



## **A Feasibility Study on Using *Spirulina platensis* for *Litopenaeus vannamei* Pond Effluent Treatment**

**Chonticha Suebwattanapongsakul<sup>1</sup>, Tawadchai Suppadit<sup>2</sup>, Wisakha Phoochinda<sup>3</sup>  
and Pakkapong Pongsuk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Master's Degree Holder, The Graduate School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration

<sup>2</sup>Associate Professor, School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration

<sup>3</sup>Assistant Professor, School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration

<sup>4</sup>Assistant Professor, Faculty of Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### **Abstract**

The objective of this experimental research was to study feasibility on 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/5 L of effluent. The experiment was conducted under controlled light intensity and aeration. To investigate the treatment efficiency, the results of *Litopenaeus vannamei* pond effluent quality analyses were compared. The analyses were carried out before the cultivation of biomass and 0, 5, 10 and 15 days after the cultivation.

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, sampling was filtrated to totally remove 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 in suspended solids, salinity, lead, mercury and cadmium. However, *Spirulina platensis* failed in treating BOD, total phosphorus, nitrate, ammonia, total nitrogen and pH. In addition, 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 no potential for natural *Litopenaeus vannamei* pond effluent treatment; except, when the appropriate methods for elimination of zooplanktons prior to treatment were applied.



วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม ปีที่ 5 เล่มที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2552 หน้า 1 - 11

## การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยใช้ สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)

ชลธิชา สืบวัฒนพงษ์กุล<sup>1</sup> ธวัชชัย สุกดิษฐ์<sup>2</sup> วิสาชา ภูจินดา<sup>3</sup> และภักพงศ์ ปวงสุข<sup>4</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

<sup>4</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูลินาบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ในการศึกษาได้มีการใช้สาหร่ายสไปรูลินาที่ปริมาณเริ่มต้น 5 ระดับ คือ 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อน้ำทิ้ง 5 ลิตร ทำการเพาะเลี้ยงในห้องทดลองที่มีการควบคุมระดับการให้แสงและการเติมอากาศให้กับน้ำทิ้งตลอดเวลา แบ่งระยะเวลาในการทดสอบคุณภาพน้ำทิ้งออกเป็น 4 ระยะ คือ 0, 5, 10 และ 15 วัน

ผลจากการศึกษา พบว่า เมื่อทำการทดลองผ่านไป 5 วัน สาหร่ายได้ตายลงทั้งหมด จึงทำการหาสาเหตุการตายของสาหร่ายโดยนำน้ำทิ้งไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ผลปรากฏว่า พบแพลงก์ตอนสัตว์อยู่ในน้ำทิ้งเป็นจำนวนมาก จึงทำการทดสอบต่อโดยการนำน้ำทิ้งดังกล่าวไปกรองเอาแพลงก์ตอนสัตว์ออกจนหมด แล้วนำน้ำที่กรองแพลงก์ตอนสัตว์ออกจนหมดแล้วมาใช้เลี้ยงสาหร่ายเป็นระยะเวลา 7 วัน ปรากฏว่า สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงสรุปได้ว่า การตายของสาหร่ายเกิดจากการถูกแพลงก์ตอนสัตว์กิน ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด ได้นำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว 5 วันมาทำการตรวจวิเคราะห์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลอง ผลปรากฏว่า หลังการใช้สาหร่ายสไปรูลินาบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวเป็นระยะเวลา 5 วัน สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย ความเค็ม ตะกั่ว โปรตีน และแคลเซียมได้ แต่ไม่สามารถบำบัดบีโอดี ฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจนรวม ไนโตรเจนรวม และความเป็นกรด - ด่างได้ ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกับปริมาณสาหร่ายที่ใช้และระยะเวลาในการบำบัด เนื่องจากสาหร่ายได้ตายลงจึงไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดกับประสิทธิภาพในการบำบัดได้ สรุปได้ว่า ไม่มีความเป็นไปได้ในการนำสาหร่ายสไปรูลินามาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในสภาพธรรมชาติ ยกเว้นจะได้มีการกำจัดแพลงก์ตอนสัตว์ในน้ำทิ้งให้หมดไปก่อนที่จะนำมาใช้

