บทบาทของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา

Role of Nutrients on Phytoplankton Growth in Intensive Marine Shrimp Cultured

จริยาวดี สุริยพันธุ์*

Jariyavadee Suriyaphan*

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University.

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับบทบาทของของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแบบพัฒนา การสะพรั่งและการตายของแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพบ่ออย่างรุนแรง ซากแพลงก์ตอนที่ตายจะกลายเป็นฟองลอยที่หน้าผิวน้ำและตกลงสะสมที่พื้นบ่อ การเปลี่ยนแปลงของสภาพบ่อทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอ และง่ายต่อการติดเชื้อโรค ส่งผลกระทบให้สัตว์น้ำโตช้า รวมทั้งอัตรารอดและผลผลิตต่ำลง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโต ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนใหญ่มาจากอาหาร และการขับถ่าย โดยเฉพาะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารจำกัดต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อ การจัดการในการเตรียมบ่อเช่น การตากบ่อ การไถพรวนก่อนปล่อยกุ้งขาวแวนนาไมลงเลี้ยง รวมทั้งการควบคุมอาหารในระหว่างการเลี้ยงสามารถควบคุมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พื้นบ่อได้

คำสำคัญ : ธาตุอาหาร แพลงก์ตอนพืช กุ้งทะเล

Abstract

This article is focused on influence of nutrients affecting phytoplankton growth in the intensive Pacific white shrimp culture ponds. The blooming of phytoplankton and phytoplankton crash are the causes of dramatic change of pond condition. The death of phytoplankton leads to foam on the water surface and accumulation at the pond bottom also changes the pond condition system. The changes in pond conditions are also correlated to stress of shrimp, susceptible to pathogenic infections, slow growth, low survival and production of shrimp. Nitrogen and phosphorus are the major factors that affect phytoplankton growth. Most nitrogen and phosphorus that enter to the pond are from palleted feed and shrimp excretion. Especially, phosphorus is the main source of growth and subsequent blooming of phytoplankton. The pond preparation management such as drying, tilting the bottom soil before stocking shrimp and controlling the feeding during culture period are the best practices to limit nitrogen and phosphorus on the pond bottom.

Keywords : nutrient, phytoplankton, marine shrimp

*Corresponding author. E-mail : jariyavadee@buu.ac.th

บทนำ

การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแปซิฟิก (*Litopenaeus vannamei*) หรือกุ้งขาวแวนนาไมในประเทศไทยเริ่มต้นในปี 2545 กรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อ (Specific Pathogen Free, SPF) จากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยงแทนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ที่ประสบปัญหากุ้งโตช้า มีขนาดที่แตกต่างกันมาก เกษตรกรต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนานขึ้น และส่วนใหญ่ประสบปัญหาขาดทุน กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่มีการพัฒนาสายพันธุ์มาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานทำให้อัตราการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูงในระยะเวลาสั้น ทำให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแทน (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) ปัจจุบันประเทศไทยติดอันดับหนึ่งในห้าประเทศของเอเชียที่มีผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงมากที่สุด โดยมีกำลังผลิต 1.28 ล้านตัน หรือคิดเป็น 2.41 เปอร์เซ็นต์ของผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในเอเชียในปี 2555 ประเทศไทยมีกำลังผลิตจาก 0.4 ล้านตันในปี 2548 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.6 ล้านตันในปี 2555 รวมทั้งเป็นผู้นำในด้านส่งออกสินค้าสัตว์น้ำมากที่สุด และเป็นประเทศหลักที่ส่งออกกุ้งขาวแวนนาไมสู่ตลาดในประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น (FAO, 2012)

รูปแบบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในประเทศไทยในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Intensive system หรือ การเลี้ยงกุ้งระบบพัฒนา เกษตรกรจะปล่อยลูกกุ้งลงเลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูง ในพื้นที่บ่อที่มีขนาดเล็กแต่ให้ความสำคัญในการเตรียมบ่อและการจัดการฟาร์มมากขึ้น ใช้อาหารที่มีโปรตีนสูง เนื่องจากปล่อยกุ้งที่มีความหนาแน่นสูง จำนวนเครื่องให้อากาศต้องเพียงพอ มีการใช้สารเคมีเช่น คลอรีน ไอโอดิน ปูนขาว เพื่อปรับสภาพพื้นบ่อ หรือคุณภาพน้ำทั้งในช่วงเตรียมบ่อ และในระหว่างการเลี้ยง รวมทั้งป้องกันการเกิดโรค (Jory & Cabrera, 2003) นอกจากนี้การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมยังแบ่งรูปแบบการเลี้ยงออกเป็นสองแบบตามระดับความเค็มของน้ำที่เลี้ยง คือ การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำ เป็นการเลี้ยงในเขตพื้นที่ทางภาคกลาง โดยจะใช้น้ำเค็มจากนาเกลือที่มีความเค็ม 100-200 psu มาเติมในน้ำจืดเพื่อให้ได้ระดับความเค็มประมาณ 8-10 psu แล้วเลี้ยงในระบบปิด มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย มีการกั้นคอกก่อนปล่อยลูกกุ้งขาวแวนนาไมลงเลี้ยง และการเลี้ยงอีกประเภท คือ การเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติ คือ น้ำที่มีความเค็ม 25 psu ขึ้นไปในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะการเลี้ยงทางภาคใต้ (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

บทบาทของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

แพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary producer) ที่สำคัญในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นจุดเริ่มต้นของสายใยอาหาร และเป็นอาหารธรรมชาติของปลา และครัสเตเชียน (Boyd & Tucker, 1998) นอกจากนี้ยังเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ (ลัดดา วงศ์รัตน์ และโสภณา บุญญาภิวัฒน์, 2546) และมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายในบ่อ (บุณฑริกา ทองดอนพุ่ม, 2547) อย่างไรก็ตามแพลงก์ตอนพืชมีวงจรชีวิตเพียง 1-2 สัปดาห์จากนั้นจะตาย (Boyd, 1982) แต่การเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนในระหว่างการเลี้ยง หรือที่เรียกว่า plankton crash หรือ **แพลงก์ตอนดรอป** หรือที่เกษตรกรเรียกว่า **สีน้ำล้ม** จะเกิดหลังจากที่มีการบลูมของแพลงก์ตอนแล้วระยะหนึ่ง ซึ่งจะพบแพลงก์ตอนกลุ่มเด่นเพียงหนึ่งกลุ่มหรือสองกลุ่มเท่านั้น การเกิดสีน้ำล้มในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจาก 1) การสะพรั่งของแพลงก์ตอน 2) ขาดธาตุอาหารกลุ่มไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 3) ท้องฟ้าปิดเนื่องจากฝนตกหนักติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนาน 4) การเปลี่ยนถ่ายน้ำในปริมาณมาก (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) การเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนภายในบ่ออย่างรุนแรง หรือ การเกิด plankton crash ในระหว่างการเลี้ยงจะมีความรุนแรงมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ และสภาพบ่ออย่างเฉียบพลัน

การตายของแพลงก์ตอนจะทำให้เกิดฟอง หรือฝ้าจำนวนมากที่ผิวหน้าน้ำ พบตะกอนจำนวนมากในมวลน้ำ น้ำหนืด มีกลิ่นคาวอย่างรุนแรง (โสภณ อ่อนคง และชูสินธุ์ ชนะสิทธิ์, 2542) การตายของแพลงก์ตอนดังกล่าว ภายหลังการบลูมของแพลงก์ตอนภายในบ่อนอกจากจะเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายในบ่อแล้วยังมีผลต่อการปลดปล่อยสาร Geosmin หรือ(trans - 1, 10 - dimethyl - trans - 9 - decalol) และ MIB (2 -methylisoborneol (1, 2, 7, 7 - tetramethyl - exo - bicyclo - [2,2,1] - heptan - 2 - ol) จะถูกปล่อยออกมาสะสมในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ (Johnsen *et al*., 1996) สารประกอบ Geosmin และ MIB เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์อิ่มตัวที่ระเหยได้ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่เมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล คุณสมบัติทั่วไปคือละลายในไขมันได้ดี ไม่ชอบน้ำ ทำให้กระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบของไขมัน ทำให้กำจัดได้ยาก จึงทำให้เกิดกลิ่นโคลนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Izaguirre *et al*., 1982) ดังนั้นการเข้าใจถึงบทบาทของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการควบคุมคุณภาพน้ำ และเป็นองค์ความรู้ที่จะช่วยเกษตรกรวางแผนในการจัดการบ่อเลี้ยงอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ได้ผลผลิตดีขึ้นต่อไป

ปัจจัยของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มธาตุอาหารหลักเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและต้องการปริมาณมาก (macronutrient element) เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต กลุ่มธาตุอาหารที่จำเป็นแต่ต้องการปริมาณน้อย (micronutrient element) ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดินัม นิกเกิล แคดเมียม และซีลิเนียม (Sunda *et al*., 2005) คาร์บอนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ อนินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอน แพลงก์ตอนพืชใช้อนินทรีย์คาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำหรือในรูปของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ในการสังเคราะห์แสง และใช้อินทรีย์คาร์บอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตสในสภาพไร้อากาศ (anaerobic condition) หรือในสภาพที่ไม่มีแสงสว่าง (Kaplan *et al*., 1986) การที่คาร์บอนจะอยู่ในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับพีเอช เช่น คาร์บอนจะอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนตเมื่อพีเอชมีค่าระหว่าง 7-9, อยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนตเมื่อพีเอชสูงกว่า 9.5 ขึ้นไป และคาร์บอนจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อ พีเอชของน้ำมีค่าประมาณ 5 ส่วนใหญ่ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ไนโตรเจนทั้งรูปของอนินทรีย์และสารอินทรีย์ รวมทั้งสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน แพลงก์ตอนจะใช้อนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้แก่ ยูเรีย ส่วนใหญ่แพลงก์ตอนจะใช้ยูเรีย แอมโมเนียมอิออน และไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเจริญเติบโต ส่วนไนไตรท์จะมีความเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูง โดยแอมโมเนียมอิออนจะถูกดึงมาใช้ก่อนไนเตรท และไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ลงมาเป็นแอมโมเนียมอิออนก่อนนำมาใช้ภายในเซลล์ (Morris, 1974) แหล่งที่มาของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลส่วนใหญ่มาจากการขับถ่ายของกุ้ง อาหารที่เหลือและจะสะสมอยู่ที่พื้นบ่อในรูปของสารอินทรีย์ (Paerl & Tucker, 1995) Burford & Williams (2001) รายงานว่าอาหารที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นยูเรีย 26 เปอร์เซ็นต์ และเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (dissolved organic nitrogen: DON) 61 เปอร์เซ็นต์ ยูเรียที่เกิดขึ้นภายในระบบจะถูกใช้ก่อนโดยแพลงก์ตอนพืช ทำให้สารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำค้างอยู่ในระบบมาก (Burford & Glibert, 1999) Funge-

Smith & Briggs (1998) รายงานว่าที่มาของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา จะมาจากอาหาร 78 เปอร์เซ็นต์ มาจากการเซาะของดินจากบริเวณขอบบ่อ 16 เปอร์เซ็นต์ มาจากน้ำและปุ๋ย 4 เปอร์เซ็นต์ และฝนตก 2 เปอร์เซ็นต์ ขณะเดียวกันไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในดินตะกอน 24 เปอร์เซ็นต์ จากกุ้งที่จับไปแล้ว 18 เปอร์เซ็นต์ น้ำที่เปลี่ยนถ่าย 27 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์จะเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สไนโตรเจนสู่บรรยากาศ หรือกลายเป็นแอมโมเนีย ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับสาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม คลอโรฟิลล์ เอ (Vuorio *et al*., 2005)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค (nucleic acid) ฟอสฟอรัสที่แพลงก์ตอนและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ได้แก่ ออโธฟอสฟอรัส(orthophosphorus) (Correll, 1988) แพลงก์ตอนพืชจะใช้ออโธฟอสฟอรัสในการสร้างพลังงานในกระบวนการฟอสโฟรีเลชั่น (phosphorylation), ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชั่น (oxidative phosphorylation) และ โฟโต้ฟอสโฟรีเลชั่น (photophosphorylation) ดังสมการ

