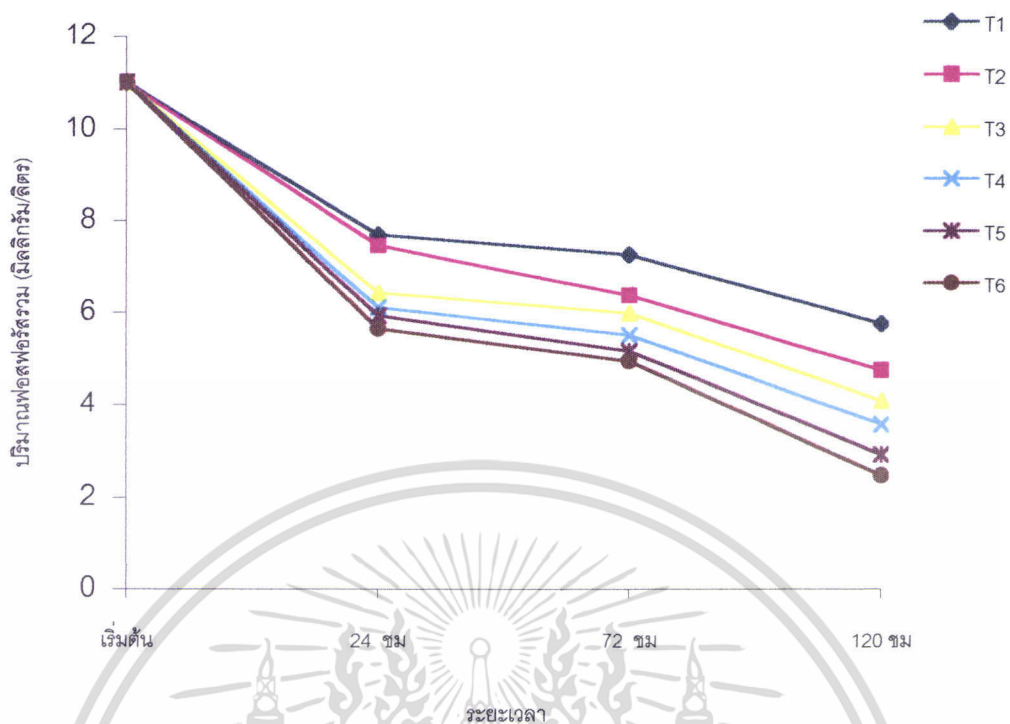


ภาพที่ 10 แสดงปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

หมายเหตุ

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

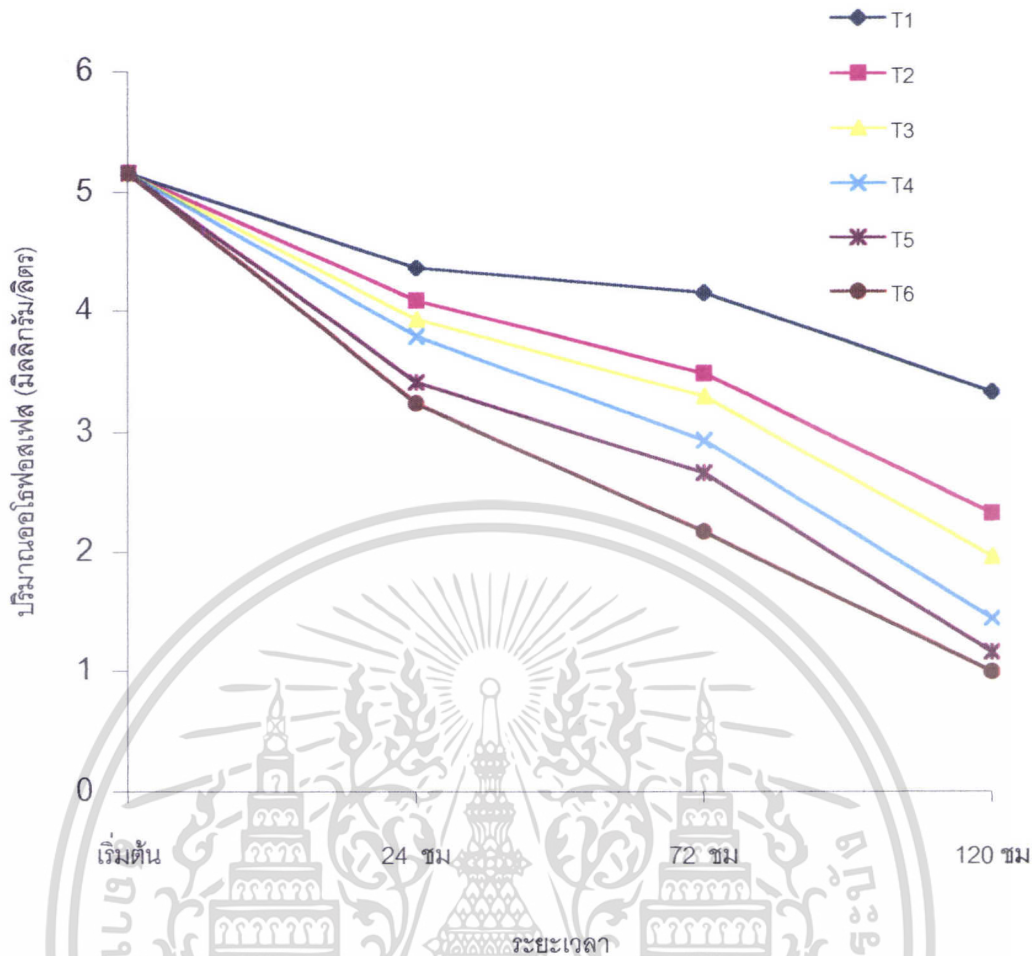


ภาพที่ 11 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

หมายเหตุ

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

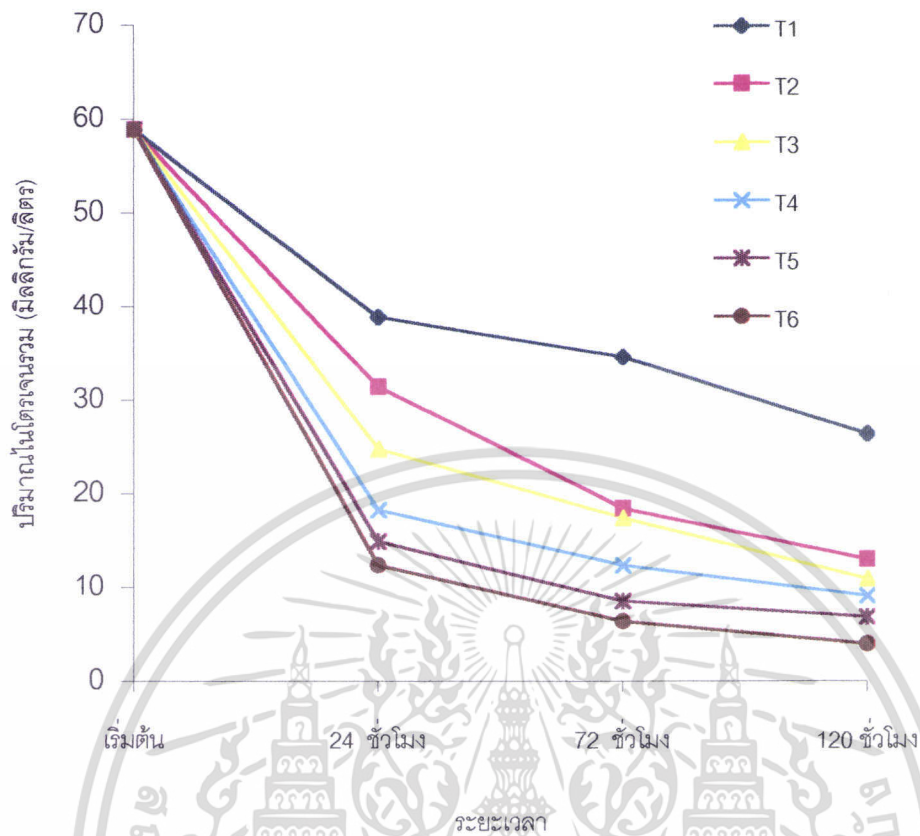


ภาพที่ 12 แสดงปริมาณออร์โพลีเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

หมายเหตุ

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 13 แสดงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเลี้ยงลิ่งเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

หมายเหตุ

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)						
เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	T6
