

การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม
โดยใช้สาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina platensis*)

ชลธิชา สืบวัฒนพงษ์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

2551

สัญญาอนุญาตให้เผยแพร่วิทยานิพนธ์

ทำที่..... คณะวิทยาศาสตร์ มอ. สุราษฎร์ธานี
..... วิทยาลัยเทคโนโลยีพระยาศรีสุนทร
..... 118 ต.ไร่ใหม่ สงขลา จ.สงขลา กทม.
วันที่..... 9 เดือน..... ก.ย..... พ.ศ. 51

สัญญานี้ทำขึ้นระหว่าง..... น.ส. ไร่ใหม่..... สืบโชนพวง
ที่อยู่เลขที่..... หมู่..... ถนน..... แขวง.....
เขต..... จังหวัด..... ซึ่งต่อไปในสัญญานี้เรียกว่า “ผู้อนุญาต”
ฝ่ายหนึ่ง กับ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ โดย..... น.ส. ไร่ใหม่..... จ.สงขลา
คณะบดีคณะ..... ไร่ใหม่..... สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ที่อยู่เลขที่..... 118..... หมู่..... ถนน..... แขวง.....
เขต..... สงขลา..... จังหวัด..... กทม. ซึ่งต่อไปในสัญญานี้เรียกว่า “ผู้รับอนุญาต”
อีกฝ่ายหนึ่ง คู่สัญญาทั้งสองฝ่ายได้ตกลงทำสัญญามีข้อความดังต่อไปนี้

1. ผลงานลิขสิทธิ์

ผู้อนุญาตเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์งานวิทยานิพนธ์ เรื่อง..... การศึกษาความพึงพอใจ
ในการนำปฏิกูลมาทำน้ำดื่ม จากผลไม้ของกรุงเทพฯ และนนทบุรี โดยใช้เชื้อรา *Spirulina*
ซึ่งสร้างสรรค์ โดย..... น.ส. ไร่ใหม่..... สืบโชนพวง..... ผู้อนุญาตรับรองว่า เป็นผู้สร้างสรรค์
งานขึ้นเอง

2. เงื่อนไขการอนุญาต

ผู้อนุญาต ตกลงให้ผู้รับอนุญาตใช้สิทธิดังต่อไปนี้

2.1 ผู้รับอนุญาตมีสิทธิเผยแพร่ต่อสาธารณชน ซึ่งงานวิทยานิพนธ์ตามข้อ (1)
เพื่อประโยชน์ในการวิจัย หรือศึกษา อันมิได้มีวัตถุประสงค์เพื่อหากำไร

2.2 ผู้อนุญาตอนุญาตให้ผู้รับอนุญาตใช้สิทธิตาม 2.1 เพื่อใช้ในห้องสมุด
และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของห้องสมุด สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ รวมทั้งเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
ของโครงการพัฒนาเครือข่ายห้องสมุดในประเทศไทย (ThailIS)

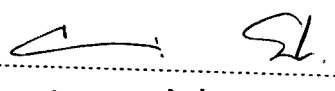
3. การโอนสิทธิและ / หรือหน้าที่ตามสัญญา

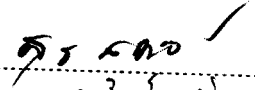
ผู้อนุญาตและผู้รับอนุญาตไม่สามารถโอนสิทธิและหรือหน้าที่ ความรับผิดชอบของตนตามสัญญานี้ให้แก่บุคคลภายนอกได้ เว้นแต่จะได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากอีกฝ่ายก่อน

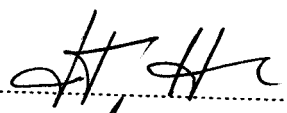
4. สิทธิของเจ้าของลิขสิทธิ์

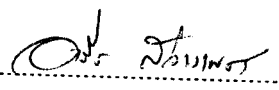
ภายใต้บังคับแห่งสัญญานี้ ผู้อนุญาตยังคงเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ในงานวิทยานิพนธ์ตามสัญญานี้ทุกประการ

สัญญานี้ทำขึ้นเป็นสองฉบับมีข้อความถูกต้องครบถ้วน คู่สัญญาได้อ่านและเข้าใจข้อความในสัญญาโดยตลอดดีแล้ว จึงลงลายมือชื่อพร้อมทั้งประทับตรา (ถ้ามี) ไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยานและเก็บไว้ฝ่ายละหนึ่งฉบับ

ลงชื่อ  ผู้อนุญาต
(รศ. วิชา สืบโชนพวงกุล)

ลงชื่อ  ผู้รับอนุญาต
(รศ. ดร. สุรสิทธิ์ สรรพวง)

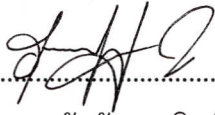
ลงชื่อ  พยาน
(มร. สุวิทย์ สรรพวง)

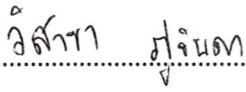
ลงชื่อ  พยาน
(มร. สุวิทย์ สรรพวง)

การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม
โดยใช้สาหร่ายสไปรูลไนา (*Spirulina platensis*)

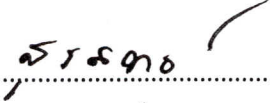
ชลธิชา สืบวัฒนพงษ์กุล
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

รองศาสตราจารย์..........ประธานกรรมการ
(ดร.รัชชัย สุธิดิษฐ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์..........กรรมการ
(ดร.วิสาฯ ภูจินดา)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์..........กรรมการ
(ดร.รศพงษ์ ปวงสุข)

รองศาสตราจารย์..........คณบดี
(ดร.สุรสิทธิ์ วชิรขจร)

วันที่.....31.....สิงหาคม พ.ศ. 2551

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง กุ้งขาวแวนนาไมโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (<i>Spirulina platensis</i>)
ชื่อผู้เขียน	นางสาวชลธิชา สืบวัฒนพงษ์กุล
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	2551

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลินาบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ในการศึกษาได้มีการใช้สาหร่ายสไปรูลินาที่ปริมาณเริ่มต้น 5 ระดับ คือ 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม ทำการเพาะเลี้ยงในห้องทดลองที่มีการควบคุมระดับการให้แสงและการเติมอากาศให้กับน้ำทิ้งตลอดเวลา แบ่งระยะเวลาในการบำบัดออกเป็น 4 ระยะ คือ 0, 5, 10 และ 15 วัน ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังการทดลอง

ผลจากการศึกษา พบว่า เมื่อทำการทดลองผ่านไป 5 วัน สาหร่ายได้ตายลงทั้งหมด จึงทำการหาสาเหตุการตายของสาหร่ายโดยนำน้ำทิ้งไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ผลปรากฏว่า มีแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) อยู่ในน้ำทิ้งเป็นจำนวนมาก จึงทำการทดสอบต่อโดยการนำน้ำทิ้งดังกล่าวไปกรองเอาแพลงก์ตอนสัตว์ออกจนหมด แล้วนำน้ำที่กรองแพลงก์ตอนสัตว์ออกหมดแล้วมาใช้เลี้ยงสาหร่ายเป็นระยะเวลา 7 วัน ปรากฏว่า สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงสรุปได้ว่า การตายของสาหร่ายเกิดจากถูกแพลงก์ตอนสัตว์กิน ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด ได้นำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว 5 วัน ไปทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งแล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลอง ผลปรากฏว่า หลังจากใช้สาหร่ายสไปรูลินาบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวเป็นระยะเวลา 5 วัน สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 93.75 ความเค็มร้อยละ 75.00 ตะกั่วร้อยละ 100.00 โปรตีนร้อยละ 60.37 และแอมโมเนียร้อยละ 99.84 แต่ไม่สามารถบำบัดบีโอดี ฟอสฟอรัสรวม ไนเตรท แอมโมเนีย ไนโตรเจนรวม และความเป็นกรด - ด่างได้ ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกับปริมาณสาหร่ายที่ใช้และระยะเวลาในการบำบัด เนื่องจากสาหร่ายได้ตายลงจึงไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดกับประสิทธิภาพในการบำบัดได้ อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ในการนำสาหร่ายสไปรูลินามาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ถ้ามีการจัดการกับปัญหาเรื่องแพลงก์ตอนสัตว์อย่างเหมาะสม

ABSTRACT

Title of Thesis	A Feasibility Study Using <i>Spirulina platensis</i> for <i>Litopenaeus vannamei</i> Pond Effluent Treatment
Author	Miss Chonticha Suebwattanapongsakul
Degree	Master of Science (Environmental Management)
Year	2008

The objective of this experimental research was to study a feasibility using *Spirulina platensis* for *Litopenaeus vannamei* pond effluent treatment. In this study, 5 levels of biomass concentration were employed to explore treatment ability namely 0, 400, 600, 800 and 1,000 mg. The experiment was conducted under controlled light intensity and aeration. To investigate the treatment efficiency, the results of *Litopenaeus vannamei* pond effluent quality analyses carried out before the cultivation of biomass and 0, 5, 10 and 15 days after the cultivation were compared.

After 5 days of the experiment, the mortality of *Spirulina platensis* biomass was found which assumed that zooplanktons existing in the sampling consumed the biomass for food. To verify the assumption, a lab test was carefully done. In the test, some sampling was filtrated to totally removed zooplanktons. Then, the sampling was employed to cultivate some biomass for 7 days. The result showed that the biomass could grow well, so the assumption of zooplanktons consumed biomass was assured. From the study of 5 – day – treatment efficiency, the study found that *Spirulina platensis* could treat the *Litopenaeus vannamei* pond effluent in some parameters namely SS, salinity, lead and cadmium for 93.75, 75.00, 100.00, 60.37 and 99.84%, respectively. However, *Spirulina platensis* failed in treating BOD, total phosphorus, nitrate, ammonia, total nitrogen and pH. In addition, the result of the study also found that treatment efficiency was not related to level of biomass concentrated in the sampling, while the study could not indicate the relationship between treatment efficiency and time applied for the treatment due to the mortality of biomass. In conclusion, *Spirulina platensis* itself had some potential for *Litopenaeus vannamei*

pond effluent treatment. And using *Spirulina platensis* as biosorbent in *Litopenaeus vannamei* pond effluent treatment is feasible if some appropriate method for elimination of zooplanktons were applied.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา การตรวจแก้ไข และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุกษิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสาขา ภูจินดา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัคพงศ์ ปวงสุข กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าให้คำชี้แนะและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้อุทิศตน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คำแนะนำ ประสบการณ์ และความช่วยเหลือต่าง ๆ และขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุนทรภรณ์ ลิ้มสกุล อาจารย์ประจำภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ เป็นกำลังใจ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อทำการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณเจนวิทย์ วงษ์सानูน และนายอัศร คำเมือง เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม และคุณวิระวัฒน์ ธิปิน บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริง แอน แมเนจเม้นท์ จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ และคุณสุชาดา ชันทองดี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเรื่องน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ นักศึกษาหลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม รุ่นที่ 11 ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาและเป็นกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสนิท และคุณแม่อารีย์ สืบวัฒนพงษ์กุล ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน รวมถึงพี่ชายและพี่สาว ที่ได้ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบความดีทั้งหมดแด่คุณพ่อคุณแม่ และคณาจารย์ ตลอดจนผู้ที่ช่วยเหลือทุกท่านด้วยความเคารพอย่างสูง

ชลธิชา สืบวัฒนพงษ์กุล

สิงหาคม 2551

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 กรอบแนวคิด	3
1.5 สมมติฐาน	5
1.6 นิยามศัพท์	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 คุณสมบัติของน้ำเสีย	7
2.2 ผลกระทบของน้ำเสียต่อมนุษย์	13
2.3 การบำบัดน้ำเสีย	14
2.4 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ	15
2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง	18
2.6 ข้อมูลพื้นฐานของสาหร่ายสไปรูลไนา	32
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	53

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	58
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	58
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	58
3.3 วิธีการทดลอง	59
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	70
4.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	71
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายสไปรูลีนาและระยะเวลาที่ใช้กับประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง	84
4.3 ความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลีนาบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	84
4.4 การศึกษาหาสาเหตุการตายของสาหร่ายสไปรูลีนา	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการวิจัย	87
5.2 ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	97
ภาคผนวก ข ภาพการเก็บข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	113
ภาคผนวก ค สูตรอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา	120
ประวัติผู้เขียน	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การสำรวจการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ปี พ.ศ. 2550	20
2.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งเฉลี่ยรายจังหวัดในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550	22
2.3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย	31
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	66
3.2 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง	67
3.3 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในสาหร่ายสไปรูลีนา	68
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวก่อนการทดลอง	70
4.2 ตารางดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมหลังการทดลอง	71
4.3 ปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายสไปรูลีนา	83
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	87

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	กรอบแนวคิดในการศึกษา
2.1	ค่าเฉลี่ยสภาพน้ำไฟฟ้าของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550
2.2	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับโซเดียมของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550
2.3	ค่าเฉลี่ยความสกปรกในรูปบีโอดีของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550
2.4	ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรวมของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550
2.5	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมดของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550
2.6	ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550
2.7	ปริมาณของสารอินทรีย์ที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งในภาคใต้ของประเทศไทย
2.8	รูปร่างของสาหร่ายสไปรูลีนา
2.9	ลักษณะเกลียวของสาหร่ายสไปรูลีนา
2.10	ช่วงการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลีนา
2.11	วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลีนา
3.1	รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ
3.2	รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของสาหร่ายสไปรูลีนา
3.3	ลักษณะการจัดเรียงหน่วยทดลอง
4.1	แสดงค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว
4.2	แสดงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว
4.3	แสดงค่าฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

ภาพที่	หน้า
4.4 แสดงค่าไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	76
4.5 แสดงค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	77
4.6 แสดงค่าไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	78
4.7 แสดงค่าความเค็มในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	79
4.8 แสดงค่าความเป็นกรด – ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	80
4.9 แสดงค่าตะกั่วในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	81
4.10 แสดงค่าปรอทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	81
4.11 แสดงค่าแคดเมียมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	82
4.12 การกรองแพลงก์ตอนสัตว์ออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ	85
4.13 น้ำทิ้งที่ผ่านการกรองแพลงก์ตอนสัตว์ออกและเติมสาหร่ายสไปรูลีนา	85
4.14 ห่วงโซ่อาหารในน้ำเค็ม	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กุ้งขาวลิโทพีเนียสแวนนาไม (Pacific White Shrimp) หรือที่เรียกกันว่า “กุ้งขาว หรือ กุ้งแวนนาไม” มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Litopenaeus vannamei* เกษตรกรในประเทศไทยนิยมเรียกว่า กุ้งขาวแวนนาไมหรือเรียกกันว่า “กุ้งขาว” เป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพ่อแม่พันธุ์ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มาเป็นเวลาช้านาน ทำให้มีการนำเข้าไปถึงในหลาย ๆ ประเทศ กุ้งชนิดนี้ได้มีการนำเข้ามาเลี้ยงในทวีปเอเชียครั้งแรกในประเทศไทยได้หวั่น และต่อมาได้นำเข้าไปเลี้ยงในประเทศจีน สำหรับประเทศไทยได้มีการนำกุ้งขาวเข้ามาทดลองเลี้ยงในปี พ.ศ. 2541 แต่การทดลองในครั้งนั้นไม่ประสบความสำเร็จมากนัก จนกระทั่งเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2551) กรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อจากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยง ระยะเวลาการนำเข้าพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยกำลังประสบปัญหากุ้งโตช้า ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ประสบปัญหาขาดทุน ในขณะเดียวกันเกษตรกรบางส่วนได้ทดลองเลี้ยงกุ้งขาว ซึ่งส่วนใหญ่ให้ผลค่อนข้างดี จากกระแสการเลี้ยงกุ้งขาวที่ได้ผลดีกว่ากุ้งกุลาดำ ทำให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงกุ้งขาวกันมากขึ้น และต่อมากุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายทั่วโลก ดังนั้นการผลิตกุ้งขาวออกสู่ตลาดโลกจึงมีปริมาณมาก ซึ่งประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2545 ผลิตกุ้งขาวประมาณ 20,000 ตัน แต่ในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยสามารถผลิตกุ้งขาวได้ประมาณ 170,000 ตัน จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก และในขณะนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตกุ้งขาวได้มากเป็นอันดับสองรองจากประเทศจีน (อาทิตันท์ ประสมพงศ์, 2546)

จากการขยายตัวของการเลี้ยงกุ้งขาวในพื้นที่น้ำจืด การพัฒนารูปแบบการเลี้ยงจากเดิมที่เป็น การเลี้ยงแบบธรรมชาติได้พัฒนาเป็นแบบกึ่งธรรมชาติ จนในปัจจุบันได้ปรับปรุงเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาที่นำเอาเทคนิคการเลี้ยงแบบสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ การเลี้ยงแบบพัฒนานี้หากไม่มีระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ถูกต้องและเหมาะสมอาจนำไปสู่ปัญหาด้านต่าง ๆ ติดตามมามากมาย

โดยเฉพาะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งนับเป็นปัญหาหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนและนับวันได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อแผ่ขยายเป็นวงกว้าง โดยสิ่งสำคัญ คือ ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งคุณภาพของน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของมวลสารที่เจือปนอยู่ในน้ำที่อาจเกิดขึ้นมาจากขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตกุ้ง ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมบ่อ ขั้นตอนการเลี้ยงกุ้ง และขั้นตอนการทำความสะอาดบ่อ แต่ส่วนมากน้ำที่เกิดขึ้นมาจากขั้นตอนหลังเป็นหลัก (ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547: 2) และปัญหาที่สำคัญอันเกิดจากการเลี้ยงกุ้งขาว คือ น้ำเสีย โดยจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ถ้าผู้เลี้ยงกุ้งขาดการจัดการที่ดี

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้เกิดแนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) เนื่องจาก สาหร่ายสไปรูลินาเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพในการบำบัด จึงอาจทำให้ลดปัญหามลพิษทางน้ำได้เป็นอย่างดี และการบำบัดน้ำที่ด้วยพืชน้ำจืดได้ว่าเป็นการบำบัดโดยวิธีทางธรรมชาติ อาศัยหลักความสมดุลของธรรมชาติในการบำบัดธรรมชาติด้วยตนเอง ซึ่งถือเป็นแนวพระราชดำรินึ่งของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ปฏิบัติได้ ขณะเดียวกันสาหร่ายสไปรูลินาก็มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าพืชชนิดอื่น มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอที่จะพัฒนาเป็นอาหารเสริมสำหรับมนุษย์และสัตว์ (จักรพงษ์ ศรีพนมยม, 2531) นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูลินายังสามารถเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลินาบำบัดคุณภาพน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2 วัตถุประสงค์รอง

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวก่อนและหลังการทดลอง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินา และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว
3. เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียมที่ตกค้างในน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวและสาหร่ายสไปรูลินาก่อนและหลังการทดลอง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวโดยใช้สาหร่ายสไปรูลไนา

สาหร่ายที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ สาหร่ายสไปรูลไนา ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Spirulina platensis*

น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำทิ้งที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งขาวระบบปิด ในเขตพื้นที่น้ำจืดอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง คือ ภาชนะพลาสติกขนาดความกว้างเท่ากับ 12 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 15 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 30 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 6 ลิตร

1.3.2 ขอบเขตพื้นที่

พื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.3 ขอบเขตของระยะเวลา

ระยะเวลาในการทดลองและเก็บข้อมูล คือ วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2551 – 30 มิถุนายน พ.ศ. 2551 รวมระยะเวลา 6 เดือน

1.4 กรอบแนวคิด

1.4.1 ตัวแปรอิสระ

1. ปริมาณของสาหร่ายสไปรูลไนา (mg)/น้ำทิ้ง 5 ลิตร
 - 0
 - 400
 - 600
 - 800
 - 1,000

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด (วัน)

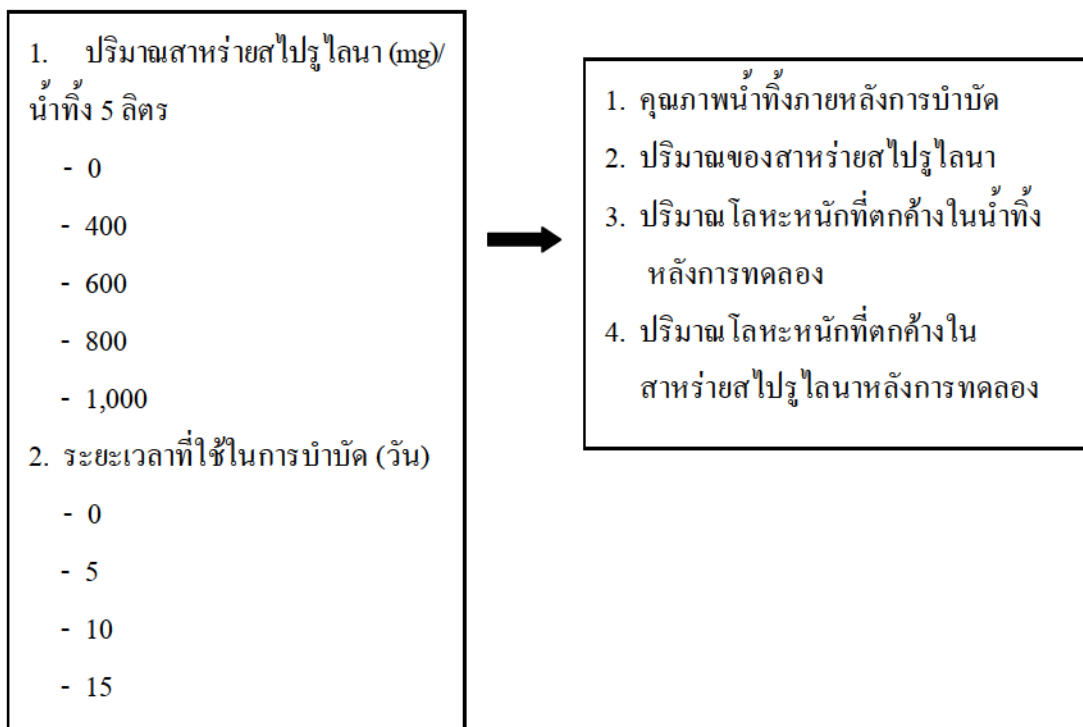
- 0
- 5
- 10
- 15

1.4.2 ตัวแปรตาม

1. คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด
2. ปริมาณของสาหร่ายสไปรูลีนา
3. ปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในน้ำทิ้งหลังการทดลอง
4. ปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในสาหร่ายสไปรูลีนาหลังการทดลอง

ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรตาม



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

1.4.3 ตัวแปรควบคุม

1. อุณหภูมิ
2. ความเข้มแสง
3. ออกซิเจน (O₂)

1.5 สมมติฐาน

สาหร่ายสไปรูลีนาสามารถใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในพื้นที่น้ำจืดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำสาหร่ายสไปรูลีนาที่คาดว่าจะปราศจากโลหะหนักตกค้างมาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภค เพื่อจำหน่าย หรือเพื่อประโยชน์ต่าง ๆ ต่อไปได้

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 นิยามศัพท์ทั่วไป

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน ดังนั้น กระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 3 วิธี คือ กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางชีววิทยา และกระบวนการทางกายภาพ (วิสาข ภูจินดา, 2549: 30 – 36)

กุ้งขาวแวนนาไม หรือกุ้งขาวแวนนาไม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Litopenaeus vannamei* ซึ่งลักษณะเฉพาะของกุ้งขาวที่สามารถสังเกตเห็นเด่นชัด คือ บริเวณพื้นก้นด้านบนจะหยักและถี่ปลายก้นจะตรง โดยที่พื้นก้นด้านล่างมี 2 อันและด้านบนมี 8 อัน ความยาวของก้นจะยาวกว่าลูกตาไม่มาก และที่สังเกตเห็นได้ชัด คือ จะเห็นลำไส้กุ้งชนิดนี้ได้ชัด ขณะที่โตเต็มวัยกุ้งชนิดนี้จะมีมีความยาวทั้งหมด (Total Length) 230 มิลลิเมตร (9 นิ้ว) (อาทิตินันท์ ประสมพงศ์, 2546)

สาหร่ายสไปรูลีนา สาหร่ายสไปรูลีนา หรือสาหร่ายเกลียวทอง ซึ่งมาจากภาษาอังกฤษว่า สไปรัล (Spiral) หมายถึง รูปเกลียววนแบบขดหอย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Spirulina platensis* สาหร่ายสไปรูลีนาเป็นสาหร่ายหลายเซลล์ สีเขียวแกมน้ำเงิน ขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 60 – 70 ของน้ำหนักแห้ง องค์ประกอบของโปรตีนมีกรดอะมิโนถึง 18 ตัว มีวิตามินที่มีคุณค่าต่าง ๆ เช่น วิตามินเอ บี1 บี2 บี12 อี เอช เป็นต้น (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2544: 2)

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาว หรือน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วจนทำให้คุณลักษณะและคุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการอุปโภค และบริโภคอีกครั้ง

1.6.2 นิยามศัพท์ปฏิบัติการ

สาหร่าย หมายถึง สาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina platensis*) สายพันธุ์เส้นตรง

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พื้นที่อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

การศึกษาความเป็นไปได้ หมายถึง ความเป็นไปได้ทางด้านของกายภาพและชีวภาพ และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้ง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลีนาบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อม
2. ได้ทราบถึงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวก่อนและหลังการทดลอง
3. ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสาหร่ายสไปรูลีนา และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว
4. ได้ทราบถึงดุลไนโตรเจนภายหลังการทดลอง
5. ได้ทราบถึงปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียมที่ตกค้างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว และในสาหร่ายสไปรูลีนา ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง
6. ได้ทางเลือกใหม่ในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้พืชน้ำบำบัด
7. เป็นแนวทางในการนำสาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina platensis*) ไปบำบัดน้ำทิ้งในบ่อพักน้ำทิ้งของฟาร์มกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) มีทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 2.1 คุณสมบัติของน้ำเสีย
- 2.2 ผลกระทบของน้ำเสียต่อมนุษย์
- 2.3 การบำบัดน้ำเสีย
- 2.4 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ
- 2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง
- 2.6 ข้อมูลพื้นฐานของสาหร่ายสไปรูลินา
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดังปรากฏในรายละเอียด ดังนี้

2.1 คุณสมบัติของน้ำเสีย

คุณสมบัติของน้ำเสีย สามารถแบ่งพิจารณาได้ 3 ด้าน คือ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางชีววิทยา (วิสาข่า ภูจินดา, 2549: 30 – 36) มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.1.1.1 ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากการที่น้ำที่ปนเปื้อนไปด้วยสารแขวนลอยขนาดเล็ก เช่น ดิน จุลินทรีย์ สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กมากระดับไมครอน (Colloids) ซึ่งจุลินทรีย์ขนาดเล็กจะกระเจิงและดูดกลืนแสงทำให้เรามองเห็นว่าน้ำขุ่น ความขุ่นสามารถวัดโดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานซิลิกา ความขุ่นของซิลิกา 1 mg/l เทียบเท่ากับความขุ่น 1 TU (Turbidity Unit) ความขุ่น 5 TU สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2.1.1.2 อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิสูง ความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะต่ำ และเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ขนาดเล็ก อุณหภูมิของน้ำทิ้งหรือน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส

2.1.1.3 สี กลิ่น รสชาติ

1) สี ในน้ำอาจเกิดจาก 2 แหล่ง คือ Suspended Color และ Dissolved Color สีจะขัดขวางการสังเคราะห์แสงของพืช เราสามารถวัดความเข้มข้นของสี โดยใช้ Spectrophotometric Methods

2) กลิ่น สามารถวัดได้โดยใช้ระบบทางเดินหายใจการวัดกลิ่น เรียกว่า Threshold Odor Test ซึ่งทำได้โดยเจือจางน้ำที่มีกลิ่นด้วยน้ำบริสุทธิ์จนกระทั่งกลิ่นหมดไป จะแสดงผลเป็น The Minimum Detectable Threshold Odor Concentration (MDTOC) ซึ่งจะแสดงเป็นสัดส่วนของการเจือจางกลิ่นในน้ำเสีย โดยมากกลิ่นเกิดจากก๊าซไข่เน่าหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น ฟินอลจากอุตสาหกรรม สารอินทรีย์สังเคราะห์

3) รสชาติ แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ ขม เค็ม เปรี้ยว หวาน สามารถวัดได้ 3 วิธี ได้แก่

วิธีที่หนึ่ง Flavor Threshold Test ใช้วิธีการเจือจางเหมือนการวัดกลิ่น

วิธีที่สอง Flavor Rating Assessment ใช้วิธีเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

วิธีที่สาม Flavor Profile Analysis ใช้วิธีเทียบกับกลิ่นน้ำเสียโดยผู้เชี่ยวชาญ

2.1.1.4 ปริมาณของแข็ง (Solid Contents) เป็นการวัดปริมาณสารต่าง ๆ ทั้งหมดที่อยู่ในตัวอย่างน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ อาจจะละลายหรือไม่ละลายน้ำก็ได้

1) TS (Total Solids) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารต่าง ๆ ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ โดยการระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส

2) TVS (Total Volatile Solids) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในตัวอย่างน้ำโดยนำกากที่ได้จากการหา TS ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส น้ำหนักกากแห้งที่ถูกเผาไหม้จะเป็นค่า TVS

3) SS (Suspended Solids) เป็นการหาปริมาณสารต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในตัวอย่างน้ำโดยผ่านกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักกระดาษกรองที่เผาผลาญด้วยน้ำหนักกระดาษกรองก่อนใช้กรองจะเป็นค่า SS

4) TDS (Total Dissolved Solids) เป็นปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ อาจประกอบไปด้วยของแข็งที่สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และของแข็งที่ไม่ระเหย ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

5) DS (Dissolved Solids) เป็นปริมาณสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย คำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่า TS และ SS ($DS = TS - SS$)

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

2.1.2.1 Dissolved Oxygen (DO) เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำหนดคุณภาพน้ำ ยังมีออกซิเจนละลายในน้ำสูงเท่าใด น้ำยังมีความสะอาดเท่านั้น ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ การตรวจค่า DO ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจะบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการบำบัดค่า DO ของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ควรต่ำกว่า 1 – 2 mg/l น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติควรมีค่า DO สูงกว่า 4 mg/l ค่า DO ต่ำจะบ่งชี้ว่ามีปริมาณสารอินทรีย์สูงในแหล่งน้ำนั้น ค่าออกซิเจนละลายในน้ำสามารถวัดได้โดยวิธี Iodometric Method ซึ่งเป็น Filtration Method หรือ The Electrometric Method ซึ่งเป็น Membrane Method ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำสามารถวัดได้จาก

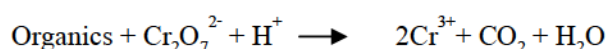
$$C_s = \frac{486}{(31.6 + T)}$$

โดย C_s = Solubility Oxygen in mg/l at One Atmosphere

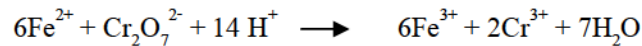
T = Temperature in °C

C_s (The Saturation Concentration) at 20 °C is about 9 mg/l

2.1.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย โดยใช้สาร $K_2Cr_2O_7$ (Potassium Dichromate) ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะเป็นกรด โดยใช้ H_2SO_4 เข้มข้น และทำการต้ม Reflux เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



ภายหลังการต้มแล้วทำให้เย็นตัวลง ทำการวิเคราะห์ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลืออยู่ โดยทำการไตเตรทกับ Ammonium Ferrous Sulphate โดยมี Ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ ดังปฏิกิริยา



2.1.2.3 Biochemical Oxygen Demand (BOD) เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการโดยจุลินทรีย์เพื่อการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสีย จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียจะใช้อินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่ทำการวิเคราะห์เป็นอาหารในการดำรงชีวิต สภาพที่กำหนดในการวิเคราะห์ มีดังนี้

- 1) อุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงการทดลอง
- 2) ระยะเวลาในการวิเคราะห์ (Incubation Time) 5 วัน
- 3) อยู่ในสภาพ Aerobic ตลอดช่วง 5 วัน (มีออกซิเจนละลาย)
- 4) อยู่ในสภาพมืด เพื่อป้องกันการสร้างออกซิเจนโดยสาหร่าย
- 5) มีอาหารเสริมต่างๆ อย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
- 6) แบคทีเรียที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีปริมาณมากพอและคุ้นเคยกับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
- 7) ต้องไม่มีสารพิษเจือปน ค่า pH เป็นกลาง และค่าต้องไม่เปลี่ยนแปลงตลอด 5 วัน ซึ่งกระทำได้โดยเติมสารเคมีที่เป็น Buffer

ในกรณีที่ไม่ต้องเติม Seed (ไม่เติมหัวเชื้อ)

$$\text{BOD (mg/l)} = \frac{(D_o - D_s) - (B_o - B_s)}{P}$$

D_o = ค่า DO ที่เริ่มต้น mg/l

D_s = ค่า DO ที่ 5 วัน mg/l

B_o = ค่า DO ที่เริ่มต้นของขวดที่ใช้น้ำกลั่น mg/l

B_s = ค่า DO ที่ 5 วันของขวดที่ใช้น้ำกลั่น mg/l

P = สัดส่วนตัวอย่างที่ใช้

ในกรณีที่เติม Seed (เติมหัวเชื้อ)

$$\text{BOD (mg/l)} = \frac{(D_o - D_s) - (B_o - B_s)f}{P}$$

โดยค่า f = อัตราส่วนของร้อยละ Seed ในตัวอย่างน้ำเสียดต่อร้อยละ Seed ในขวด Blank เครื่องมือวิเคราะห์ BOD คือ Monometric BOD Analyzer, Bio Sensor หรือ Microbe Electrode, Electrolysis

ตัวอย่างการประมาณค่า BOD เช่น น้ำเสียอุตสาหกรรม 1 ลิตร ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ 1,500 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น ค่า BOD เท่ากับ 1,500 mg/l

2.1.2.4 Total Organic Carbon (TOC) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำ ประกอบด้วย สารอินทรีย์คาร์บอน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในน้ำ และอินทรีย์คาร์บอน

2.1.2.5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจนไอออนในน้ำ มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย ค่า pH มีความสำคัญมากต่อระบบบำบัดทางชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์ในระบบจะทำงานได้ดีในช่วง pH 6.8–8 เท่านั้น น้ำเสียจากชุมชนค่อนข้างเป็นกลาง น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่า pH หลากหลาย เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารมีค่า pH ประมาณ 7 ส่วนน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะและอิเล็กทรอนิกส์จะมีค่า pH เป็นกรด ซึ่งน้อยกว่า 7

2.1.2.6 ค่าความกระด้าง น้ำกระด้างมีส่วนประกอบของ Calcium Ion (Ca^{2+}) และ Magnesium Ion (Mg^{2+}) มักจะแสดงเป็น mg/l of CaCO_3 น้ำกระด้างจะวัดเป็นความสามารถในการตกตะกอนของสบู่ ถ้าน้ำกระด้างมากจะใช้สบู่ปริมาณมากในการเกิดฟอง