$$\text{ADP+ orthophosphate} \xrightarrow{\text{Energy}} \text{ATP}$$

ฟอสฟอรัสภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะมาจากปุ๋ยที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ในการสร้างสีน้ำ หรือสร้างอาหารธรรมชาติ และมาจากอาหารที่ให้ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง Funge-Smith & Briggs (1998) รายงานว่าฟอสฟอรัสส่วนใหญ่มาจากอาหาร 51 เปอร์เซ็นต์ และตกค้างอยู่ในพื้นบ่อ 84 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งยังมีฟอสฟอรัสที่เหลือจากรอบการเลี้ยงที่ผ่านมา 26 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในมวลน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในดิน เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำต่ำลง ฟอสฟอรัสจากดินบางส่วนจะละลายออกมา โดยที่ฟอสฟอรัสจะละลายได้ดีที่สุดเมื่อพีเอชของดินมีค่าเท่ากับ 6.5 ซึ่งจะถูกใช้โดยแพลงก์ตอนพืช นอกจากนี้ฟอสฟอรัสจะจับกับแคทไอออน เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และอลูมิเนียม ตกตะกอนอยู่ที่พื้นบ่อ ในขณะเดียวกันฟอสฟอรัสยังถูกดูดซับได้ดีจากดินโคลนที่มีความเป็นกรด (Boyd & Tucker, 1998) ฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้เอง (Rydin *et al*., 2002) โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มที่สร้างพิษ ได้แก่ *Oscillatoria, Microcystis* ซึ่งจากการศึกษาของ Oh *et al*. (2000) พบว่าแพลงก์ตอนพืชกลุ่มดังกล่าวมีการเจริญเติบโตแปรผันตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำ นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำมากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรจะส่งผลให้เกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อและทำให้เกิดสีน้ำล้มตามมา (Suriyaphan *et al*.,2011) ซิลิเกตเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของแพลงก์ตอนในกลุ่มของไดอะตอมเพื่อสร้างผนังเซลล์ หรือ siliceous cell wall ซึ่งเป็นการเจริญเติบโตแบบปกติ (Sunda *et al*., 2005) ในขณะที่ปริมาณไดอะตอมเกิดขึ้นจำนวนมาก ปริมาณซิลิเกตในน้ำจะลดลง และในสภาวะที่ขาดแคลนซิลิเกตจะส่งผลกระทบต่อการแบ่งตัว และพัฒนาเซลล์ของไดอะตอม (Darley, 1974) สำหรับกลุ่มธาตุอาหารรอง เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นแต่แพลงก์ตอนพืชต้องการในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดินัม นิกเกิล แคดเมียม และซีลิเนียม นอกจากนี้ยังมีอิออนกลุ่มหลัก ได้แก่ โซเดียมอิออน (Na^+) โปแตสเซียมอิออน (K^+) แมกนีเซียมอิออน (Mg^{2+}) แคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) คลอไรด์ (Cl^-) และซัลเฟตอิออน (SO_4^{2-}) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โซเดียม (Na^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) โปแตสเซียม (K^+) คลอไรด์ (Cl^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) (Sunda *et al*., 2005) ธาตุอาหารรอง และอิออนเหล่านี้จะเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของประชาคมแพลงก์ตอน