24 ชั่วโมง	46.352±2.253 ^a	34.881±1.173 ^b	25.748±0.730 ^c	21.405±0.401 ^d	17.730±0.485 ^e	12.829±0.695 ^f
72 ชั่วโมง	45.122±2.618 ^a	32.319±1.130 ^b	20.180±0.883 ^{cd}	16.839±0.191 ^{de}	14.985±0.803 ^e	9.711±0.294 ^f
120 ชั่วโมง	37.220±2.314 ^a	20.848±1.071 ^b	14.389±0.485 ^c	10.491±0.485 ^d	7.595±0.589 ^e	2.917±0.294 ^f

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

เวลา	ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
24 ชั่วโมง	0.495±0.005 ^a	0.605±0.001 ^b	0.571±0.001 ^c	0.542±0.001 ^d	0.673±0.002 ^e	0.6297±0.002 ^f
72 ชั่วโมง	0.310±0.001 ^a	0.513±0.005 ^b	0.422±0.002 ^c	0.352±0.003 ^{ade}	0.549±0.001 ^d	0.340±0.001 ^e
120 ชั่วโมง	0.135±0.002 ^a	0.235±0.001 ^{abcde}	0.196±0.001 ^b	0.174±0.002 ^c	0.265±0.002 ^d	0.161±0.002 ^e