2.1.2.7 Nitrogen Content อาจพบในหลายรูปแบบ ได้แก่ สารไนโตรเจนอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในน้ำเสียมักจะประกอบด้วย Complex Organic Molecule (Proteins) และแอมโมเนีย แบคทีเรียจะ Break Down สารเหล่านี้ได้เป็นไนไตรท์และไนเตรท ซึ่งเรียกว่ากระบวนการ Nitrification

2.1.2.8 Phosphorus Content ปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตเป็นอาหารเสริมเช่นเดียวกับสารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสจะเป็นอาหารเสริมในการเติบโตของสาหร่าย ถ้าสาหร่ายเติบโตอย่างรวดเร็วมากจะก่อให้เกิด Eutrophication ซึ่งทำให้น้ำเกิดการเน่าเสีย น้ำทิ้งชุมชนมีค่าฟอสฟอรัสประมาณ 2 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.2.9 Iron (Fe), Copper (Cu), Zinc (Zn) และ Magnesium (Mn) มักไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่จะก่อให้เกิดโรคซึมเมื่อ Mn^{2+} สัมผัสกับอากาศจะรวมตัวเป็น Insoluble Mn^{3+} ส่วน Cu และ Zn ที่ความเข้มข้นต่ำมักไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ แต่ที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้รสชาติของน้ำดื่มเปลี่ยนไป โดยเฉพาะ Zn จะทำให้น้ำขุ่น

2.1.2.10 Fluorides ปริมาณ Fluoride 1 mg/l ในน้ำดื่มจะช่วยป้องกันฟันผุและทำให้สุขภาพฟันดีในเด็ก ถ้าน้ำดื่มมีปริมาณ Fluoride สูงเกินไปจะก่อให้เกิด Dental Fluorosis ในประเทศเขตอบอุ่นค่า Maximum Allowable Level = 1.4 mg/l ส่วนในเมืองหนาวค่า Maximum Allowable Level = 2.4 mg/l

2.1.2.11 Chlorides พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ ดิน หิน และชายฝั่ง ถ้าความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดรสเค็ม

2.1.2.12 Chlorine Residual คลอรีนมักจะถูกใช้ในการ Disinfect เชื้อโรคในกระบวนการผลิตน้ำ ข้อดี คือ คลอรีนสามารถอยู่ในระบบการส่งน้ำได้นาน หาซื้อง่าย และราคาถูก ส่วนข้อเสีย คือ คลอรีนในน้ำจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ซึ่งจะนำไปสู่สารพิษ เช่น Trihalomethanes

2.1.2.13 Sulfates ถ้าความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดรสชาติที่เปลี่ยนไป

2.1.2.14 Oil and Grease มีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียและต่อสัตว์ในแหล่งน้ำ เนื่องจากไขมันและน้ำมันจะแยกตัวลอยบนผิวน้ำจึงถูกย่อยสลายยากโดยจุลินทรีย์

2.1.2.15 Heavy Metals หรือ โลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) เป็นต้น ถ้ามีปริมาณสูงจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้โลหะหนักจะมีผลต่อสุขภาพ เช่น แคดเมียมสะสมที่ไตและตับ ปริมาณโลหะหนักมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์และการเลือกระบบบำบัดที่มีความเหมาะสม

2.1.2.16 สารประกอบกำมะถัน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดจากน้ำเสียชุมชน สิ่งปฏิกูล น้ำเสียจากกระบวนการย่อยกระดาษ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและกัดกร่อนอุปกรณ์

2.1.2.17 Toxic Compounds สารพิษอื่น ๆ เช่น PCB, DDT, Phenol, Chlorinated Hydrocarbons เป็นต้น

2.1.2.18 สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว น้ำแกง เศษพืชผัก ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ส่วนสารอนินทรีย์ ได้แก่ กรด ด่าง เกลือชนิดต่าง ๆ โลหะ และสารอื่น ๆ ไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่ทำให้สภาพน้ำปนเปื้อนและอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต น้ำเสียที่มีสารอนินทรีย์มักถูกปล่อยมาจากเหมืองแร่ การผลิตสารเคมี การผลิตเยื่อกระดาษ หรือการชุบโลหะ เป็นต้น

2.1.3 คุณสมบัติทางชีววิทยา

2.1.3.1 Microorganisms จุลินทรีย์ในน้ำ ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว (Protozoa) รา (Fungi) ไวรัส (Virus) และสาหร่าย (Algae)

2.1.3.2 Coliform แบ่งออกเป็น Total Coliform เป็นค่าแสดงแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ และ Fecal Coliform เป็นค่าแบคทีเรียที่มาจากอุจจาระ

2.2 ผลกระทบของน้ำเสียต่อมนุษย์

มนุษย์ได้รับประโยชน์จากการใช้ทรัพยากรน้ำ ทั้งทางตรงและทางอ้อม แต่ถ้าหากแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์เกิดการเน่าเสียจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ ดังนี้

ผลกระทบต่อการประมง เมื่อเกิดสถานะน้ำเสียปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลง น้ำจะมีสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ เป็นปัจจัยจำกัดต่อการสืบพันธุ์และดำรงชีพของสัตว์น้ำ ทำให้ปริมาณของสัตว์น้ำซึ่งเป็นอาหารของมนุษย์ลดลง

ผลกระทบต่อสุขภาพ น้ำเสียที่มีเชื้อโรคและสารพิษเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและสุขภาพอนามัยของประชาชน ก่อให้เกิดโรกระบบทางเดินอาหาร เช่น อหิวาห์ ไทฟอยด์ โรคบิด สารพิษ เช่น แคดเมียมปรอท ตะกั่ว ดีดีที ทำให้มนุษย์เป็นโรคต่าง ๆ ได้

ผลกระทบต่อการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม น้ำเสียที่มีสารพิษปะปนอยู่เมื่อไหลลงสู่ดินทำให้สภาพดินเปลี่ยนไปเป็นกรดหรือด่าง ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืช นอกจากนี้ยังสะสมเพิ่มปริมาณอยู่ในห่วงโซ่อาหารตามลำดับขั้นของการถ่ายทอด

ผลกระทบต่อระบบนิเวศ เมื่อสิ่งมีชีวิต เช่น พืชและสัตว์ที่อาศัยในแหล่งน้ำที่เสียได้รับผลกระทบจนทำให้ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ก็จะส่งผลกระทบต่อไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นในระบบนิเวศด้วย เช่น ทำให้โซ่อาหารหรือสายใยอาหารในแหล่งน้ำลดลง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นที่เป็นผู้บริโภคบนบกด้วย และอาจทำให้สมดุลธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป

ผลกระทบต่อทัศนภาพ เมื่อแหล่งน้ำถูกทำให้สกปรก เน่าเสีย ทัศนียภาพที่สวยงามถูกทำลายไป ทำให้จิตใจไม่เบิกบาน ไม่มีแหล่งท่องเที่ยวและพักผ่อนหย่อนใจ

สรุปได้ว่า ปัญหาน้ำเน่าเสียอาจจะเกิดขึ้นจากฝีมือของมนุษย์หรือเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน แต่เมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้นมาแล้วนั้น ก็จะทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยตรงในทุก ๆ ด้าน ดังนั้น เราจึงควรร่วมมือกันใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างประหยัด รู้คุณค่าและช่วยกันบำรุงรักษาให้มีใช้กันอย่างยั่งยืนจนถึงรุ่นลูกรุ่นหลาน เพื่อที่จะเป็นการลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์ในอนาคต (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547: 95)

2.3 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย คือ การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง โดยอาศัยเทคโนโลยีและวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 6 ขั้นตอน (วิสาภา ภูจินดา, 2549: 39 – 40) มีดังนี้

1) ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (Preliminary Treatment) ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนัก การปรับสภาพ การทำให้ลอยเพื่อแยกน้ำมันและไขมัน

2) ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีการบำบัดทางกายภาพและเคมี ได้แก่ การปรับสภาพความเป็นกรด – ด่าง ระบบการสร้างตะกอนและรวมตะกอน ถังตกตะกอน และถังลอยตะกอน

3) ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เพื่อแยกและกำจัดสารอินทรีย์และตะกอนแขวนลอย โดยมากจะใช้กระบวนการทางชีววิทยา ได้แก่ Activated Sludge, Aerated Lagoon, Trickling Filter, Anaerobic Pond หรือ Stabilization Pond

4) ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) เพื่อแยกและกำจัดตะกอนแขวนลอยที่เหลือจากการบำบัดขั้นที่สอง และเพื่อกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้แก่ Ultrafiltration, Reverse Osmosis, Carbon Adsorption, Ion Exchange หรือ Ammonium Stripping

5) ระบบฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีน (Chlorination) การเติมโอโซน (Ozonation)

6) ระบบกำจัดตะกอน

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้าง ค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียได้ดังนี้

1) การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระจก เศษอาหาร กรวดทราย ไขมัน และน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2) การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่าง

ได้อย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอย ที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี เช่น ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน และถังฆ่าเชื้อโรค

3) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Microorganisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Microorganisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge : AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor : RBC) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon : AL) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) และระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter : AF) เป็นต้น

4) การบำบัดทางกายภาพและเคมี (Physicochemical Treatment) เป็นการใช่วิธีทางกายภาพและเคมีร่วมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีตามความต้องการในมาตรฐานสูง ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่าน การบำบัดโดยแลกเปลี่ยนประจุรีเวอร์สออสโมซิส การแยกด้วยไฟฟ้า – เยื่อกรอง (Electrodialysis) การกรองละเอียด (Ultrafiltration) เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548: 31)

2.4 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ

ธิดา วิเชียรเพชร (2545: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของดอกธูปฤาษีเพื่อการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียชุมชน ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเบดซ์ (ใส่ดอกธูปฤาษีลงในน้ำเสีย) และในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง (ให้น้ำเสียไหลผ่านดอกธูปฤาษี) ด้วยวิธี Partition Gravimetric Method ตามมาตรฐานวิธีการตรวจวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของ American Public Health Association พบว่า ดอกธูปฤาษีมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมัน เท่ากับร้อยละ 86 – 94 และร้อยละ 63 – 83 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเบดซ์ และแบบไหลต่อเนื่อง ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นเยื่อที่ทำจากดอกธูปฤาษีไม่สามารถกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียได้เนื่องจากไม่มีความพรุน กล่าวคือ ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดน้ำมันที่ได้จากระบบที่

ทำการศึกษา^{นี้} คือ ใช้ระยะเวลาพักในการบำบัดน้ำเสีย 30 นาที และใช้ปริมาณดอกชูปถาญีมากกว่า 20 กรัมขึ้นไป นอกจากนี้ พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำนั้นเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณดอกชูปถาญี แต่ไม่มีความสัมพันธ์ในการบำบัดน้ำเสียระหว่างปริมาณดอกชูปถาญีกับระยะเวลาในการพักที่นัยสำคัญ .01

ภาวสุระ ลิ้มปีสวัสดิ์ (2545: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพและคุณภาพน้ำได้ผิวดินในแปลงทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการใช้หญ้ากรอง บริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ใช้แปลงทดลองขนาด 5 x 100 เมตร ปลูกพืช 3 ชนิด คือ กกกลม หญ้าแฝกอิน โคนิเซีย และชูปถาญี เพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสียโดยปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แปลงทดลองแบบไหลต่อเนื่องทุกวัน วันละ 7 ชั่วโมง ทำการทดลองระหว่างวันที่ 20 กรกฎาคม ถึง 25 ตุลาคม พ.ศ. 2543 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำได้ผิวดินในแปลงที่ระยะ 60 และ 100 เมตร ทุก ๆ 15 วัน เพื่อวิเคราะห์ค่าบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตะกั่วปรอท และแคดเมียม ผลการศึกษา พบว่า พืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตะกั่ว และปรอท ได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 80.8 ที่ระยะ 100 เมตร ร้อยละ 75.7 ที่ระยะ 100 เมตร ร้อยละ 50.7 ที่ระยะ 60 เมตร ร้อยละ 63.4 ที่ระยะ 60 เมตร ร้อยละ 26.2 ที่ระยะ 100 เมตร และมากกว่าร้อยละ 75 ที่ระยะ 100 เมตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดและแคดเมียมไม่สามารถบำบัดได้โดยวิธีหญ้ากรองนี้ และประสิทธิภาพโดยรวม พบว่า กกกลมมีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนระยะทางที่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยรวม คือ ที่ระยะทาง 100 เมตร โดยระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวเหมาะที่จะใช้บำบัดน้ำเสียในโรงเรียนหรือชุมชนขนาดเล็กที่มีของเสียในรูปโลหะหนักและสิ่งปนเปื้อนที่จะบำบัด ควรมีการศึกษาถึงอายุการใช้งานของแปลงที่ใช้บำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

ประพนธ์ พรหมทอง, เทพศักดิ์ จันทร์อุปละ, ปกร วิเชียรสรรค์ และศาสตร์พงษ์ ไสยมรรคา (2539: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาแบบจำลอง แบบ Constructed Wetland โดยใช้พืชน้ำหลายชนิดที่หาได้ง่ายในภูมิภาคเป็นตัวบำบัด เช่น ผักตบชวา ต้นจอก พุทธรักษา เป็นต้น ระบบนี้ใช้ระดับความลึกไม่เกิน 0.6 เมตร กระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง ราก ลำต้นของพืชน้ำ กับจุลินชีพที่ติดอยู่กับพืชน้ำ ซึ่งตัวมันเองยึดติดอยู่กับชั้นดิน โดยมีระบบอยู่ 2 ระบบ ดังนี้ ระบบที่ 1 ใช้ถังพลาสติกขนาดพื้นที่ 0.20 ตารางเมตร วางแยกออกจากกัน โดยแต่ละถังบรรจุผักตบชวา ต้นจอก หญ้า^{น้ำ} ตามลำดับ และมีระดับน้ำลึก 0.27 เมตร มีระยะเวลาการบำบัด 7 วัน (อัตราการไหลของน้ำ

เท่ากับ 0.0077 ลูกบาศก์เมตร/วัน) ประสิทธิภาพจากค่า BOD โดยสามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 90.11, 82.72 และ 83.14 ตามลำดับ ระบบที่ 2 ใช้ถังคอนกรีตทรงกระบอก 6 ถัง ทำงานเป็นหน่วยบำบัดเดียวกัน โดยใช้พืชในแต่ละถัง คือ ผักตบชวา ทุปฤยาณี พุทธรักษา ผักบุ้ง ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาการบำบัด 7 วัน (อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 0.13 ลูกบาศก์เมตร/วัน) ความสามารถในการบำบัดพิจารณาจากค่า BOD, SS, TKN และ TP ซึ่งพบว่าสามารถลดได้ร้อยละ 54.30, 50.00, 57.20 และ 39.25 ตามลำดับ

พงษ์ศักดิ์ ศรีเจริญ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเมงกานีสและเหล็กในดินจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยการซึมผ่านแปลงหญ้า ซึ่งทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียเป็นรอบ ๆ ละ 7 วัน โดยในแต่ละรอบจะใส่น้ำเสียให้ท่วมถึง 5 วัน ด้วยความลึกที่เปลี่ยนแปลง 15 เซนติเมตร แล้วระบายออกปล่อยให้แห้ง 2 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 12 สัปดาห์ แปลงทดลองมีขนาด 5 x 100 เมตร ความลาดเทจากหัวแปลงถึงท้ายแปลง 1 : 1,000 ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินผสมระหว่างดินนาและทรายหยาบในอัตราส่วน 3 : 1 พืชที่ปลูก คือ กกกลม หญ้าคาธาล่า หญ้าโคสโครอส หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา หญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย และหญ้าสตาร์ กับแปลงควบคุมซึ่งไม่มีพืช ในระบบเปิดซึ่งมีท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ฝังไว้ในแนวดิ่ง 5 ระยะทาง ๆ ละ 3 ขั้ว และระบบปิดซึ่งฝังกล่องพลาสติกขนาดความจุ 150 มิลลิลิตร ภายในบรรจุดินที่ทำให้ห่อตัวด้วยน้ำเสียที่ใส่รดแปลงพืชปิดผนึกสนิทและฝังไว้เป็นระยะ ๆ เช่นเดียวกับท่อพีวีซีในระบบเปิด คือ ที่ระยะ 20, 40, 60, 80 และ 100 เมตร ซึ่งดินจากท่อพีวีซีและกล่องพลาสติกนี้จะถูกเก็บมาพร้อมกับดินในแปลงหญ้าแต่ละแปลง ๆ ละ 3 ขั้ว รวม 5 ระยะทาง เช่นเดียวกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณเมงกานีสและเหล็ก ที่ระยะเวลา 0, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ หลังเริ่มการทดลองบำบัดน้ำเสีย รูปของเมงกานีสและเหล็กที่ศึกษาครั้งนี้ คือ รูปที่ละลายน้ำได้ รูปที่สกัดได้ด้วยสารละลาย รูปที่สกัดได้ด้วยน้ำยามอร์แกน รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปที่เป็นของแข็งในดิน ผลการศึกษา พบว่า (1) เมงกานีสและเหล็ก มีทิศทางและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน (2) ชนิดพืชที่ใช้ในการทดลอง มีแนวโน้มอิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกๆ รูป และทุกครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง ซึ่งพืชที่มีแนวโน้มในการดูดซับเมงกานีสและเหล็กมากที่สุด คือ กกกลม และหญ้าสตาร์ (3) ระยะทาง มีแนวโน้มอิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเมงกานีสและเหล็กในบางรูปที่ระยะ 80 และ 100 เมตร (4) เมงกานีสและเหล็กในดิน ในภาวะไร้ออกซิเจน ดินจะมีปริมาณเมงกานีสและเหล็กในรูปของแข็ง ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีเพียงส่วนน้อยที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เชื่อมั่น

ได้ว่า พืชจะ ไม่ได้รับพิษจากแมลงกานีสและเหล็ก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของจุลธาตุอาหารทั้งสองในระบบบำบัดน้ำเสียนี้

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม มีรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำของโครงการฯ โดยการทำแปลงหรือทำบ่อเพื่อกักเก็บน้ำเสียที่รวบรวมได้จากชุมชน และปลูกพืชน้ำที่ผ่านการคัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมที่สุด 2 ชนิด คือ กกกลม (กกจันทบูรณ) และธูปฤาษี ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย อาศัยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้น ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย อีกทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน และระยะเวลาการกักพักเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในการบำบัดน้ำเสียจะมีลักษณะการให้น้ำเสียหรือระบายน้ำเสีย 2 ระบบ คือ ระบบที่ให้น้ำเสียขังไว้ในระดับหนึ่งและมีการระบายน้ำเสียเดิมลงไปในระบบทุกวัน ระบบนี้จะไม่มีน้ำเสียไหลออกจากระบบเลยหรืออาจเรียกว่า “ระบบปิด” ส่วนอีกลักษณะหนึ่งเป็นการให้น้ำเสียหรือระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดอย่างต่อเนื่อง (ระบบเปิด) น้ำเสียใหม่เข้าไปดินน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบให้ไหลลงทางระบายน้ำหรือทางระบบท่อใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีระยะเวลาในการกักพักน้ำเสีย 1 วัน เมื่ออายุของพืชครบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะตัดพืชนั้นออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับพืชได้ พืชที่ตัดออกเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์เป็นผลพลอยได้อื่น ๆ ต่อไปด้วย (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2543: 7 – 8)

2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง

สืบเนื่องจากมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2545 เห็นชอบต่อข้อเสนอของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 8/2544 เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2544 (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2545) มอบหมายให้กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืด ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินการติดตามและตรวจสอบมาโดยตลอดนั้น สำหรับปี พ.ศ. 2550 กรมควบคุมมลพิษดำเนินการสำรวจแหล่งเลี้ยงกุ้งทะเลในพื้นที่น้ำจืดทั้งหมด 6 จังหวัด คือ จังหวัดเพชรบุรี ราชบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี และนครปฐม จากการสำรวจพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ได้เปลี่ยนการเลี้ยงจากกุ้งกุลาดำมาเป็นกุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งกุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งทะเลชนิดหนึ่งที่ต้องใช้น้ำเค็มในการเลี้ยงเช่นเดียวกับกุ้งกุลาดำ หากผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีการจัดการไม่ดีหรือมีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือพื้นที่การเกษตรข้างเคียง อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพื้นที่เพาะปลูกอื่นได้เช่นเดียวกับ

กึ่งกลางค่า ทั้งนี้ ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งทะเลในพื้นที่น้ำจืด (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2550) มีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การจัดการการเลี้ยงในปัจจุบัน

2.5.1.1 วิธีการเลี้ยง

จากการสำรวจการเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรจำนวน 28 ราย ซึ่งเป็นเกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทั้งสิ้น พบว่า เกษตรกรมีวิธีการเลี้ยง 2 ประเภท ได้แก่ การเลี้ยงแบบก้นคอกและแบบไม่ก้นคอก

1) การเลี้ยงแบบก้นคอก เกษตรกรกั้นพื้นที่ในบ่อเลี้ยงเพื่อเป็นบ่ออนุบาลลูกกุ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการหาน้ำที่มีความเค็มสูงได้ยาก และเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งแต่ละจังหวัดเตรียมน้ำที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน โดยเกษตรกรส่วนใหญ่เตรียมน้ำที่ระดับความเค็มประมาณ 5 – 6 ppt ในคอกอนุบาลขนาด 50 – 100 ตารางเมตร โดยใช้ผ้าพลาสติกกั้น ความสูงของระดับน้ำประมาณ 1.0 เมตร เพื่ออนุบาลลูกกุ้งเมื่ออายุประมาณ 7 – 10 วัน จึงเปิดคอกปล่อยลูกกุ้ง หลังจากนั้นปรับความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงให้ลดลงเรื่อย ๆ และเลี้ยงกุ้งจนโตเต็มที่โดยในระหว่างการเลี้ยงมีการเติมน้ำจืดเพิ่มเติม จนความลึกของน้ำในบ่อเลี้ยงสูงประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร และความเค็มประมาณ 1 ppt โดยการปรับความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงนั้นขึ้นอยู่กับสภาพการเจริญเติบโตของกุ้งควบคู่ไปด้วย

2) การเลี้ยงแบบไม่ก้นคอก เกษตรกรในจังหวัดราชบุรี สุพรรณบุรี และนครปฐมเตรียมน้ำในบ่อที่ระดับความเค็มประมาณ 3 – 7 ppt ส่วนเกษตรกรจังหวัดเพชรบุรีเตรียมน้ำที่ระดับความเค็มค่อนข้างสูงประมาณ 11 – 15 ppt ความสูงของระดับน้ำประมาณ 1.0 เมตร จากนั้นทยอยเติมน้ำจืดในระหว่างการเลี้ยงจนความสูงของระดับน้ำประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร เลี้ยงจนกระทั่งจับกุ้งขาย ความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงลดลงเหลือประมาณ 1 – 5 ppt

2.5.1.2 การจัดการน้ำทิ้ง

เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้แหล่งน้ำธรรมชาติในพื้นที่ข้างเคียงเพื่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เช่น คลองชลประทาน คูคลองสาขาของแม่น้ำสายหลัก จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงวิธีการเลี้ยงและการระบายน้ำทิ้ง พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีการระบายน้ำลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งในช่วงระยะเวลาที่ตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมไม่พบผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมต่อพืชแพะปลูกข้างเคียง และเกษตรกรบางส่วนโดยเฉพาะในจังหวัดราชบุรีให้ข้อมูลว่ามีการหมุนเวียนน้ำภายในฟาร์มโดยไม่มีการระบายน้ำออก เนื่องจาก

ส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงระบบปิด และเกษตรกรในจังหวัดนครปฐมบางรายที่ไม่ระบายน้ำออกให้ข้อมูลว่าได้ทิ้งน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งลงสู่บ่อเลี้ยงปลานิล เพื่อเป็นอาหารของปลาต่อไป

ตารางที่ 2.1 การสำรวจการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ปี พ.ศ. 2550

ฟาร์ม	แหล่งสำรวจ	พื้นที่ เลี้ยง (ไร่)	ชนิดกุ้ง	วิธีการเลี้ยง และการระบายน้ำ	ระยะเวลา การเลี้ยงเมื่อ สำรวจ (วัน)
จังหวัดเพชรบุรี					
1.	ค.หนองจอก อ.ท่ายาง	15	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	105
2.	ค.ท่าไม้รวก อ.ท่ายาง	80	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	90
3.	ค.หนองศาลา อ.ชะอำ	5	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	33
4.	ค.หนองศาลา อ.ชะอำ	10	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	14
จังหวัดราชบุรี					
5.	ค.ดอนใหญ่ อ.บางแพ	48	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	53
6.	ค.ดอนใหญ่ อ.บางแพ	24	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	120
7.	ค.ดอนใหญ่ อ.บางแพ	18	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	6
8.	ค.บางแพ อ.บางแพ	32	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	118
9.	ค.บางแพ อ.บางแพ	12	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	100
จังหวัดปทุมธานี					
10.	ค.บึงทองหลาง อ.ลำลูกกา	9	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	90
11.	ค.บึงทองหลาง อ.ลำลูกกา	20	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	90
12.	ค.ลำไทร อ.ลำลูกกา	6	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	17
13.	ค.บึงคอไห อ.ลำลูกกา	25	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	93
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา					
14.	ค.ดอนลาน อ.ผักไห่	12	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	40
15.	ค.ดอนลาน อ.ผักไห่	7	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	37
16.	ค.ดอนลาน อ.ผักไห่	20	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	75
17.	ค.หลักชัย อ.ลาดบัวหลวง	15	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	44
18.	ค.หลักชัย อ.ลาดบัวหลวง	12	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	43
จังหวัดสุพรรณบุรี					
19.	ค.กฤษณา อ.บางปลาม้า	18	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	70
20.	ค.กฤษณา อ.บางปลาม้า	11	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	75
21.	ค.กฤษณา อ.บางปลาม้า	4	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	23
22.	ค.บางคาแตร อ.สองพี่น้อง	3	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	80
23.	ค.บางคาแตร อ.สองพี่น้อง	48	กุ้งขาว	กั้นคอก / ระบายน้ำ	90

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ฟาร์ม	แหล่งสำรวจ	พื้นที่ เลี้ยง (ไร่)	ชนิดกุ้ง	วิธีการเลี้ยง และการระบายน้ำ	ระยะเวลา การเลี้ยงเมื่อ สำรวจ (วัน)
จังหวัดนครปฐม					
24.	ค.สระสี่มุม อ.กำแพงแสน	18	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	62
25.	ค.สระสี่มุม อ.กำแพงแสน	12	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	40
26.	ค.สระสี่มุม อ.กำแพงแสน	10	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ระบายน้ำ	30
27.	ค.บางเลน อ.บางเลน	6	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	34
28.	ค.บางเลน อ.บางเลน	12	กุ้งขาว	ไม่กั้นคอก / ไม่ระบายน้ำ	90

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550 ก.

2.5.1.3 การจัดการการเลี้ยง

จากการสอบถาม พบว่า เกษตรกรนิยมใช้อาหารเม็ดในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม และระหว่างการเลี้ยงมีการเติมวิตามิน จุลินทรีย์ ปุ๋ยขาว และแคลเซียมลงในบ่อเลี้ยง เพื่อช่วยในการปรับสภาพน้ำ สุขภาพ และการสร้างเปลือกของกุ้งขาว เมื่อจับกุ้งเกษตรกรทิ้งน้ำจากบ่อเลี้ยงลงสู่คูน้ำ คูน้ำในฟาร์ม หรือลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงสำหรับฟาร์มที่มีการระบายน้ำ ส่วนฟาร์มที่ไม่มีการระบายน้ำเมื่อจับกุ้งเกษตรกรทิ้งน้ำจากบ่อเลี้ยงลงสู่บ่อพักน้ำ หรือบ่อเลี้ยงปลานิล ก่อนที่จะนำน้ำมาหมุนเวียนใช้อีกครั้ง เลนกันบ่อตากจนแห้งเมื่อมีปริมาณมากจึงลอกออก

2.5.2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (ตารางที่ 2.2) พบว่า คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงบางฟาร์มมีค่าเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด หากมีการระบายน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลออกสู่สิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ หรือพืชเพาะปลูกบริเวณใกล้เคียงได้ ทั้งนี้ผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้งทะเลในพื้นที่น้ำจืดตามฟาร์มเตอร์ที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบ มีรายละเอียดดังนี้

2.5.2.1 ความเค็ม

การตรวจสอบความเค็มของน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ได้แก่ สภาพนาไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) ค่าความเค็ม (Salinity : Sal) และค่าอัตราการดูดซับโซเดียม (Sodium Absorption Ratio : SAR) พบว่า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,064 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3.2 ppt และ 57 ตามลำดับ การเลี้ยง

กึ่งทะเลในพื้นที่น้ำจืดหากมีการระบายน้ำจากบ่อระหว่างการเล่นหรือหลังจากการจับกุ้งโดยปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ โดยมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งลงทางน้ำชลประทาน กำหนดว่าให้มีสภาพนำไฟฟ้าไม่เกินกว่า 2,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ เป็นน้ำที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการชลประทานกับพืชทุกชนิด ซึ่งสภาพนำไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้มีแนวโน้มส่งผลต่อการอุปโภค – บริโภค (ภาพที่ 2.1) และหากคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกมีค่าความเค็มเกิน 2 ppt ถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติย่อมมีผลกระทบต่อเกษตรกรซึ่งประกอบอาชีพอื่น เช่น การทำนาข้าว พืชไร่ พืชสวน และการทำปศุสัตว์อื่น ๆ ตลอดจนเกิดการสะสมของเกลือภายในชั้นดินก้นบ่อและการแพร่กระจายของเกลือในดินทั้งแนวตั้งและแนวระนาบซึ่งส่งผลกระทบต่อน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ ในระหว่างการจับกุ้ง เกษตรกรสูบน้ำจากบ่อเลี้ยงลงบ่อพักน้ำและสูบน้ำรอบบ่อเลี้ยงหรือออกสู่ภายนอก ซึ่งส่วนใหญ่เกษตรกรจะใช้ประโยชน์จากน้ำรอบบ่อเลี้ยงในลักษณะเอนกประสงค์แทนการใช้เป็นน้ำจืดเพื่อคักความเค็มเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำของกรมชลประทานที่กำหนดให้ค่าอัตราการดูดซับ โซเดียมไม่มากกว่า 4 แต่ค่าที่ตรวจวัดได้จากทุกบ่อเพาะเลี้ยงมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด (ภาพที่ 2.2)

ในพื้นที่น้ำจืดซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชไร่และพืชสวน สภาพดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวสามารถดูดซับอนุมูล โซเดียมได้ง่ายและในปริมาณมากแต่การชะล้างนั้นทำได้ยาก หากในดินที่มีค่าอัตราการดูดซับ โซเดียมสูงการชะล้างอนุมูล โซเดียมออกนั้นทำได้ยาก ทั้งนี้จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำของการเลี้ยงกุ้ง พบว่า มีค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับ โซเดียมเท่ากับ 57 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้ดินในบริเวณนั้นไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

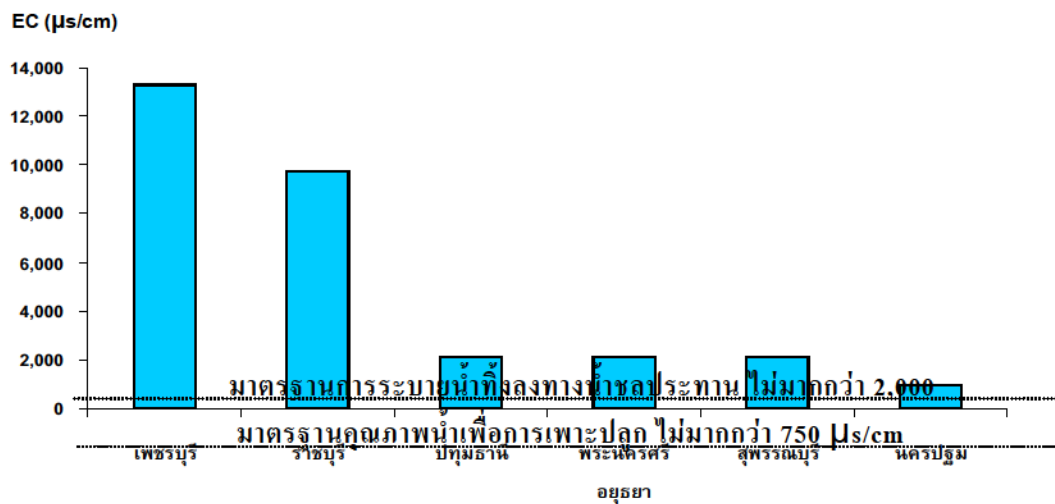
ตารางที่ 2.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งเฉลี่ยรายจังหวัดในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม
ของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550

จังหวัด	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์						
	ตรวจวัดภาคสนาม		ตรวจวัดวิเคราะห์				
	Electrical		BOD (mg/l)	TP (mg/l)	$\text{NH}_3 - \text{N}$ (mg/l)	TN (mg/l)	SAR
	Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinity (ppt)					
เพชรบุรี	13,273	8.0	34	0.01	0.85	14.0	106
ราชบุรี	9,747	5.5	17	0.51	0.10	7.8	87
ปทุมธานี	2,137	1.1	15	0.46	0.07	6.1	39
พระนครศรีอยุธยา	2,102	1.1	25	0.57	0.28	5.7	31

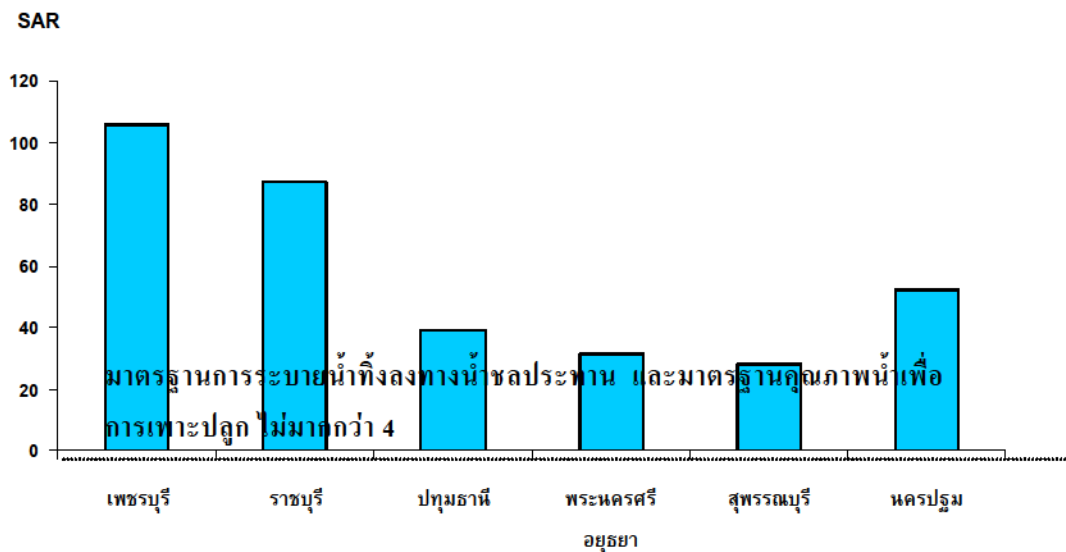
ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

จังหวัด	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์						
	ตรวจวัดภาคสนาม		ตรวจวัดวิเคราะห์				SAR
	Electrical		BOD	TP	NH ₃ – N	TN	
	Conductivity	Salinity (ppt)					
	(μs/cm)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	
สุพรรณบุรี	2,143	1.0	14	0.23	0.68	5.5	28
นครปฐม	983	2.7	12	0.29	0.09	4.6	52
ค่าเฉลี่ย	5,064	3.2	20	0.35	0.35	7.3	57

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550 ก.