## 1. บทนำ

กุ้งขาวลิโทพีเนียสแวนนาไม (Pacific White Shrimp) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Litopenaeus vannamei* เกษตรกรในประเทศไทยนิยมเรียกว่า กุ้งขาวแวนนาไม หรือเรียกกันสั้น ๆ ว่า กุ้งขาว เป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพ่อแม่พันธุ์ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มาเป็นเวลานาน (Suppadit et al., 2006) โดยได้มีการนำเข้าไปเลี้ยงในหลาย ๆ ประเทศ กุ้งชนิดนี้มีการนำมาเลี้ยงในทวีปเอเชียครั้งแรกที่ประเทศไต้หวัน และต่อมาได้นำไปเลี้ยงในประเทศจีน สำหรับประเทศไทยได้มีการนำกุ้งขาวเข้ามาทดลองเลี้ยงในปี พ.ศ. 2541 แต่การทดลองในครั้งนั้นไม่ประสบความสำเร็จมากนัก (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2551) จนกระทั่งเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 กรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อจากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยง (สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา, 2551) ซึ่งระยะเวลาการนำเข้าพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยกำลังประสบปัญหากุ้งโตช้า ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ประสบปัญหาขาดทุน โดยเกษตรกรบางส่วนได้เริ่มทดลองเลี้ยงกุ้งขาว และส่วนใหญ่ให้ผลผลิตค่อนข้างดี จากกระแสการเลี้ยงกุ้งขาวที่ได้ผลดีกว่ากุ้งกุลาดำ ทำให้เกษตรกรจำนวนมากเริ่มเปลี่ยนมาเลี้ยงกุ้งขาวกันมากขึ้น และต่อมากุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายไปทั่วประเทศ (อาทิตนันทน์ ประสมพงศ์, 2546)

จากการขยายตัวของการเลี้ยงกุ้งขาวในพื้นที่น้ำจืด การพัฒนารูปแบบการเลี้ยงจากเดิมที่เป็นการเลี้ยงแบบธรรมชาติได้พัฒนาเป็นแบบกึ่งธรรมชาติ จนในปัจจุบันได้ปรับปรุงเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาที่นำเอาเทคนิคการเลี้ยงแบบสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ การเลี้ยงแบบพัฒนานี้หากไม่มีระบบการจัดการในการเลี้ยงที่ถูกต้องและเหมาะสมอาจนำไปสู่ปัญหาด้านต่าง ๆ ตามมามากมาย โดยเฉพาะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (Suppadit et al., 2005) ซึ่งนับเป็นปัญหาหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนและนับวันได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อแผ่ขยายเป็นวงกว้าง โดยสิ่งสำคัญ คือ ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งคุณภาพของน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของมวลสารที่เจือปนอยู่ในน้ำที่อาจเกิดขึ้นมาจากขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตกุ้ง ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมบ่อ ขั้นตอนการเลี้ยงกุ้ง และขั้นตอนการทำความสะอาดบ่อ แต่ส่วนมากน้ำที่มักเกิดขึ้นมาจากขั้นตอนหลังเป็นหลัก (ปิยนุช บุญศิริชัย, 2547) และปัญหาที่สำคัญอันเกิดจากการเลี้ยงกุ้งขาว คือ น้ำเสีย โดยจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ถ้าผู้เลี้ยงกุ้งขาวขาดการจัดการที่ดี

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้เกิดแนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) เนื่องจากสาหร่ายสไปรูลินาเป็นพืชน้ำที่อาจมีประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดปัญหามลพิษทางน้ำได้เป็นอย่างดี และการบำบัดน้ำทิ้งด้วยพืชน้ำถือได้ว่าเป็นการบำบัดโดยวิธีทางธรรมชาติ อาศัยหลักคุณสมบัติของธรรมชาติในการบำบัดธรรมชาติด้วยตนเอง ซึ่งเป็นแนวพระราชดำริหนึ่งของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ปฏิบัติได้ ขณะเดียวกันสาหร่ายสไปรูลินาก็มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

มากกว่าพืชชนิดอื่น มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอที่จะพัฒนาเป็นอาหารเสริมสำหรับมนุษย์และสัตว์ (จักรพงษ์ ศรีพนมยม, 2531) นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูลินายังสามารถเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

## 2. วิธีการทดลอง

การศึกษาคุณภาพน้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) (จริญ จันทลักขณา และกษิธิศ อื้อเขียวชาญกิจ, 2548) โดยวางรูปแบบการทดลอง 5 x 4 Factorial Arrangement จำนวน 4 ซ้ำ แบ่งเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินา 5 ระดับ คือ 0, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อน้ำทิ้ง 5 ลิตร และปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 4 ระยะ คือ 0, 5, 10 และ 15 วัน

การศึกษาปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) (จริญ จันทลักขณา และกษิธิศ อื้อเขียวชาญกิจ, 2548) โดยวางรูปแบบการทดลอง 4 x 4 Factorial Arrangement จำนวน 4 ซ้ำ แบ่งเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินา 4 ระดับ คือ 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อน้ำทิ้ง 5 ลิตร และปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้ง 4 ระยะ คือ 0, 5, 10 และ 15 วัน

การทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย 5 หน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับสิ่งทดลอง คือ ระดับปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินาที่แตกต่างกัน คือ

หน่วยทดลองที่ 1: ไม่มีการใส่สาหร่ายสไปรูลินา/น้ำทิ้ง 5 ลิตร ( $T_0$ )

หน่วยทดลองที่ 2: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 400 มิลลิกรัม/น้ำทิ้ง 5 ลิตร ( $T_1$ )

หน่วยทดลองที่ 3: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 600 มิลลิกรัม/น้ำทิ้ง 5 ลิตร ( $T_2$ )

หน่วยทดลองที่ 4: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 800 มิลลิกรัม/น้ำทิ้ง 5 ลิตร ( $T_3$ )

หน่วยทดลองที่ 5: ใส่สาหร่ายสไปรูลินาในปริมาณเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/น้ำทิ้ง 5 ลิตร ( $T_4$ )

การเตรียมน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวระบบปิดในเขตพื้นที่น้ำจืด โดยเก็บน้ำทิ้งเมื่อเลี้ยงกุ้งขาวมาเป็นระยะเวลา 3 เดือน น้ำทิ้งที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลองจะถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีต่าง ๆ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะสัตว์น้ำชายฝั่ง คือ คุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจนรวม แอมโมเนีย ไนโตรเจนรวม ความเป็นกรด – ด่าง และความเค็ม และโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

สาหร่ายสไปรูลินาที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยสาหร่ายที่ใช้จะถูกสุ่มตัวอย่างไปบางส่วนและนำส่งเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีต่าง ๆ คือ ไนโตรเจนรวม และโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (Analysis of Variance) ตามตัวชี้วัดคุณภาพน้ำ และปริมาณของสาหร่ายสไปรูลินาจะใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 6.12 (SAS Institute, 1996) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองด้วยสถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### 3. ผลและการอภิปรายผล

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมภายหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายสไปรูลินา ผลการทดลอง พบว่า สามารถทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ได้นี้เฉพาะที่ระยะก่อนการทดลองและภายหลังการทดลองที่ระยะการบำบัด 5 วันเท่านั้น (ตารางที่ 1) เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการทดลองผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาได้ตายลง โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ปริมาณบีโอดีในน้ำที่ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 64.0 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 7.00, 9.00, 9.00, 10.0 และ 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) การลดลงของค่าบีโอดีเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ก่อนการทดลองน่าจะเกิดมาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ (Suppadit et al., 2008) และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ของหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีปริมาณบีโอดีเท่ากับ 9.50 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น จากค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับบีโอดีของกลุ่มควบคุมที่ 7.00 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ปริมาณบีโอดีกลับมีค่ามากขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่าสาหร่ายสไปรูลินาไม่สามารถบำบัดบีโอดีได้ ผลที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากได้เกิดการตายและการย่อยสลายตามธรรมชาติของสาหร่ายสไปรูลินา ซึ่งทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ความต้องการปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์จึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2551)

ปริมาณของแฉ่งแขวนลอยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 116 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 16.0, 6.00, 6.40, 7.00 และ 7.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ทั้งนี้การลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองอาจเนื่องมาจากของแฉ่งแขวนลอยภายหลังการบำบัดได้เกิดการตกตะกอนลงสู่ก้นภาชนะ และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ย พบว่า มีค่าเท่ากับ 6.65 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจากค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหน่วยควบคุมที่ไม่มีการเติมสาหร่ายที่มีค่าเท่ากับ 16.0 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่าสาหร่ายสไปรูลินามีความสามารถในการบำบัดของแฉ่งแขวนลอยให้ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีของแฉ่งแขวนลอยส่วนหนึ่งมาติดเกาะกับสาหร่าย (พัฒน์ จันทรโรทัย, 2536) และได้ตกตะกอนลงร่วมกัน จึงทำให้ปริมาณของแฉ่งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำมีปริมาณลดลง

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 16.7 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 16.3, 19.5, 20.0, 20.3 และ 20.3 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) การเพิ่มขึ้นหลังการบำบัดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งก่อนการทดลอง อาจเนื่องมาจากได้เกิดการเน่าเปื่อยของสาหร่ายสไปรูลีนา ทำให้ธาตุอาหารในส่วนของฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตที่มีอยู่ในสาหร่ายตามธรรมชาติ (วิลเลียมส์ เจริญใหม่รุ่งเรือง, 2541) กลับคืนสู่แหล่งน้ำทิ้งอีกครั้ง จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 20.0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ซึ่งจากค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าฟอสฟอรัสรวมจากกลุ่มควบคุมที่ไม่เดิมสาหร่าย พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสาหร่ายสไปรูลีนาไม่สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่สาหร่ายสไปรูลีนามีการนำเอาฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งมาใช้ในการเจริญเติบโตแค่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อสาหร่ายและแพลงก์ตอนชนิดอื่น ๆ ตายลง ทำให้ธาตุอาหารในส่วนของฟอสฟอรัสจึงกลับคืนสู่แหล่งน้ำทิ้งอีกครั้ง

ปริมาณไนเตรทก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ  $< 0.100$  มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ  $< 0.100$ ,  $< 0.100$ ,  $< 0.100$ ,  $< 0.100$  และ  $< 0.100$  มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีปริมาณไนเตรทเท่ากับ  $< 0.100$  มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งจากค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าไนเตรทจากกลุ่มควบคุมที่ไม่เดิมสาหร่าย พบว่า มีค่าเท่าเดิม โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าสาหร่ายสไปรูลีนาไม่มีผลต่อการลดค่าไนเตรทในน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด

ปริมาณแอมโมเนียก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.600 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.550, 0.800, 0.900, 0.910 และ 1.10 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาหร่ายบางส่วนได้ตายลง ทำให้ซากของสาหร่ายถูกย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียกลับคืนสู่แหล่งน้ำทิ้งอีกครั้ง (สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา, 2551) และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 0.928 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่าสาหร่ายสไปรูลีนาไม่สามารถบำบัดแอมโมเนียได้

ปริมาณไนโตรเจนรวมก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.00 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 4.50, 7.10, 7.18, 7.35 และ 7.50 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 7.28 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งจากค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีปริมาณไนโตรเจนรวมเท่ากับ 4.50 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร

พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่าสาหร่ายไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนรวมได้ ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย

ปริมาณความเป็นกรด – ด่างก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.40 หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 6.80, 7.00, 7.10, 7.20 และ 7.40 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่าการบำบัดในน้ำที่มีค่าเป็นกรด แต่เมื่อหลังการบำบัดผ่านไปเป็นระยะเวลา 5 วัน กลับมีค่าเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 7.18 สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 6.80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่สาหร่ายและแพลงก์ตอนชนิดอื่นได้คายลง ซากของสาหร่ายและแพลงก์ตอนที่ตายจะถูกย่อยสลาย ทำให้มีการปล่อยแอมโมเนียกลับคืนสู่น้ำอีกครั้ง ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำมีสถานะเป็นด่างเพิ่มขึ้น (เสาวนิตย์ พุทธิเลพงษ์, 2549) หรืออาจเกิดจากสถานะที่มีการควบคุมอัตราการให้แสงในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้สาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงตลอดเวลา (ในช่วงที่สาหร่ายยังมีชีวิตอยู่) จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในน้ำทิ้งลดลง จึงส่งผลให้ความเป็นด่างสูงขึ้น (มัลลิกา ปัญญาะโป, 2544)

ปริมาณความเค็มก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.00 ppt หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 1.00, 0.900, 0, 0 และ 0 ppt ตามลำดับ (ตารางที่ 1) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 0.225 ppt ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าความเค็มเท่ากับ 1.00 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่สาหร่ายสไปรูลินาสามารถดูดซับความเค็มจากน้ำทิ้งด้วยกระบวนการไดอะไลซิส (Dialysis) ได้โดยการแพร่ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (เกษม ศรีพงษ์, 2551)