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)						
เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	T6
24 ชั่วโมง	1.816±0.010 ^a	1.731±0.004 ^b	1.647±0.003 ^c	1.591±0.002 ^d	1.552±0.003 ^e	1.473±0.004 ^f
72 ชั่วโมง	1.160±0.003 ^a	1.118±0.007 ^b	1.097±0.001 ^c	1.080±0.004 ^d	0.994±0.004 ^e	0.888±0.002 ^f
120 ชั่วโมง	0.962±0.005 ^a	0.890±0.001 ^b	0.801±0.005 ^c	0.716±0.002 ^d	0.673±0.016 ^e	0.567±0.006 ^f

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)						
เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	T6
24 ชั่วโมง	7.700±0.156 ^a	7.459±0.098 ^a	6.424±0.073 ^{abcd}	6.102±0.007 ^{bd}	5.927±0.008 ^{cd}	5.640±0.203 ^d
72 ชั่วโมง	7.261±0.084 ^a	6.367±0.023 ^{bc}	5.978±0.137 ^{cde}	5.502±0.066 ^d	5.157±0.022 ^e	4.936±0.024 ^f
120 ชั่วโมง	5.743±0.035 ^a	4.738±0.089 ^b	4.083±0.030 ^c	3.570±0.066 ^d	2.931±0.120 ^e	2.478±0.030 ^f

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10³ เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁴ เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁵ เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁶ เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁷ เซลล์/ลิตร

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณอโรพอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณอโรพอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร)						
เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	T6
24 ชั่วโมง	4.358±0.026 ^a	4.083±0.016 ^b	3.926±0.024 ^c	3.787±0.024 ^d	3.411±0.022 ^e	3.234±0.019 ^f
72 ชั่วโมง	4.148±0.041 ^a	3.482±0.014 ^b	3.294±0.015 ^c	2.529±0.047 ^d	2.656±0.033 ^e	2.166±0.021 ^f
120 ชั่วโมง	3.322±0.014 ^a	2.319±0.030 ^b	1.9661±0.016 ^c	1.4392±0.019 ^d	1.152±0.025 ^e	0.987±0.014 ^f

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^3 เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^4 เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^5 เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^6 เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5×10^7 เซลล์/ลิตร

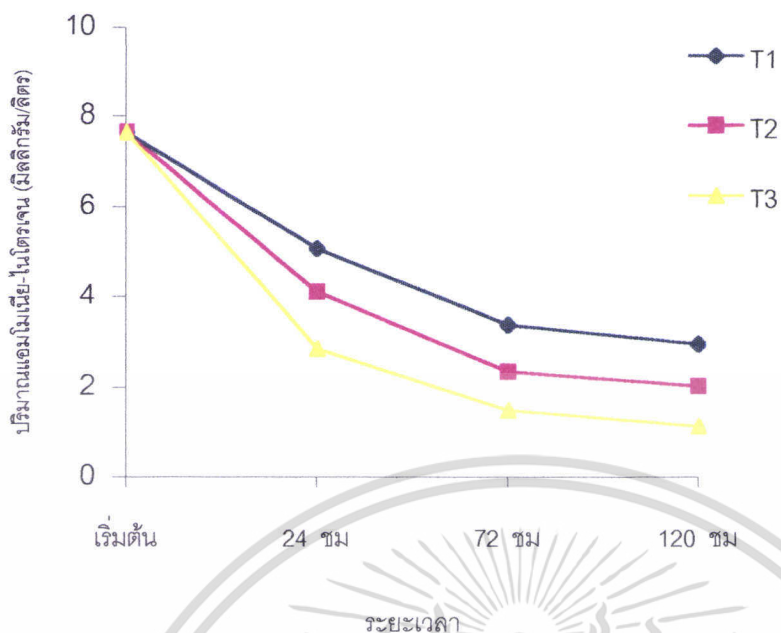
ตารางที่ 7 แสดงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

เวลา	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
24 ชั่วโมง	38.877±0.180 ^a	31.383±0.114 ^b	24.691±0.347 ^c	18.175±0.132 ^d	14.8922±0.152 ^e	12.360±0.173 ^f
72 ชั่วโมง	34.566±0.246 ^a	18.375±0.173 ^{bc}	17.373±0.328 ^c	12.335±0.152 ^d	8.551±0.093 ^e	6.370±0.152 ^f
120 ชั่วโมง	26.270±0.114 ^a	12.987±0.066 ^b	10.932±0.043 ^c	9.102±0.132 ^d	6.796±0.086 ^e	3.964±0.066 ^f

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

- T1 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 0 เซลล์/ลิตร
- T2 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10³ เซลล์/ลิตร
- T3 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁴ เซลล์/ลิตร
- T4 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁵ เซลล์/ลิตร
- T5 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁶ เซลล์/ลิตร
- T6 คือ ที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. 5x10⁷ เซลล์/ลิตร