(Kaplan *et al*., 1986) เหล็กมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนทุกชนิด เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์ ซี ช่วยในกระบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอนในระบบสังเคราะห์แสง การหายใจ กระบวนการไนเตรท ไนไตรท์ รีดักชั่น และกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Sunda *et al*., 2005) ความต้องการเหล็กของแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสง (Sunda & Huntsman, 2004) และแตกต่างกันไปตามแหล่งไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืชดึงมาใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะเซลล์ที่ใช้ไนเตรทจะมีความต้องการเหล็กสูงกว่าเซลล์ที่ใช้แอมโมเนียม โดยเหล็กจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียม (Vuorio *et al*., 2005) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเหล็กจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของประชาคมแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืด โดยปริมาณเหล็กจะเป็นตัวควบคุมการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืดที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง (Evans & Prepas, 1997) ความต้องการเหล็กของแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งทะเล และทะเลลึกจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิด ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบประชาคม และโครงสร้างของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ แมงกานีสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการแตกตัวของน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง และมีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนทุกชนิด แมงกานีสจะถูกใช้มากเพื่อเจริญเติบโตในสภาพที่มีแสงน้อย (Sunda & Huntsman, 1998) สังกะสีเป็นธาตุที่แพลงก์ตอนพืชต้องการสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึม สังกะสีจะถูกใช้ในกระบวนการตรึงและส่งผ่านคาร์บอนไดออกไซด์โดยเอนไซม์คาร์บอนิค (Morel *et al*., 1994) ความต้องการของเอนไซม์และแพลงก์ตอนต่อสังกะสีจะมีมากเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง หรืออยู่สภาวะที่จำกัด ส่วนใหญ่สังกะสีจะทำงานร่วมกับโคบอลต์ และแคดเมียม (Sunda *et al*., 2005) ทองแดงเป็นธาตุอาหารที่ถูกใช้เป็นองค์ประกอบในกระบวนการไซโตโครมออกซิเดส และเป็นองค์ประกอบของโปรตีนในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ โมลิบดินัม และนิกเกิลจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซึมไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ (Sunda *et al*., 2005) โมลิบดินัมจะทำงานร่วมกับเหล็กในเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส และไนโตรจีเนสใน กระบวนการเปลี่ยนไนเตรท และการตรึงไนโตรเจน (Raven, 1988) นิกเกิลจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ยูรีเอส ซึ่งพบในแพลงก์ตอนพืชที่ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเจริญเติบโต (Price & Morel, 1991) โคบอลต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของวิตามินบี 12 ซึ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนหลายชนิด โดยเฉพาะแพลงก์ตอนกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน (O'Kelly, 1974) และกลุ่ม Prymnesiophytes (Sunda *et al*., 2005) ซัลเฟอร์เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อแพลงก์ตอนเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกรดอมิโน โดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้ในรูปของ สารอนินทรีย์ ได้แก่ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และซัลไฟด์ (HS^-) (Kaplan *et al*., 1986) นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยังเป็นส่วนประกอบของวิตามินบี 1 ไบโอตินและโคเอนไซม์ เอ อีกด้วย (Lovell, 1989) ซีลิเนียมเป็นธาตุอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชทั้งในน้ำจืด และน้ำเค็ม (Harrison *et al*., 1988) โดยเฉพาะแพลงก์ตอนทะเลที่ต้องการซีลิเนียมเป็นองค์ประกอบของเซลล์ และมีบทบาทต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์แพลงก์ตอน (Sunda *et al*., 2005) โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่กลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena, Anacystis, Nostoc* ต้องการในการเจริญเติบโต

แนวทางการจัดการบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ได้รับผลกระทบจากการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืช

ดังที่กล่าวมาข้างต้นแพลงก์ตอนพืชมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ และคุณภาพดินรวมทั้งส่งผลต่อผลผลิต ซึ่งการจัดการแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมสามารถจัดการได้ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมบ่อ ก่อนที่จะมีการเลี้ยง การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารภายในบ่อเลี้ยงจะเกิดขึ้นระหว่างสององค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำในบ่อ และดินตะกอน (Funge-Smith & Briggs, 1998) กระบวนการในดินที่กระทบต่อคุณภาพน้ำ