ปริมาณตะกั่วก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 11.2 ppb หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.0300, 0, 0, 0 และ 0 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 1) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการทดลอง การลดลงของตะกั่ว น่าจะเกิดมาจากการขยอยสลายของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ (สิริสุตา หนูทิมทอง และคณะ, 2551) และเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 0 ppb ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 0.0300 ppb อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นจากค่าเฉลี่ยที่ได้จะเห็นว่าสาหร่ายสไปรูลินามีแนวโน้มที่สามารถบำบัดตะกั่วได้

ปริมาณปรอทก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.530 ppb หลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.500, 0.460, 0.350, 0.280 และ 0.210 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 1) มีค่าลดลง ดังเหตุผลเดียวกับตะกั่ว เมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยการทดลองทั้งหมดที่เดิมสาหร่ายมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.325 ppb ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 0.500 ppb อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จะเห็นได้ว่าสาหร่ายสไปรูลินามีแนวโน้มที่จะสามารถบำบัดปรอทได้

ปริมาณแคดเมียมก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.30 ppb และหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.0850, 0.00500, 0.00500, 0.00300 และ 0.00300 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 1) มีค่าลดลง ดังเหตุผลเดียวกับตะกั่ว

เมื่อนำผลการวิเคราะห์จากหน่วยการทดลองที่เดิมสำหรับทั้งหมดมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.00400 ppb ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 0.0850 ppb อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จะเห็นได้ว่าสำหรับ สไปรูไลนา มีแนวโน้มที่จะสามารถบำบัดเคดเมียมได้

ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทิ้ง อาจสรุปได้ว่า สำหรับสไปรูไลนา มีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gannikar (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของสำหรับสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ในการสะสมโลหะหนัก โดยการทดสอบการเติมทองแดงปรอท และตะกั่ว ปริมาณ 1.00 – 3.00 ppm, 5.00 – 300 ppb และ 0.200 – 0.600 ppm ตามลำดับ ลงไปในน้ำเสีย พบว่า สำหรับมีอัตราการสะสมโลหะหนักได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเจริญเติบโต นอกจากนี้จากการศึกษาต่อมาของ Mehta and Gaur (2005) ยังได้ยืนยันว่าเซลล์ของสำหรับที่มีชีวิตอยู่และที่ตายแล้วสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีเช่นกัน

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดที่ระยะ 5 วัน

| ดัชนีคุณภาพน้ำทั้งชายฝั่ง            | ค่ามาตรฐาน         | ก่อนบำบัด | จำนวนสาหร่าย (มิลลิกรัม)/น้ำทิ้ง 5 ลิตร |                    |                    |                      |                    |
|--------------------------------------|--------------------|-----------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
|                                      |                    |           | 0                                       | 400                | 600                | 800                  | 1,000              |
| บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)              | ไม่เกิน 20 มก./ล.  | 64.0      | 7.00 <sup>a</sup>                       | 9.00 <sup>b</sup>  | 9.00 <sup>b</sup>  | 10.0 <sup>b</sup>    | 10.0 <sup>b</sup>  |
| ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)      | ไม่เกิน 70 มก./ล.  | 116       | 16.0 <sup>a</sup>                       | 6.00 <sup>c</sup>  | 6.40 <sup>c</sup>  | 7.00 <sup>bc</sup>   | 7.20 <sup>bc</sup> |
| ฟอสฟอรัสรวม (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร) | ไม่เกิน 0.4 มก./ล. | 16.7      | 16.3 <sup>c</sup>                       | 19.5 <sup>b</sup>  | 20.0 <sup>a</sup>  | 20.3 <sup>a</sup>    | 20.3 <sup>a</sup>  |
| ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)              | -                  | <0.100    | <0.100                                  | <0.10              | <0.10              | <0.100               | <0.10              |
| แอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร)   | ไม่เกิน 1.1 มก./ล. | 0.600     | 0.550 <sup>c</sup>                      | 0.800 <sup>b</sup> | 0.900 <sup>b</sup> | 0.910 <sup>b</sup>   | 1.10 <sup>a</sup>  |
| ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) | ไม่เกิน 40 มก./ล.  | 7.00      | 4.50 <sup>c</sup>                       | 7.10 <sup>b</sup>  | 7.18 <sup>b</sup>  | 7.35 <sup>ab</sup>   | 7.50 <sup>a</sup>  |
| ความเป็นกรด – ด่าง                   | 6.5 – 8.5          | 6.40      | 6.80 <sup>c</sup>                       | 7.00 <sup>b</sup>  | 7.10 <sup>ab</sup> | 7.20 <sup>ab</sup>   | 7.40 <sup>a</sup>  |
| ความเค็ม (ppt)                       | ไม่เกินร้อยละ 50   | 1.00      | 1.00 <sup>a</sup>                       | 0.900 <sup>b</sup> | 0 <sup>c</sup>     | 0 <sup>c</sup>       | 0 <sup>c</sup>     |
| ตะกั่ว (ppb)                         | 0.2                | 11.2      | 0.0300 <sup>a</sup>                     | 0 <sup>b</sup>     | 0 <sup>b</sup>     | 0 <sup>b</sup>       | 0 <sup>b</sup>     |
| ปรอท (ppb)                           | 0.0005             | 0.530     | 0.500 <sup>a</sup>                      | 0.460 <sup>b</sup> | 0.350 <sup>c</sup> | 0.280 <sup>d</sup>   | 0.210 <sup>c</sup> |
| แคดเมียม (ppb)                       | 0.03               | 2.30      | 0.0850 <sup>a</sup>                     | 0.005 <sup>b</sup> | 0.005 <sup>b</sup> | 0.00300 <sup>c</sup> | 0.003 <sup>c</sup> |