ภาพที่ 14 แสดงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
เวลา	T1	T2	T3
24 ชั่วโมง	5.056±0.036 ^a	4.096±0.015 ^a	2.853±0.036 ^b
72 ชั่วโมง	3.363±0.015 ^a	2.343±0.041 ^b	1.487±0.027 ^c
120 ชั่วโมง	2.947±0.018 ^a	2.018±0.013 ^b	1.133±0.011 ^c

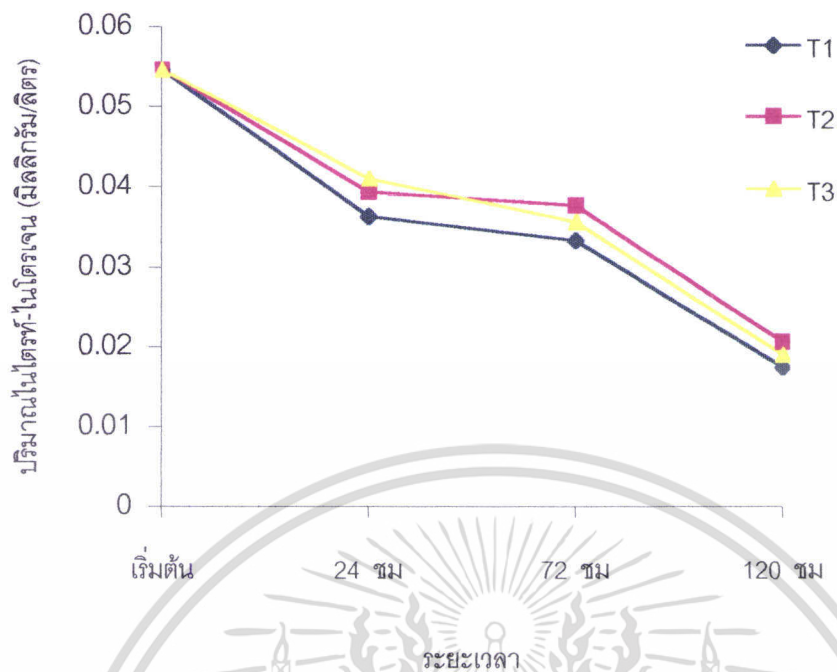
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

T1 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 0 เซลล์/ลิตร

T2 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^6 เซลล์/ลิตร

T3 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 15 แสดงปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
เวลา	T1	T2	T3
24 ชั่วโมง	0.036±0.000 ^a	0.039±0.000 ^{ab}	0.041±0.001 ^a
72 ชั่วโมง	0.033±0.000 ^a	0.037±0.000 ^b	0.035±0.000 ^c
120 ชั่วโมง	0.017±0.000 ^a	0.020±0.000 ^b	0.019±0.000 ^c

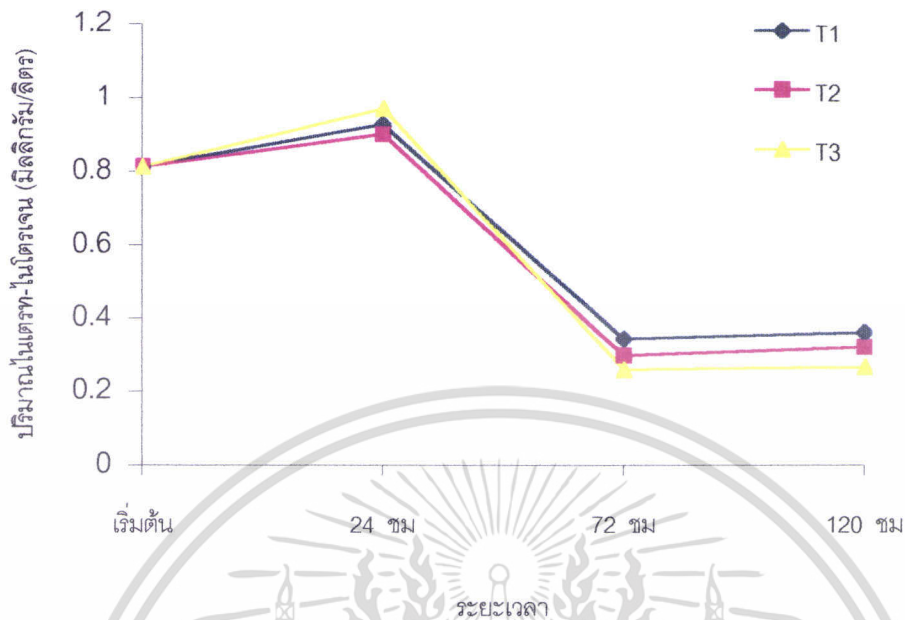
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

T1 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 0 เซลล์/ลิตร

T2 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^6 เซลล์/ลิตร

T3 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 16 แสดงปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
เวลา	T1	T2	T3
24 ชั่วโมง	0.926±0.003 ^a	0.899±0.003 ^b	0.970±0.003 ^c
72 ชั่วโมง	0.343±0.006 ^a	0.297±0.003 ^b	0.258±0.003 ^c
120 ชั่วโมง	0.315±0.003 ^a	0.319±0.004 ^b	0.266±0.003 ^c