ได้แก่ ดิน ดินตะกอน และสารอินทรีย์ที่เกิดจากการเลี้ยงและส่งผลต่อการขาดออกซิเจนในระหว่างการเลี้ยง ปฏิกิริยาการย่อยสลายของแบคทีเรียจะเกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และแพร่ผ่านจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินขึ้นสู่ผิวหน้าดินได้ ซึ่งส่วนใหญ่ชั้นผิวหน้าดินในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีการสะสมซากแพลงก์ตอนที่ตาย อาหารเหลือ สิ่งขับถ่าย จุลินทรีย์ และอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของแบคทีเรียเกิดขึ้นสูง และทำให้ออกซิเจนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินหมดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาการรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งพบได้ในระหว่างการเลี้ยง (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2548) นอกจากนี้ในสภาพที่ขาดออกซิเจนบริเวณพื้นบ่อยังเกิดการแพร่ของไนไตรท์ เฟอร์รัส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนขึ้นในบ่อและเป็นอันตรายต่อกุ้ง ดังนั้นการตากบ่อ และการไถพรวนเปิดหน้าดินจะสามารถลดปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่อยู่ในดิน (Seo & Boyd, 2001) โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในดินที่จะละลายออกมาสู่มวลน้ำเมื่อพีเอชของดินก้นบ่ออยู่ที่ 6.5 ซึ่งฟอสฟอรัสจะเป็นตัวกระตุ้นให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดี สำหรับบ่อที่มีสภาพพื้นบ่อเป็นกรด ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียในกลุ่มซัลเฟอร์เปลี่ยนรูปซัลเฟอร์เป็นซัลไฟด์ ซึ่งเกิดในสภาวะไร้ออกซิเจน (สมการที่ 1) ซัลไฟด์จะรวมกับเหล็ก เป็นเหล็กซัลไฟด์ (สมการที่ 2) และเปลี่ยนรูปเป็นไพไรท์ในดิน (สมการที่ 3) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะไม่เกิดปฏิกิริยา แต่เมื่อถูกระบายออกหรือสัมผัสอากาศจะเกิดปฏิกิริยาเป็นเฟอริกซัลเฟต และกรดกำมะถัน (สมการที่ 4 และ 5) (Boyd, 1995) ดังสมการ

$$\text{Organic matter} + SO^{2}_{4} \xrightarrow{\textit{Desulfovibrio}} H_2S + 2HCO_3 \quad \text{..... (1)}$$

$$Fe(OH)_2 + H_2S \longrightarrow FeS + 2H_2O \quad \text{.....(2)}$$

$$FeS + S \longrightarrow FeS_2 \text{ (pyrite)} \quad \text{.....(3)}$$

$$4FeS_2 + 15O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\textit{Thiobacillus}} 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4 \quad \text{.....(4)}$$

$$2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O \longrightarrow 2Fe_2\,OH\,(SO_4)_2 + 2H_2SO_4 \quad \text{..... (5)}$$

ในน้ำที่เป็นกรดจะมีเหล็กและอลูมิเนียมมาก ซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและยังมีผลต่อการตกตะกอนของฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ทำให้แพลงก์ตอนไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การจัดการบ่อที่เป็นกรดสามารถทำได้โดยฉีดเลน ใส่ปูน หรือปรับสภาพบ่อด้วยสารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอกในอัตรา 800-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ก่อนเติมน้ำเข้าบ่อ (Chanratchakool *et al*.,1993) และควรเตรียมน้ำทันที โดยไม่ตากบ่อเพราะจะทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

2. ควรควบคุมปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละมื้อระหว่างการเลี้ยง โดยหนึ่งเดือนแรกของการเลี้ยงมีอัตราส่วน ลูกกุ้งขาวแวนนาไม 100,000 ตัวต่ออาหาร 1 กิโลกรัม หลังจากที่ลูกกุ้งเริ่มคุ้นชินอาหารเม็ดจึงค่อยเริ่มให้อาหาร โดยใช้สูตรตาม ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล (2547) อย่างไรก็ตามควรลดปริมาณอาหารลงเมื่อเกิดฝนตกหนัก ท้องฟ้าปิด หรือช่วงที่กุ้งเป็นโรค การลดปริมาณอาหารลงในแต่ละมื้อจะทำให้คุณภาพน้ำในบ่อดีขึ้น และสามารถจัดการได้ง่าย (Chanratchakool *et al*.,1993)