ภาพที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยสภาพน้ำไฟฟ้าของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับโซเดียมของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550

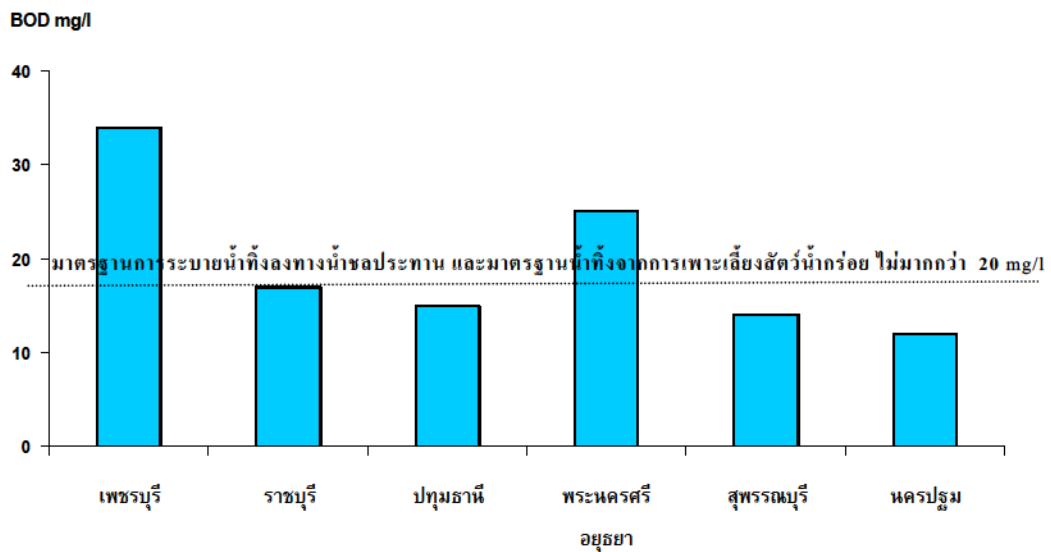
2.5.2.2 ความสกปรก

ผลการตรวจสอบตามพารามิเตอร์ด้านความสกปรกประกอบด้วย ความสกปรกในรูป บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorous : TP) ปริมาณ ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen : TN) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_3 - \text{N}$) พบว่า ค่าเฉลี่ยบีโอดีส่วนใหญ่ไม่เกินมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งลงทางน้ำชลประทาน และมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย (ไม่เกิน 20 mg/l) ยกเว้นค่าเฉลี่ยบีโอดีของจังหวัด เพชรบุรีและพระนครศรีอยุธยาที่เกินมาตรฐานดังกล่าว (ภาพที่ 2.3) สาเหตุเนื่องมาจากเกษตรกรใน จังหวัดเพชรบุรีที่ทำการสำรวจตัวอย่างนำปล่อยลูกกุ้งในอัตราหนาแน่นสูงเฉลี่ย 160,000 ตัว/ไร่ ส่งผลให้ค่าบีโอดีสูงเกินมาตรฐานที่กำหนด ส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยามีค่าเฉลี่ยบีโอดีสูง อาจเนื่องมาจากเกษตรกรที่ทำการสำรวจตัวอย่างน้ำยังมีการจัดการฟาร์มกุ้งที่ไม่ดีพอ เกษตรกรไม่เปิด เครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยง รวมทั้งการจัดการเรื่องการให้อาหาร ทำให้มีสารอินทรีย์ ละลายในน้ำสูงส่งผลให้ค่าบีโอดีสูงเกินมาตรฐานที่กำหนด สำหรับค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรวม พบว่า ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสรวมส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย กำหนดไว้ว่าไม่ควรมากกว่า 0.4 mg/l (ภาพที่ 2.4)

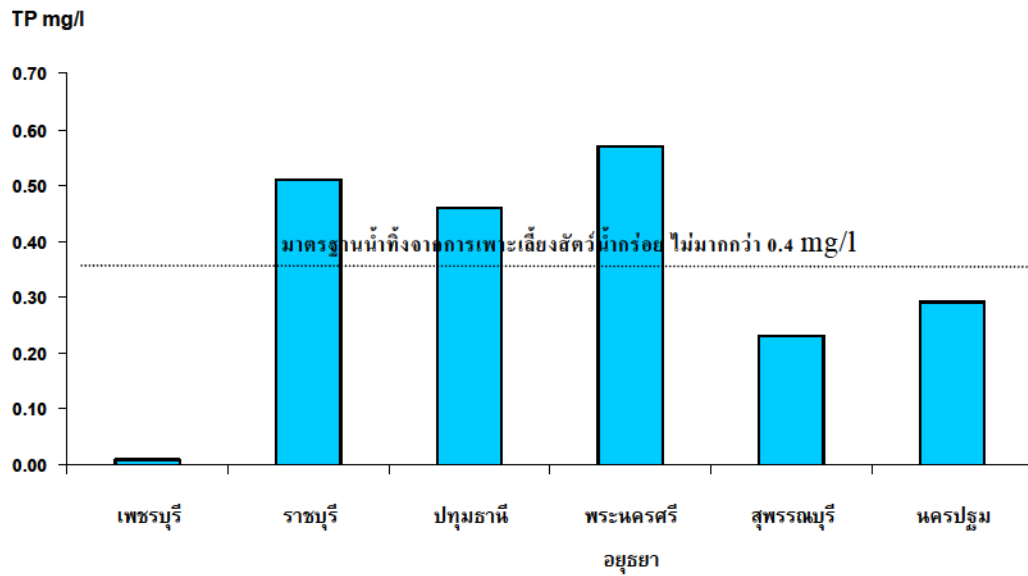
ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนรวม พบว่า ทุกจังหวัดมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยกำหนดว่าไม่ควรมากกว่า 4.0 mg/l (ภาพที่ 2.5) สาเหตุอาจเกิดจากการให้

อาหารกุ้งในปริมาณมากเกินไป อาหารที่เหลือตกค้างในบ่อซึ่งจะมีส่วนประกอบของโปรตีนผสมอยู่และเมื่ออาหารกุ้งที่เหลือละลายน้ำแล้วจะเปลี่ยนจากโปรตีนเป็นไนโตรเจนทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวมในบ่อมีค่าสูงกว่าปกติ ทั้งนี้หากเกษตรกรมีการจัดการบ่อและถ่ายเทน้ำอยู่เสมอ มีการเติมอากาศให้ออกซิเจนในบ่อ ทำให้เพิ่มอัตราการย่อยสลายปริมาณไนโตรเจนส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงได้ ในส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในจังหวัดส่วนใหญ่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย ที่กำหนดไว้ว่าไม่ควรมากกว่า 1.1 mg/l (ภาพที่ 2.6)

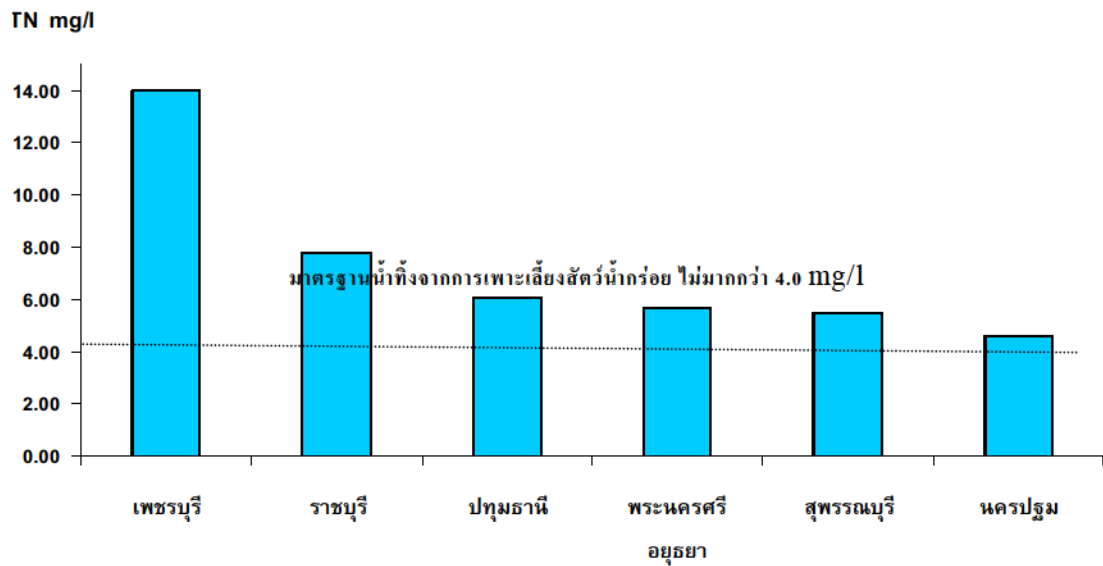
เมื่อพิจารณาค่าความสกปรกในตารางที่ 2.2 พบว่า ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการจัดการฟาร์ม ได้แก่ การดูแลรักษาปรับปรุงสภาพพื้นบ่อเลี้ยง การให้อาหารสัตว์น้ำ การกำจัดของเสียและการถ่ายเทน้ำ การใช้สารเคมีและอาหารเสริมที่ไม่จำเป็น ปัจจัยเหล่านี้หากผู้เลี้ยงรวมถึงผู้ประกอบการบริหารจัดการได้ถูกต้องและเหมาะสมย่อมเป็นทางออกที่ดี ทั้งยังสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากความสกปรกของน้ำด้วย



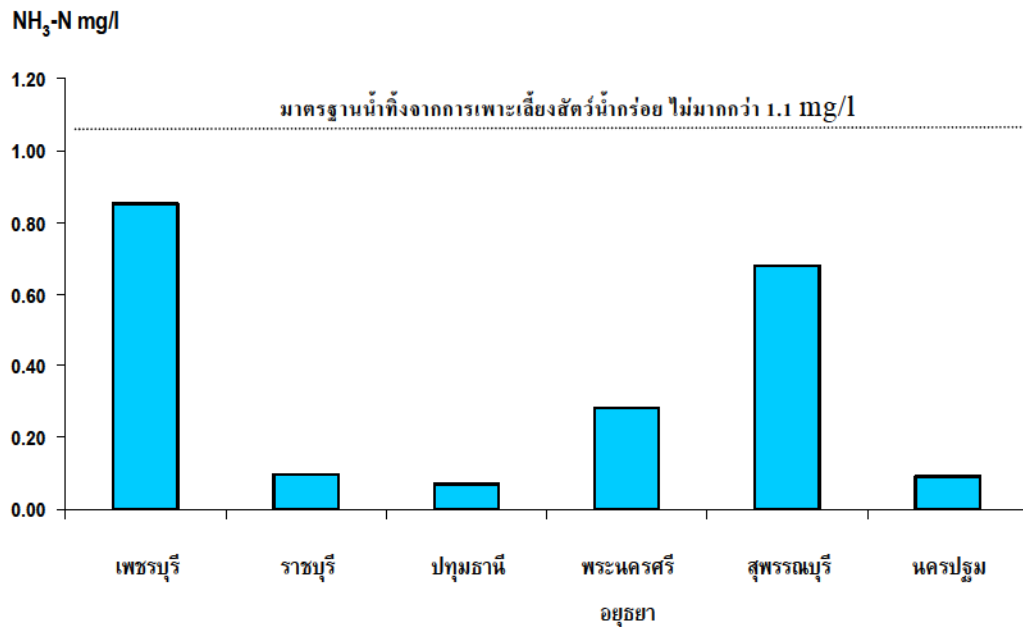
ภาพที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยความสกปรกในรูปบีโอดีของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรวมของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมดของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด ปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของพื้นที่น้ำจืด
ปี พ.ศ. 2550

2.5.3 คำจำกัดความของน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้ง

คณิต ไชยคำ และยงยุทธ ปริดาลัมพะบุตร (2537: 18) ได้ให้ความหมายน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้งว่า “น้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้ง” หมายถึง น้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้งและถูกถ่ายลงสู่คลองระบายน้ำสาธารณะหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยคุณสมบัติบางอย่างได้เปลี่ยนไปทั้งทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ และมวลน้ำที่ปล่อยออกมาอาจจะมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้งประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ (1) ตะกอนเลนหรือดินเลน และ (2) น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนน้ำซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน สารพิษ ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น ซีโอไลท์ ปูนขาว ฟอรัมาลิน และยาออกซิเตตราซัยคลิน เป็นต้น และอื่น ๆ

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต (2536: 119 – 121) ได้แบ่งแหล่งน้ำเสียออกเป็น 3 ประเภทตามที่มาของน้ำเสีย คือ (1) แหล่งชุมชนและที่พักอาศัย (Domestic Wastewater) (2) แหล่งอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) และ (3) แหล่งเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) ซึ่งน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้งจัดอยู่ในประเภทน้ำเสียจากแหล่งเกษตรกรรม โดยน้ำเสียจากแหล่งนี้เป็นน้ำเสียที่ไม่มีแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Non – point Source) เกิดจากวิวัฒนาการในด้านการเกษตร เพราะการ

ทำเกษตรกรรมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการชลประทานและเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืช เช่น การใช้น้ำที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อเป็นธาตุอาหารของพืช และการใช้สารเคมีปราบศัตรูพืช ซึ่งจะมีบางส่วนติดตามไปบางส่วนตกลงไปบนพื้นดิน เมื่อฝนตกจะถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ

2.5.4 ของเสียจากการเลี้ยงกุ้ง

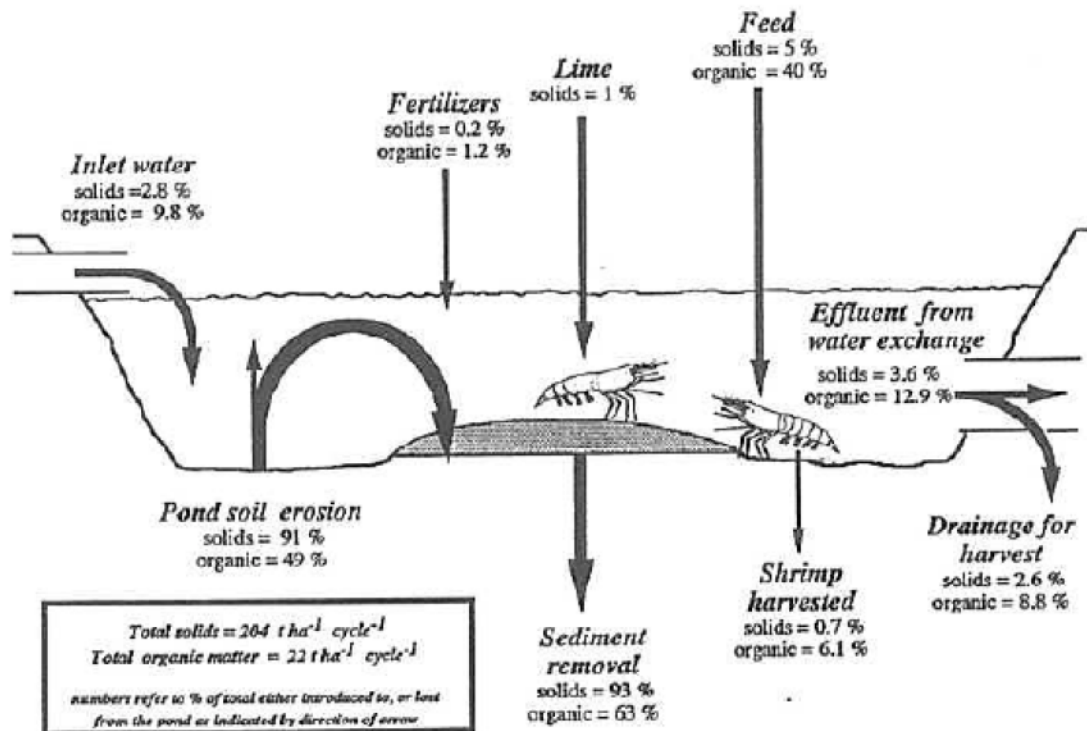
2.5.4.1 ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำของเกษตรกรจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ดินเลนหรือตะกอน และน้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (คณิต ไชยคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535: 18 – 20) มีดังนี้

1) ดินเลนหรือตะกอนเลน (Shrimp Pond Mud) บ่อเลี้ยงกุ้งจะมีเลนซึ่งเกิดจากเนื้อดินเล็กที่ละเอียด ทั้งที่มากับน้ำภายนอกและจากภายในบ่อเอง กุ้งที่นอนไม่หลับจะเคลื่อนไหวเอาขาว่ายน้ำบดตลอดเวลาทำให้ดินหลุดออกมาเป็นชั้นละเอียด ถ้ามีเฉพาะเนื้อดินเป็นองค์ประกอบสำคัญก็ไม่น่าจะมีปัญหาเพราะเนื้อดินไม่เน่าเสีย แต่สิ่งที่ตกลงมาสมทบกับเนื้อดินละเอียดกันบ่อและกลายเป็นต้นเหตุของการเน่าเสียของพื้นบ่อ คือ เศษอาหารกุ้งที่เหลือทุกวัน ขี้กุ้งที่ถูกขับถ่ายออกมา และอาจมีซากของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ตกลงมาปะปนด้วย ซึ่งของเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่มีโอกาสที่จะเกิดการเน่าเสียเมื่อมีความชื้นและมีเชื้อจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกดำเนินการย่อยโดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจะได้ผลดีที่สุดก็เมื่อมีออกซิเจนมากเพียงพอ แต่ถ้ามีออกซิเจนไม่เพียงพอการย่อยสลายจะเกิดช้าลง ซึ่งในการเลี้ยงกุ้งแต่ละรุ่นจะมีเลนซึ่งเป็นของเสียต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ตามพื้นบ่อเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยมีรายงานว่า การผลิตกุ้ง 1 ตัน จะมีสารอินทรีย์เกิดขึ้น 1,250 กิโลกรัม สารประกอบไนโตรเจน 87 กิโลกรัม และฟอสฟอรัส 28 กิโลกรัม (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, 2538: 5) ของเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีปริมาณมาก ซึ่งของเสียเหล่านี้จะอุดมไปด้วยอินทรียสารที่เกิดจากอาหารที่เหลือและขี้กุ้ง ตลอดจนสิ่งมีชีวิตพวกไฟโตแพลงก์ตอน (Phytoplankton) และซูแพลงก์ตอน (Zooplankton) ซึ่งปะปนออกมาในรูปของเลนจากบ่อเลี้ยง (ลือชัย หุ่นศิริ และนิรันดร์ พุดตาน, 2535: 3)

2) น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Shrimp Pond Effluent) น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนน้ำประกอบด้วยสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน สารพิษ ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น ซีโอไลท์ ปูนขาว ฟอรัมาลิน และออกซิเตตราซัยคลิน เป็นต้น โดยน้ำที่ปล่อยออกมาอาจมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติได้

2.5.4.2 ปัญหาภาวะมลพิษของน้ำในแหล่งเลี้ยงกุ้ง เกิดขึ้นเนื่องจากการคั้นน้ำทะเลเข้าและการระบายน้ำเสียของฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลต่าง ๆ โดยไม่มีการวางระบบระบายน้ำส่วนรวม ทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำหมุนเวียนอยู่ในแหล่งเลี้ยง ซึ่งมีผลต่อการเพาะเลี้ยงและผลผลิตกุ้ง (อรุณี กฤตยานวัช, 2532: 9) สำหรับปริมาณน้ำที่จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำซึ่งรายงานโดย คณิต ไชยคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา (2535: 1) ว่า ปริมาณน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา (ในพื้นที่อำเภอรอนโคก จังหวัดสงขลา) ในบ่อเลี้ยงขนาด 6 ไร่ จะมีปริมาณน้ำที่ประมาณ 898.13 ตันต่อวัน ส่วนบ่อขนาด 2.5 – 4.0 ไร่ มีปริมาณ 339.65 ตันต่อวัน และบ่อเลี้ยงขนาด 0.9 – 2.0 ไร่ จะมีปริมาณน้ำที่ประมาณ 145.02 ตันต่อวัน ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับข้อมูลของ คุณิต คณวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยคำ (2536: 13) ว่าในบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 2.0 ไร่ จะมีอัตราการถ่ายน้ำที่ประมาณ 17,815.50 ตันต่อการเลี้ยง 1 รุ่น หรือประมาณ 164.95 ตันต่อวัน และได้ศึกษาปริมาณมวลสารที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยง พบว่า การผลิตกุ้งกุลาดำ 1,667 กิโลกรัม จะมีแอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรต อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (DIN) ในโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม คลอโรฟิลล์เอ บีโอดี และตะกอนแขวนลอย เท่ากับ 19.67, 0.20, 0.43, 20.30, 50.20, 1.27, 1.10, 86.87 และ 1,666.00 กิโลกรัมต่อบ่อ ตามลำดับ

2.5.4.3 สารอินทรีย์ในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง สารอินทรีย์จะติดมากับน้ำที่สูบเข้าโดยอยู่ในรูปสารแขวนลอยร้อยละ 2.8 ในรูปที่ละลายน้ำร้อยละ 9.8 นอกนั้นมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำร้อยละ 40 รวมทั้งเศษอาหารที่กุ้งกินไม่หมดของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมา ซากแพลงก์ตอน และสิ่งขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตอื่นด้วย วารินทร์ พิศไหมก (2546: 4) รายงานว่า ในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบเปิดที่มีอายุบ่อ 1 ปี และ 2 ปี (ความหนาแน่นปล่อยเลี้ยง 50 – 60 ตัวต่อตารางเมตร) และบ่ออายุ 1 ปี ซึ่งปล่อยเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูง (80 – 100 ตัวต่อตารางเมตร) ที่ลุ่มจากแหล่งเลี้ยงกุ้งในเขตภาคใต้ของประเทศไทย มีปริมาณสารอินทรีย์รวม 22 ตันต่อเฮกแตร์ต่อรอบการเลี้ยง โดยจำแนกออกเป็นการพังทลายของดินในบ่อร้อยละ 49 อาหารร้อยละ 40 จากน้ำที่สูบเข้ามาเลี้ยงกุ้งร้อยละ 9.8 (ภาพที่ 2.7) โดยหลังการจับกุ้งแล้วพบว่าจะมีสารอินทรีย์สะสมและตกค้างอยู่พื้นบ่อคิดเป็นร้อยละ 58 ถึงร้อยละ 70 ของสารอินทรีย์ทั้งหมดในระบบ



ภาพที่ 2.7 ปริมาณของสารอินทรีย์ที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งในภาคใต้ของประเทศไทย
แหล่งที่มา: วารินทร์ พิศโหมก, 2546: 4.

2.5.5 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้ง

การปล่อยน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำโดยตรง ซึ่งตามกลไกธรรมชาติ แหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ในที่ต่ำและเป็นสาธารณสมบัติย่อมเป็นที่รองรับสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ จากการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์และเมื่อฝนตกลงมาก็จะล้างสิ่งปฏิกูล สาร และเชื้อต่าง ๆ ทั้งในอากาศและผิวหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ ถ้าช่วงใดมีสารตกค้างสะสมมากเกินไปที่กลไกตามธรรมชาติของแหล่งน้ำจะบำบัดได้ทันก็จะตกค้างสะสมอยู่ ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขั้นธุรกิจเชิงพานิชไม่เหมาะที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีมลพิษปนเปื้อนมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง (อนันต์ ดันสุตะพานิช, 2542: 8)

ปัจจุบันเกษตรกรต้องการเลี้ยงกุ้งให้ได้ปริมาณมากและใช้เวลาน้อยจึงไม่มีการตากบ่อเพื่อบำบัดตามธรรมชาติ โดยเกษตรกรมักทำการฉีดเลนออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเลนดังกล่าวเป็นของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง ประกอบด้วยซากแพลงก์ตอน เศษอาหาร รวมถึงขี้กุ้ง ของเสียดังกล่าวมีปริมาณแอมโมเนียที่สูงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำโดยตรง (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537: 3)

ปัญหาของคุณภาพน้ำในบ่อกุ้งจะมีสารอินทรีย์มาก ประกอบกับการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะต้องมีการให้อาหารกุ้งเกือบตลอดเวลา ทำให้อาหารบางส่วนถูกใช้ไม่หมด เมื่อหมักหมมร่วมกับขี้กุ้งและซากแพลงก์ตอนจะสลายตัวแล้วเกิดเป็นตะกอนตกค้างก้นบ่อ เมื่อน้ำเหล่านี้ระบายสู่ธรรมชาติก็จะก่อให้เกิดปัญหาตามมาได้ (ดิพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531: 7 – 11)

ปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณชายฝั่งทะเลส่วนหนึ่งเกิดผลกระทบจากน้ำทิ้งเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงเพื่อลดการสะสมของอาหารและของเสียก้นบ่อ น้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากรังจึงประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งจะอยู่ในรูปของน้ำทิ้งและตะกอนเลน โดยเฉพาะในช่วงที่จับกุ้ง น้ำที่ปล่อยออกมาจะเป็นน้ำที่มีการสะสมของเศษอาหารและของเสียสูงที่สุดในช่วงการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อมีการขยายแหล่งเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเข้ามาในเขตน้ำจืด ทำให้ไม่มีทะเลที่จะปล่อยน้ำทิ้งได้ เกษตรกรจึงได้หันมานิยมการเลี้ยงกุ้งเป็นฟาร์มพัฒนาแบบระบบปิดแทนมากขึ้น (พจนารถ ปิติปัญญา, 2543: 11)

2.5.6 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

กรมควบคุมมลพิษ (2550 ข) ได้ประกาศ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย ไว้ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย

ดัชนีคุณภาพน้ำ	พื้นที่บ่อน้อยกว่า 10 ไร่	พื้นที่บ่อตั้งแต่ 10 ไร่
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	6.5 – 8.5	
2. ความเค็ม (Salinity)	จะมีค่าสูงกว่าความเค็มแหล่งรองรับน้ำทิ้งในขณะนั้นได้ ไม่เกิน ร้อยละ 50	
3. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)	-	ไม่เกิน 20 มก./ล.
4. สารแขวนลอย (Suspended Solids, SS)	-	ไม่เกิน 70 มก./ล.
5. แอมโมเนีย ($\text{NH}_3 - \text{N}$)	-	ไม่เกิน 1.1 มก.-N/ล.
6. ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)	-	ไม่เกิน 0.4 มก.-P/ล.
7. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	-	ไม่เกิน 0.01 มก./ล.

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	พื้นที่บ่อน้อยกว่า 10 ไร่	พื้นที่บ่อตั้งแต่ 10 ไร่
8. ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen)	-	ไม่เกิน 4.0 มก. – N./ล.

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550 ข.

2.6 ข้อมูลพื้นฐานของสาหร่ายสาปฏูไลนา

สาหร่ายสาปฏูไลนาเป็นจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่มีการเจริญเติบโตโดยไตรโคมาตาเป็นท่อน ๆ เซลล์สาหร่ายสาปฏูไลนาไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และคลอโรพลาสต์ แต่มีผนังเซลล์ประกอบด้วยเยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane) และเยื่อพลาสมา (Plasma Membrane) ที่มีชั้นของเปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) แทรกอยู่ระหว่างเยื่อทั้งสอง และมีเยื่อไทลาคอยด์ (Thylakoid Membrane) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงและเป็นแหล่งที่พบรงควัตถุสังเคราะห์แสงต่าง ๆ เช่น คลอโรฟิลล์ – เอ (Chlorophyll – a) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) นอกจากนี้สาหร่ายสาปฏูไลนาบางสายพันธุ์อาจมีถุงอากาศเล็ก ๆ (Gas Vacuoles) อยู่ภายในไซโทพลาสซึม ทำให้สามารถลอยตัวได้ การมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง ทำให้หลายคนคิดว่าเป็นพืช ซึ่งโดยแท้แล้วสาหร่ายชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติทางไกลความเป็นพืชอยู่มาก สาหร่ายชนิดนี้มีกำเนิดขึ้นในยุคแรก ๆ ของการกำเนิดสิ่งมีชีวิตในโลกของเรา คือ ในยุคพรีแคมเบรียน (Precambrian) ซึ่งนับเป็นเวลาพันล้านปีทีเดียว อาจเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตประเภทที่สองรองมาจากแบคทีเรียซึ่งกำเนิดขึ้นในโลกของเราก่อนสิ่งมีชีวิตอื่น ในด้านรูปร่างและโครงสร้างก็ยังไม่เปลี่ยนไปจากในยุคที่กำเนิดขึ้นมาจนมากนัก ผนังเซลล์ไม่มีเซลลูโลส สามารถย่อยง่ายต่างกับพืชชั้นสูงหรือแม้กระทั่งสาหร่ายสีเขียว เช่น คลอเรลลา (*Chlorella* spp.) ใน Division Chlorophyta ซึ่งมีผนังเซลล์เป็นเซลลูโลสยากแก่การย่อย กับทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะปริมาณโปรตีนซึ่งมีถึงร้อยละ 60 – 70 ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าสาหร่ายชนิดนี้มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำ รวมทั้งสัตว์บกอื่น ๆ ที่มาบริโภค ตลอดจนกระทั่งถึงมนุษย์ซึ่งสามารถใช้ภูมิปัญญาสาหร่ายชนิดนี้มาเป็นอาหารเพื่อยังชีพได้อย่างชาญฉลาด คุณสมบัติที่เด่นอีกอย่างหนึ่งของสาหร่ายชนิดนี้ คือ จะพบในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความเป็นด่างสูง โดยมีความเป็นกรด – ด่าง 10 ± 1 ซึ่งสิ่งมีชีวิตอื่นเจริญอยู่ได้ค่อนข้างยากจึงเท่ากับว่าเกือบจะเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวในแหล่งน้ำที่พบสาหร่ายชนิดนี้หรือถ้านำไปเพาะเลี้ยงก็จะมี การปนเปื้อนจากสิ่งมีชีวิตอื่นได้น้อย (ยูวดี พืชรพิศาล, 2544: 9)

สาหร่ายสไปรูลีนา หรือ สาหร่ายเกลียวทอง จัดเป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ซึ่งอาจเรียกว่า “ไซยาโนแบคทีเรีย” (Cyanobacteria) ที่ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์อย่างมาก เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงมาก และปัจจุบันมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และอาหารเสริมในมนุษย์ เช่น *Spirulina plantensis* พบมากที่ทะเลสาบในประเทศชาด (Chad) ในแอฟริกา ตะวันออก เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 45 – 49 ของน้ำหนักแห้ง จึงนับว่าเป็นแหล่งอาหาร โปรตีนที่สำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นสาหร่ายที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงค่อนข้างสูง (กาญจนาภรณ์ ถั่วมนต์, 2527: 12)

2.6.1 การจัดจำแนกสาหร่ายสไปรูลีนา

Bold and Wynne (1987 อ้างถึงใน ยุวดี พิรพรพิศาล, 2544: 9) ได้จัดอนุกรมวิธานของสาหร่ายสไปรูลีนา ไว้ดังนี้

Kingdom Monera

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Oscillatoriales

Family Oscillatoriaceae

Genus *Spirulina*

Species *Platensis*

สาหร่ายสไปรูลีนาเป็นสาหร่ายที่ใช้เป็นอาหารของคนพื้นเมืองบางกลุ่มในประเทศแถบอเมริกากลาง และแอฟริกาซ้านาน สาหร่ายชนิดนี้เป็นแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบได้ในบริเวณทะเลสาบภูเขาไฟที่มีอุณหภูมิของน้ำอุ่น และมีความเป็นด่าง มีคุณค่าทางอาหารสูง คือ มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 55 – 70 (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโนมากถึงร้อยละ 62 รวมทั้งเป็นแหล่งของวิตามินบี 12 และรงควัตถุของน้ำตาลเชิงซ้อน และโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น จึงง่ายต่อการย่อยสลาย ปัจจุบันมีผู้นิยมบริโภคสาหร่ายสไปรูลีนามากขึ้น ดังจะเห็นได้จากปริมาณการผลิตของสาหร่ายชนิดนี้มากกว่าหนึ่งล้านตันในแต่ละปี โดยมีการผลิตมากในหลายประเทศ อันได้แก่ สหรัฐอเมริกา ไทย อินเดีย และจีนตามลำดับ (ปฏิพันธ์ นันทขว้าง, 2543: 4)

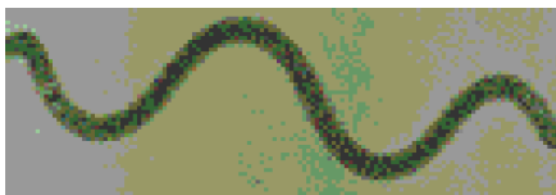
สาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina*) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue – green Algae หรือ Cyanobacteria) ที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย (Filamentous) ขดเป็นเกลียว ในปัจจุบัน สาหร่ายสกุลนี้บางชนิดได้รับการจัดจำแนกเปลี่ยนชื่อสกุลใหม่เป็น *Arthrospira* แต่โดยทั่วไปมักจะนิยมเรียก สไปรูลีนา จนกลายเป็นชื่อสามัญไปแล้ว สาหร่ายชนิดนี้สามารถนำมาเลี้ยงกลางแจ้งที่มีระบบน้ำวน (Raceway Pond) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเป็นด่างสูง และมีค่าความเป็นกรด – ด่าง อยู่ระหว่าง 9.5 – 10.3 ซึ่งค่าความเป็นกรด – ด่างที่ระดับนี้ จะช่วยลดการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตอื่นในสภาวะการเลี้ยงแบบเปิด สาหร่ายสไปรูลีนาเป็นอาหารของมนุษย์มานานแล้ว จากบันทึกของชาวสเปนที่เข้าปกครองเม็กซิโกตั้งแต่ยุคศตวรรษที่ 16 ได้กล่าวถึงชาว Aztec (ชาวเม็กซิกันโบราณ) ได้เก็บเกี่ยวสาหร่ายสไปรูลีนาจากทะเลสาบ Texcoco โดยใช้ตะแกรงช้อนจากน้ำ แล้วนำมาตากแห้งเป็นแผ่นใช้เป็นอาหาร ปริมาณที่บริโภคก็เท่ากับที่คนรับประทานชีสในปัจจุบัน นอกจากนี้ก็ยังพบว่าคนเผ่า Kanembu ที่อาศัยอยู่รอบๆ ทะเลสาบ Chad ในทางตอนเหนือของแอฟริกาบริโภคสาหร่ายชนิดนี้ด้วยเช่นกัน การที่พบสาหร่ายชนิดนี้ในทะเลสาบทั้งสองแห่ง เนื่องจากน้ำในทะเลสาบดังกล่าวมีความเป็นด่างสูงทำให้สาหร่าย สไปรูลีนาสามารถเจริญได้ดี และกลายเป็นชนิดเด่นในธรรมชาติของในแหล่งน้ำดังกล่าว (สรวิส เผ่าทองสุข, 2543: 20)

สาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina* spp.) เป็นไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) ประกอบด้วยเซลล์เดี่ยวทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 – 12 ไมโครเมตร (μm) หลายเซลล์เรียงต่อกันเป็นสายไม่มีกิ่งก้าน และมักบิดเป็นเกลียวคล้ายสปริง เป็นสิ่งมีชีวิตสังเคราะห์แสงที่ประกอบด้วยรงควัตถุ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ – เอ (Chlorophyll – a) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโปรตีนปริมาณสูงถึงร้อยละ 50 – 70 ของน้ำหนักแห้ง และกรดไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกายของสัตว์และมนุษย์ ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic Acid) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 0.25 ของน้ำหนักแห้ง กรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid) และแกมมากรดลิโนเลนิก (Y – linolenic Acid หรือ GLA) มีประมาณร้อยละ 1 – 1.5 ของน้ำหนักแห้ง ตลอดจนวิตามินต่าง ๆ โดยเฉพาะวิตามินบี 12 จากคุณสมบัติที่มีคุณค่าดังกล่าว จึงได้มีการนำสาหร่ายสไปรูลีนาไปใช้เป็นอาหารเสริมทั้งในมนุษย์ ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง หรือเป็นส่วนผสมอาหารธรรมชาติ และในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะเพื่อช่วยให้ผลในการเร่งสืบลาวยางเพิ่มสีให้น้ำรับประทานในไข่และเนื้อของไก่ เป็ด และสุกร เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยให้สัตว์ต่าง ๆ เข้าสู่การเจริญวัยได้ดี และมีภูมิคุ้มกันต่อโรคสูงขึ้น ช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตโดยเฉพาะในการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อน อีกทั้งสาหร่ายสไปรูลีนา ยังไม่มีเซลล์ูโลส ทำให้ถูกย่อยได้ง่ายถึงร้อยละ 85 ปัจจุบันตลาดอาหารเสริมสุขภาพมีแนวโน้มเติบโตขึ้นอย่างมาก สาหร่ายสไปรูลีนาเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยมในหมู่ผู้บริโภคสูง การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาในเชิงการค้า

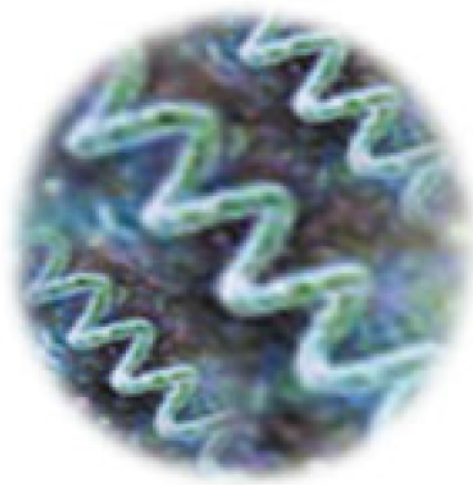
แพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น จีน รวมทั้งประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาในหลาย ๆ จังหวัด เช่น จังหวัดเชียงใหม่ มีการผลิตเป็นอาหารเสริมบรรจุแคปซูลจำหน่าย และจังหวัดนครศรีธรรมราชที่มหาวิทยาลัยทักษิณ มีการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาสายพันธุ์เส้นตรง และได้ทำการผลิตเป็น “สาหร่ายสไปรูลีนาสด” พร้อมคัมบรรจุขวดขาย เพื่อผู้รักสุขภาพทั้งหลายได้ดื่มกัน ซึ่งในตัวของสาหร่ายสไปรูลีนาสดจะมีคุณค่าทางโภชนาการหลากหลายมากกว่าสาหร่ายสไปรูลีนาแบบอัดเม็ดด้วย เพราะสาหร่ายสดนี้คุณค่าอาหารจะไม่ถูกทำลายไปกับความร้อนในกระบวนการผลิต ทั้งนี้สาหร่ายสไปรูลีนาสดได้มีการวิจัยว่า ไม่มีพิษ ไม่มีผลข้างเคียงในการรับประทานต่อเนื่องหรือดื่มในปริมาณมาก ผลการวิจัยขององค์การสหประชาชาติ (UN) ยืนยันว่า “ไม่มีพิษชนิดใดที่จะมีความหลากหลาย ให้คุณค่าทางโภชนาการเท่ากับสาหร่ายสไปรูลีนา” (จักรพงษ์ ศรีพนมยม, 2531)

2.6.2 ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย

สาหร่ายสกุลนี้มีค้นพบครั้งแรกโดย Turpin ตั้งแต่ปี พ.ศ. 1827 และตั้งชื่อ Genus ว่า *Spirulina* ต่อมา ในปี พ.ศ. 2495 Stizenberger ได้แยก Genus *Spirulina* ออกเป็น 2 genera คือ Genus *Spirulina* ซึ่งมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวตลอดสาย ไม่มีผนังเซลล์แบ่งตามขวางกับ Genus *Arthrospira* ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ *Spirulina* แต่มีผนังกันเซลล์ แต่ในปี พ.ศ. 2501 Gobunova ได้ศึกษาสาหร่าย *Spirulina* major Kutz. ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า มีผนังกันระหว่างเซลล์ ซึ่งมีลักษณะบางใส จึงแนะนำให้รวม Genus *Spirulina* และ Genus *Arthrospira* เข้าเป็นสกุลเดียวกัน โดยใช้ชื่อ Genus *Spirulina* (สุชาติ อิงธรรมจิตต์, 2529: 6)



ภาพที่ 2.8 รูปร่างของสาหร่ายสไปรูลีนา



ภาพที่ 2.9 ลักษณะเกลียวของสาหร่ายสไปรูลีนา

เซลล์ของสาหร่ายสไปรูลีนามีลักษณะอยู่ร่วมกันหลายเซลล์ (Multicellular) จัดเป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว รูปร่างเป็นทรงกระบอก ไม่แตกสาขา (Unbranched) แต่จัดเป็นเกลียวที่เรียกว่า “เฮลิคอยดัล ทรียโคม” (Helicoidal Trichomes) เซลล์มีขนาดประมาณ 3 – 12 ไมครอน ผนังเซลล์ประกอบด้วยเยื่อบาง ๆ 4 ชั้น (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540: 5)

2.6.3 การเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลีนา

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิด (Close System) ซึ่งเรียกว่า Batch Culture คือ การนำสาหร่ายมาใส่ในอาหารใหม่ สาหร่ายจะมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ แต่อัตราการเจริญเติบโตจะลดลง จนกลายเป็นศูนย์ในที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของเสียที่สาหร่ายปล่อยออกมา หรือเนื่องจากภาวะการขาดแคลนอาหาร หรือความหนาแน่นของสาหร่ายที่สูงจนเกินไป ซึ่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ช่วง (พรทิภา ตั้งใจตรง, 2533: 15 – 18) ดังนี้

ช่วงที่ 1 Lag Phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ระยะนี้ไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์

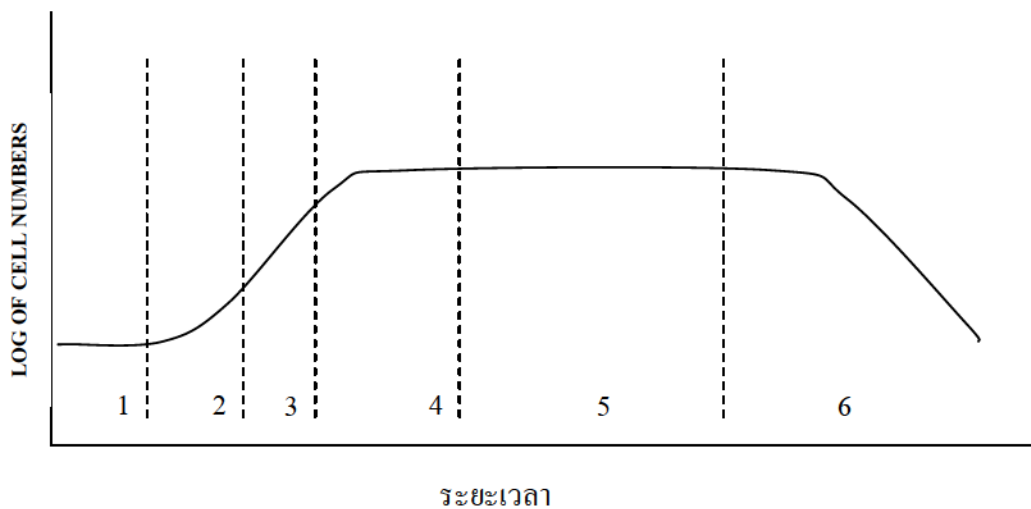
ช่วงที่ 2 Acceleration Phase ระยะนี้มวลสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับดังนี้ RNA เป็นองค์ประกอบแรกที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ต่อมา ปริมาณ โปรตีนและน้ำหนักรากแห้งจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ และขั้นสุดท้ายจึงมีการเพิ่มจำนวนเซลล์

ช่วงที่ 3 Logarithmic Phase ช่วงนี้สาหร่ายมีการแบ่งเซลล์ และเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว มีอัตราเบตาบลิซึมสูงสุด และเป็นอัตราการเจริญที่เพิ่มขึ้นคงที่

ช่วงที่ 4 Deceleration Phase สาหร่ายเริ่มลดอัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้น เกิดการบังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงด้วย

ช่วงที่ 5 Stationary Phase ระยะดังกล่าวมวลหรือจำนวนสาหร่ายมีปริมาณคงที่ แต่องค์ประกอบบางอย่างภายในเซลล์จะเกิดจากเปลี่ยนแปลง ช่วงการเจริญนี้จะเกิดการขาดแคลนแร่ธาตุที่สำคัญ หรือความเข้มข้นของของเสียที่มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช รวมถึงการบังแสงที่เกิดจากความหนาแน่นของสาหร่ายที่สูงขึ้น เหล่านี้จะทำให้สาหร่ายเกิดภาวะขาดแคลน และใช้สารอาหารที่สะสมไว้ภายในเซลล์

ช่วงที่ 6 Death Phase ในระยะสุดท้าย มวลสาหร่ายจะเริ่มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนของการหายใจต่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น จนมีค่ามากกว่า 1 หรือเนื่องจากการตายของเซลล์สาหร่าย

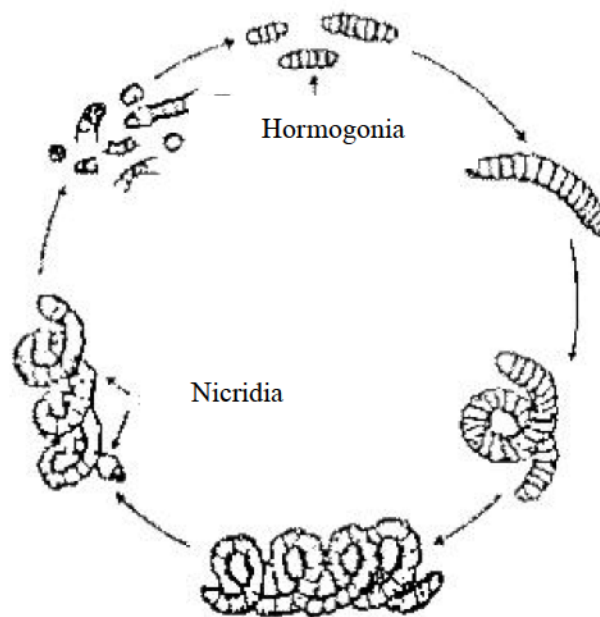


ภาพที่ 2.10 ช่วงการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลีนา

วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลีนา เมื่อเลี้ยงในสภาวะห้องปฏิบัติการจะสั้นประมาณ 1 วัน และใช้เวลาประมาณ 3 – 5 วัน เมื่อเลี้ยงในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ มีอัตราการ

เจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate) สูงสุด คือ 0.3 ต่อวัน ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ และ 0.2 ต่อวัน ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการดูดพลังงานแสงประมาณร้อยละ 3 – 4.5 นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูลินา มักลอยตัวขึ้นมาริเวณผิวน้ำ จึงทำให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยว

สำหรับวงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินา แสดงให้เห็นในภาพที่ 2.11 เริ่มจากการที่สายของสาหร่ายสร้างเซลล์พิเศษที่เรียกว่า ไนคริดีย (Necridia) ซึ่งจะสลายตัวไปทำให้สาหร่ายหักออกเป็นท่อน (2 – 4 เซลล์) เรียกว่า โฮร์โมโกเนีย (Hormogonia) หลังจากนั้นเซลล์ที่ติดกันกับไนคริดียจะกลมนขึ้น โดยผนังเซลล์อาจหนาขึ้นเพียงเล็กน้อย ไซโตพลาสซึมภายในเซลล์จะมีกรานูล (Granule) ลดลง และสีของเซลล์จะซีดลง แล้วเกิดการแบ่งตัวจนเกิดได้สายใหม่



ภาพที่ 2.11 วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินา

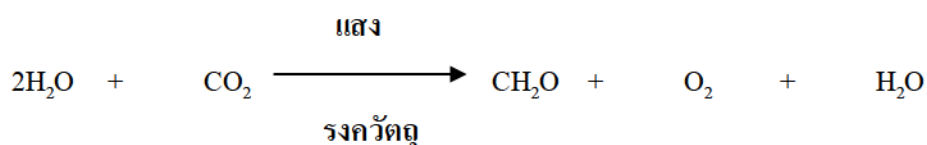
2.6.4 ปัจจัยกายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา

ปัจจัยกายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา (พรทิภา ตั้งใจตรง, 2533: 16 – 21) มีดังนี้

2.6.4.1 แสง

แสงนับเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเจริญเติบโตของสาหร่าย การสังเคราะห์แสงเป็นการสร้างสารอินทรีย์โดยตรง รังควัตถุในสาหร่าย เช่น คลอโรฟิลล์ แคลโรที

นอยด์ และไฟโคไซยานิน เป็นต้น ทำหน้าที่จับพลังงานแสงในรูปโฟตอน จากนั้นพืชหรือสาหร่าย จะใช้พลังงานนี้แบ่งแยก เชื่อมและจัดระเบียบโมเลกุล อะตอม จนถึงอนุภาคเพื่อให้ได้สารใหม่ ดัง สมการ



สาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญเติบโตในที่มืดได้เช่นกัน โดยใช้สารอินทรีย์ เช่น กลูโคส หรือกรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน พลังงานแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มาจากแสง ในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 400 – 700 นาโนเมตร และแสงในช่วงรังสีความร้อน (Infrared) ความยาวคลื่นของแสงมีความจำเพาะต่อรงควัตถุแต่ละชนิด สาหร่ายสไปรูลินาประกอบด้วยรงควัตถุหลายชนิด แต่ที่พบมาก คือ คลอโรฟิลล์ เบตาแคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอิริทริน รงควัตถุเหล่านี้จะถูกกระตุ้นโดยแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน พลังงานแสงที่ได้รับทั้งหมดจากรงควัตถุต่าง ๆ จะถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ โดยคลอโรฟิลล์จะดูดพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นสีแดง (Infrared) แม้ว่าแสงจะจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย แต่สาหร่ายเองก็มีความสามารถในการทนทานต่อแสงได้จำกัด การได้รับแสงในปริมาณมากเกินไปจะทำให้รงควัตถุถูกทำลายไป สาหร่ายจะมีสีซีดและตายในที่สุด อันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาที่เรียกว่า โฟโตออกซิเดชัน (Photooxidation) หรือโฟโตไลซิส (Photolysis) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดหลังจากช่วง Lag Phase

พบว่าความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตสาหร่ายสไปรูลินาในบริเวณกลางแจ้งซึ่งมีอุณหภูมิสูง สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเข้มแสง 20,000 – 30,000 ลักซ์ ส่วนการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการใช้ความเข้มแสงเพียง 8,000 – 10,000 ลักซ์ มีผู้นำสาหร่าย *Spirulina plantensis* และสาหร่าย *Chlorella sorokiniana* ซึ่งเป็นสาหร่ายเขตร้อนเช่นเดียวกัน มาเลี้ยงในบ่อกลางแจ้ง พบว่า สาหร่าย *Spirulina plantensis* เมื่อได้รับความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สูงจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าสาหร่าย *Chlorella sorokiniana* และสาหร่าย *Chlorella vulgais* จะให้ผลผลิตสูงสุดที่ 18 งามาเซลเลียส ดังนั้น สาหร่ายสไปรูลินาจึงเหมาะสมกับประเทศในเขตร้อนมากกว่า (เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข, 2535: 12)

2.6.4.2 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของอาหารจะมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสาหร่าย ผลการศึกษาแหล่งน้ำในธรรมชาติ ซึ่งมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ในบ่อที่มีการเจริญของสาหร่าย

จำนวนมาก เช่น ในบ่อเลี้ยงปลา จะมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชตั้งแต่ 6.5 หรืออาจต่ำกว่านี้ในช่วงเช้า มีด เนื่องจากการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่อย ๆ สูงขึ้นถึง 11 ในช่วงเวลาเย็น ซึ่งเป็นผลจากการที่สาหร่ายใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไบคาร์บอเนต (HCO_3) สาหร่ายสไปรูลีนาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 8.0 – 11.0 แต่พีเอชเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงสาหร่ายโดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 7.8 – 8.5 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของอาหาร

2.6.4.3 ค่าความเค็ม (Salinity)

เนื่องจากการตอบสนองต่อความเค็มในอาหารที่ต่างกัน ทำให้สามารถแยกสาหร่ายออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ สาหร่ายที่ทนต่อความเค็ม (Halotolerant Algae) และสาหร่ายที่ชอบความเค็ม (Halophilic Algae) สาหร่ายที่ทนต่อความเค็มจะมีกลไกการตอบสนอง (Respond Mechanism) ซึ่งทำให้มีการปรับตัวจนสามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีความเค็มสูงได้ในขณะที่สาหร่ายที่ชอบความเค็มต้องการเกลือในปริมาณพอเหมาะเท่านั้น จึงสามารถเจริญเติบโตได้และสาหร่ายที่ทนความเค็มสูงนั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อเซลล์ มากกว่าสาหร่ายที่ทนความเค็มต่ำ ดังนั้น สาหร่ายพวกแรกจึงมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่า เนื่องจากสาหร่ายต้องการพลังงานในการปรับสมดุลออสโมติกมากขึ้น จึงมีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เพื่อเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงมากขึ้น

สาหร่ายสไปรูลีนาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทะเลสาบที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงถึง 30 กรัมต่อลิตร และพบว่ามีเฉพาะสาหร่ายสไปรูลีนาเพียงพวกเดียวเท่านั้นที่สามารถเจริญได้ นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายสไปรูลีนาในน้ำที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงถึง 85 – 270 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมกับการเจริญของสาหร่ายสไปรูลีนาจะอยู่ในช่วง 20 – 70 กรัมต่อลิตร (เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข, 2535: 14) ดังนั้น ค่าความเค็ม จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดอื่นได้เป็นอย่างดี

2.6.4.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยมีผลต่อส่วนประกอบของเซลล์ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึม ความจำเพาะของปฏิกิริยาของเอนไซม์ นอกจากนี้อุณหภูมียังส่งผลต่ออัตราการทำปฏิกิริยาของเซลล์ โดยขึ้นกับการได้รับพลังงานกระตุ้นของเซลล์นั่นเอง ดังนั้น การเลี้ยงสาหร่ายในอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตของสาหร่ายได้มาก

สาหร่ายสไปรูลีนาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศแบบกึ่งร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 28 – 34 องศาเซลเซียส ในการเลี้ยงกลางแจ้งอุณหภูมิที่เหมาะสมในเวลากลางวัน คือ 40 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน ในห้องปฏิบัติการ

หากเก็บสาหร่ายไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส จะเกิดการแตกหักของสาหร่าย และหากนำมาเลี้ยงในที่อุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส จะตายในเวลาเพียง 10 นาที อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงด้วย หากความเข้มแสงประมาณ 23,000 ลักซ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 30 – 35 องศาเซลเซียส แต่ถ้าความเข้มแสงลดลงเหลือ 8,000 ลักซ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 25 – 30 องศาเซลเซียส

2.6.4.5 การกวน

การกวนมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลีนา เนื่องจากการกวน ทำให้เพิ่มการกระจายตัวของสาหร่ายให้ได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดอัตราการตกตะกอนของสาหร่าย และทำให้สารอาหารกระจายอย่างทั่วถึง โดยเฉพาะช่วยกระจายคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้สาหร่ายนำไปใช้อย่างเต็มที่ และการเลี้ยงในบ่อขนาดใหญ่ การกวนช่วยลดการแบ่งแยกชั้นน้ำเนื่องจากอุณหภูมิ

อัตราการกวนขึ้นกับปริมาณความเข้มแสงและความหนาแน่นของเซลล์ การที่สาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มสูง โดยไม่มีการกวนนั้นจะเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาโฟรโตออกซิเดชัน ดังนั้น ในที่ที่มีความเข้มแสงสูงจะต้องมีอัตราการกวนสูงด้วย เพื่อป้องกันการได้รับแสงมากเกินไป และทำให้สาหร่ายได้รับแสงอย่างทั่วถึง ในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาให้ได้ผลผลิตสูงสุด ต้องควบคุมให้มีความเข้มแสงมากพอ แต่ไม่มากเกินไปจนเกิดปฏิกิริยาโฟรโตออกซิเดชันและควรควบคุมอัตราการกวนให้น้ำมีการเคลื่อนที่ประมาณ 20 – 25 เซนติเมตรต่อวินาที

2.6.4.6 ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่าย

ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายที่พอเหมาะมีความสำคัญต่อการเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่น้อยเกินไปอาจทำให้สาหร่ายตาย เนื่องจากได้รับปริมาณแสงมากเกินไปจนเกิดปฏิกิริยาโฟรโตออกซิเดชัน ในทางกลับกันหากใช้ความหนาแน่นสาหร่ายเริ่มต้นมากเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากอัตราการหายใจที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงจะลดลง เนื่องจากเกิดการบังแสงกันเองของเซลล์สาหร่าย ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสง ส่วนประกอบของอาหาร ความลึกของบ่อที่เลี้ยง เป็นต้น พบว่าหากใช้ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายสไปรูลีนาที่ 225 – 250 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร จะช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงให้น้อยลง

2.6.5 แหล่งอาหารของสาหร่ายสไปรูลินา

สูตรอาหารสำหรับสาหร่ายสไปรูลินา คือ สูตรอาหารของ Zarrouk ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด ซึ่งธาตุอาหารที่สาหร่ายทั่วไปต้องการใช้ในการเจริญเติบโต มีดังต่อไปนี้

2.6.5.1 ธาตุคาร์บอน

สาหร่ายทุกชนิดต้องใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์แสง โดยแหล่งคาร์บอนในน้ำจะอยู่ในรูปต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนิก (H_2CO_3) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ขึ้นกับพีเอชในแหล่งน้ำจืดในแต่ละแห่ง โดยทั่วไปแหล่งน้ำจืดจะมีระบบบัฟเฟอร์ในรูป คาร์บอนไดออกไซด์ – คาร์บอนิก – ไบคาร์บอเนต – คาร์บอเนต ($\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ System) ระบบบัฟเฟอร์นี้มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อที่จะปรับสมดุลของพีเอช ทั่วไประบบนี้จะอยู่ในภาวะสมดุล จะพบคาร์บอนในรูปไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) มากที่สุด แต่หากพีเอชสูงขึ้นจะพบในรูปของคาร์บอเนตไอออนมากขึ้น

2.6.5.2 ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญ สาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนมาใช้ได้ทั้งในรูปสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เพื่อนำมาสร้างองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของเซลล์ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน โคเอนไซม์ กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ ธาตุไนโตรเจนจะมีความสำคัญรองจากคาร์บอน สาหร่ายสไปรูลินาไม่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ จึงใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรท (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+) หรือสารประกอบอินทรีย์ใน ไโตรเจน ได้แก่ ยูเรีย กลูตามีน แอสพาราจिन และกรดอะมิโน เป็นต้น เมื่อสาหร่ายใช้ใน ไโตรเจนในรูปแอมโมเนียจะทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่สาหร่ายเมื่อดูดซึมไนเตรทและไนไตรท์ จะนำไปรีดิวซ์ให้เป็นแอมโมเนียเสียก่อนแล้วจึงนำไปใช้งาน ซึ่งหากในอาหารมีไนโตรเจนทั้งแอมโมเนียและไนเตรท สาหร่ายสไปรูลินาใช้แอมโมเนียจนหมดเสียก่อน จึงนำไนเตรทมาใช้ต่อไป สาหร่ายสไปรูลินาสะสมไนโตรเจนในรูปรงควัตถุ ไซยาโนไฟซิน และไซโคไซยานิน เป็นสำคัญ และปล่อยไนโตรเจนออกจากเซลล์ในรูปของโพลิเปปไทด์และส่วนน้อยเป็นกรดอะมิโนอิสระ (สุมาลี คุลยอนุกิจ, 2536: 23)

2.6.5.3 ธาตุฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุหนึ่งซึ่งนับว่ามีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยมีบทบาทในกระบวนการสร้างพลังงานและสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก เซลล์ของสาหร่ายจะใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอนินทรีย์ ได้แก่ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4^-) ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) สำหรับฟอสเฟตในรูปสารอินทรีย์ สาหร่ายจะต้องย่อยด้วยเอนไซม์

เสียก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้แสง พืชหรือปริมาณไอออนต่าง ๆ เช่น โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) หรือแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นต้น สามารถกระตุ้นการใช้ฟอสฟอรัสได้

สาหร่ายสามารถเปลี่ยนฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) และ ATP ตามลำดับ และจะสะสมไว้ในเซลล์ ซึ่งหากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้สาหร่ายลดอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ระยะคงที่ (Stationary Phase) และระยะลดจำนวนลง (Decleration Phase)

สาหร่ายเริ่มปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ เมื่อมีความหนาแน่นครั้งหนึ่งของความหนาแน่นสูงสุด แต่จะปล่อยออกมาเพียงเล็กน้อย ในขณะที่กำลังเจริญเติบโต และเริ่มปล่อยมากขึ้นหลังจากหยุดการเจริญเติบโต อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ดีที่สุดในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา คือ 5.5 : 1 (สุมาลี คุณยอนุกิจ, 2536: 25)

2.6.6 การวิเคราะห์ทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา (เจียมจิตต์ บุญสม, 2544: 1 – 8) มีดังนี้

2.6.6.1 กรดอะมิโนในสาหร่ายสไปรูลินาที่จำเป็น มีดังนี้

1) ไอโซลิวซีน (Isoleucine – ร้อยละ 4.13) จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตที่ดี การพัฒนาเขาวนปัญญา และการรักษาสมดุลของไนโตรเจนในร่างกาย ไอโซลิวซีนใช้สำหรับสังเคราะห์กรดอะมิโนไม่จำเป็นชนิดอื่น ๆ

2) ลิวซีน (Leucine – ร้อยละ 5.80) เป็นสารกระตุ้นการทำงานของสมอง เพิ่มระดับพลังงานให้แก่กล้ามเนื้อ

3) ไลซีน (Lysine – ร้อยละ 4.00) สร้างภูมิคุ้มกันในเลือดทั้งหมด ทำให้ระบบหมุนเวียนโลหิตแข็งแรงและควบคุมให้เซลล์เจริญเติบโตตามปกติ

4) เมทไธโอนีน (Methionine – ร้อยละ 2.17) เร่งอัตราการเผาผลาญไขมันและองค์ประกอบของไขมัน กระตุ้นกรดอะมิโนที่บำรุงรักษาสุขภาพของตับ เป็นสารต้านความเครียด ทำให้เส้นประสาทผ่อนคลาย

5) ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine – ร้อยละ 3.95) จำเป็นสำหรับต่อมไทรอยด์ในการสร้างไทร็อกซิน (Thyroxine) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นอัตราการเผาผลาญอาหารของร่างกาย

6) ทรีโอนีน (Threonine – ร้อยละ 4.17) ช่วยในการทำงานของลำไส้ การย่อย และการดูดซึมสารอาหารให้ดีขึ้น

7) ทริปโตเฟน (Tryptophane – ร้อยละ 1.13) ทำให้ร่างกายใช้ประโยชน์จากวิตามินบีได้มากขึ้น ทำให้เส้นประสาทแข็งแรงขึ้นและมีอารมณ์คงที่มากยิ่งขึ้น ส่งเสริมให้เกิดความรู้สึกสงบผ่อนคลาย

8) วาลีน (Valine – ร้อยละ 6.00) กระตุ้นสมรรถนะของสมองและการประสานงานกันของกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้ สาหร่ายเกลียวทองยังมีกรดอะมิโนไม่จำเป็นอีกถึง 10 ชนิด จาก 12 ชนิด คำว่า “ไม่จำเป็น” มิได้หมายความว่าร่างกายไม่จำเป็นต้องใช้กรดอะมิโนเหล่านี้ แต่หมายความว่าร่างกายสามารถสร้างหรือสังเคราะห์กรดอะมิโนเหล่านี้ได้ด้วยตนเองเมื่อต้องการ และเมื่อมีภาวะโภชนาการที่เหมาะสมก็พร้อมที่จะสร้างได้ อย่างไรก็ตาม ร่างกายจะรับสารอาหารได้ดียิ่งขึ้น ถ้าหากองค์ประกอบโปรตีนที่ดีเลิศเหล่านี้มีอยู่พร้อมและครบถ้วนจากแหล่งอาหารที่รับประทานเข้าไป เนื่องจากต้องมีกรดอะมิโนทุกชนิดให้ใช้ได้ ในขณะที่เซลล์ผลิตเอนไซม์ โปรตีน ฮอร์โมน สารต่าง ๆ ในสมอง และผลผลิตอื่น ๆ ของกระบวนการสันดาป จากสารทางชีวเคมี จำนวนนับพันชนิดที่ทำงานและมีปฏิสัมพันธ์กันในร่างกายมนุษย์ ไม่มีชนิดใดเลยที่เกิดขึ้นได้เอง การทำงานทั้งหมดในร่างกายมนุษย์ต้องพึ่งพาสารชีวเคมีจากอาหารที่รับประทานเข้าไปทั้งสิ้น

2.6.6.2 กรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองที่ไม่จำเป็น มีดังนี้

- 1) อะลานีน (Alanine – ร้อยละ 5.82) ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง
- 2) อาร์จินีน (Arginine – ร้อยละ 5.98) สำคัญยิ่งต่อสุขภาพทางเพศของผู้ชาย เพราะมีอาร์จินีนอยู่ถึงร้อยละ 80 ในน้ำอสุจิ ทั้งยังช่วยขจัดพิษออกจากเลือดอีกด้วย
- 3) กรดแอสพาร์ติก (Aspartic Acid – ร้อยละ 6.34) ช่วยส่งเสริมการแปรรูปคาร์โบไฮเดรตให้เป็นพลังงานภายในเซลล์
- 4) ซิสทีน (Cystine – ร้อยละ 0.67) ช่วยส่งเสริมสุขภาพของตับอ่อนซึ่งทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดคงที่และมีการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต เคยมีการใช้ซิสทีนเพื่อบรรเทาอาการแพ้อาหารและแพ้ยางชนิด
- 5) กรดกลูตามิก (Glutamic Acid – ร้อยละ 8.94) เมื่อใช้ร่วมกับกลูโคสจะเป็นสารอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งสำหรับบำรุงเซลล์สมอง เคยมีการนำกรดกลูตามิกไปใช้เพื่อลดความอยากดื่มแอลกอฮอล์และรักษาระดับสุขภาพของจิตประสาท
- 6) ไกลซีน (Glycine – ร้อยละ 3.5) เพิ่มพลังงานและการใช้ออกซิเจนในเซลล์
- 7) ฮิสติดีน (Histidine – ร้อยละ 1.08) ช่วยให้การส่งผ่านการรับรู้ของเส้นประสาทดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอวัยวะรับเสียง

- 8) โพรลีน (Proline – ร้อยละ 2.97) เป็นสารเริ่มต้นของกรดกลูตามิก
- 9) เซอรีน (Serine – ร้อยละ 4.00) ช่วยในการสร้างเปลือกไขมันป้องกัน

รอบเส้นใยประสาท

10) ไทโรซีน (Tyrosine – ร้อยละ 4.60) ทำให้เซลล์แก่ช้าลง และกระตุ้น
ควบคุมความอยากอาหารในสมองส่วนไฮโปทาลามัส สามารถสังเคราะห์ได้จากฟีนิลอะลานีน
ไทโรซีนเกี่ยวข้องกับการให้สีที่ถูกต้องแก่เส้นผมและผิวหนัง รวมถึงการป้องกันผมและผิวหนังจาก
การถูกแดดเผา

2.6.6.3 แร่ธาตุ ถึงแม้ว่าโปรตีนเป็นปัจจัยสำคัญพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต แต่แร่ธาตุจำนวนเล็กน้อยหลายชนิดสามารถส่งผลอย่างสำคัญต่อสุขภาพและกระบวนการเผาผลาญพลังงาน น้ำที่สาหร่ายสไปรูลินาชอบขึ้นนั้นเป็นน้ำที่เข้มข้นไปด้วยแร่ธาตุที่สะสมมาจากดินโบราณและภูเขา ซึ่งพืชชนิดอื่นไม่สามารถขึ้นได้ เพราะเหตุว่าสาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตในน้ำที่เป็นด่าง จึงรวบรวมและสังเคราะห์แร่ธาตุหลายชนิดเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดสารประกอบขึ้นภายในโครงสร้างของเซลล์ การที่สาหร่ายสไปรูลินาเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุให้กลายเป็นองค์ประกอบทางธรรมชาตินั้น แร่ธาตุจึงหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับกรดอะมิโน ดังนั้น ร่างกายจึงดูดซึมแร่ธาตุเข้าไปได้ง่ายยิ่งขึ้น บ่อยครั้งที่เราได้รับประทานแร่ธาตุที่เป็นสารอนินทรีย์เข้าไปเป็นจำนวนมาก โดยไม่เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพแต่อย่างใด นั่นเป็นเพราะร่างกายไม่รู้ว่าจะทำอย่างไรกับสารที่ไม่เข้ากันเหล่านี้ อันที่จริงมีพยานหลักฐานมากมายที่แสดงว่าแร่ธาตุที่เป็นสารอนินทรีย์สามารถสกัดกั้นการดูดซึมแร่ธาตุที่เป็นสารอินทรีย์ได้ และนำไปสู่การเป็นโรคหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการขาดแร่ธาตุในที่สุด สาหร่ายสไปรูลินามีแร่ธาตุที่จำเป็นและหาได้ยากซึ่งรับมาจากสิ่งแวดล้อมที่เจริญเติบโตขึ้นมา แล้วนำมาหลอมรวมเข้าด้วยกันกลายเป็นสารต่าง ๆ ที่สามารถดูดซึมได้ง่าย มีดังนี้