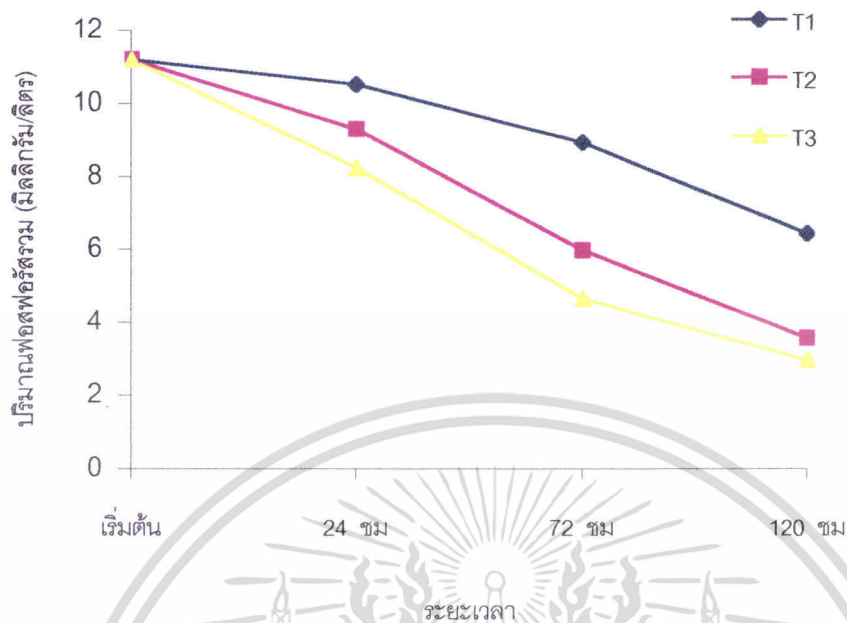
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

T1 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 0 เซลล์/ลิตร

T2 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^6 เซลล์/ลิตร

T3 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร)			
เวลา	T1	T2	T3
24 ชั่วโมง	10.509±0.027 ^a	9.296±0.031 ^b	8.224±0.040 ^c
72 ชั่วโมง	0.343±0.006 ^a	0.297±0.003 ^b	0.258±0.003 ^c
120 ชั่วโมง	0.361±0.003 ^a	0.319±0.004 ^b	0.266±0.003 ^c

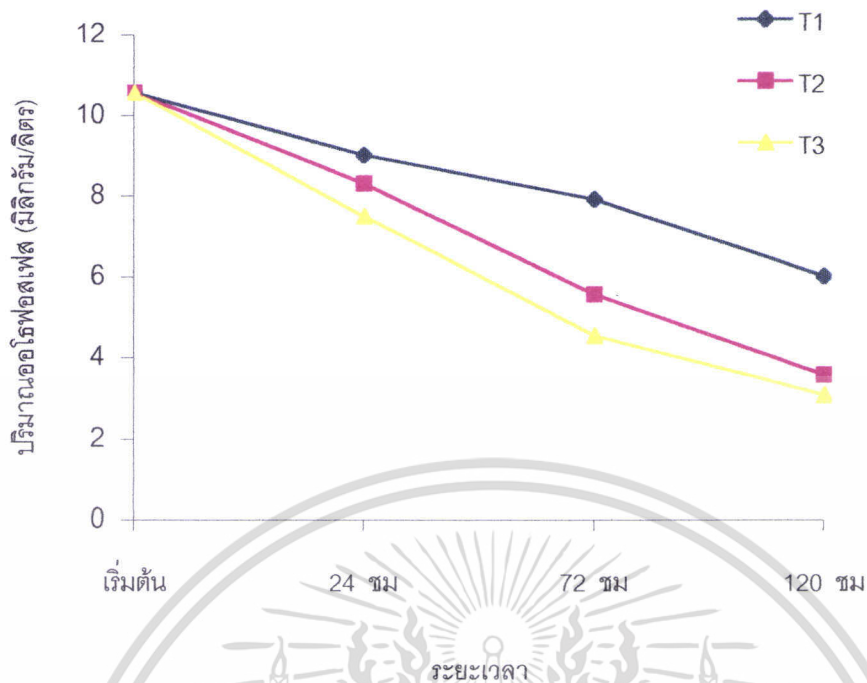
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

T1 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 0 เซลล์/ลิตร

T2 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^6 เซลล์/ลิตร

T3 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 แสดงปริมาณอโรพอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณอโรพอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณอโรพอสเฟส (มิลลิกรัม/ลิตร)			
เวลา	T1	T2	T3
24 ชั่วโมง	9.007±0.017 ^a	8.303±0.029 ^b	7.500±0.017 ^c
72 ชั่วโมง	7.918±0.021 ^a	5.550±0.017 ^b	4.550±0.017 ^c
120 ชั่วโมง	5.940±0.073 ^a	2.925±0.100 ^b	1.892±0.174 ^c