3. การเปลี่ยนถ่ายน้ำ เป็นการจัดการป้องกันไม่ให้แพลงก์ตอนมีความหนาแน่นมากจนเกิดการตายอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนถ่ายน้ำจะเป็นการชะล้างซากแพลงก์ตอน ตะกอนแขวนลอย และช่วยลดของเสียในน้ำที่เกิดจากการให้อาหาร และการขับถ่ายภายในบ่อเลี้ยง (Jaw-Kai, 1990) ส่วนใหญ่การเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนาจะไม่ค่อยเปลี่ยนถ่ายน้ำ เนื่องจากป้องกันการเกิดโรคหัวเหลือง (Yellow head virus : YHV) หรือโรคตัวแดงดวงขาว (White Spot Syndrome virus : WSSV) และหลังจากเปลี่ยนถ่ายน้ำมักจะเกิดสีน้ำล้ม เกิดการเปลี่ยนแปลงที่พื้นบ่อ ซึ่งจะกระตุ้นทำให้เกิดโรคแบคทีเรียตามมา Chanratchakool

et al. (1993) กล่าวว่า การประเมินความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนถ่ายน้ำ สามารถประเมินได้จากการเปลี่ยนแปลงของพีเอช ในรอบวันที่มากกว่า 0.5 ความโปร่งแสงของน้ำในบ่อมีค่ามากกว่า 80 เซนติเมตร หรือน้อยกว่า 30 เซนติเมตร น้ำในบ่อมีสีดำ สารอนินทรีย์แขวนลอยในน้ำเพิ่มมากขึ้น และเกิดฟองจำนวนมากที่ผิวหน้าน้ำ น้ำที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำควรพักในบ่อพักน้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง มีพีเอชของน้ำอยู่ระหว่าง 7.8-8.2 มีความเค็มใกล้เคียงกับบ่อเลี้ยง และมีปริมาณของสารอินทรีย์น้อย การเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่ละวันไม่ควรเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนถ่ายน้ำเหมาะสำหรับการเติมเข้ามาในบ่อ แต่ถ้าต้องการเติมน้ำมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ควรคลุกเคล้ามวลน้ำบริเวณผิวหน้าน้ำกับมวลน้ำให้เข้ากันทั้งบ่อ หรือเติมเข้าทีละน้อยเพื่อลดความเครียดของกุ้ง

4. การใช้สารเคมีในการควบคุมแพลงก์ตอนภายในบ่อ ช่วงที่มีการบลูมของแพลงก์ตอนภายในบ่อ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และพีเอชในรอบวันมากกว่า 0.5 การควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนอาจจะใช้ฟอร์มาลีนในอัตรา 25-40 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ ระดับน้ำลึก 1 เมตร สาดบริเวณท้ายลม การใช้ฟอร์มาลีนทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง ดังนั้นควรใช้ในช่วงเวลากลางวัน หรือเปิดเครื่องตีน้ำเต็มที่ หลังจากใช้ฟอร์มาลีนไปแล้ว 4-6 ชั่วโมงจึงเปลี่ยนถ่ายน้ำ สำหรับสีน้ำที่มีความเข้มมากสามารถใช้บีเคซี ในอัตรา 1 ลิตรต่อน้ำ 1 ไร่ ความลึกน้ำ 1 เมตร (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2535)

สรุป

แพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแบบพัฒนามีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยง กลุ่มของธาตุอาหารหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเกต ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากของเสียที่เกิดจากการขับถ่าย และอาหารกุ้งที่ให้ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง สำหรับกลุ่มธาตุอาหารรอง ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดินัม นิกเกิล แคดเมียม และซีลิเนียม ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของประชาคมแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อด้วย การลดปริมาณธาตุอาหารสามารถทำได้ตั้งแต่ช่วงเตรียมบ่อ การตากบ่อ และไถพรวนเพื่อเปิดหน้าดินทำให้ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินลดลง รวมทั้งการควบคุมอาหารในแต่ละมื้อเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนร่วมกับการใช้วัสดุปูนเพื่อปรับสภาพพื้นบ่อและคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยง เมื่อปริมาณแพลงก์ตอนไม่เหมาะสมอาจจะใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ร่วมกับการใช้ฟอร์มาลีนหรือบีเคซี ในการควบคุมแพลงก์ตอนภายในบ่ออีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติ รองศาสตราจารย์ ดร. ชลอ ลิ้มสุวรรณ ผู้จัดการฟาร์มทวีพงษ์ฟาร์ม และนครพงษ์ฟาร์มที่ให้การสนับสนุน อนุเคราะห์สถานที่ และเอื้อเฟื้อข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2548). *ดินตะกอน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. (2535). *คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ จำกัด.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล. (2547). *อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: บริษัทเมจิค พับบลิเคชั่น จำกัด.