1) โปตัสเซียม (Potassium – 15,400 มก./กก.) แร่ธาตุสำคัญที่ขาดไม่ได้ ซึ่งช่วยปรับสมดุลของสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าในร่างกาย การได้รับโปตัสเซียมไม่เพียงพอทำให้หัวใจหยุดทำงาน ความดันโลหิตสูง ไตทำงานหนักเกินไป และกล้ามเนื้อเสื่อม

2) แคลเซียม (Calcium – 1,315 มก./กก.) แร่ธาตุที่มีอยู่มากที่สุดในร่างกาย แคลเซียมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพของกระดูกและฟัน แต่ก็ยังเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านประสาทสัมผัสไปยังกล้ามเนื้อในน้ำหนักที่เท่ากัน สาหร่ายสไปรูลินาให้แคลเซียมได้มากเท่า ๆ กับนม

3) สังกะสี (Zinc – 39 มก./กก.) เป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยาทางเคมีของ เอนไซม์มากกว่า 30 ชนิด ทั้งยังส่งผลอย่างทั่วถึงต่อสุขภาพของจิตประสาท สิว การทำงานของ ต่อมลูกหมาก และความสามารถในการเชี่ยวชาญรักษาตนเองของเซลล์

4) แมกนีเซียม (Magnesium – 1,915 มก./กก.) การได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง กระตุก รวมไปถึงหัวใจเต้นผิดปกติ แมกนีเซียมช่วยในการดูดซึมวิตามินซี วิตามินบี และโปรตีน

5) แมงกานีส (Manganese – 25 มก./กก.) กระตุ้นระบบการทำงานของเอนไซม์ร่วมกับสังกะสี ส่งเสริมให้การทำงานของเส้นประสาทที่ส่งสารเคมีไปกระตุ้นระบบประสาททั่วร่างกายให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น และยังช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด

6) ซีลีเนียม (Selenium – 0.40 ppm.) แต่ก่อนเชื่อกันว่าเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษ แต่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันว่าซีลีเนียมจำเป็นอย่างยิ่งต่อสุขภาพ เพราะช่วยป้องกันความแก่ กำจัดและป้องกันการก่อตัวของอนุมูลอิสระ ลดความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง และทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจดีขึ้น

7) เหล็ก (Iron – 580 มก./กก.) ส่งเสริมการสร้างฮีโมโกลบิน ซึ่งเป็นสารที่ช่วยลำเลียงออกซิเจนและพบในเซลล์เม็ดเลือดแดงที่แข็งแรง การขาดธาตุเหล็กเป็นเรื่องที่พบบ่อยที่สุดในหมู่สตรีที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์

8) ฟอสฟอรัส (Phosphorus – 8,942 มก./กก.) เป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสองในร่างกายมนุษย์ ฟอสฟอรัสมีอยู่ในทุก ๆ เซลล์ และทำงานร่วมกันกับแคลเซียมเพื่อรักษาความแข็งแรงของกระดูก ช่วยในการย่อยคาร์โบไฮเดรต วิตามินบี ในอานิน และไรโบฟลาวิน

2.6.6.4 วิตามิน สาหร่ายเกลียวทองมีวิตามินหลายชนิดที่สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการสันดาป วิตามินเหล่านี้ ได้แก่

1) ไพริดอกซิน (Pyridoxine หรือ วิตามินบี 6 – 3 มก./กก.) เกี่ยวข้องในการสลายและดูดซึมโปรตีน ช่วยให้หัวใจแข็งแรง ลดอาการบวมหน้า และรักษาระดับฮอร์โมนเพศหญิงให้สมดุล

2) ไบโอติน (Biotin – 0.4 มก./กก.) เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่ลำเลียงคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเซลล์ระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ทั้งยังทำงานร่วมกับเอนไซม์ชนิดอื่นในการดูดซึมวิตามินบีรวม ไบโอตินถูกทำลายได้ด้วยการรับประทานไข่ขาวดิบและเนื้อปลาดิบบางชนิด

3) โคบาลามิน (Cobalamin หรือ วิตามินบี 12 – 2 มก./กก.) เป็นวิตามินที่พบได้น้อยที่สุดในผัก แต่สาหร่ายสไปรูลินากลับมีวิตามินชนิดนี้อยู่อย่างเหลือเฟือถึงร้อยละ 250 มากกว่าในตับโคซึ่งเคยเชื่อกันว่าเป็นแหล่งที่มีวิตามินชนิดนี้มากที่สุดตามธรรมชาติ การรับประทานสาหร่ายสไปรูลินาเพียงมื้อเดียว ทำให้ได้วิตามินบี 12 มากกว่าปริมาณที่แนะนำให้รับประทานต่อวัน คือ 1.5 – 3 ไมโครกรัมได้อย่างง่ายดาย การขาดวิตามินบี 12 ส่งผลให้เกิด

โรคโลหิตจางอย่างรุนแรง ประสาทเสื่อม แก่ก่อนวัย อ่อนเพลียง่ายอย่างเห็นได้ชัด และมีอาการป่วยทางจิตประสาทคล้ายกับเป็นโรคจิตเภท

4) กรดแพนโทเทนิก (Pantothenic Acid – 11 มก./กก.) เป็นวิตามินแห่งความเครียดที่ต่อมอะดรีนาลินใช้ร่วมกับโคเลสเตอรอลและวิตามินซี ในการผลิตคอร์ติโซนและสารสเตอรอยด์ชนิดอื่น เพื่อตอบสนองต่อความเครียดของร่างกายและจิตใจ คนที่ขาดกรดแพนโทเทนิกทำให้ไวต่ออาการภูมิแพ้ คิดเชื่อง่าย และเป็นโรคชราต่าง ๆ เช่น โรคข้ออักเสบและโรคปวดตามข้อและกล้ามเนื้อ โรคแผลเปื่อยและโรคน้ำตาลในเลือดต่ำก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการขาดวิตามินชนิดนี้ด้วยเช่นกัน

5) กรดโฟลิก (Folic Acid – 0.5 มก./กก.) จำเป็นอย่างยิ่งต่อการสร้างสารสีแดงในเซลล์เม็ดเลือดแดง การขาดกรดโฟลิกทำให้เป็นโรคโลหิตจาง การให้สีผิวผิดปกติ และผมหงอกก่อนวัย

6) ไอโนซิทอล (Inositol – 350 มก./กก.) ช่วยบำรุงตับ จับไขมันสำคัญซึ่งส่งผลให้ตับแข็งแรงและช่วยกำจัดพิษของสารก่อมะเร็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮอร์โมนเพศหญิงที่มีมากเกินไป ช่วยรักษาระดับโคเลสเตอรอลในเลือดให้เป็นปกติ

7) ไนอาซิน (Niacin – 118 มก./กก.) เป็นที่รู้จักกันทั้งสองแบบ คือ กรดนิโคตินิกและไนอาซินามิด ไนอาซินจำเป็นอย่างยิ่งต่อสุขภาพของจิตประสาท

8) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin หรือ วิตามินบี 2 – 40 มก./กก.) การขาดวิตามินที่พบบ่อยที่สุด คือ การขาดไรโบฟลาวิน ซึ่งทำให้เกิดโรคค็อกระจก สูญเสียการมองเห็นตาและ และโรคผิวหนังอักเสบแบบเฉียบพลันที่ไม่สามารถควบคุมได้

9) ไธอามีน (Thiamine หรือ วิตามินบี 1 – 55 มก./กก.) เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่ทำให้คาร์โบไฮเดรตแตกตัว ช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด การขาดวิตามินนี้จะทำให้อ่อนเพลีย กล้ามเนื้อหัวใจเสื่อม ชóngท้องขยาย และประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง การขาดไธอามีนอย่างรุนแรงส่งผลให้ถึงตายได้ เนื่องจากจะมีอาการโลหิตเป็นพิษอย่างร้ายแรงซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้

10) โทโคเฟอรอล (Tocopherol หรือวิตามินอี – 190 มก./กก.) สำหรับสไปรูไลนามีวิตามินอีมากกว่าในจมูกข้าวสาลีเมื่อเทียบกับถั่วคั่ว ถั่วคั่ว สารอาหารนี้ช่วยคุ้มครองสุขภาพของหัวใจและหลอดเลือด ส่งเสริมประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในเซลล์ และช่วยชะลอความชรา

2.6.6.5 แคโรทีนอยด์ พบในพืชผักที่เป็นอาหาร เป็นสารบางอย่างซึ่งไม่ใช่วิตามิน แต่ให้สารแรกเริ่มที่ร่างกายสามารถเอาไปใช้สังเคราะห์วิตามินได้เมื่อต้องการ สารแคโรทีนอยด์

เชิงซ้อนในสาหร่ายสไปรูลินาก็มีคุณสมบัติเช่นนี้ เนื่องจากสารนี้ใช้ในการผลิตวิตามินเอ วิตามินเอที่แท้จริงนั้นพบได้ในแหล่งที่มาจากสัตว์เท่านั้น เช่น ในตับ และเป็นวิตามินที่ยังไม่สำเร็จรูป ซึ่งในบางครั้งก็กลายเป็นสารพิษ และอาจได้รับในปริมาณมากเกินไปเนื่องจากเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันและไม่อาจขับออกจากร่างกายได้อย่างง่ายดาย ในทางกลับกัน สารแคโรทีนอยด์เชิงซ้อนที่พบในพืชผักที่เป็นอาหารจะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอเฉพาะเมื่อร่างกายต้องการเท่านั้น ดังนั้น จึงลดอันตรายจากภาวะวิตามินเอเป็นพิษได้ สาหร่ายสไปรูลินาและสาหร่ายชนิดอื่นเป็นแหล่งสำคัญแหล่งเดียวที่ให้สารแรกเริ่มในการสร้างวิตามินเอ และแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายนี้เองที่ตับปลาได้รับมาและสร้างขึ้นเป็นวิตามินเอ สาหร่ายสไปรูลินามีสารสีเหลืองอมส้มของคริปโตแซนธิน และเบต้า – แคโรทีน ซึ่งใช้สร้างวิตามินเอได้ โดยปกติแคโรทีน 2 หน่วยจะให้ผลผลิตเป็นวิตามินเอสมบูรณ์ได้ 1 หน่วยเมื่อร่างกายต้องการ สาหร่ายเกลียวทองมีแคโรทีนอยด์ถึง 4,000 มก./กก. ในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1) แอลฟา – แคโรทีน (Alpha – carotene)	มีเล็กน้อย
2) เบต้า – แคโรทีน (Beta – carotene)	1,700 มก./กก.
3) แซนโทฟิลล์ (Xanthophyllis)	1,000 มก./กก.
4) คริปโตแซนธิน (Cryptoxanthin)	556 มก./กก.
5) เอคินีโนน (Echinenone)	439 มก./กก.
6) ซีแซนธิน (Zeaxanthin)	316 มก./กก.
7) ลูทีน (Lutein)	289 มก./กก.

2.6.6.6 สารสีเอนไซม์ ในขณะที่ปริมาณของโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินในสาหร่ายสไปรูลินามีอยู่อย่างมากมาย สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ นี้ก็ยังอุดมไปด้วยสารสีที่เป็นสารเคมีชีวภาพที่สำคัญต่อชีวิตอีกด้วย หากปราศจากสารสีสิ่งมีชีวิตย่อมไม่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดที่จำเป็นต่อการสร้างสมดุลให้แก่กระบวนการสันดาปของร่างกาย สารสีที่มองเห็นได้ชัดเจนที่สุดในสาหร่ายสไปรูลินา ได้แก่ คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นโมเลกุลสีเขียวตามธรรมชาติของพืชทั่วไป คลอโรฟิลล์จะปล่อยไอออน (Ion) ออกมาเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ไอออนอิสระเหล่านี้จะทำการกระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมีชีวภาพที่สร้างโปรตีน วิตามิน และน้ำตาลขึ้น ในบางครั้ง คลอโรฟิลล์จะถูกเรียกว่า "เลือดสีเขียว" เนื่องจากมีลักษณะคล้ายคลึงกับโมเลกุลของฮีโมโกลบินที่พบในเซลล์เม็ดเลือดแดงของมนุษย์ อันที่จริงทั้งคลอโรฟิลล์และฮีโมโกลบินถูกสร้างให้มีโครงสร้างของโมเลกุลอย่างเดียวกันที่เรียกว่า "วงแหวนไพร์โรล" (Pyrrole Rings) และสารทั้งสองต่างก็เป็นสารเคมีที่นักวิทยาศาสตร์เรียกว่า "สารสีพอร์ไฟริน" (Porphyrin Pigments) ความแตกต่างของสารสีทั้งสองนี้ คือ คลอโรฟิลล์มีไอออนของแมกนีเซียมที่แกนกลางอะตอม ซึ่ง

แมกนีเซียมจะให้สีเขียวแก่โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และมีส่วนเกี่ยวข้องกับการ "สร้าง" วัตถุธาตุชนิดอื่น ๆ ในขณะที่ฮีโมโกลบินมีโมเลกุลของธาตุเหล็กซึ่งให้สีแดงแก่ฮีโมโกลบิน และเปลี่ยนหน้าที่ของโมเลกุลพอร์ไฟรินไปเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการหายใจและการสลายวัตถุธาตุชนิดต่าง ๆ สารสีที่ให้สีน้ำเงินแก่สาหร่ายเกลียวทอง คือ ไฟโคไซยานิน พบว่า มีอยู่มากถึงประมาณร้อยละ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ร้อยละ 1 ที่พบโดยทั่วไป ไฟโคไซยานินมีความสัมพันธ์กับสารสีบิลิรูบิน (Bilirubin) ของมนุษย์ ซึ่งจำเป็นต่อสุขภาพการทำงานของตับและการย่อยกรดอะมิโน สารสีชนิดอื่นที่สำคัญ ได้แก่ พอร์ไฟริน ซึ่งเป็นสารเพิ่มสีแดงที่สร้างนิวเคลียสของฮีโมโกลบิน สารที่เกี่ยวข้องกับสารนี้ คือ โมเลกุลโพลีไพร์โรล (Polypyrrole Molecule) ของวิตามินบี 12 ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงที่แข็งแรง สารเหล่านี้และสารสีชนิดอื่น ๆ ที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยอีกหลายชนิด เช่น ไฟโคอีรีทริน (Phycocerythrin) เตตระไพร์โรล (Tetrapyrrole) ไฟโตนาไดโอน (Phytonadione) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) มิได้เป็นเพียงแค่ "สี" ของสิ่งมีชีวิต แต่ใช้เพื่อดำเนินกระบวนการสันดาปทั่วร่างกาย หากปราศจากสารเหล่านี้ ปฏิกริยาเอนไซม์ต่าง ๆ จะลดลงจนกระทั่งเซลล์สลายตัวไป

2.6.6.7 ไขมัน น้ำตาล เกลือ และพลังงาน เป็นการยากที่จะจินตนาการว่าแหล่งที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารอย่างสาหร่ายสไปรูลินานั้น ไม่มีไขมัน แป้ง และพลังงานอยู่ด้วย น่าประหลาดใจที่สาหร่ายสไปรูลินามีไขมันเพียงร้อยละ 7 และเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของกรดไขมันจำเป็นที่ช่วยควบคุมโคเลสเตอรอล กรดไขมันจำเป็นนี้ซึ่งในบางครั้ง เรียกว่า วิตามินเอฟ ประกอบด้วย กรดไลโนเลอิก กรดไลโนเลนิก และกรดอาราคิไดนิก กรดเหล่านี้ร่างกายใช้เพื่อสร้างโพรสตาแกลนดิน (Prostaglandins) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมความดันโลหิตและความยืดหยุ่นของเส้นโลหิตฝอย กรดไขมันจำเป็นเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของทุก ๆ เซลล์ และสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะต่อการขนส่งออกซิเจน กรดไขมันจำเป็นเหล่านี้ส่งผลต่อสุขภาพของเส้นผม ผิวหนัง และเล็บ และยังช่วยสลายโคเลสเตอรอลในกระแสเลือด ไม่ใช่ไขมันอันตรายแต่เป็นไขมันที่จำเป็นต่อสุขภาพอย่างแท้จริง สาหร่ายสไปรูลินามีแป้งหรือน้ำตาลอยู่น้อยมาก คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 10 – 15 นั้น ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาลแรมโนส (Rhamnose) และไกลโคเจน (Glycogen) ซึ่งน้ำตาลโพลีแซ็กคาไรด์ทั้งสองชนิดนี้ถูกเซลล์ของมนุษย์ดูดซึมไปได้ง่ายโดยอินซูลินเข้ามายุ่งเกี่ยวข้องด้วยน้อยมาก ดังนั้น น้ำตาลในสาหร่ายสไปรูลินาจึงให้พลังงานได้อย่างรวดเร็วมาก โดยไม่เป็นการต่อต้านหรือเร่งให้เกิดภาวะการขาดน้ำตาลในเลือด ถ้ามองในแง่ของการให้พลังงานเป็นแคลอรี สารอาหารที่ได้จากสาหร่ายสไปรูลินานับว่าคุ้มค่า เพราะในสาหร่ายสไปรูลินามีโปรตีนที่ให้พลังงานเพียง 3.9 แคลอรีต่อกรัม เมื่อเทียบกับ 65 แคลอรีต่อกรัมของโปรตีนที่ได้จากเนื้อโค

2.6.7 คุณประโยชน์ของสาหร่ายสไปรูลินา

คุณประโยชน์ของสาหร่ายสไปรูลินา (จักรพงษ์ ศรีพนมยม, 2531) มีดังนี้

2.6.7.1 การใช้เป็นอาหารมนุษย์โดยตรง มีรายงานหลักฐานการนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ พ.ศ. 2370 โดยชนเผ่าคาเนมบูของประเทศชาด ซึ่งชนเผ่านี้ได้นำมาทำอาหารเรียกว่า “ไฮดิ” และในประเทศเม็กซิโกนำสาหร่ายมาทำเป็นอาหารที่เรียกว่า “เทकुเลท” ยังเป็นส่วนผสมทำขนมปังกรอบและขนมหวานต่าง ๆ ชาวญี่ปุ่นนิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารสุขภาพ ซึ่งทำเป็นอุตสาหกรรมโดยทำให้แห้งแล้วอัดเม็ดขายในราคาแพง ชาวจีนใช้เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้สาหร่ายผสมลงในอาหารชนิดต่าง ๆ

2.6.7.2 การใช้ประโยชน์ในการช่วยเสริมสร้างและบำรุงร่างกาย สาหร่ายสไปรูลินามีองค์ประกอบของโปรตีนสูงมากจนได้รับการกล่าวขานว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับอนาคต ด้วย นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของวิตามินครบทุกตัวและยังมีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งเหมาะผู้ที่ต้องการกินเพื่อบำรุงร่างกาย บำรุงสมอง เพิ่มสมรรถภาพทางเพศ กำลังอดอาหารหรือลดความอ้วน เหนื่อยง่าย เป็นหวัดง่าย วิงเวียนศีรษะอยู่เสมอ หญิงมีครรภ์ ผู้ที่ไม่รับประทานอาหารเช้า เป็นต้น

2.6.7.3 การใช้ประโยชน์ทางด้านการแพทย์ (ควบคุมและรักษาโรคในมนุษย์) สาหร่ายสไปรูลินามีประสิทธิภาพในการป้องกันและควบคุมโรคเบาหวาน โรคโลหิตจาง โรคตับ โรคกรดสีดวงทวาร โรคกระเพาะอาหารอักเสบ ควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความดันโลหิต ใช้รักษาโรคแผลมีหนอง โรคคออักเสบ คอหื่น โรคตาในผู้ป่วยเบาหวาน ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง บำรุงรักษาดับ บำรุงสายตา โรคหัวใจ บำรุงผิวพรรณ แก่รังแค ช่วยขจัดสิวเสี้ยนและฝ้า นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูลินายังมีหน้าที่ไม่ใช่เซลล์โลสทำให้ย่อยได้ง่ายจึงเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยได้เป็นอย่างดี ดังนั้น สามารถสรุปประโยชน์ของสาหร่ายได้ดังนี้

1) ช่วยลดคอเลสเตอรอล เพราะในสาหร่ายสไปรูลินามีกรดไขมันชนิดแกมมาไลโนลิโนิกอยู่ในปริมาณมากและเมื่อรับประทานเป็นประจำระดับคอเลสเตอรอลจะลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อหัวใจ

2) ช่วยแก้ปัญหาการดูดซึมอาหารของผู้สูงอายุและวัยทอง ทั้งยังมีคุณสมบัติช่วยในการขับถ่ายดีมาก

3) เป็นอาหารสมอง เพราะในสาหร่ายมีกรดกลูตามิก ช่วยให้เกิดสมดุลทั้งร่างกายและระบบประสาท ทำให้รู้สึกเป็นหนุ่มเป็นสาว และยังมีสารไอโซลิวซีนช่วยป้องกันความเสื่อมของระบบประสาท

4) เป็นอาหารพิเศษสำหรับนักกีฬา สาหร่ายสไปรูลินาเป็นพืชที่มีไกลโคเจนอยู่ด้วย และยังมีน้ำตาลแรมโนสซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่หายาก ช่วยเพิ่มพลังกำลัง เพิ่มความอดทน และรักษาน้ำหนักของนักกีฬา

5) รักษารูปร่างและน้ำหนักให้ดูดี สาหร่ายสไปรูลินาช่วยลดความอ้วน และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้เป็นอย่างดี

6) ช่วยรักษาโรคเบาหวาน สาหร่ายสไปรูลินาช่วยลดปริมาณน้ำตาลในเลือดให้กลับสู่ภาวะปกติ

7) ช่วยรักษาโรคเกาต์ โรคเกาต์เป็นโรคเป็นโรคข้ออักเสบชนิดหนึ่ง เกิดจากความบกพร่องของร่างกายที่ไม่สามารถสลายกรดยูริก ทำให้มีผลึกกรดยูริกสะสมอยู่ในข้อกระดูก ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการอักเสบและปวด ในสาหร่ายสไปรูลินามี DNA อยู่ร้อยละ 3.5 มี RNA อยู่ร้อยละ 1.0

8) ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง ในสาหร่ายสไปรูลินามีเบต้า-แคโรทีน สูงมากกว่า 10 เท่าของที่เคยพบในอาหารอื่นแม้กระทั่งแครอท ประโยชน์ของเบต้า-แคโรทีน คือ เป็นแหล่งวิตามิน ช่วยลดการเกิดมะเร็ง ป้องกันสารเคมีไม่ให้ก่อเกิดก่อมะเร็งร้าย

9) ช่วยสร้างแลคโตบาซิลลัส สาหร่ายสไปรูลินามีคุณสมบัติพิเศษช่วยเสริมสร้างแลคโตบาซิลลัสในลำไส้ ซึ่งช่วยเพิ่มการดูดซึมวิตามินบี 1 และวิตามินอื่น ๆ จากอาหารได้ดีขึ้น

10) ช่วยรักษาโรคกระเพาะอักเสบ คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายสไปรูลินามีผลในการรักษาอาการอักเสบของผนังกระเพาะได้ โรคปวดท้อง ท้องอืดท้องเฟ้อ อาจจะหายหลังจากได้รับประทานสาหร่ายสไปรูลินาสดเป็นประจำทุกวัน

11) ช่วยรักษาโรคตับอักเสบ มีรายงานว่าร้อยละ 40 ของความพิการของตับเนื่องมาจากยารักษาโรคที่ใช้ประจำ สาหร่ายสไปรูลินาช่วยได้ทั้งโรคตับอักเสบเรื้อรังและตับอักเสบรุนแรง ทั้งนี้เพราะปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในสาหร่ายสไปรูลินาถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ช่วยในการบำรุงรักษาดับ

12) ช่วยรักษาโรคตา เช่น โรคต้อกระจก ต้อหิน โรคตาในผู้ป่วยโรคเบาหวาน บำรุงสายตา

13) ช่วยในเรื่องอาการผื่นคันเพราะปริมาณโปรตีนที่สูงในสาหร่ายสไปรูลินาช่วยป้องกันคันจากพิษของแอลกอฮอล์

14) บำรุงรักษาผิวพรรณและรักษาแผล มีการใช้สาหร่ายสไปรูลินารักษาโรคผิวหนังบางชนิด และช่วยกระตุ้นทำให้แผลแห้งเร็วขึ้น ในปัจจุบันมีหลาย ๆ บริษัทได้นำ

สาหร่ายสไปรูลินาสกัดผสมลงในเครื่องสำอาง เพื่อช่วยบำรุงผิวพรรณและลดริ้วรอย สาหร่ายสไปรูลินาสด ๆ ยังสามารถนำมาพอกหน้าเพื่อรักษาสิว ฝ้า ได้อีกด้วย

15) ช่วยลดปริมาณสารพิษในร่างกาย ในงานวิจัยของประเทศญี่ปุ่น พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาช่วยลดปริมาณพิษของโลหะหนักและพิษของยารักษาโรคบางชนิด ในสาหร่ายสไปรูลินา พบว่า มีสารไฟโคไซยานิน คือ สารสีน้ำเงินที่มีอยู่ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นสารที่ทำหน้าที่ในการจัดสารพิษ ในประเทศไทยเกษตรกรมักใช้สารเคมีในเรือกสวนไร่นากันมาก จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่ควรรับประทานสาหร่ายสไปรูลินาสดเป็นประจำเพื่อจัดสารพิษในร่างกาย

16) ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน ในสาหร่ายสไปรูลินามีโปรตีนสีน้ำเงิน คือ สารไฟโคไซยานินอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสารนี้ไม่เพียงแต่ด้านเซลล์มะเร็งเท่านั้น แต่ช่วยให้ความต้านทานของร่างกายดีขึ้น

17) ประโยชน์จากคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย ได้แก่ เร่งประสิทธิภาพการทำงานของเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายให้สูงขึ้น มีผลต่อกล้ามเนื้อหัวใจ ช่วยในการขับถ่ายให้ดีขึ้น ช่วยให้คลอคลูกง่าย ช่วยส่งเสริมการงอกใหม่ของเซลล์ ช่วยเพิ่มปริมาณเลือด ช่วยป้องกันไม่ให้แผลติดเชื้อ และช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ เป็นต้น

18) ช่วยแก้ไขภาวะโลหิตจาง เพราะในสาหร่ายสไปรูลินามีปริมาณธาตุเหล็กมากประมาณ 15 มิลลิกรัม/ 10 กรัม เท่ากับร้อยละ 50 ของปริมาณที่ต้องการต่อวันในสตรีตามที่ฝ่ายวิชาการสาธารณสุขได้แนะนำไว้

2.6.7.4 ใช้เป็นอาหารเสริมในสัตว์ เช่น ในปลาสวยงามจะช่วยเร่งสี มีการนำไปให้กับปลาแฟนซีคาร์พทำให้สีของปลาสวยขึ้นมาก เร่งการเจริญเติบโต ช่วยเพิ่มความน่ากินในปลาหลายชนิด ทั้งยังช่วยลดอัตราการตายของลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น ในลูกกิ้งกูดาค่า ในลูกปลากะพงขาว ลูกปลาคู เป็นต้น การเติมสาหร่ายสไปรูลินาเพียงร้อยละ 0.5 – 1.0 ลงในอาหารช่วยให้อัตราการเติบโตดีขึ้นถึงร้อยละ 17 – 25 และมีอัตราการตายลดลงร้อยละ 30 – 50 ขึ้นอยู่กับพันธุ์ปลาและปริมาณสาหร่ายที่เติมลงไปในการอาหาร นอกจากนี้ยังใช้สาหร่ายสไปรูลินาผสมเป็นอาหารเร่งสีปลาสวยงามให้เข้มขึ้นด้วย โดยมักพบในปลาการ์ฟและปลาทอง เป็นต้น ส่วนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ทดลองเลี้ยงลูกปลาในระยะไข่แดงเพิ่งเริ่มยุบ พบว่า ลูกปลาที่เลี้ยงด้วยไข่แดงผสมสาหร่ายสไปรูลินาเมื่อตรวจการรอดตายร้อยละ 90 ในขณะที่ลูกปลาที่ให้ไข่แดงผสมเพียงอย่างเดียวมีอัตราการรอดตายเพียงร้อยละ 60

2.6.7.5 ใช้ประโยชน์เพื่อการบำบัดน้ำทิ้ง จากการศึกษาพบว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถกำจัดน้ำเสียได้ เพราะขณะที่สาหร่ายสไปรูลินาสังเคราะห์แสง ไม่เพียงแต่จะให้ออกซิเจนแก่แหล่งน้ำเท่านั้น แต่สาหร่ายยังต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการ

สร้างสารต่าง ๆ และส่วนประกอบของเซลล์ เช่น กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน และสารประกอบอะมิโน เป็นต้น ด้วย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทธิพรรณ อายะวรรณ และอนุพงษ์ จันทรสชา (2536: บทคัดย่อ) ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* โดยมีจุดมุ่งหมายในการนำสาหร่ายชนิดนี้มาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ แต่ไม่ได้เน้นเรื่องการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้มากนัก โดยพบว่าเมื่อใช้เวลาในการทดลองประมาณ 15 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 75 ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ประมาณร้อยละ 50 ประสิทธิภาพในการบำบัด $\text{NO}_3 - \text{N}$ ประมาณร้อยละ 50 และปริมาณ TP มีค่าลดลงเล็กน้อย

จิตรดา โกสินทรานนท์ และวรรณ ขาวสabay (2538: บทคัดย่อ) ได้นำสาหร่ายชนิดนี้มาบำบัดน้ำเสียจากการต้มเปลือกปอสาเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียโดยใช้พารามิเตอร์ คือ สี COD, pH และคลอโรฟิลล์ และเพื่อหาปริมาณการเจริญเติบโตของสาหร่ายและสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง โดยทำการทดลองที่ค่าสีของน้ำเสียต่าง ๆ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Algae Pond ใช้เวลาทดลอง 20 – 30 วัน พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทดลองประมาณ 20 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดสีประมาณร้อยละ 60 – 70 ประสิทธิภาพบำบัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 80 – 95 และพบว่า ปริมาณการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะสูงสุดเมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 300 หน่วยสีในการทดลองประมาณ 30 วัน และยังพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีจะมีค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 72 ประสิทธิภาพในการบำบัด COD จะมีค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 92 เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 300 หน่วยสี

จรัญ แสนจิตต์ (2538: บทคัดย่อ) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบ่อผึ่งและบ่อผักนึ่ง พบว่า อัตราการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD, COD และ SS เพิ่มขึ้นพร้อมกับเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของบ่อผักนึ่งสูงกว่าบ่อผึ่งอย่างชัดเจน แต่พบว่าอัตราการบำบัดไนโตรเจนในบ่อผึ่งจะสูงกว่าบ่อผักนึ่งเล็กน้อย อัตราการบำบัดไนโตรเจนโดยผักนึ่งที่เก็บเกี่ยวได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.6 ถึง 43.6 ของอัตราการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อผักนึ่ง สำหรับอัตราการบำบัดฟอสฟอรัสในบ่อผักนึ่งและบ่อผึ่ง พบว่าค่อนข้างต่ำและไม่มีความสำคัญ

วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง (2541: บทคัดย่อ) ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูลิน่าในการลดค่าบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของน้ำเสียจากโรงงานผักดอง โดยใช้ความหนาแน่น

เริ่มต้นของสาหร่ายเท่ากับ 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาในการเก็บกักเป็น 3, 6 และ 9 วัน พบว่า น้ำเสียจากโรงงานฝักคอง เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนาภายใต้ความเข้มแสง 2,200 ลักซ์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ประสิทธิภาพการลดค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงขึ้น และเมื่อความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายต่างกัน ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของการลดค่าบีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ระยะเวลาการเก็บกักที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดค่าต่าง ๆ ดังกล่าวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าระยะเวลาเก็บกักมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งมีค่าสูงกว่าความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพดังกล่าว กับความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่าย โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนาในน้ำเสียจากโรงงานฝักคอง คือ ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน

ธิดาภรณ์ ช่อเพชรไทย (2543: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ กรณีศึกษาโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ เป็นการนำศักยภาพของธรรมชาติมาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในด้านการใช้พลังงาน เพราะมีการใช้พลังงานที่สามารถทดแทนได้ตามธรรมชาติ แต่ก็ยังมีข้อด้อยตรงที่เป็นระบบที่ต้องการพื้นที่มาก ต่างจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้เครื่องจักรซึ่งใช้พื้นที่น้อยกว่า แต่ก็ใช้พลังงานมากกว่าเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะพลังงานที่ทดแทนไม่ได้ และเนื่องจากประเทศไทยมีแสงแดดตลอดปี มีภูมิอากาศอบอุ่นเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และพืชน้ำ นอกจากนั้นยังมีที่ดินทิ้งร้าง และที่ดินสาธารณะประโยชน์โดยเฉพาะในเขตนอกเมือง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติมาใช้สำหรับประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม

สารมลพิษหลักในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล คือ สารอินทรีย์ ธาตุอาหาร และตะกอน เทคนิคในการบำบัดมลพิษในน้ำทิ้ง จึงจะประกอบด้วย การตกตะกอน การย่อยสลายสารอินทรีย์ การกำจัดธาตุอาหาร และ Toxic Metabolites ที่เป็นสารมลพิษอื่น ๆ การตกตะกอนนอกจากจะช่วยลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งแล้ว ยังจะช่วยลดสารอินทรีย์และสารมลพิษอื่น ๆ ที่อยู่ในระบบการย่อยสลายได้ ระบบนี้จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและยังช่วยกำจัดสารมลพิษบางประเภท เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และไนไตรท์ การกำจัดธาตุอาหาร และมลพิษบางชนิดอาจจะต้องใช้วิธีการใส่สารเคมี เพื่อทำปฏิกิริยาหรือตกตะกอน กรมควบคุมมลพิษทำการทดสอบฟาร์มในเขตภาคตะวันออกซึ่งทดสอบน้ำทิ้งจากทุกฟาร์ม โดยน้ำทิ้ง มีค่า Total Nitrogen, Total Ammonia, Total Phosphorus, Hydrogen Sulfide และ Total Suspended Solids เกินมาตรฐาน และเมื่อน้ำทิ้งมาผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดโดยการปล่อยทิ้งให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ค่า BOD₅, Total Suspended Solids และ Total Phosphorus ของน้ำทิ้งจากทุกฟาร์มลดลงอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้ง

เมื่อสูบลบเข้าบ่อให้อากาศเป็นระยะเวลา 3 วัน ปริมาณสารมลพิษส่วนใหญ่ในน้ำทิ้งจากทุกฟาร์มลดลงอยู่ในระดับต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด น้ำทิ้งจากทุกฟาร์มมีคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดทั้งหมดเมื่อให้อากาศครบ 7 วัน สรุปได้ว่า บ่อดกตะกอนมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD₅ และ Total Suspended Solids ได้สูง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารมลพิษทุกตัวในระดับที่แตกต่างกันไป ยกเว้นปริมาณแอมโมเนีย ซึ่งในน้ำทิ้งจากบางบ่อมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์มีมากกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดในระบบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546: 21)