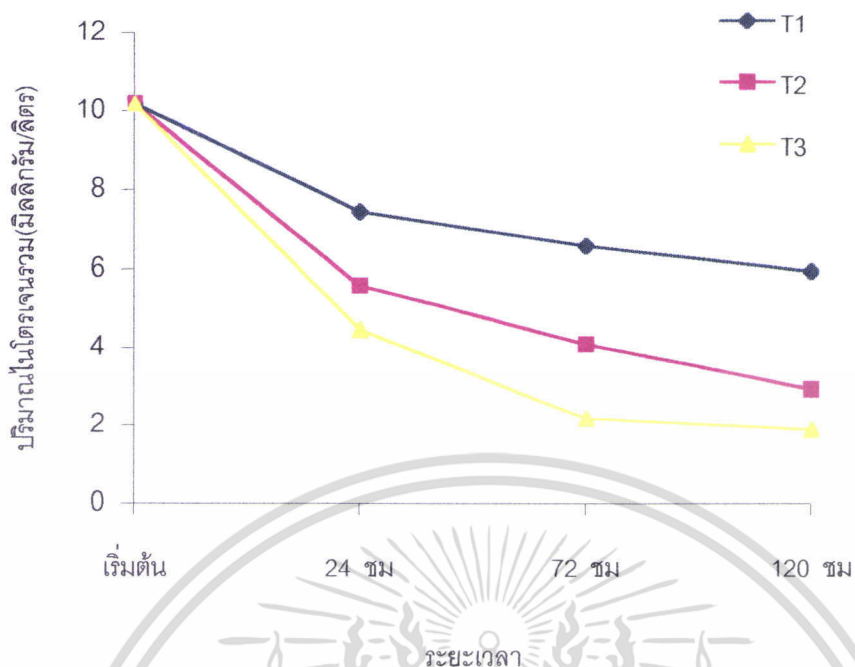
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

T1 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 0 เซลล์/ลิตร

T2 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^6 เซลล์/ลิตร

T3 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 19 แสดงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียนธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำเสียนธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)			
เวลา	T1	T2	T3
24 ชั่วโมง	7.448 ± 0.073 ^a	5.577 ± 0.096 ^b	4.461 ± 0.073 ^c
72 ชั่วโมง	6.582 ± 0.096 ^a	4.098 ± 0.073 ^b	2.171 ± 0.195 ^c
120 ชั่วโมง	5.940 ± 0.073 ^a	2.925 ± 0.100 ^b	1.892 ± 0.174 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

T1 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 0 เซลล์/ลิตร

T2 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^6 เซลล์/ลิตร

T3 คือ ที่ความหนาแน่นเซลล์ 5×10^7 เซลล์/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากการใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. นำบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าที่ความหนาแน่น 5×10^7 เซลล์/ลิตร สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสรวม ปริมาณออกซิฟอสเฟต ปริมาณไนโตรเจนรวม ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นอื่น ๆ ดังนี้ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จาก 62.167 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 2.917 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 95.31% ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน จาก 1.864 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 0.567 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 69.59% ปริมาณฟอสฟอรัสรวม จาก 11.012 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 2.478 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 77.5% ปริมาณออกซิฟอสเฟต จาก 5.157 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 0.987 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 80.87% ปริมาณไนโตรเจนรวม จาก 58.827 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 3.964 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 93.27%

จากการใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. นำบำบัดน้ำเสียธรรมชาติพบว่าที่ความหนาแน่น 5×10^7 เซลล์/ลิตร สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสรวม ปริมาณออกซิฟอสเฟต ปริมาณไนโตรเจนรวม ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นอื่น ๆ ดังนี้ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จาก 7.655 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 1.133 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 85.2% ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน จาก 0.813 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 0.266 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 67.29% ปริมาณฟอสฟอรัสรวม จาก 11.193 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 2.960 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็น 73.56% ปริมาณออกซิฟอสเฟต จาก 10.563 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 3.102 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 70.64% ปริมาณไนโตรเจนรวม จาก 10.184 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 1.892 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงได้ 81.43%