หมายเหตุ: <sup>abcde</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายสไปรูไลนา ก่อนการทดลอง ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม มีค่าเท่ากับ 790 5.96 และ 240 ppb ตามลำดับ และปริมาณไนโตรเจนรวมในสาหร่ายสไปรูไลนา ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.17 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร แต่เมื่อการทดลองผ่านไป 5 วัน พบว่า สาหร่ายได้ตายลง จึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลโลหะหนักและสมมูลไนโตรเจนภายหลังการทดลองต่อไปได้ รวมทั้งไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่ายสไปรูไลนาและระยะเวลาที่ใช้กับประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งได้ จึงได้ทำการศึกษาต่อเพื่อหาสาเหตุการตายของสาหร่ายสไปรูไลนา และพบว่ามีแพลงก์ตอนสัตว์อาศัยอยู่ในน้ำทิ้งเป็นจำนวนมาก จึงตั้งข้อสันนิษฐานไว้เป็น 2 ประเด็นในเบื้องต้น คือ เกิดจากการขาดอาหารของสาหร่าย หรือเกิดจากการที่แพลงก์ตอนสัตว์กินสาหร่ายเป็นอาหาร และภายหลังจากที่ทำการค้นหาสาเหตุ โดยการนำน้ำทิ้งหลังจากการทดลองครบ 5 วัน ไปทำการกรองเอาแพลงก์ตอนสัตว์ออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองขนาด 0.0450 มิลลิเมตร (ซึ่งเป็นขนาดที่สามารถกรองเอาแพลงก์ตอนต่าง ๆ ออกจากน้ำได้หมด) จากนั้นนำน้ำที่กรองแพลงก์ตอนออกจนหมดแล้ว นำมาแบ่งออกเป็น 4 ขวด เท่า ๆ กัน แล้วนำไปเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนาภายใต้สภาวะเดิม เป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการทดลอง พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน สาหร่ายยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีเป็นปกติ จึงตัดประเด็นด้านการขาดอาหารของสาหร่าย และสามารถสรุปได้ว่า สาเหตุการตายของสาหร่ายสไปรูไลนา น่าจะเกิดจากการที่แพลงก์ตอนสัตว์กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารมากกว่า ขณะเดียวกันจากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ได้ตรวจพบพฤติกรรมการกินสาหร่ายสไปรูไลนาเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ด้วย สอดคล้องกับข้อมูลของ Gross and Phillips (2008) ที่รายงานไว้ว่า แพลงก์ตอนสัตว์สามารถดำรงชีวิตได้โดยการกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารในระบบนิเวศตามธรรมชาติ