ปิยนุช บุญศิริชัย (2547: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด โดยการใช้รูปแบบการทดลอง 5 x 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับคุณภาพน้ำและรูปแบบการทดลอง 4 x 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับชีวมวลของผักกระเฉดที่ระดับชีวมวล 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม โดยมีระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0 กิโลกรัมเป็นกลุ่มควบคุม ซึ่งทุกระดับจะทำการศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ผลการศึกษา พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งได้แก่ ในเตรท แอมโมเนีย บีโอดี ฟอสฟอรัสรวม ตะกอนแขวนลอยและความเป็นกรด – ด่าง จะมีแนวโน้มลดลงตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนความเค็มมีค่าเท่ากับ 0 ppt โดยที่ระดับชีวมวลของผักกระเฉด 0.8 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน จะสามารถบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งได้มากกว่าผักกระเฉดในทุก ๆ ระดับ สำหรับชีวมวลของผักกระเฉดนั้นที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.2 กิโลกรัม จะมีชีวมวลเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด สรุปได้ว่าผักกระเฉดสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้

เสาวนิตย์ พุฒิเลพงศ์ (2549: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจาก บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ โดยการใช้รูปแบบการทดลอง 5 x 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับคุณภาพน้ำและรูปแบบการทดลอง 4 x 3 Factorial Arrangement (4 ซ้ำ) สำหรับชีวมวลของไข่น้ำ โดยใช้ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม มีระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0 กิโลกรัม เป็นกลุ่มควบคุม ทำการศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ผลการศึกษา พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีแนวโน้มดีขึ้นตามระดับชีวมวลและระยะเวลาในการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 30 วัน ให้ผลในการบำบัดคุณภาพน้ำดีที่สุด แต่ที่ระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.8 กิโลกรัม ให้ผลในการบำบัดคุณภาพน้ำต่ำลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ส่วนความเป็นกรด – ด่าง และความเค็มมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ระดับ สำหรับชีวมวลรวมของไข่น้ำ ที่ระดับชีวมวลเริ่มต้น 0.2 – 0.6 กิโลกรัม ชีวมวลมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยระดับชีวมวลของไข่น้ำ 0.6 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ไข่น้ำเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากที่สุด ส่วนที่ระดับ 0.8 กิโลกรัม ชีวมวลมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น สรุปได้ว่า ไข่น้ำสามารถ

นำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดได้ ถ้ามีอัตราส่วนระหว่างชีวมวลของไข่น้ำและปริมาณน้ำทิ้งเหมาะสม

Gannikar Disyawongs (2002: 33) ศึกษาศักยภาพของสาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina platensis*) ในการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง โปรท และตะกั่ว ซึ่งเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร Zarrouk ในสภาพอุณหภูมิห้อง (28 – 32 องศาเซลเซียส) แสงสว่าง 40 วัตต์ ในการทดลองจะเติมโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง โปรท และตะกั่ว ปริมาณ 1 – 3 ppm, 5 – 300 ppb และ 0.2 – 0.6 ppm ตามลำดับ ลงไปในน้ำเลี้ยงที่มีอาหารสูตร Zarrouk จากการศึกษา พบว่า ช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากที่สุด คือ 16 วัน และมีอัตราการสะสมโลหะหนักอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการฟักตัว และลดลงในระยะต่อมา โดยสาหร่ายสไปรูลีนาจะหยุดการเจริญเติบโตเมื่อมีการปนเปื้อนของทองแดงและตะกั่วเกินกว่า 1 และ 0.2 ppm. ตามลำดับ

Bonino (2007: Abstract) ที่ว่า ศักยภาพในการดูดซับของสาหร่าย สไปรูลีนา โดยทั่วไปแล้วจะดีที่ปริมาณโครเมียมน้อย คือ 1.41 และ 1.44 เมื่อใช้โครเมียม 35 มิลลิกรัม และใช้สาหร่ายตากแห้งและสาหร่ายอบแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ และศักยภาพในการดูดซับของสาหร่ายนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณโครเมียม คือ เมื่อใช้โครเมียมจาก 25 มิลลิกรัม เป็น 35 มิลลิกรัม และ 50 มิลลิกรัม ศักยภาพในการบำบัดของสาหร่ายอบแห้งไม่มีการพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่เมื่อใช้โครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 75 มิลลิกรัม เป็น 200 มิลลิกรัม สาหร่ายอบแห้งจะมีพัฒนาการบำบัดได้ดีขึ้น

รัตนา ชัยกล้าหาญ, มารศรี เรืองจิตซ์ชาวลย์, บุญยา บุญนาค และมรกต ดันติเจริญ (2545) ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina platensis*) ด้วยน้ำหมักมูลไก่ไข่ น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา เปรียบเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk โดยใช้ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 0.6 OD. (Optimal Density) เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 5 องศาเซลเซียส) ให้แสง 3,500 – 4,000 ลักซ์ วันละ 16 ชั่วโมง ให้อากาศตลอดเวลา จากผลการทดลอง พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมา คือ สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารอย่างง่าย รองลงมา คือ น้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราร้อยละ 40 ร่วมกับอาหารอย่างง่าย น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำร้อยละ 50 และน้ำหมักมูลไก่ไข่ ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 สาหร่ายมีการเจริญเติบโตต่ำสุด ตามลำดับ ส่วนการตรวจวัดปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต ในช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตสูงสุด พบว่า ปริมาณไนเตรทลดลงจาก 0.84 – 381.7 เป็น 0.03 – 84.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.00 – 7.02 เป็น 0.00 – 10.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงจาก 0.11 – 5.64 เป็น 0.04 – 1.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจาก 0.85 – 55.75 เป็น 1.17 – 50.64 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ สามารถสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ทั้งชนิดที่ง่าย เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน ไปจนถึงชนิดที่ใช้เทคโนโลยีซับซ้อน แต่ก็มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง ในอีกทางหนึ่งเราก็สามารถนำระบบธรรมชาติเข้ามาช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้อีกวิธีหนึ่งด้วย ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางธรรมชาติก็จะมีวิธีการที่หลากหลาย โดยอาจจะดูได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้รวบรวมและนำเสนอข้อสรุปตามที่กล่าวข้างต้น

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมุ่งศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในการทดลอง ใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืดจากฟาร์มกุ้งขาว ตั้งอยู่ที่อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดสุรินทร์ โดยเก็บน้ำทิ้งเมื่อเลี้ยงกุ้งขาวมาแล้วเป็นระยะเวลา 3 เดือน (กุ้งปริมาณ 500 กิโลกรัม หรือประมาณ 50,000 ตัว/บ่อ) ซึ่งมีประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

1. น้ำทิ้ง ตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้ในการบำบัดเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืดจากฟาร์มกุ้งขาวตั้งอยู่ที่อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดสุรินทร์ เป็นการเลือกตัวอย่างน้ำทิ้งแบบเจาะจง
2. สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ตัวอย่างสาหร่ายสไปรูลินาที่ใช้ในการทดลอง ได้ตัวอย่างจากภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)
2. ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง ทำจากพลาสติกขนาดความกว้างเท่ากับ 12 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 15 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 30 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำได้ 6 ลิตร
3. น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด
4. ภาชนะบรรจุน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวเพื่อขนย้ายมาทำการทดลอง

5. สวิงที่ใช้กรองสาหร่ายสไปรูลีนา (*Spirulina platensis*) ขนาดตา 60 ไมครอน
6. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
7. เครื่องกรองสุญญากาศ
8. ถังจลทรรศน์
9. กระบอกตวง
10. ถังฟองโฟม
11. ปั๊มลม (แรงลม AP-40 และลมออก 70 ลิตร/นาที)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 แผนการทดลอง

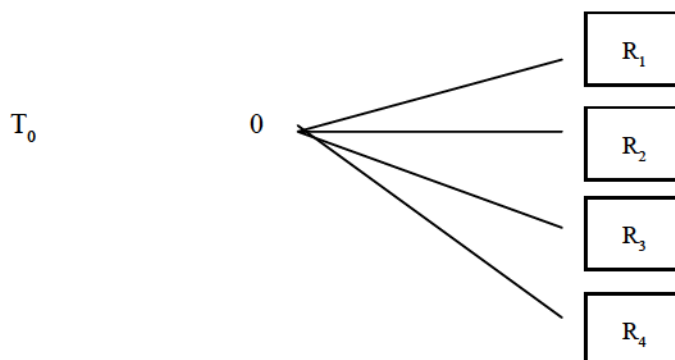
3.3.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยวางรูปแบบการทดลอง 5 x 4 Factorial Arrangement ดังแสดงในภาพ 3.1 จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

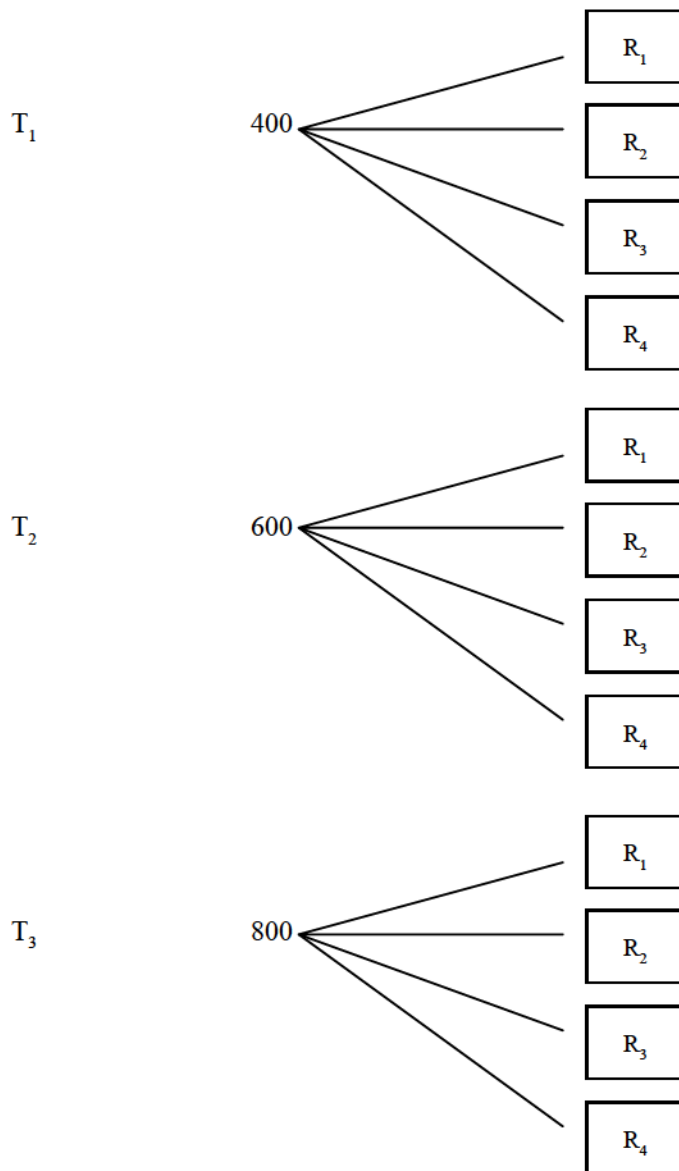
ปัจจัยที่ 1: ระดับปริมาณของสาหร่ายสไปรูลีนา แบ่งเป็น 5 ระดับ คือ 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม

ปัจจัยที่ 2: ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 0, 5, 10 และ 15 วัน

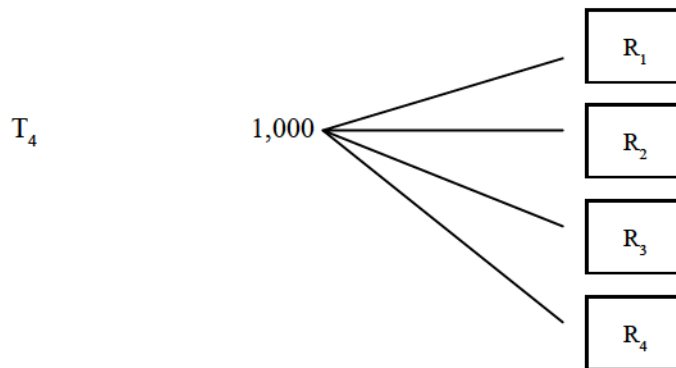
กลุ่มที่	ระดับปริมาณของสาหร่าย (มิลลิกรัม)	จำนวนหน่วยทดลอง (4 ซ้ำ)	ระยะเวลาในการเก็บ ตัวอย่างทดลอง 0, 5, 10 และ 15 วัน
----------	--------------------------------------	----------------------------	---



กลุ่มที่	ระดับปริมาณของสาหร่าย (มิลลิกรัม)	จำนวนหน่วยทดลอง (4 ซ้ำ)	ระยะเวลาในการเก็บ ต่อหน่วยทดลอง 0, 5, 10 และ 15 วัน
----------	--------------------------------------	----------------------------	---



กลุ่มที่	ระดับปริมาณของสาหร่าย (มิลลิกรัม)	จำนวนหน่วยทดลอง (4 ซ้ำ)	ระยะเวลาในการเก็บ ต่อหน่วยทดลอง 0, 5, 10 และ 15 วัน
----------	--------------------------------------	----------------------------	---



ภาพที่ 3.1 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ

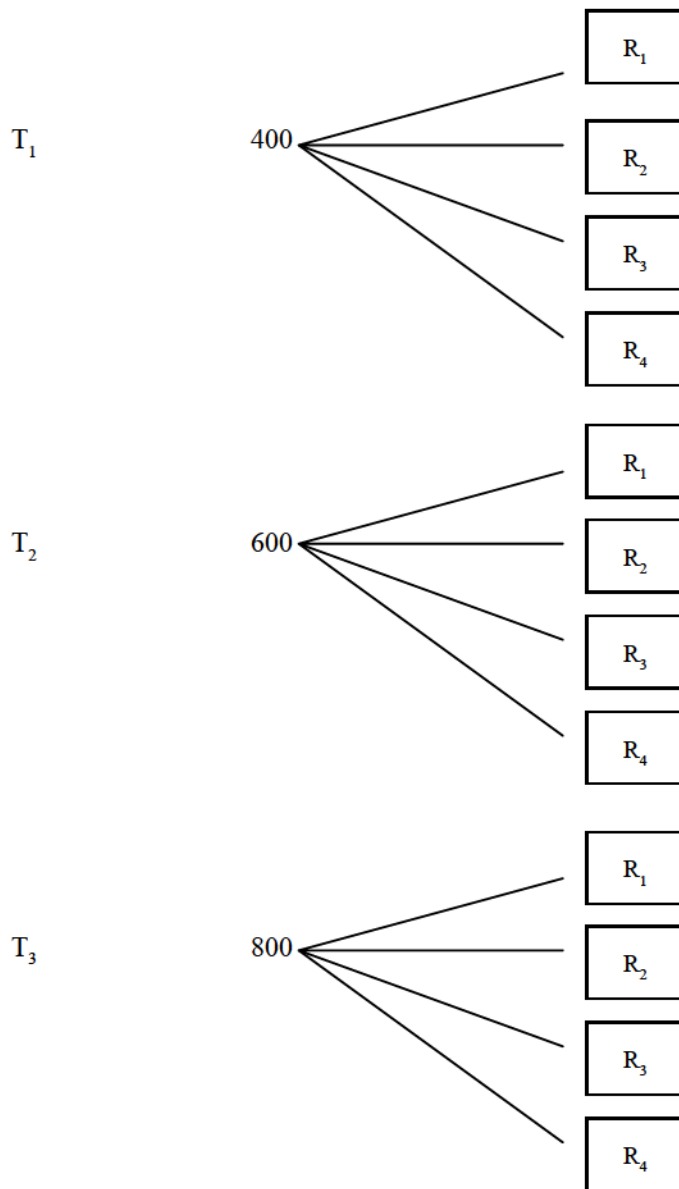
3.3.1.2 การศึกษาปริมาณของสาหร่ายสไปรูลีนา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยวางรูปแบบการทดลอง 4 x 4 Factorial Arrangement ดังแสดงในภาพ 3.2 จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ

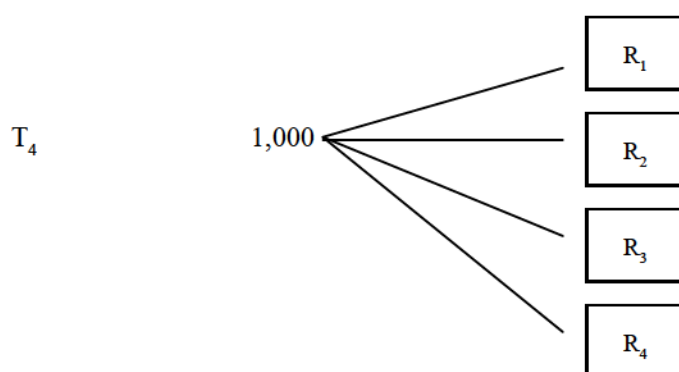
ปัจจัยที่ 1: ระดับปริมาณของสาหร่ายสไปรูลีนา แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม

ปัจจัยที่ 2: ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 0, 5, 10 และ 15 วัน

กลุ่มที่	ระดับปริมาณของสาหร่าย (มิลลิกรัม)	จำนวนหน่วยทดลอง (4 ซ้ำ)	ระยะเวลาในการเก็บ ต่อหน่วยทดลอง 0, 5, 10 และ 15 วัน
----------	--------------------------------------	----------------------------	---



กลุ่มที่	ระดับปริมาณของสาหร่าย (มิลลิกรัม)	จำนวนหน่วยทดลอง (4 ซ้ำ)	ระยะเวลาในการเก็บ ต่อหน่วยทดลอง 0, 5, 10 และ 15 วัน
----------	--------------------------------------	----------------------------	---



ภาพที่ 3.2 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินา

3.3.1.3 หน่วยทดลอง

การทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย 5 หน่วยทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับสิ่งทดลอง คือ ระดับปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินาที่แตกต่างกัน ดังนี้

- หน่วยทดลองที่ 1: ไม่มีการใส่สาหร่ายสไปรูลินา/น้ำ 5 ลิตร (T_0)
- หน่วยทดลองที่ 2: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 400 มิลลิกรัม/น้ำ 5 ลิตร (T_1)
- หน่วยทดลองที่ 3: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 600 มิลลิกรัม/น้ำ 5 ลิตร (T_2)
- หน่วยทดลองที่ 4: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 800 มิลลิกรัม/น้ำ 5 ลิตร (T_3)
- หน่วยทดลองที่ 5: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/น้ำ 5 ลิตร (T_4)

3.3.2 วิธีการทดลอง

3.3.2.1 การเตรียมน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด โดยเก็บน้ำทิ้งเมื่อเลี้ยงกุ้งขาวมาแล้วเป็นระยะเวลา 3 เดือน

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้ในการทดลองจะถูกสุ่มตัวอย่างไปจำนวน 4 ลิตร และนำส่งเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

1) คุณภาพน้ำ ดังนี้

- | | | |
|------------------------|---|----------------------------------|
| (1) บีโอดี | } | เก็บน้ำส่งวิเคราะห์ จำนวน 2 ลิตร |
| (2) ของแข็งแขวนลอย | | |
| (3) ฟอสฟอรัสรวม | } | เก็บน้ำส่งวิเคราะห์ จำนวน 1 ลิตร |
| (4) ไนโตรเจน | | |
| (5) แอมโมเนีย | | |
| (6) ไนโตรเจนรวม | | |
| (7) ความเป็นกรด – ด่าง | | |
| (8) ความเค็ม | | |

2) โลหะหนัก ดังนี้

- | | | |
|--------------|---|----------------------------------|
| (1) ตะกั่ว | } | เก็บน้ำส่งวิเคราะห์ จำนวน 1 ลิตร |
| (2)ปรอท | | |
| (3) แคดเมียม | | |

3.3.2.2 การเตรียมสาหร่าย

สาหร่ายสไปรูลินาที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยสาหร่ายที่ใช้ในการทดลองจะถูกสุ่มตัวอย่างไปบางส่วนและนำส่งเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

1) ไนโตรเจนรวม เก็บสาหร่ายส่งวิเคราะห์ จำนวน 2 กรัม

2) โลหะหนัก ดังนี้

- | | | |
|--------------|---|--------------------------------------|
| (1) ตะกั่ว | } | เก็บสาหร่ายส่งวิเคราะห์ จำนวน 2 กรัม |
| (2) ปรอท | | |
| (3) แคดเมียม | | |

สำหรับสาหร่ายที่เหลือจากการสุ่มตัวอย่าง จำนวน 11.2 กรัม จะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.3.1 สุ่มจับสลากลำดับเพื่อจัดเรียงสาหร่ายให้เข้ากับหน่วยทดลอง (Treatment) โดยจัดเรียงหน่วยทดลองที่ T_0 , T_1 , T_2 , T_3 และ T_4 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยทำการทดลองในภาชนะพลาสติกขนาดบรรจุน้ำได้ 6 ลิตร จำนวนหน่วยทดลองละ 4 ใบ รวม 20 ใบ

แถว ที่	T ₃				T ₁							
	R ₁	R ₄	R ₂	R ₃	R ₂	R ₁	R ₃	R ₄				
1												
แถว ที่	T ₀				T ₂				T ₄			
	R ₁	R ₃	R ₂	R ₄	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₄	R ₂	R ₁	R ₃
2												

ภาพที่ 3.3 ลักษณะการจัดเรียงหน่วยทดลอง

3.3.3.2 ตวงน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว จำนวน 5 ลิตร (ที่ระดับความลึกจากก้นภาชนะถึงผิวน้ำ 24 เซนติเมตร) ลงในภาชนะแต่ละใบจนครบทุกใบตามจำนวนหน่วยการทดลอง

3.3.3.3 ชั่งน้ำหนักสาหร่ายด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ตามอัตราน้ำหนักที่ใช้ในแต่ละหน่วยการทดลอง T_1 , T_2 , T_3 และ T_4 เท่ากับ 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม ตามลำดับ สำหรับ T_0 เป็นหน่วยควบคุมจะไม่มีใส่สาหร่าย

3.3.3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัส ในเตรท แอมโมเนีย ไนโตรเจนรวม ความเป็นกรด – ด่าง และความเค็ม จะเก็บหลังจากทำการทดลองครบ 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ โดยจะเก็บน้ำในเวลา 10.00 น. ทุกครั้ง ในทุกหน่วยทดลอง โดยแต่ละหน่วยทดลองสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากทั้ง 4 ซ้ำ ปริมาณเท่า ๆ กัน นำมาผสมรวมกันเป็นจำนวน 3 ลิตร แล้วบรรจุใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ จากนั้นนำขวดเก็บตัวอย่างน้ำแช่ในกล่องโฟมที่ภายในกล่อง ใส่น้ำแข็งไว้ เพื่อช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำ และเป็นการรักษาสภาพของน้ำก่อนทำการวิเคราะห์ แล้วนำส่งตรวจวิเคราะห์ต่อไป

3.3.3.5 เก็บตัวอย่างสาหร่ายเพื่อตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนรวม จะทำการเก็บก่อนการทดลองและหลังจากการทดลองครบ 15 วัน จากทุกหน่วยทดลองนำมาบรรจุใส่ถุงพลาสติก จากนั้นนำถุงเก็บตัวอย่างสาหร่ายแช่ในกล่องโฟมที่ภายในกล่องใส่น้ำแข็งไว้ ช่วยใน

การควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างสาหร่ายเพื่อเป็นการรักษาสภาพของสาหร่ายก่อนทำการวิเคราะห์ แล้วนำส่งตรวจวิเคราะห์ต่อไป

3.3.3.6 การหาชีวมวลของสาหร่าย นำสาหร่ายจากทุกหน่วยทดลองมาชั่งน้ำหนักเปียกหลังจากทำการทดลองครบ 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ โดยการกรองสาหร่ายด้วยสวิงและรอให้สะเด็ดน้ำประมาณ 1 นาทีแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำกลับคืนลงในภาชนะทดลองตามเดิม โดยการชั่งน้ำหนักสาหร่ายจะทำหลังจากการเก็บตัวอย่างน้ำแล้ว

3.3.3.7 การหาน้ำหนักของน้ำทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้นำภาชนะบรรจุน้ำทิ้งจากทุกหน่วยการทดลองมาชั่งน้ำหนัก นำน้ำหนักภาชนะเปล่าหักลบออกจากรับน้ำหนักภาชนะที่บรรจุน้ำในแต่ละหน่วยทดลองจะได้น้ำหนักของน้ำทิ้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการหาคลอรีนโตรเจนภายหลังทดลอง

3.3.3.8 หากผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก (ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งก่อนการทดลองพบโลหะหนักปนเปื้อนเกินกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำก็จะต้องทำการวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักในน้ำทิ้งของแต่ละหน่วยการทดลองภายหลังทำการทดลองครบ 5, 10 และ 15 วัน รวมทั้งทำการวิเคราะห์โลหะหนักในสาหร่ายทุกหน่วยทดลองภายหลังทำการทดลองครบ 15 วัน

3.3.4 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำจะใช้ตาม American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 2005. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
บีโอดี	5 – Days BOD Test
ของแข็งแขวนลอย	Gravimetric Method
ฟอสฟอรัสรวม	Ascorbic Acid Method
ไนเตรท	Distillation
แอมโมเนีย	Distillation

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
ไนโตรเจนรวม	นำค่าการตรวจวัด TKN 1) TKN วิธี Kjeldahl Method 2) Distillation
ความเค็ม	Salinometer ATAGO
ความเป็นกรด – ด่าง	Electrometric Method

แหล่งที่มา: APHA, AWWA and WEF., 2005.

3.3.5 วิธีวิเคราะห์โลหะหนัก

3.3.5.1 วิธีวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง จะใช้ตาม American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง

ดัชนีที่ตรวจวัด	วิธีการวิเคราะห์
ตะกั่ว	HNO ₃ (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มี pH น้อยกว่า 2 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
แคดเมียม	HNO ₃ (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มี pH น้อยกว่า 2 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
ปรอท	HNO ₃ (1 : 1) 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร ให้มี pH น้อยกว่า 2 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

แหล่งที่มา: APHA, AWWA and WEF., 1998 (อ้างถึงใน เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์, 2549: 54.)

3.3.5.2 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในสาหร่าย จะใช้ตาม American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในสาหร่ายสไปรูลินา

ดัชนีที่ตรวจวัด	วิธีการวิเคราะห์
ตะกั่ว	$\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไตเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
แคดเมียม	$\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไตเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
ปรอท	$\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไตเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

แหล่งที่มา: APHA, AWWA and WEF., 1998 (อ้างถึงใน เสาวนิตย์ พุฒิเลพงษ์, 2549: 55.)

3.3.6 การเก็บข้อมูล

- 3.3.6.1 วันที่เริ่มทำการทดลอง
- 3.3.6.2 คุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งก่อนทำการทดลอง
- 3.3.6.3 ปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายและโลหะหนักก่อนทำการทดลอง
- 3.3.6.4 ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้นของแต่ละหน่วยการทดลอง
- 3.3.6.5 คุณภาพน้ำเมื่อครบ 5 วัน
- 3.3.6.6 น้ำหนักสาหร่ายเมื่อครบ 5 วัน
- 3.3.6.7 คุณภาพน้ำเมื่อครบ 10 วัน
- 3.3.6.8 น้ำหนักสาหร่ายเมื่อครบ 10 วัน
- 3.3.6.9 คุณภาพน้ำเมื่อครบ 15 วัน
- 3.3.6.10 น้ำหนักสาหร่ายเมื่อครบ 15 วัน
- 3.3.6.11 ปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis System) เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของค่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองโดยใช้สถิติ Duncan's New Multiply Range Test (DNMRT)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) โดยนำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวมาเติมสาหร่ายสไปรูลินาที่ปริมาณเริ่มต้น 4 ระดับ ในปริมาณเท่ากับ 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัมเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลินา (ปริมาณเริ่มต้นของสาหร่าย เท่ากับ 0 (T_0) มิลลิกรัม/ลิตร) นำไปเพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีการควบคุมอัตราการให้แสง 2,000 ลักซ์ และมีการเติมอากาศ จากนั้นเก็บตัวอย่าง เมื่อมีระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเท่ากับ 5, 10 และ 15 วัน ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวก่อนการทดลอง พบว่า บีโอดีมีค่าเท่ากับ 64 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 116 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัสรวมมีค่าเท่ากับ 16.7 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ไนเตรทมีค่าเท่ากับ <0.1 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ไนโตรเจนรวมมีค่าเท่ากับ 7.0 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ความเป็นกรด – ด่างมีค่าเท่ากับ 6.4 ความเค็มมีค่าเท่ากับ 1.0 ppt ตะกั่วมีค่าเท่ากับ 11.20 ppb พรอทมีค่าเท่ากับ 0.53 ppb และแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 2.3 ppb ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวก่อนการทดลอง

คุณภาพน้ำ	ผลการวิเคราะห์
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	64
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	116
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)	16.7
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	<0.1
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	0.6
ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	7.0
ความเป็นกรด – ด่าง	6.4
ความเค็ม (ppt)	1.0

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คุณภาพน้ำ	ผลการวิเคราะห์
ตะกั่ว (ppb)	11.20
ปรอท (ppb)	0.53
แคดเมียม (ppb)	2.3

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลินา (ปริมาณเริ่มต้นของสาหร่ายเท่ากับ 0 (T_0) มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ระยะเวลาในการบำบัดเท่ากับ 5 วัน ทั้งนี้ เนื่องจากการทดลองเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายได้ตายลง จึงได้ทำการศึกษาหาสาเหตุจากการตายของสาหร่ายต่อ

4.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

4.1.1 อิทธิพลของปริมาณสาหร่ายสไปรูลินาที่มีต่อคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ปริมาณสาหร่ายสไปรูลินาในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าบีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ฟอสฟอรัสรวม (Total P) ไนเตรท (NO_3) แอมโมเนีย ($\text{NH}_3 - \text{N}$) ไนโตรเจนรวม (Total N) ความเค็ม (Salinity) ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd) โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมหลังการทดลอง

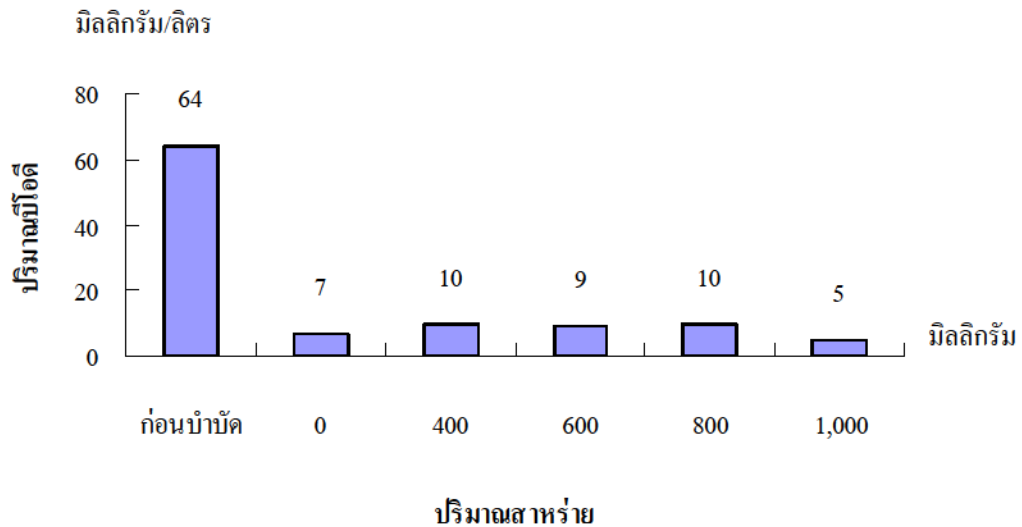
ดัชนีคุณภาพ	ก่อนบำบัด	จำนวนสาหร่าย (mg)				
		0	400	600	800	1,000
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	64	7	10	9	10	5
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	116	16	7	5	6	11

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพ	ก่อนบำบัด	จำนวนสาหร่าย (mg)				
		0	400	600	800	1000
ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)	16.7	18.3	18.3	20.3	20.3	20
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	0.6	1.1	0.8	0.9	0.9	1.1
ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)	7	3.5	7.0	7.0	7.0	3.5
ความเป็นกรด – ด่าง	6.4	7	7	7.4	7.2	7.1
ความเค็ม (ppt)	1	1	1	0	0	0
ตะกั่ว (ppb)	11.20	0.03	0	0	0	0
ปรอท (ppb)	0.53	0.69	0.23	0.15	0.46	0.01
แคดเมียม (ppb)	2.3	0.085	0.003	0.003	0.005	0.005

4.1.1.1 บีโอดี (BOD)

บีโอดีที่ปริมาณของสาหร่ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2) 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.1



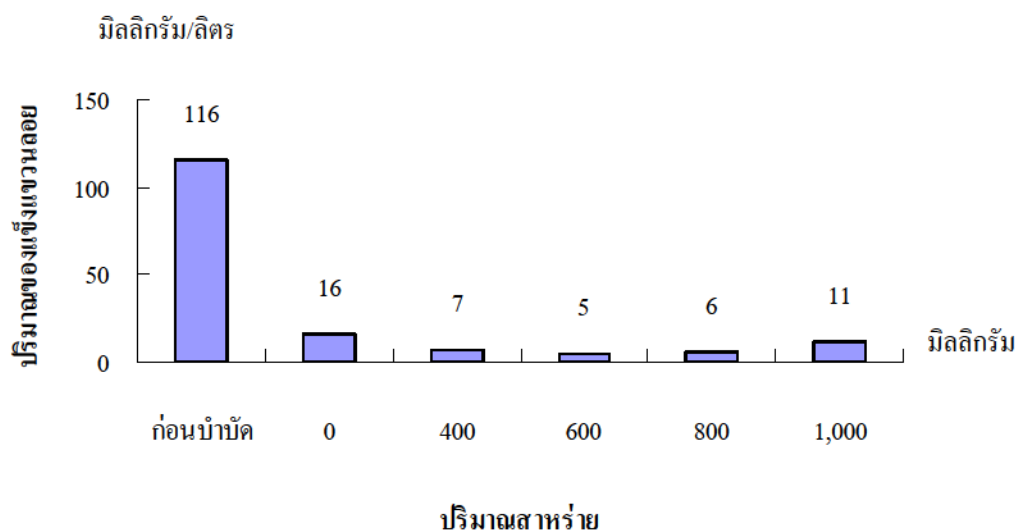
ภาพที่ 4.1 แสดงค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสารร้าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 , 800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าบีโอดีเท่ากับ 64 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการบำบัด พบว่า ค่าบีโอดีที่ปริมาณสารร้าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีเท่ากับ 7, 10, 9, 10 และ 5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์ของหน่วยทดลองที่เติมสารร้ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยปริมาณบีโอดีเท่ากับ 8.5 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าบีโอดีของกลุ่มควบคุม พบว่า ปริมาณบีโอดีกลับมีค่ามากขึ้น จะเห็นได้ว่า สารร้ายสไปรูไลนาไม่สามารถบำบัดบีโอดีได้ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ลดลงและปริมาณจุลินทรีย์ลดลง ทำให้ความต้องการปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ลดน้อยลงตามไปด้วย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2551)

4.1.1.2 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ของแข็งแขวนลอยที่ปริมาณของสารร้ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.2