การนำบำบัดน้ำเสียจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อจำนวนเซลล์ของ *Chlorella* sp. มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับของเสียให้มากขึ้น และประสิทธิภาพของ *Chlorella* sp. ในการนำบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สูงกว่าน้ำเสียธรรมชาติ เนื่องจากในน้ำเสียธรรมชาติมีชนิดของสิ่งปนเปื้อนมากกว่า ซึ่งสิ่งปนเปื้อนบางชนิดเป็นตัวขัดขวางการนำบำบัดน้ำเสียของ *Chlorella* sp. ได้ เช่น ไขมัน ยาฆ่าแมลง โลหะหนัก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- เกษม จันทร์แก้ว และเสกสรรค์ เทพพิทักษ์ . 2542 . การเกิดตะกอนและการลดสมรรถนะการ
บรรจุของบ่อน้ำบาด . เอกสารสัมมนาวิชาการ เรื่องเทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัด
และบำบัดน้ำเสียด้วยพืช , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . หน้า 16 (1-17).
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . 2539 . การบำบัดน้ำเสีย . กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์ . หน้า 43-54.
- จารุวรรณ สมศิริ และไมตรี ดวงสวัสดิ์ . 2528 . คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัย
ทางการประมง , สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ , กรมประมง . กรุงเทพฯ . หน้า 36-68.
- เจียมจิตต์ บุญสม . 2530 . สำหรับน้ำจืด . วารสารประมง . 40 (4) : 429-431.
- ฉัตรไชย รัตนชัย . 2533 . การจัดการคุณภาพน้ำ . กรุงเทพฯ . จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . หน้า
193-220.
- ธิดา เพชรมณี และมาวิทย์ อัศวอารีย์ . 2534 ก . ปัจจัยบางประการต่อการเพิ่มจำนวนของ
คลอเรลลาในห้องปฏิบัติการ . เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2534 . สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยง
สัตว์น้ำชายฝั่ง . 13 น.
- ธีระ เกรอต . 2524 . การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน . สถาบันวิทยา
ศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย . หน้า 256-259.
- ปารย์ อินทรทองคำ , วนิดา พนายิ่งไพศาล และพงศ์อนันต์ คงดารา . 2539 . การศึกษาภาวะ
ที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. โครงการพิเศษระดับปริญญาตรี .
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง . 43 น.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต . 2539 . แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ . กรุงเทพฯ . จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
หน้า 21-47.
- พุทธ สองแสงจินดา . 2537 . ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำต่อประชากรแพลงค์ตอน
ในบ่อเลี้ยงของการจัดการการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา 2 ระบบ . เอกสารวิชาการฉบับที่
9/2537 . สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง . กรมประมง . หน้า 1-15.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ , สุวณิช จุลวัจน์ และอัศฉรีย์วรรณ เขาวัวาทิน . 2528 . ผลกระทบของผลซัก
ฟอกต่อพืชน้ำบางชนิด . สัมมนาวิชาการประจำปี 2528 . สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ .
กรมประมง . หน้า 456-470.
- ลัดดา วงศ์รัตน์ . 2539 . คู่มือการเลี้ยงแพลงค์ตอน . ภาควิชาชีววิทยาประมง , คณะประมง .
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 131 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สันติ รังสิยาภิรมย์ . 2537 . การใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. บำบัดน้ำทิ้งของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล . เอกสารวิชาการฉบับที่ 29/2537 . กองประมงน้ำจืด . กรมประมง . หน้า 2-18.
- วิสัย วงศ์สายปิ่น . 2524 . สาหร่ายเซลล์เดียวสารอาหารจากแสงตะวัน . กรุงเทพฯ . รวมทรรศ์ . 137 น.
- สุนีย์ สุวภีพันธ์ . 2527 . เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 18/2527 . สถานีวิจัยประมงทะเล . กรมประมง . หน้า 49-54.
- สุนี สุวภีพันธ์ . 2524 . การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียว . วารสารประมง 34 (3) : 309-325.
- สุรัสวดี บุปผะเรณู . 2542 . การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีโดยวิธีห่อภากรองน้ำเสีย . . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . หน้า 3-23.
- Bajguz A. 2000 . Blockade of heavy metals accumulation in *Chlorella vulgaris* cells by 24-epibrassinolide. *Journal of Plant Physiology Biochemical*. 38 (2000) : 797-801.
- Wong J.P.K. , Wong Y.S. and Tam N.F.Y. 2000 . Nickel biosorption by two *Chlorella* species , *C. Vulgaris* (a commercial species) and *C. Miniata* (a local isolat). *BiOresource Technology*. 73 : 133-137.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 แสดงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	62.167±2.285	46.352±2.252	45.122±2.618	37.220±2.314
5×10 ³	62.167±2.286	34.881±1.173	32.319±1.130	20.848±1.071
5×10 ⁴	62.167±2.287	25.748±0.730	20.180±0.883	14.389±0.485
5×10 ⁵	62.167±2.288	21.405±0.401	16.839±0.191	10.491±0.192
5×10 ⁶	62.167±2.289	17.730±0.485	14.945±0.803	7.595±0.589
5×10 ⁷	62.167±2.290	12.829±0.695	9.711±0.294	2.917±0.294