#### 4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูไลนาบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม สามารถสรุปได้ว่า ไม่มีความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายสไปรูไลนามาบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในสภาพพื้นที่จริงตามธรรมชาติได้ ทำได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการหรือโรงเรือนทดลองที่มีการควบคุมแพลงก์ตอนสัตว์อย่างดีเท่านั้น เนื่องจากในสภาพทั่วไปของบ่อเลี้ยงกุ้งจะเป็นบ่อดินซึ่งมีแพลงก์ตอนสัตว์อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ และถ้านำสาหร่ายสไปรูไลนาซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชมาใช้บำบัดน้ำทิ้ง จะถูกแพลงก์ตอนสัตว์กินจนหมด ขณะที่สาหร่ายสไปรูไลนา ก็สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้เฉพาะบางตัวชี้วัด คือ ของแข็งแขวนลอย ความเค็ม ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียมเท่านั้น

## เอกสารอ้างอิง

- เกษม ศรีพงษ์. 2551. การเคลื่อนที่ของสาร. ค้นวันที่ 30 กรกฎาคม 2551 จาก <http://www.thaiedresearch.org/thaigifted/system/file/1423.doc>.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้ง. วารสารสิ่งแวดล้อมประเทศไทย. 3 (11): 104 – 118.
- จักรพงษ์ ศรีพนมยม. 2531. การเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อการกินสดของมนุษย์และเสริมในอาหารสัตว์. ค้นวันที่ 2 มกราคม 2551 จาก <http://203.158.191.28/SHR/data/shrimp%202770.htm>.
- จัญญ์ จันทลักษณ์ และกษิดิศ อื้อเขียวชาญกิจ. 2548. คัมภีร์การวิจัยและการเผยแพร่สู่นานาชาติ. กรุงเทพมหานคร: อักษรสยามการพิมพ์.
- ปิยบุษ บุญศิริชัย. 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกะเจต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- พัฒน์ จันทโรทัย. 2536. ข้อพิจารณาในการใช้พืชน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 11 (3): 154 – 157.
- มัลลิกา ปัญญาอะโป. 2544 . เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 516457 การบำบัดน้ำเสีย 2. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง. 2541. ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina spp.*) ในการลดค่าบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของน้ำเสียจากโรงงานฝักดอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2551. กุ้งขาว. ค้นวันที่ 15 มีนาคม 2551 จาก [www.nicaonline.com](http://www.nicaonline.com).
- สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. 2551. คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งทะเล. ค้นวันที่ 30 มิถุนายน 2551 จาก [www.aquathai.org/images/sciencearticle/sciencearticle\\_article41\\_file50.doc](http://www.aquathai.org/images/sciencearticle/sciencearticle_article41_file50.doc).
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551. ระบบนิเวศ. ค้นวันที่ 30 มิถุนายน 2551 จาก <http://kroo.ipst.ac.th/biology/downloads/Chapter21Ecosystem.pdf>.
- อาทินันท์ ประสมพงศ์. 2546. กุ้งขาว. ค้นวันที่ 15 มีนาคม 2551 จาก [http://www.nicaonline.com/articles2/site/view\\_article.asp?idarticle=135](http://www.nicaonline.com/articles2/site/view_article.asp?idarticle=135).
- สิริสุดา หนูทิมทอง, สมพจน์ วรรณนุช, วิวัฒน์ ศัลยกำธร และวัชรชัย สุกดิษฐ์. 2551. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียวิธีธรรมชาติบำบัด กรณีศึกษา ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง. ในบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ (บรรณาธิการ). การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 11. ปทุมธานี: อาคารสมเด็จพระศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 17 – 18 ธันวาคม 2551. 146.

- Gannikar, D. 2002. Accumulation of copper, mercury, and lead in *Spirulina platensis* studied in Zarrouk's medium. **The Journal of KMITNB**. 12 (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>.
- SAS Institute. 1996. **SAS User's Guide, Version 6.12**. Cary, N.C.: SAS Institute, Incorporate.
- Suppadit, T., Jaturasitha, S. and Pripwai, N. 2006. Utilization of hydrated sodium calcium aluminosilicate and vermiculite for aflatoxin B<sub>1</sub> adsorption in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) diets. **Journal of Applied Animal Research**. 29 (2): 129 – 132.
- Suppadit, T., Phoochinda, W. and Bunsirichai, P. 2005. Treatment of effluent from shrimp farm using water mimosa (*Neptunia oleracea* Lour). **Journal of ISSAAS**. 11 (2): 20 – 29.
- Suppadit, T., Phoochinda, W., Phutthilerphong, S. and Nieobubpa, C. 2008. Treatment of effluent from black tiger shrimp pond using water meal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). **Science Asia**. 34 (2): 163 – 168.