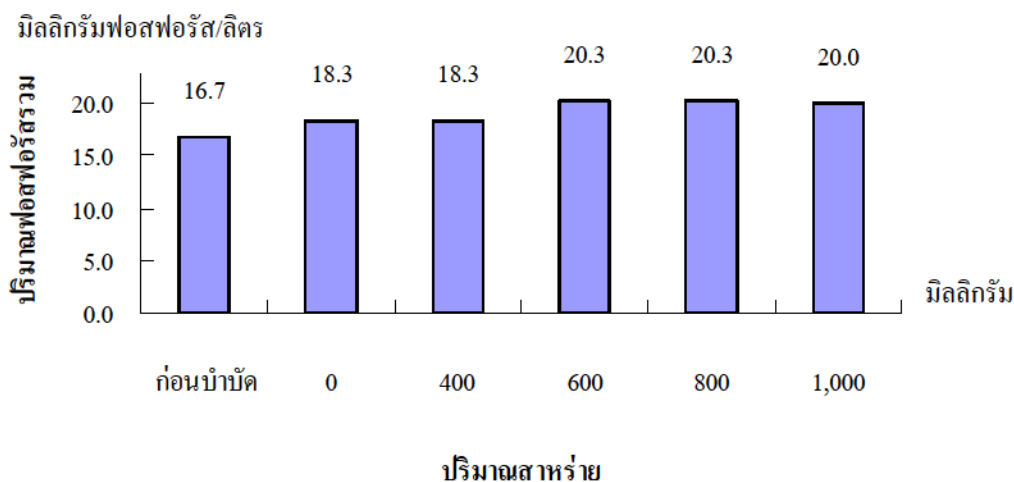
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าของแข็งแวนลอยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสาหร่าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 ,
800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 116 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการบำบัด พบว่า ค่าของแข็งแวนลอยที่ปริมาณสาหร่าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 16, 7, 5, 6 และ 11 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหน่วยควบคุมที่ไม่เติมสาหร่าย จะเห็นว่าสาหร่ายสไปรูลินามีความสามารถในการบำบัดของแข็งแวนลอยลดลงคิดเป็นร้อยละ 93.75 ทั้งนี้ อาจเกิดจากของแข็งแวนลอยส่วนใหญ่มีการตกตะกอนลงสู่ก้นภาชนะทดลอง และมีของแข็งแวนลอยอีกส่วนหนึ่งที่มายึดเกาะสาหร่าย จึงทำให้ปริมาณของแข็งแวนลอยที่มีอยู่ในน้ำมีปริมาณลดลง (พัฒน์ จันทโรทัย, 2536: 155)

4.1.1.3 ฟอสฟอรัสรวม (Total P)

ฟอสฟอรัสรวมที่ปริมาณของสาหร่ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.3



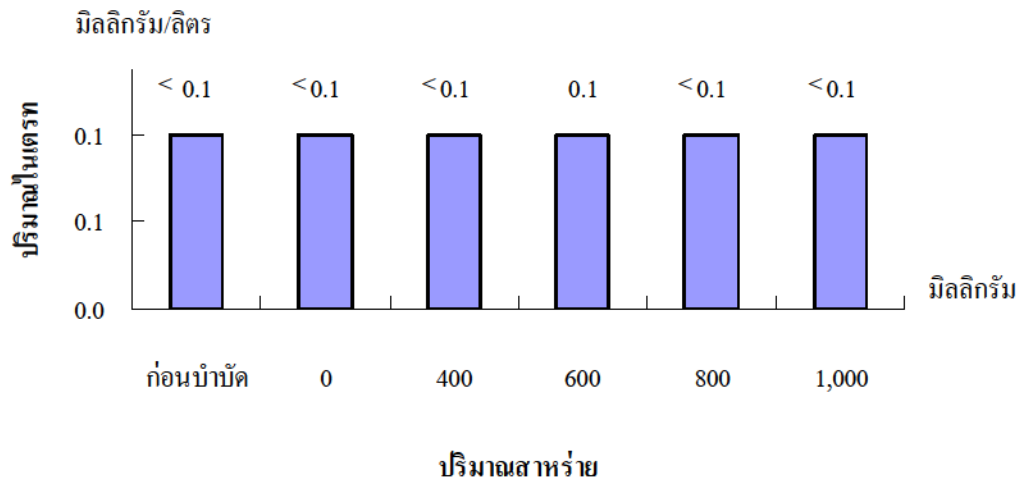
ภาพที่ 4.3 แสดงค่าฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสาหร่าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 ,
800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 16.7 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร และหลังการบำบัด พบว่า ค่าฟอสฟอรัสรวมที่ปริมาณสาหร่าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 18.3, 18.3, 20.3, 20.3 และ 20.0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสจะได้เท่ากับ 19.72 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ซึ่งจากค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาเทียบกับค่าฟอสฟอรัสก่อนการทดลองและค่าจากกลุ่มควบคุมที่ไม่เติมสาหร่าย พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังนั้น จะเห็นว่าสาหร่ายสไปรูลีนาไม่สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ ทั้งนี้ อาจเกิดจากสาหร่ายสไปรูลีนา มีการนำเอาฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งมาใช้ในการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อสาหร่ายและน้ำทิ้งที่มีสีเขียวของแพลงก์ตอนชนิดอื่น ๆ ตายลง จึงเกิดการเน่าเปื่อยทำให้ธาตุอาหารในส่วนของฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตที่มีอยู่ในสาหร่ายตามธรรมชาติกลับคืนสู่แหล่งน้ำทิ้งอีกครั้ง จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มขึ้น (วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง, 2541: 21)

4.1.1.4 ไนเตรท (NO_3)

ไนเตรทที่ปริมาณของสาหร่ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.4



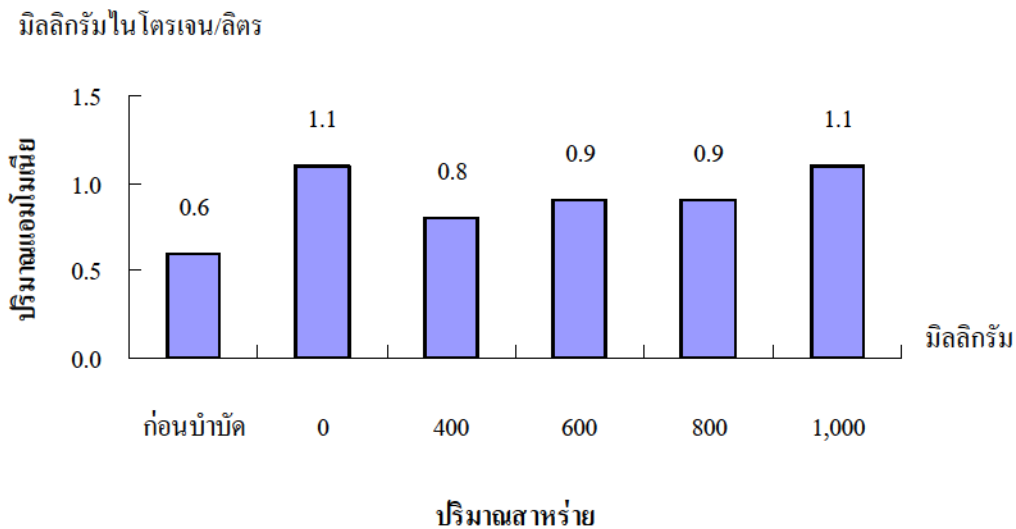
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสารห่วย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 ,
800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ <0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และหลังการบำบัด พบว่า ค่าไนเตรทที่ปริมาณสารห่วย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ <0.1, <0.1, 0.1, <0.1 และ <0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่า สารห่วยสไปรูลินาไม่มีผลในการลดค่าไนเตรท เนื่องจากการทดลองก็มีค่าเท่ากับ <0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เช่นกัน

4.1.15 แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$)

แอมโมเนียที่ปริมาณของสารห่วยในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

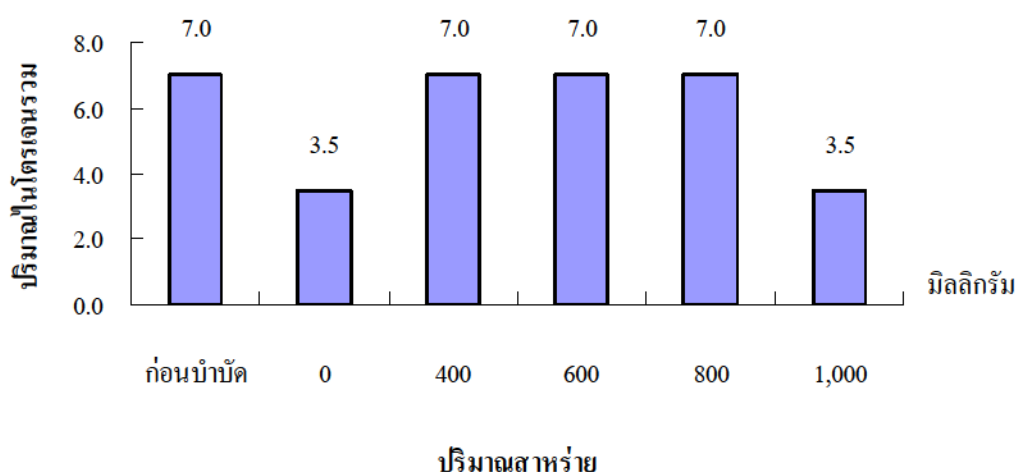
หมายเหตุ : ปริมาณของสารหว่าน 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 ,
800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และหลังการบำบัด พบว่า ค่าแอมโมเนียที่ปริมาณสารหว่าน 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 1.1, 0.8, 0.9, 0.9 และ 1.1 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เดิมสารหว่านมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.925 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่ามากกว่าก่อนการบำบัด จึงสรุปได้ว่าสารหว่านสไปรูลไนาไม่สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่สารหว่านและน้ำทิ้งที่มีสีเขียวของแพลงก์ตอนชนิดอื่นอยู่ด้วยตายลง จึงทำให้ซากของสารหว่านกับแพลงก์ตอนถูกย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง (สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา, 2551)

4.1.1.6 ไนโตรเจนรวม (Total N)

ไนโตรเจนรวมที่ปริมาณของสารหว่านในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.6

มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร



ภาพที่ 4.6 แสดงค่าไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

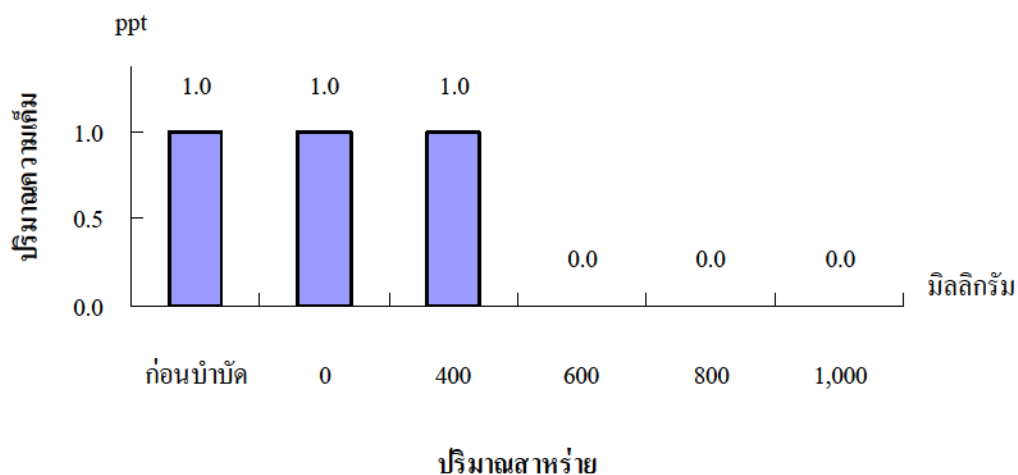
หมายเหตุ : ปริมาณของสารหว่าน 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 ,

800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.0 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และหลังการบำบัด พบว่า ค่าไนโตรเจนรวมที่ปริมาณสารหว่าน 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีเท่ากับ 3.5, 7.0, 7.0, 7.0 และ 3.5 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสารหว่านมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.125 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า สารหว่านไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนรวมได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารหว่านและน้ำทิ้งที่มีสีเขียวของแพลงก์ตอนต่าง ๆ คายลง จึงทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ และทำให้ไนโตรเจนกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น (เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์, 2549: 62)

4.1.1.7 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มที่ปริมาณของสารหว่านในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.7



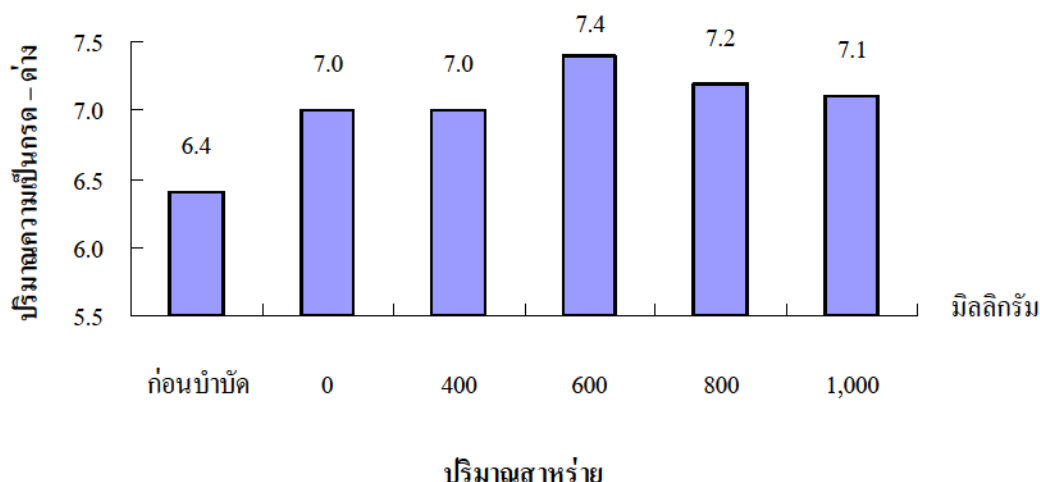
ภาพที่ 4.7 แสดงค่าความเค็มในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสาหร่าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 , 800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 1 ppt และหลังการบำบัด พบว่า ค่าความเค็มที่ปริมาณสาหร่าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 1.0, 1.0, 0, 0 และ 0 ppt ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 ppt ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้จะเห็นว่าความเค็มลดลงคิดเป็นร้อยละ 75 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการที่สาหร่ายสไปรูลีนาสามารถดูดซับความเค็มจากน้ำทิ้งด้วยกระบวนการไดอะไลซิส (Dialysis) ซึ่งเป็นการแพร่ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (เกษม ศรีพงษ์, 2551)

4.1.1.8 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่างที่ปริมาณของสาหร่ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความเป็นกรด - ด่างในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

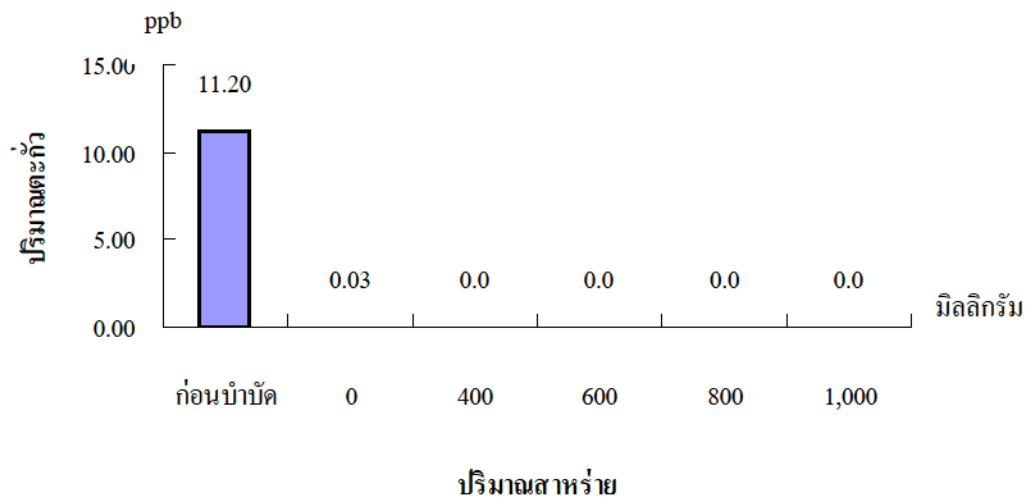
หมายเหตุ : ปริมาณของสาร๋ย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 ,

800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.4 และหลังการบำบัด พบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างที่ปริมาณสาร๋ย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 7.0, 7.0, 7.4, 7.2 และ 7.1 ตามลำดับ เมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาร๋ยมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.17 จะเห็นได้ว่า ก่อนการบำบัดในน้ำทิ้งมีค่าเป็นกรด แต่เมื่อหลังการบำบัดผ่านไปเป็นเวลา 5 วัน กลับมีค่าเป็นด่างเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเกิดจากการที่สาร๋ยและน้ำทิ้งที่มีสีเขียวของแพลงก์ตอนชนิดอื่นอยู่ด้วยตายลง ซากของสาร๋ยและแพลงก์ตอนที่ตายจะถูกย่อยสลาย จึงทำให้มีการปล่อยแอมโมเนียกลับคืนสู่น้ำทิ้งอีกครั้ง ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำมีสถานะเป็นด่างเพิ่มขึ้น (มัลลิกา ปัญญาอะโป, 2544: 2 – 3, 3 – 1) หรืออาจเกิดจากสถานะที่มีการควบคุมอัตราการให้แสงในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้สาร๋ยมีการสังเคราะห์แสงตลอดเวลา (ในช่วงที่สาร๋ยยังมีชีวิตอยู่) จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในน้ำทิ้งลดลง และส่งผลให้ความเป็นด่างสูงขึ้น (สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา, 2551)

4.1.1.9 โลหะหนัก

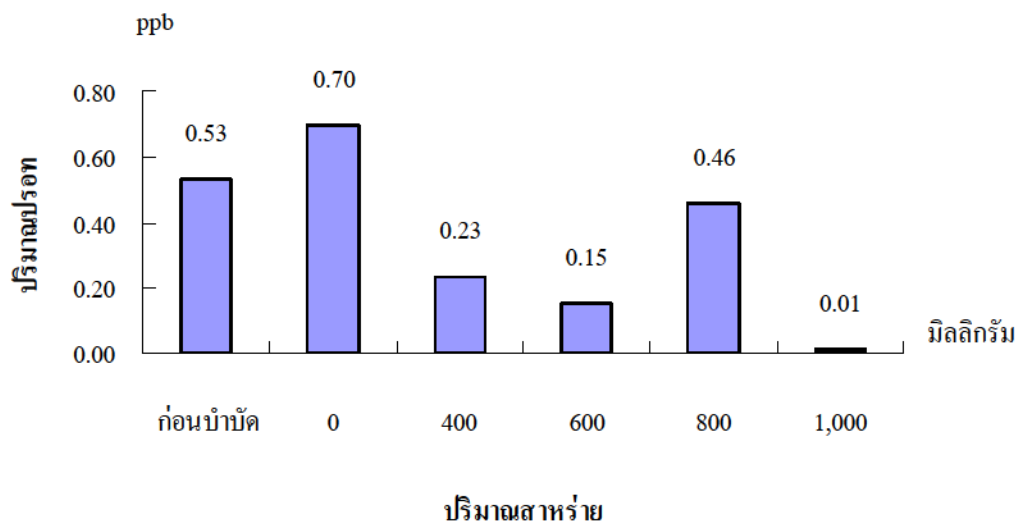
1) ตะกั่วที่ปริมาณของสาร๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงค่าตะกั่วในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสาหร่าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 , 800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

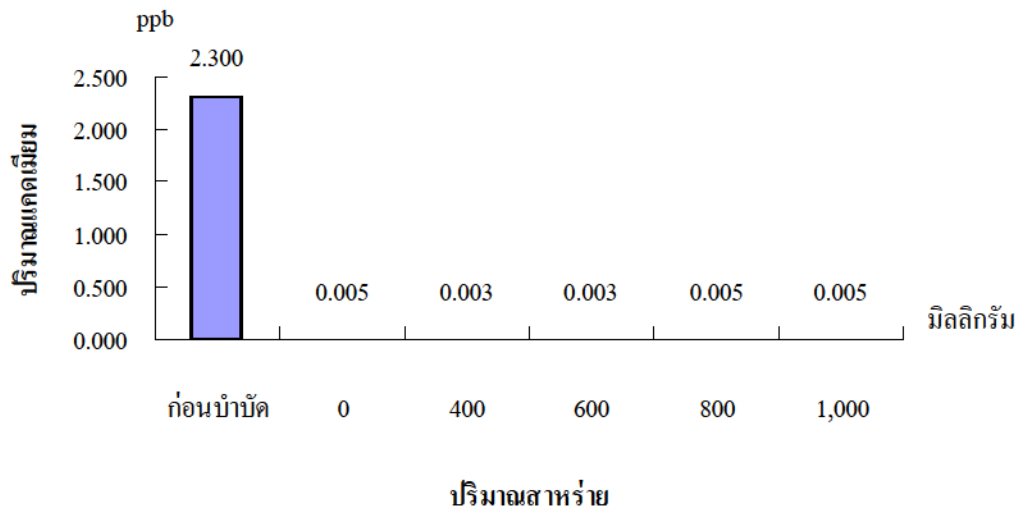
2) ปริมาณที่ปริมาณของสาหร่ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงค่าปรอทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสาหร่าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 , 800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

3) แคลเมียมที่ปริมาณของสาหร่ายในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 0 (T_0), 400 (T_1), 600 (T_2), 800 (T_3) และ 1,000 (T_4) มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงค่าแคลเซียมในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

หมายเหตุ : ปริมาณของสาหร่าย 0 มิลลิกรัม = T_0 , 400 มิลลิกรัม = T_1 , 600 มิลลิกรัม = T_2 , 800 มิลลิกรัม = T_3 และ 1,000 มิลลิกรัม = T_4

ผลการวิเคราะห์โลหะในน้ำทิ้ง มีดังนี้ 1) ตะกั่ว ก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 11.20 ppb และหลังการบำบัด พบว่า ค่าตะกั่วที่ปริมาณสาหร่าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 0.03, 0, 0, 0 และ 0 ppb ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ppb ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้จะเห็นว่าสาหร่ายสไปรูลินามีความสามารถในการบำบัดตะกั่วคิดเป็นร้อยละ 100 2) โปรอท ก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.53 ppb และหลังการบำบัด พบว่า ค่าโปรอทที่ปริมาณสาหร่าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 0.69, 0.23, 0.15, 0.46 และ 0.01 ppb ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาทำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาหร่ายคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 ppb ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้จะเห็นว่าสาหร่าย สไปรูลินามีความสามารถในการบำบัดโปรอทคิดเป็นร้อยละ 60.37 และ 3) แคลเมียม ก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.3 ppb และหลังการบำบัด พบว่า ค่าแคลเมียมที่ปริมาณสาหร่าย 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 0.085, 0.003, 0.003, 0.005 และ 0.005 ppb ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองที่เติมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0035 ppb ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้จะเห็นว่าสาหร่ายสไปรูลินามีความสามารถในการบำบัดแคลเมียมคิดเป็นร้อยละ 99.84 ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง อาจสรุปได้ว่า

สาหร่ายสไปรูลินามีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง โปรท และตะกั่ว ซึ่งเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร Zarrouk ในสภาพอุณหภูมิห้อง (28 – 32 องศาเซลเซียส) แสงสว่าง 40 วัตต์ ในการทดลองจะเติมโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง โปรท และตะกั่ว ปริมาณ 1 – 3 ppm, 5 – 300 ppb และ 0.2 – 0.6 ppm ตามลำดับ ลงไปในน้ำเสียที่มีอาหารสูตร Zarrouk จากการศึกษา พบว่า ช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากที่สุด คือ 16 วัน และมีอัตราการสะสมโลหะหนักอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการฟักตัวและลดลงในระยะต่อมา โดยสาหร่ายสไปรูลินา จะหยุดการเจริญเติบโตเมื่อมีการปนเปื้อนของทองแดงและตะกั่วเกินกว่า 1 และ 0.2 ppm. ตามลำดับ (Gannikar Disyawongs, 2002: 33) หรืออาจเกิดจากการที่สาหร่ายสามารถกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายที่ประกอบด้วยโลหะหนักหลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเซลล์ของสาหร่ายที่ตายแล้ว สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ (Mehta and Gaur, 2005)

4.1.2 ปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายสไปรูลินา

ปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายสไปรูลินา ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ตะกั่ว โปรท และแคดเมียม ทั้งนี้ เนื่องจากการทดลองเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายได้ตายลง จึงมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายสไปรูลินา

	ก่อนการบำบัด (ppb)	หลังการบำบัด (ppb)
ตะกั่ว	790	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
โปรท	5.96	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
แคดเมียม	240	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

4.1.3 ปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายสไปรูลินา

ปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายสไปรูลินา มีค่าก่อนการทดลองเท่ากับ 6.17 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ทั้งนี้ เนื่องจากการทดลองเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายได้ตายลง จึงไม่สามารถสรุปค่าหลังการทดลองได้

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายสไปรูลีนาและระยะเวลาที่ใช้กับประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง

ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายสไปรูลีนาและระยะเวลาที่ใช้กับประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง เนื่องจากสาหร่ายสไปรูลีนาได้ตายลงหลังจากทำการทดลองผ่านไป 5 วัน

4.3 ความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลีนาบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม สามารถสรุปได้ว่าสาหร่ายสไปรูลีนามีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แต่ไม่เหมาะสม เนื่องจากบ่อเลี้ยงกุ้งทั่วไปเป็นบ่อดินซึ่งมีแพลงก์ตอนสัตว์อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ และแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร ถ้านำสาหร่ายสไปรูลีนาซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชมาบำบัด จะถูกกินจนหมด จึงไม่เหมาะสมที่จะนำสาหร่ายสไปรูลีนามาใช้ในการบำบัด

4.4 การศึกษาสาเหตุการตายของสาหร่ายสไปรูลีนา

หลังการทดลองผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายสไปรูลีนาได้ตายลง จึงนำไปตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า มีแพลงก์ตอนสัตว์อาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก จึงสันนิษฐานไว้ 2 ประเด็น คือ เกิดจากการขาดอาหารหรือเกิดจากการที่แพลงก์ตอนสัตว์กินสาหร่าย ซึ่งได้ทำการหาสาเหตุ โดยการนำน้ำทิ้งหลังจากการทดลองครบ 5 วัน ไปกรองเอาแพลงก์ตอนออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 โดยใช้กระดาษกรองขนาด 0.045 มิลลิเมตร (ซึ่งสามารถกรองเอาแพลงก์ตอนต่าง ๆ ออกจากน้ำนั้นให้หมดได้) จากนั้นนำน้ำที่กรองแพลงก์ตอนออกแล้ว นำมาแบ่งออกเป็น 4 ขวด เท่า ๆ กัน แล้วนำไปเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาภายใต้สภาวะเดิม เป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการทดลอง พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน สาหร่ายเจริญเติบโตดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่



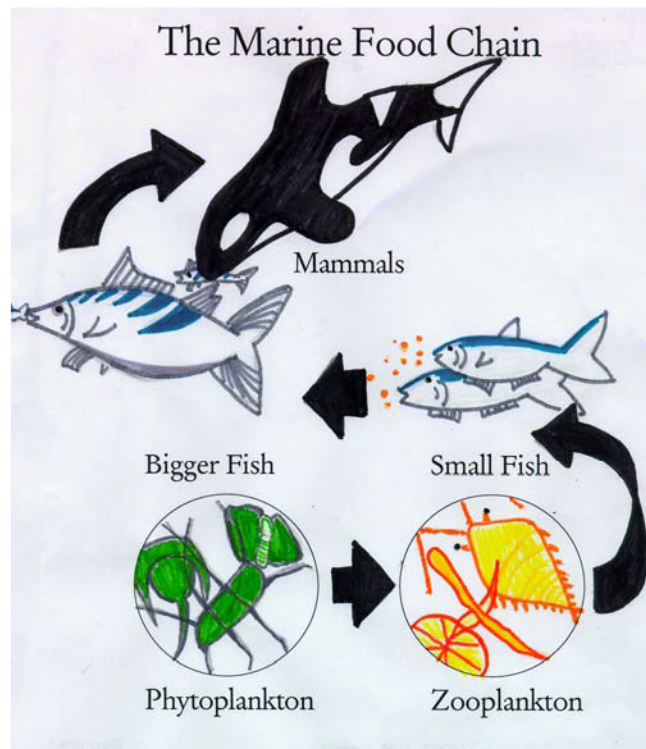
ภาพที่ 4.12 การกรองแพลงก์ตอนสัตว์ออกจากเครื่องกรองสุญญากาศ



ภาพที่ 4.13 น้ำทิ้งที่ผ่านการกรองแพลงก์ตอนสัตว์ออกและเติมสาหร่ายสไปรูลินา

จึงสามารถสรุปได้ว่า สาเหตุการตายของสาหร่ายสไปรูลินาไม่ได้เกิดจากการขาดอาหาร เพราะเมื่อทำการทดลองผ่านไปเป็นเวลา 7 วัน สาหร่ายสไปรูลินายังเจริญเติบโตดี แต่พบว่าเกิดจากการที่แพลงก์ตอนสัตว์กินแพลงก์ตอนพืช เพราะเมื่อกรองเอาแพลงก์ตอนออกจากน้ำทิ้ง กลับพบว่า สาหร่ายสไปรูลินายังสามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Gross and Phillips (2008) ที่กล่าวเกี่ยวกับเรื่องของห่วงโซ่อาหาร ไว้ว่า Phytoplankton หรือแพลงก์ตอนพืช เป็นสิ่งมีชีวิตลำดับแรกของห่วงโซ่อาหาร ตามด้วย Zooplankton หรือแพลงก์ตอนสัตว์ซึ่งดำรงชีวิตอยู่โดยอาศัยแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร ในขณะเดียวกัน Zooplankton ก็เป็นอาหารของสัตว์น้ำเล็ก ๆ ปลา และสัตว์มีเปลือกแข็งชนิดอื่น ๆ เช่น กุ้ง ปู ซึ่งสัตว์น้ำเล็ก ๆ เหล่านี้ก็จะเป็อาหารของปลา และสิ่งมีชีวิตอื่นที่มีขนาดใหญ่ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 4.14 เมื่อพิจารณากระบวนการของห่วงโซ่อาหาร

อย่างมีเหตุผลแล้ว จะสามารถเข้าใจได้อย่างง่ายดายได้ว่าทำไมถ้าปราศจากแพลงก์ตอนแล้วสัตว์น้ำในทะเลจะตายหมด ถ้าปราศจากแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ก็จะมีไม่มีอาหารและตายไป ถ้าปราศจากแพลงก์ตอนสัตว์ ปลาและสัตว์เล็ก ๆ ชนิดอื่น ๆ ก็ไม่มีอาหารและต้องตายไปเช่นกัน



ภาพที่ 4.14 ห่วงโซ่อาหารในน้ำเค็ม

แหล่งที่มา: Gross and Phillips, 2008.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยใช้สาหร่ายสไปรูลไลนา ที่ปริมาณเริ่มต้น 4 ระดับ ในปริมาณเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไลนา (ปริมาณเริ่มต้นของสาหร่าย เท่ากับ 0 มิลลิกรัม) มีระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งเท่ากับ 5 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ปริมาณสาหร่ายแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ปริมาณสาหร่ายแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

ดัชนีคุณภาพ	ผลการวิเคราะห์	
	ได้ผล	ไม่ได้ผล
บีโอดี		/
ของแข็งแขวนลอย	/	
ฟอสฟอรัสรวม		/
ไนเตรท		/
แอมโมเนีย		/
ไนโตรเจนรวม		/
ความเค็ม	/	
ความเป็นกรด – ด่าง		/
ตะกั่ว	/	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพ	ผลการวิเคราะห์	
	ได้	ไม่ได้
ปรอท	/	
แคดเมียม	/	

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1.1 ค่าบีโอดี ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 64 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 8.5 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลินา พบว่า ปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลินาไม่สามารถบำบัดบีโอดีได้

5.1.1.2 ของแข็งแขวนลอย ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 116 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 7.25 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลินา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลินามีความสามารถในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยร้อยละ 93.75

5.1.1.3 ฟอสฟอรัสรวม ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 16.7 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 19.72 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลินา พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลินาไม่สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้

5.1.1.4 ไนเตรท ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ <0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และเมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน พบว่า ค่าไนเตรทไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลินาไม่มีผลในการลดค่าไนเตรทได้

5.1.1.5 แอมโมเนีย ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 0.925 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลินา ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้แอมโมเนียมีค่ามากกว่าชุดควบคุม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลินาไม่สามารถบำบัดแอมโมเนียได้

5.1.1.6 ไนโตรเจนรวม ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.0 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 6.125 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน

มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไนา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลไนา ไม่มีความสามารถในการบำบัดในโตรเจนรวมได้

5.1.1.7 ความเค็ม ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.0 ppt และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 0.25 ppt เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไนา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลไนามีความสามารถในการบำบัดความเค็มเฉลี่ยร้อยละ 75

5.1.1.8 ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.4 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 7.175 เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไนา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลไนาไม่สามารถบำบัดความเป็นกรด – ด่างได้ เพราะเกิดภาวะความเป็นด่างมากเกินไป

5.1.1.9 ตะกั่ว ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 11.2 ppb และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 0 ppb เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไนา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า จากค่าเฉลี่ยที่ได้จะเห็นว่าสาหร่ายสไปรูลไนามีความสามารถในการบำบัดตะกั่วคิดเป็นร้อยละ 100

5.1.1.10 พรอท ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.53 ppb และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 0.21 ppb เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไนา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลไนามีความสามารถในการบำบัดพรอทเฉลี่ยร้อยละ 60.37

5.1.1.11 แคดเมียม ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.3 ppb และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 0.0035 ppb เมื่อภายหลังการบำบัดผ่านไป 5 วัน มาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายสไปรูลไนา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลไนามีความสามารถในการบำบัดแคดเมียมเฉลี่ยร้อยละ 99.84

5.1.2 ปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายสไปรูลไนา

ปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายสไปรูลไนา มีค่าก่อนการทดลองเท่ากับ 6.17 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อภายหลังการทดลองเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายสไปรูลไนาได้ตายลง จึงไม่สามารถสรุปผลได้

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายสไปรูลีนาและระยะเวลาที่ใช้กับประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง

ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายสไปรูลีนาและระยะเวลาที่ใช้กับประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง เนื่องจากสาหร่ายสไปรูลีนาได้ตายลงหลังจากทำการทดลองผ่านไป 5 วัน

5.1.4 ความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลีนาบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

สามารถสรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลีนามีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวได้พอสมควร ส่วนเรื่องความเป็นไปได้ในการนำมาใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวนั้นขึ้นอยู่กับว่าจะมีวิธีการจัดการกับแพลงก์ตอนสัตว์ซึ่งเป็นอุปสรรคในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาได้อย่างเหมาะสมมากน้อยเพียงใด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

5.2.1.1 ควรใช้พืชชนิดอื่นที่มีขนาดใหญ่กว่าตัวแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) และเป็นพืชที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ เนื่องจาก ในบ่อเลี้ยงกุ้งทั่วไปเป็นบ่อดิน ซึ่งมีแพลงก์ตอนสัตว์อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ และแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร ถ้านำสาหร่ายสไปรูลีนาซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชมาบำบัด จะถูกกินจนหมด จึงไม่เหมาะสมที่จะนำสาหร่ายสไปรูลีนามาใช้ในการบำบัด

5.2.1.2 หากต้องการใช้สาหร่ายสไปรูลีนาใช้ในการบำบัดจริง ควรจะมีการจัดการกับแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) อย่างเหมาะสม ซึ่งต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย เนื่องจากการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนามีต้นทุนค่อนข้างสูง

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

การตัดสินใจว่าจะนำพืชชนิดใดมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมนั้น ควรมีการศึกษาวงจรชีวิตของพืชชนิดนั้น และศึกษาเกี่ยวกับระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเป็นอย่างดี เพื่อจะได้ทราบถึงความเหมาะสมเบื้องต้นในการนำพืชชนิดนั้นมาใช้ในการบำบัด

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.

กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2550 ก. ข้อมูลการสำรวจการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม. กรมควบคุมมลพิษ.

ค้นวันที่ 6 มกราคม 2551. จาก <http://203.151.120.240/pcd/images/stories/dusit/rptshrimp50.doc>

กรมควบคุมมลพิษ. 2550 ข. เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย ราชกิจจานุเบกษา. ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 124 ตอนพิเศษ 84ง (13 กรกฎาคม)

ค้นวันที่ 1 เมษายน 2550. จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/water_aquacult.html#

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ. กรุงเทพมหานคร:

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กาญจนาภรณ์ ลีวนโนมนต์. 2527. สาทรัย. กรุงเทพมหานคร: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกษม ศรีพงษ์. 2551. การเคลื่อนที่ของสาร. ค้นวันที่ 30 กรกฎาคม 2551.

จาก <http://www.thaiedresearch.org/thaigifted/system/file/1423.doc>

คณิต ไชยคำ และพุทธร ส่องแสงจินดา. 2535. คุณสมบัติ และปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

แบบพัฒนา อำเภอรอนดง จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2535. สงขลา:

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง.

คณิต ไชยคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อ

สิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. กรุงเทพมหานคร:

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

จรัญ แสงจิตต์. 2538. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบ่อผึ่งและ

บ่อผักนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จักรพงษ์ ศรีพนมยม. 2531. หนังสือการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อการกินสดของมนุษย์และ

เสริมในอาหารสัตว์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. ค้นวันที่ 2 มกราคม 2551.

จาก <http://203.158.191.28/SHR/data/shrimp%202770.htm>

- จิตรดา โกสินทรานนท์ และวรวรรณ ขาวสบาย. 2538. การศึกษาการบำบัดสีในน้ำเสียจากการ
ต้มเปลือกปอสาในบ่อสาหร่าย. ปัญหาพิเศษวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เจียมจิตต์ บุญสม. 2544. ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง ผลทางการรักษาโรคที่ญี่ปุ่นค้นพบ.
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. ค้นวันที่ 30 พฤศจิกายน 2550.
จาก <http://www.gd-1.com/index.html>
- ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2531. ระบบน้ำและของเสียในบ่อเลี้ยง. กรุงเทพมหานคร: ศรีเมืองการพิมพ์.
คูสิต ดันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยคำ. 2536. ปริมาณมวลสารทั้งหมด
ที่ปลดปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2536.
สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.
- ธิดา วิเชียรเพชร. 2545. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียชุมชนโดยใช้ดอกธูปฤาษี.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธิดาภรณ์ ช่อเพชรไทย. 2543. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ กรณีศึกษา โครงการศึกษาวิจัยและ
พัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. สารนิพนธ์ปริญญาโท
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ปฏิพันธ์ นันทขว้าง. 2543. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในบ่อเพาะเลี้ยงจำลอง
ด้วยน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประพนธ์ พรหมทอง, เทพศักดิ์ จันทร์อุปละ, ปกร วิเชียรสรรค์ และศาสตร์พงษ์ ไสยมรรคา. 2539.
การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
โดยใช้ผักกะเจ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด. 2536. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- พงษ์ศักดิ์ ศรีเจริญ. 2544. การเปลี่ยนแปลงของเมงกานีสและเหล็กในดินจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาล
เมืองเพชรบุรี โดยการซึมผ่านแปลงหญ้าต่างชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- พจนารถ ปิติปัญญา. 2543. ผลกระทบภายนอกจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*; Frabricius) ในเขตน้้ำจืด: กรณีศึกษาอำเภอบางปลาหม้ จังหวัดสุพรรณบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรทิภา ตั้งใจตรง. 2533. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาสภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัฒน์ จันทร์โรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 11(3): 154 – 157.
- เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข. 2535. การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภาวสุระ ลิ้มปีสวัสดิ์. 2545. ประสิทธิภาพและคุณภาพน้ำได้ผิวดินในแปลงทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้หญ้ากรอง บริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. 2540. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. 2538. หลักการเลี้ยงกุ้งในระบบปิดและระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่. กรุงเทพมหานคร: สโมสรนิสิต คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มัลลิกา ปัญญาอะโป. 2544 . เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 516 457 การบำบัดน้ำเสีย 2. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- มูลนิธิชัยพัฒนา. 2543. คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิชัยพัฒนา.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. 2544. สาหร่ายสไปรูลินา. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- รัตนา ชัยกล้าหาญ, มารศรี เรื่องจิตชัชวาลย์, บุญยา บุญนาค และมรกต ดันติเจริญ. 2545. การเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* ด้วยน้ำหมักมูลไก่. คั้่นวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2551. จาก http://www.scisoc.or.th/stt/28/web/content/M_13/M43.htm
- ลือชัย หุ่นศิริ และนิรันดร์ พุดตาน. 2535. การผลิตปุ๋ยหมักจากดินเลนนาุ้ง. เอกสารเผยแพร่เลขที่ 3/2535. จันทบุรี: ศูนย์การศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี.

- วารินทร์ พิศไหมก. 2546. ประสิทธิภาพของวัสดุปูนชนิดเมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินพื้นที่บ่อและคุณภาพน้ำในระบบจำลองบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง. 2541. ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina spp.*) ในการลดค่าบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของน้ำเสียจากโรงงานผักดอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิสาชา ภูจินดา. 2549. เทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ "อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ" สกว. ชุดที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2551. กุ้งขาว. ค้นวันที่ 15 มีนาคม 2551. จาก www.nicaonline.com
- สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. 2551. คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งทะเล. ค้นวันที่ 30 มิถุนายน 2551. จาก www.aquathai.org/images/sciencearticle/sciencearticle_article41_file50.doc
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2547. มนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551. ระบบนิเวศ. ค้นวันที่ 30 มิถุนายน 2551. จาก <http://kroo.ipst.ac.th/biology/downloads/Chapter21Ecosystem.pdf>
- สุชาติ อิงธรรมจิตต์. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา). วารสารประมง. 6: 615 – 629.
- สุทธิพรรณ อายะวรรณ และอนุพงษ์ จันทสาขา. 2536. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสาในบ่อสาหร่าย. ปัญหาพิเศษวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2536. ผลของระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร Zarrouk ต่อการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- เสาวนิตย์ พุฒิเลอพงศ์. 2549. การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง
กุ้งกุลาดำโดยใช้ไข่น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตร.
สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2545. มติคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
เมื่อวันที่ 6 มกราคม 2551. จาก www.onep.go.th/neb
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. 2550. รายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
และกุ้งขาวแวนนาไมในพื้นที่น้ำจืด ปี 2550. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ.
เมื่อวันที่ 6 มกราคม 2551.
จาก <http://203.151.120.240/pcd/images/stories/dusit/rptshrimp50.doc>
- อนันต์ ดันสุตะพานิช. 2542. แนวทางฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (การเลี้ยงกุ้งระบบรีไซเคิลในมิติที่
ประหยัด ลดมลพิษและใช้ทรัพยากรยั่งยืน). จะเชิงเทรา: ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์
น้ำชายฝั่งจังหวัดฉะเชิงเทรา กรมประมง.
- อรุณี กฤตยานวัช. 2532. แนวทางการพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร. 35
(เมษายน): 9.
- อาทินันท์ ประสมพงศ์. 2546. กุ้งขาว. เมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2551.
จาก http://www.nicaonline.com/articles2/site/view_article.asp?idarticle=135
- APHA. AWWA. and WEF. 2005. **Standard Method for the Examination of Water
and Wastewater**. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Bonino, G.B. 2007. **Chromium (III) Removal by *Spirulina platensis* Biomass**. Italy:
Genoa University.
- Gannikar Disyawongs. 2002. Accumulation of Copper, Mercury, and Lead in *Spirulina
Platensis* Studied in Zarrouk's Medium. **The Journal of KMITNB**. 12,4 (October-
December): 33.
- Gross, S. and Phillips, J. 2008. **The Marine Food Chain**. Retrieved May 28, 2008.
from <http://drake.marin.k12.ca.us/stuwork/ROCKwater/PLANKTON/Food%20Chain.htm>
- Mehta, S.K. and Gaur, J.P. 2005. **Use of Algae for Removing Heavy Metal Ions From
Wastewater: Progress and Prospects**. Retrieved August 10, 2008.
from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17269873>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

การหาค่าบีโอดีของน้ำนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ขึ้นอยู่กับความสกปรกมากน้อยของน้ำ คือ

1. Direct Method ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่าบีโอดีไม่เกิน 7 mg/L ไม่จำเป็นต้องนำตัวอย่างนั้นมาเจือจาง สามารถหาค่าบีโอดีได้เลย

การหาค่าบีโอดีโดยตรงมีขั้นตอนดังนี้

- 1.1 เติมออกซิเจนลงในน้ำตัวอย่าง
- 1.2 ถ่ายน้ำตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยอากาศลงในขวดบีโอดี 2 ขวด
- 1.3 นำขวดบีโอดีขวดที่ 1 มาหาค่า DO ของจุดเริ่มต้น (DO_0) ส่วนขวดบีโอดีขวดที่ 2 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำมาหาค่า DO ของวันที่ 5 (DO_5)

$$BOD_5 = DO_0 - DO_5$$

2. Dilution Method ใช้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีค่าบีโอดีเกิน 7 mg/L

ขั้นตอนวิเคราะห์

- 2.1 การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง
 - 2.1.1 ตวงน้ำปราศจากออกซิเจน หรือน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่จะใช้ทั้งหมดเล็กน้อย ใส่ในภาชนะที่สะอาด
 - 2.1.2 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเจือจาง อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
 - 2.1.3 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเพอริกคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

2.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

2.2.1 ตัวอย่างน้ำควรมีพีเอชอยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5 หากพีเอชต่ำหรือสูงกว่านี้ ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงดังกล่าวด้วยกรดซัลฟูริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล แล้วแต่กรณี (การปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้เป็นกลางทำได้โดยดวงตัวอย่างน้ำมาประมาณ 50 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล แล้วแต่กรณีเพื่อให้ตัวอย่างน้ำมีพีเอชประมาณ 7 นำปริมาตรของกรดซัลฟูริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไปมาคำนวณหาปริมาณของกรดหรือด่างเพื่อปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำที่จะใช้หาบีโอดีให้เป็นกลาง)

2.2.2 ตัวอย่างที่มีออกซิเจนละลายอิมตัวอย่างด้วย ตัวอย่างจากแหล่งน้ำที่มีแพลงก์ตอนพืชชุกชุมอาจมีออกซิเจนละลายสูงกว่าจุดอิ่มตัว ถ้าหากนำตัวอย่างนั้นมาหาค่าบีโอดีโดยที่ไม่ต้องเจือจาง ควรลดยออกซิเจนละลายจนอยู่ในขั้นอิ่มตัว (เอาตัวอย่างน้ำใส่ขวดแล้วเขย่าแรง ๆ หรือโดยการเป่าอากาศลงไป) ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียออกซิเจนละลายระหว่างการเพาะเลี้ยง

2.3 วิธีการเจือจาง

2.3.1 เลือกสัดส่วนในการทำเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้ว จึงเลือกร้อยละที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกัน (หากทราบค่าบีโอดีคร่าว ๆ แล้วใช้สัดส่วนในการทำเจือจางเดียวก็พอ) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรู้ค่าบีโอดีโดยประมาณก่อน ปกติแล้วใช้ร้อยละเจือจาง ดังนี้ น้ำทิ้งที่มีความสกปรกสูงร้อยละ 0.1 – 1.0 น้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการบำบัด และน้ำทิ้งที่ปล่อยให้ตกตะกอนเองร้อยละ 1 – 5 น้ำทิ้งผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร้อยละ 5 – 25 และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติร้อยละ 25 – 100

2.3.2 เตรียมขวดบีโอดีตัวอย่างละ 2 ชุด ชุดที่ 1 สำหรับการวิเคราะห์หาบีโอดีเริ่มต้น (DO_0) และชุดที่ 2 สำหรับตัวอย่างที่ใส่บ่มในตู้บีโอดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน

2.3.3 รินน้ำสำหรับเจือจางประมาณ 300 – 500 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

2.3.4 เติมตัวอย่างน้ำตามจำนวนที่ต้องการ (ตัวอย่างน้ำควรมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง และผสมกันดีก่อนนำมาเจือจาง) แล้วเติมน้ำเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร หากใช้น้ำตัวอย่างน้อยกว่า 5 มิลลิลิตร จะต้องเจือจางตัวอย่างน้ำนั้นเสียก่อน แล้วนำตัวอย่างที่เจือจางแล้วนี้ไปใช้ในการเจือจางขั้นสุดท้าย

2.3.5 ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

2.3.6 ถ่ายน้ำจากกระบอกดวงลงสู่ขวดบีโอดีด้วยวิธีกลักน้ำ (ปล่อยน้ำช่วงแรกทิ้งอย่างน้อย 50 มิลลิลิตร) ปิดจุก นำไปบ่มในตู้บีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส (ก่อนนำไปบ่มเติมน้ำเจือจางที่ปากขวดบีโอดี แล้วปิดด้วยฝาครอบ (Cap) หรือฟอยล์ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำหล่อเลี้ยงแห้ง) ส่วนขวดอีกชุดหนึ่งนำไปวิเคราะห์หาออกซิเจนละลายทันที เป็นค่าออกซิเจนละลายที่จุดเริ่มต้น (DO_0)

2.3.7 การเตรียมแบลงค์ ทำได้โดยดวงน้ำสำหรับเจือจางใส่ขวดบีโอดี 2 ชุด ชุดแรกนำไปวิเคราะห์หาออกซิเจนละลาย (B_0) ส่วนชุดที่ 2 นำไปบ่มในตู้บีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับตัวอย่าง ควรทำแบลงค์อย่างน้อย 3 ซ้ำ

2.3.8 เมื่อบ่มครบ 5 วัน นำไปวิเคราะห์หาออกซิเจนละลายด้วยวิธี Azide Modification

2.4 การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่าบีโอดี ผลที่นำเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้นจะต้องมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายเหลืออยู่อย่างน้อย 1 mg/L และปริมาณออกซิเจนละลายต้องลดลงอย่างน้อย 2 mg/L ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางจึงจะทำให้ค่าบีโอดีที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด สำหรับแบลงค์ของน้ำเจือจางในกรณีที่น้ำเจือจางไม่ได้เติมน้ำเชื่อมั้นปริมาณออกซิเจนที่ได้ในตอนแรกและตอนหลัง (5 วัน) ไม่ควรลดเกินกว่า 0.2 mg/L หรือที่ดีแล้วไม่ควรลดเกิน 0.1 mg/L

2.5 การคำนวณ

ในกรณีน้ำเจือจางไม่ได้เติมน้ำเชื้อ

$$BOD_5 \text{ (mg/L)} = \frac{[(DO_0 - DO_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

DO_0 = ปริมาณออกซิเจนละลายของตัวอย่างเริ่มต้น (ชุดที่ 1)

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนละลายของตัวอย่างหลังจากบ่มเป็นเวลา 5 วัน (ชุดที่ 2)

P = ค่าสัดส่วนการเจือจาง (เช่น 1 : 2)

B_0 = ปริมาณออกซิเจนละลายของแบลงค์เริ่มต้น

B_5 = ปริมาณออกซิเจนละลายของแบลงค์หลังจากบ่มไว้เป็นเวลา 5 วัน

2.6 Glucose – glutamic Acid Check เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีสารพิษ หรือใช้น้ำเชื้อที่ไม่ดีอันเป็นเหตุให้ผลที่ได้มีค่าต่ำ ดังนั้น จึงควรตรวจสอบคุณภาพของน้ำเชื้อจาก ผลของน้ำเชื้อที่เดิม และเทคนิคต่าง ๆ โดยใช้สารอินทรีย์บริสุทธิ์ซึ่งทราบค่าบีไอดี ปกติใช้ Glucose และ Glutamic Acid (ที่อบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง) อย่างละ 150 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งเมื่อวิเคราะห์ เตรียมสารละลายนี้ด้วยสัดส่วนการเจือจาง 1 ต่อ 50 ด้วยน้ำเชื้อจาง แล้วทำเช่นเดียวกับตัวอย่างปกติ ค่าบีไอดีที่ได้ควรประมาณ 220 mg/L ถ้าค่าที่ได้ต่ำกว่า 200 mg/L หรือสูงกว่า 240 mg/L แสดงว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำเชื้อจาง น้ำเชื้อ หรือเทคนิคการวิเคราะห์

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. เครื่องมือ

1.1 แผ่นกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filters) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร โดยทั่วไปนิยมใช้แผ่นกรอง GF/C (Pore Size 1.2 μm) แต่อาจใช้แผ่นกรองยี่ห้ออื่น ๆ ได้ เช่นยี่ห้อ Whatman Greda 934 AH และ 984 H ยี่ห้อ Gelman Type A/E หรือยี่ห้อ Millipore Type AP 40 เป็นต้น

1.2 อุปกรณ์การกรองประกอบด้วย

- ที่ยัด Filter แบบ Gooch Crucible Adapter หรือ Membrane Filter Funnel.
- Gooch Crucible ขนาด 25 – 40 มิลลิลิตร
- Suction Flask ขนาด 500 – 1,000 มิลลิลิตร

1.3 ตู้อบ (Oven)

1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด

1.5 โถดูดความชื้น (Descicator) พร้อมสารดูดความชื้น

2. ขั้นตอนวิเคราะห์

2.1 การเตรียมแผ่นกรอง

2.1.1 วางแผ่นกรอง (ให้ด้านที่ผิวขรุขระอยู่ด้านบน) ลงบนกรวยบูชเชอร์ซึ่งต่อเข้ากับ Suction Pump

2.1.2 เปิด Suction Pump แล้วกรองน้ำกลั่น ประมาณ 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง

2.1.3 นำแผ่นกรองที่ได้ไปวางบนถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

2.1.4 ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

2.1.5 ควรรอบแผ่นกรองอีก 2 – 3 ครั้ง จนมีน้ำหนักคงที่หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 4 หรือมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักก่อนหน้านี้ 0.5 มิลลิกรัม เก็บไว้ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งนำไปวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2.1 ใช้น้ำกลั่นฉีดแผ่นกรองให้เปียก แล้วเปิด Suction Pump เพื่อให้แผ่นกรองติดกับกรวยบูชเชอร์

2.2.2 กรองตัวอย่างน้ำที่ผสมเข้ากันดีแล้วประมาณ 25 – 100 มิลลิลิตร (ให้ได้ TSS 10 – 200 mg/L) แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร 3 ครั้ง

2.2.3 เมื่อแห้งแล้ว นำแผ่นกรองวางบนถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์อันเดิม แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

2.2.3 ควรรอบแผ่นกรองอีก 2 – 3 ครั้ง จนน้ำหนักที่ชั่งได้คงที่ หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 4 หรือมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักก่อนหน้านี้ 0.5 มิลลิกรัม

2.2.4 คำนวณหาปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด

$$\text{สารแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักแผ่นกรองรวมสารแขวนลอย (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักแผ่นกรอง (มิลลิกรัม)

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. วิเคราะห์ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด (TN และ TP พร้อมกัน)

1.1 คุคน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดย่อยตัวอย่างพร้อมกับเติมสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร ด้วยไปเปิดแบบกระเปาะ (ถ้าตัวอย่างแข็งเย็นหรือแข็งต้องให้อุณหภูมิของน้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องก่อน)

1.2 คุคสารมาตรฐานของไนโตรเจนจาก Stock ความเข้มข้น 1.00 mg – N/L จำนวน 5 มิลลิลิตร และสารมาตรฐานของฟอสเฟต 0.05 mg – P/L 20 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยแล้วเติมสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร

1.3 สำหรับ Reagent Blank เติมเฉพาะสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร เท่านั้น

1.4 นำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งความดันสูง (121 องศาเซลเซียส, 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว) เป็นเวลา 30 นาที

1.5 หลังจากตัวอย่างเย็นแล้ว เขย่าขวดตัวอย่างเพื่อให้ตะกอนขาวละลาย จากนั้นจึงใช้ปิเปตคุคสารละลายที่ได้ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร เจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาไนเตรท ส่วนสารละลายที่เหลือนำไปวิเคราะห์หาฟอสเฟต

2. วิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDN และ TDP) พร้อมกัน

ดำเนินการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดเพียงแต่ใช้ตัวอย่างน้ำที่กรองผ่านแผ่นกรอง GF/C หรือ GF/F หรือแผ่นกรองมิลลิพอร์

3. วิเคราะห์เฉพาะไนโตรเจน (ทั้ง TN และ TDN)

3.1 ควบน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดย่อยตัวอย่างพร้อมกับเติมสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตแบบกระเปาะ (ถ้าตัวอย่างแช่เย็นหรือแช่แข็งต้องให้อุณหภูมิของน้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องก่อน)

3.2 ควบคุมมาตรฐานของไกลซีนจาก Stock ความเข้มข้น 1.00 mg – N/L จำนวน 25 มิลลิลิตร แล้วเติมสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร

3.3 สำหรับ Reagent Blank เติมเฉพาะสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร

3.4 นำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งความดันสูง (121 องศาเซลเซียส, 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว) เป็นเวลา 30 นาที

3.5 หลังจากตัวอย่างเย็นแล้ว เขย่าขวดตัวอย่างเพื่อให้ตะกอนขาวละลาย จากนั้นจึงใช้ปิเปต ควบคุมสารละลายที่ได้ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร เจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาไนเตรท ส่วนสารละลายที่เหลือทิ้งไป

4. วิเคราะห์เฉพาะฟอสฟอรัส (ทั้ง TP และ TDP)

4.1 ควบน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดย่อยตัวอย่าง เติมสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตแบบกระเปาะ (ถ้าตัวอย่างแช่เย็นหรือแช่แข็งต้องให้อุณหภูมิของน้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องก่อน)

4.2 ควบคุมมาตรฐานของฟอสเฟต 0.05 mg – P/L 25 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยแล้วเติมสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร

4.3 สำหรับ Reagent Blank เติมเฉพาะสารเคมีสำหรับออกซิไดส์ 5 มิลลิลิตร

4.4 นำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งความดันสูง (121 องศาเซลเซียส, 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว) เป็นเวลา 30 นาที

4.5 หลังจากตัวอย่างเย็นแล้ว เขย่าขวดตัวอย่างเพื่อให้ตะกอนขาวละลาย จากนั้นจึงใช้ปิเปต ควบคุมสารละลายที่ได้ทิ้งไป 5 มิลลิลิตร ส่วนที่เหลือนำไปวิเคราะห์หาฟอสเฟต

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าไนเตรท

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1.1 ใช้ปิเปตดูดสารละลายจาก Stock Standard Solution มา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 1.4 mg – N/L สารละลายนี้เรียกว่า Intermediate Standard Solution

1.2 ดูดสารละลาย Intermediate Standard Solution 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำทะเลเทียมให้ได้ 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.014, 0.070, 0.140, และ 0.280 mg – N/L ตามลำดับ สารละลายนี้เรียกว่า Working Standard Solution สำหรับแปลงค่าใช้น้ำทะเลเทียม (ใช้น้ำกลั่นเตรียมสารละลายมาตรฐานของไนเตรทได้)

1.3 เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตร ลงใน Working Standard Solution และแปลงค่าน้ำทะเลเทียมแล้วเขย่าให้เข้ากัน

1.4 นำ Working Standard Solution และแปลงค่าน้ำทะเลเทียม 3) ไปผ่านคอลัมน์ โดยปรับให้สารละลายในคอลัมน์ไหลด้วยอัตรา 8 – 12 มิลลิลิตร/นาที จากนั้นเติมสารละลายที่ได้ประมาณ 5 – 10 มิลลิลิตร ปล่อยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม แล้วเติมสารละลายที่เหลือลงในคอลัมน์ ปล่อยสารละลายทิ้งประมาณ 25 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่เป็ดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ส่วนสารละลายที่เหลือปล่อยทิ้งไป

1.5 เติมสารละลายซัลฟานิลไมด์ 1 มิลลิลิตร ทันที เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 – 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จากนั้นเติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

1.6 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี Linear Regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 ตวงน้ำตัวอย่างใส่ฟลาสก์รูปชมพู่ 100 มิลลิลิตร

2.2 เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.3 เติมสารละลายในข้อ 2.2 ประมาณ 5 – 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 8 – 12 นาที ต่อ 100 มิลลิลิตร ปล่อยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม

2.4 เติมสารละลายในข้อ 2.2 ที่เหลือลงในคอลัมน์ ปล่อยสารละลายทิ้งประมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วเก็บสารละลายที่เป็ดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

2.5 เติมสารละลายซัลฟานิลไมค์ 1 มิลลิลิตร ทันทีกเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 – 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์

2.6 เติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร คำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

2.7 ความเข้มข้นของไนเตรท

$$= \text{ความเข้มข้นจากตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์} - \text{ค่าไนเตรทของตัวอย่างนั้น}$$

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1.1 ดูดสารละลายจาก Stock Standard Solution มา 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.35 mg - N/L

1.2 ดูดสารละลายจากข้อ 1.1 มา 5, 10, 20 และ 40 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น หรือน้ำทะเลเทียม สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.035, 0.070, 0.140 และ 0.280 mg - N/L ตามลำดับ สำหรับแปลงค่าใช้น้ำกลั่นหรือน้ำทะเลเทียมให้สอดคล้องกับสารละลายมาตรฐาน

1.3 จากนั้นเติมสารละลายฟีนอล 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ และสารละลายออกซิไดซิง 2.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน (เพื่อประหยัคน้ำยาเคมีอาจดูดสารละลายจากข้อ 2) 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง (Test Tube) แล้วเติมน้ำยาเคมีในปริมาตรที่เป็นสัดส่วนกันก็ได้

1.4 ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี Linear Regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 ใช้ปิเปตดูดน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิดเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยของแอมโมเนีย

2.2 เติมสารละลายฟีนอล 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ และสารละลายออกซิไดซิง 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

2.3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร

2.4 จดบันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ หรือนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของแอมโมเนียในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้

ในกรณีความเค็มของน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานแตกต่างกันเกิน 2 psu ควรปรับแก้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากตัวอย่างด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$$NH_{3(corr)} = (1 + 0.0073 \times (S_s - S_0)) \times NH_{3(unc)}$$

เมื่อ $NH_{3(corr)}$, $NH_{3(unc)}$ = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในตัวอย่างที่ปรับแก้ผลเนื่องจากความเค็มแล้ว และยังไม่ได้ปรับแก้ผลเนื่องจากความเค็มตามลำดับ และ S_0 และ S_s = ความเค็มของสารละลายมาตรฐานและน้ำตัวอย่างตามลำดับ

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า pH

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

การใช้เครื่องวัดพีเอชวัดตัวอย่าง ก่อนใช้เครื่องวัดควรตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องมือก่อน หลังจากนั้นจึงใช้งานตามแนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป ดังนี้ (รายละเอียดการใช้เครื่องวัดคู่มือการใช้งานของแต่ละยี่ห้อ)

1. การวัดตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

1.1 เปิดเครื่องวัดพีเอชเพื่ออุ่นเครื่องก่อนวัดประมาณ 5 – 10 นาที

1.2 Calibrate ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่คาดว่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่จะวัด แต่เครื่องวัดพีเอชบางยี่ห้อ เช่น WTW จะกำหนดสารละลายบัฟเฟอร์ไว้ตายตัว คือ พีเอช 7.0 และ 4.0 ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องวัดพีเอชบางยี่ห้อ เช่น DENVER นั้นสามารถเลือกสารละลายบัฟเฟอร์ที่ต้องการ Calibrate ได้ตามต้องการ การ Calibrate ทำได้โดยเทสารละลายบัฟเฟอร์ลงในบีกเกอร์ แล้วจุ่มหัววัดลงไป แล้วทำตามขั้นตอนที่ได้แนะนำไว้สำหรับเครื่องวัดพีเอชแต่ละยี่ห้อ/รุ่น ขณะ Calibrate ควรแกว่งหัววัดเบา ๆ

1.3 ล้างหัววัดด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้งก่อนวัดพีเอชทุก ๆ ครั้ง หรือทุก ๆ ตัวอย่างของน้ำที่วัด

1.4 เทน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดลงในบีกเกอร์ แล้วทำการวัดพีเอชโดยแกว่งหัววัดเบา ๆ เมื่อค่าพีเอชหยุดนิ่งประมาณ 10 วินาที จดบันทึกค่าที่วัดได้ (การจดบันทึกค่าที่วัดได้ควรปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานเครื่อง)

1.5 ทำความสะอาดหัววัด แล้วเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

2. การวัดค่าพีเอชภาคสนาม

2.1 ควรเตรียมเครื่องวัดให้พร้อมด้วยการ Calibrate เครื่องวัดจากห้องปฏิบัติการให้เรียบร้อย ก่อนนำออกภาคสนาม

2.2 การวัดภาคสนามอาจจุ่มหัววัดลงในขวดหรือวัดในแหล่งน้ำโดยตรงก็ได้ แต่หากมวลน้ำในแหล่งน้ำที่ต้องการวัดมีการเคลื่อนไหว การวัดจากแหล่งน้ำโดยตรง ค่าที่วัดได้จะไม่นิ่ง วิธีการแก้ไข คือ ตักน้ำใส่ขวดใส่ตัวอย่าง การจดบันทึกค่าจะต้องปฏิบัติตามคู่มืออย่างเคร่งครัด การวัดในแหล่งน้ำโดยตรงควรวัดก่อนเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่น ๆ เช่นเดียวกับการวัดออกซิเจนละลาย อุณหภูมิของน้ำ และค่าความนำไฟฟ้า

2.3 ในการวัดค่าพีเอชของน้ำที่มีความเค็มต่างกันมาก ควรจุ่มหัววัดให้อยู่ในน้ำนาน 5 – 10 นาที ก่อนทำการอ่านค่า

2.4 ล้างทำความสะอาดหัววัดแล้วเก็บเข้าที่

รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าความเค็ม (Salinity)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. ตรวจสอบสเกล (Scale) ของเครื่องวัดให้อยู่ที่ระดับ 0 โดยครั้งแรกหยคน้ำกลั่นลงบนแผ่นปริซึมเพื่อล้างความเค็มที่อาจตกค้างอยู่เสร็จแล้วหยคน้ำกลั่นลงไปบนแผ่นปริซึมอีกครั้ง
2. ปิดแผ่นทาบปริซึม ยกเครื่องวัดขึ้นส่องไปยังบริเวณที่มีแสงสว่าง ถ้าสเกลของเครื่องวัดไม่อยู่ที่ระดับ 0 ปรับปุ่มปรับความเค็มที่อยู่ด้านบนเพื่อให้เครื่องอ่านค่าความเค็มได้เท่ากับ 0 ppt
3. เปิดแผ่นทาบปริซึมแล้วใช้กระดาษหรือผ้านุ่ม ๆ เช็ดน้ำที่เหลือออก แล้วหยคน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดลงไปบนปริซึม ปิดแผ่นทาบปริซึม อ่านค่าที่วัดได้โดยยกเครื่องวัดขึ้นส่องไปยังบริเวณที่มีแสงสว่าง
4. เมื่อวัดตัวอย่างเสร็จแล้วให้หยคน้ำกลั่นลงบนแผ่นปริซึมอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำความสะอาดก่อนเก็บเข้าที่

ภาคผนวก ข

ภาพการเก็บข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ข. 1 บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม



ภาพที่ ข. 2 ภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุน้ำในการขนย้าย ขนาด 20 ลิตร



ภาพที่ ข. 3 ขั้นตอนการขนน้ำ เพื่อนำมาทำการทดลอง



ภาพที่ ข. 4 ขั้นตอนการนำสาหร่ายสีเขียวไปใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ข. 5 การจัดเรียงหน่วยทดลองในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ ข. 6 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อส่งวิเคราะห์



ภาพที่ ข. 7 กล่องโฟมเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อส่งวิเคราะห์



ภาพที่ ข. 8 เครื่องกรองสุญญากาศ



ภาพที่ ข. 9 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง



ภาพที่ ข. 10 ขั้นตอนการตรวจหาเพลงก์คอนสัต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ ข. 11 ปั๊มลม (แรงลม AP – 40 และลมออก 70 ลิตร/นาที)



ภาพที่ ข. 12 สวิงที่ใช้กรองสาหร่ายสไปรูลไลนา ขนาดตา 60 ไมครอน

ภาคผนวก ก
สูตรอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา

สูตรอาหารใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย

ตารางที่ ค – 1 สูตรอาหารสำหรับสาหร่าย *Spirulina platensis* ใช้สูตรอาหาร Zarrouk

Nutrient	Quantity (g/l)
NaHCO ₃	16.80
K ₂ HPO ₄	0.50
NaNO ₃	2.50
NaCl	1.00
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.20
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.01
K ₂ SO ₄	1.00
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.04
EDTA	0.08
A5 Solution	1 ml/l
B6 Solution	1 ml/l
pH	8 – 10

หมายเหตุ: A5 Solution: HBO₃ – 2.86m MnCl₂·4H₂O – 1.80, ZnSO₄·7H₂O – 0.22, MoO₃ – 0.01, CuSO₄·5H₂O – 0.08
 B6 Solution: KH₄VO₃ – 22.9, NiSO₃·7H₂O – 47.8, Na₂WO₄ – 17.9, Ti(SO₄) – 40.0, Co(NO₃)₂·6H₂O – 4.4

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

นางสาวชลธิชา สืบวัฒนพงษ์กุล

ประวัติการศึกษา

ศิลปศาสตรบัณฑิต

สาขาอุตสาหกรรมกรรมการท่องเที่ยว

สถาบันราชภัฏสวนดุสิต

ปีการศึกษา 2544

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2545 – 2546

พนักงานต้อนรับ

บริษัท กิเนสเทรินอราวด์แมนเนจเม้นท์ จำกัด

พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน

นักวิชาการศึกษา

คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (NIDA)