ตารางผนวกที่ 2 แสดงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	1.216±0.087	0.495±0.005	0.310±0.001	0.135±0.002
5×10 ³	1.216±0.088	0.605±0.001	0.513±0.003	0.235±0.001
5×10 ⁴	1.216±0.089	0.571±0.001	0.422±0.002	0.196±0.001
5×10 ⁵	1.216±0.090	0.542±0.001	0.352±0.003	0.174±0.002
5×10 ⁶	1.216±0.091	0.673±0.002	0.549±0.001	0.265±0.002
5×10 ⁷	1.216±0.092	0.629±0.002	0.340±0.001	0.161±0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แสดงปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	1.864±0.107	1.816±0.010	1.160±0.003	0.962±0.005
5x10 ³	1.864±0.108	1.731±0.004	1.118±0.007	0.890±0.001
5x10 ⁴	1.864±0.109	1.647±0.003	1.097±0.001	0.801±0.005
5x10 ⁵	1.864±0.110	1.591±0.002	1.080±0.004	0.716±0.002
5x10 ⁶	1.864±0.111	1.552±0.003	0.994±0.004	0.673±0.016
5x10 ⁷	1.864±0.112	1.473±0.004	0.888±0.002	0.567±0.006

ตารางผนวกที่ 4 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	11.012±0.152	7.700±0.156	7.261±0.084	5.743±0.035
5x10 ³	11.012±0.153	7.549±0.098	6.367±0.023	4.738±0.089
5x10 ⁴	11.012±0.154	6.424±0.073	5.978±0.137	4.083±0.030
5x10 ⁵	11.012±0.155	6.102±0.007	5.502±0.006	3.570±0.066
5x10 ⁶	11.012±0.156	5.927±0.008	5.157±0.022	2.931±0.120
5x10 ⁷	11.012±0.157	5.640±0.203	4.936±0.024	2.478±0.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 แสดงปริมาณออกซิฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณออกซิฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	5.157±0.085	4.358±0.026	4.148±0.041	3.322±0.014
5x10 ³	5.157±0.086	4.083±0.016	3.482±0.014	2.319±0.030
5x10 ⁴	5.157±0.087	3.926±0.024	3.294±0.015	1.966±0.016
5x10 ⁵	5.157±0.088	3.787±0.024	2.929±0.047	1.439±0.019
5x10 ⁶	5.157±0.089	3.411±0.022	2.656±0.033	1.152±0.025
5x10 ⁷	5.157±0.090	3.234±0.019	2.166±0.021	0.987±0.014

ตารางผนวกที่ 6 แสดงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	58.827±0.086	38.877±0.180	34.566±0.246	26.270±0.114
5x10 ³	58.827±0.087	31.383±0.114	18.375±0.173	12.987±0.066
5x10 ⁴	58.827±0.088	24.691±0.347	17.373±0.328	10.932±0.043
5x10 ⁵	58.827±0.089	18.175±0.132	12.335±0.152	9.102±0.132
5x10 ⁶	58.827±0.090	14.892±0.152	8.551±0.093	6.796±0.086
5x10 ⁷	58.827±0.091	12.360±0.173	6.370±0.152	3.964±0.066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 แสดงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	7.655±0.468	5.056±0.036	3.363±0.015	2.947±0.018
5x10 ⁶	7.655±0.469	4.096±0.015	2.343±0.041	2.018±0.013
5x10 ⁷	7.655±0.470	2.853±0.036	1.487±0.027	1.133±0.011

ตารางผนวกที่ 8 แสดงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	0.054±0.000	0.036±0.000	0.033±0.000	0.017±0.000
5x10 ⁶	0.054±0.001	0.039±0.000	0.037±0.000	0.020±0.000
5x10 ⁷	0.054±0.002	0.041±0.001	0.035±0.000	0.019±0.000

ตารางผนวกที่ 9 แสดงปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	0.813±0.004	0.926±0.003	0.343±0.006	0.361±0.003
5x10 ⁶	0.813±0.005	0.899±0.003	0.297±0.003	0.319±0.004
5x10 ⁷	0.813±0.006	0.970±0.003	0.285±0.003	0.266±0.033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	11.193±0.063	10.509±0.027	8.929±0.032	6.416±0.027
5x10 ⁶	11.193±0.064	9.296±0.031	5.960±0.078	3.561±0.036
5x10 ⁷	11.193±0.065	8.224±0.040	4.660±0.054	2.960±0.049

ตารางผนวกที่ 11 แสดงปริมาณออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	10.563±0.069	9.007±0.017	7.918±0.021	6.003±0.026
5x10 ⁶	10.563±0.070	8.303±0.029	5.550±0.017	3.575±0.021
5x10 ⁷	10.563±0.071	7.500±0.017	4.550±0.017	3.102±0.013

ตารางผนวกที่ 12 แสดงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร) ในน้ำเสียธรรมชาติที่บำบัดด้วยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp.

ความหนาแน่นของ สาหร่าย (เซลล์/ลิตร)	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	เริ่มต้น	24 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	120 ชั่วโมง
0	10.184±0.145	7.448±0.073	6.582±0.096	5.940±0.073
5x10 ⁶	10.184±0.146	5.577±0.096	4.098±0.073	2.925±0.100
5x10 ⁷	10.184±0.147	4.461±0.073	2.171±0.195	1.892±0.174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้