บุณฑริกา ทองดอนพุ่ม. (2547). *ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน ความชุกชุมของแพลงก์ตอนพืช และผลผลิตของกุ้งกุลาดำ ในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา วงศ์รัตน์ และโสภณา บุญญาภิวัฒน์. (2546). *คู่มือวิธีการเก็บและวิเคราะห์แพลงก์ตอน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โสภณ อ่อนคง และชูสินธุ์ ชนะสิทธิ์. (2542). *แนวทางการจัดการป้องกันและแก้ไขปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา*. สตูล: ศูนย์พัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสตูล

Boyd, C. E. (1982). *Water Quality Management for Pond Fish Culture*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Scientific Publishing.

Boyd, C. E. & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Alabama: Alabama Agricultural Experimental Station.

Burford, M. A. & P.M. Glibert. 1999. Short-term N uptake and regeneration early and latte growth phrase shrimp ponds. *Aquaculture 30:* 215-227.

Burford, M. A. & Williams, K. C. (2001). The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture, 198,* 79-93.

Chanratchakool, P., Turnbull, J. F. & Limsuwan, C. (1993). *Health Management in Shrimp Ponds.* Bangkok: Aquatic Animal Health Research institute.

Correll, D. L. (1988). The role of phosphorus in the Eutrophication of Receiving water: A review. *J. Environ. Qual*., *27*, 261-266.

Darley, W. M. (1974). Silicification and Calcification. In W. D. P Stewart (Ed), *Algal Physiology and Biochemistry*. (pp. 22-35). Los Angeles: University of California Press.

Evans, J. C. & Prepas, E. E. (1997). Relative importance of iron and molybdenum in restricting phytoplankton growth in high phosphorus saline lakes. *Limnol. Oceanogr, 42 ,* 461-72.

FAO. (2012). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome.

Funge-Smith, S. J. & Briggs, M. R. P. (1998). Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. *Aquaculture, 164,* 117-133.

Harrison, P. J., Yu, P.W., Thompson, P. A., Price, N. M. & Phillips, D. J. (1988). Survey of selenium requirements in marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. 47,* 89-96.

Izaguirre, G., Hwang, C. J., Krasner, S. W. & Micheal, J. (1982). Geosmin and 2-methylisoborneol from cyanobacteria in three water supply system. *App, Envi*, *Micro*., *43(3)*, 708-714.

Jaw-Kai, W. (1990). Managing shrimp pond water to reduce discharge problems. *Aquacultural Engineering*, *9*, 61-73.

Johnsen, P. B., Lloyd, S. W., Vingad, B. T. & Dionigi, P. C. (1996). Effect of temperature on uptake and depuration of 2-methylisoborneol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. World Aqua Soc*., *27*(1), 15-20.

Jory, D. E. & Cabrera, T. (2003). *Marine Shrimp*. Available Source: http://www.blackwell.

Kaplan, D., Richmond, A. E., Dubinsky, Z. & Aronson, S. (1986). Algal nutrition. In A. Richmond. (ed). *CRC Handbook of Microalgal Mass Culture*. (pp147-198). Florida: CRC Press, Inc.

Lovell, T. (1989). *Nutrition and Feeding of Fish*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Morel, F. M. M., Reinfelder, J. R., Roberts, S. B., Chamberlain, C. P., Lee,J. G. & Yee, D. (1994). Zinc and carbon co-limitation of marine phytoplankton. *Nature*, *369*, 740-42.

Morris, I. (1974). Nitrogen assimilation and protein systhesis. In W. D. P Stewart. (ed.), *Algal Physiology and Biochemistry*. (pp. 115-125). Los Angeles: University of California Press.

O. Kelley, J. C. (1974). Inorganic nutrient. In W. D. P Stewart. (ed). *Algal Physiology and Biochemistry*. (pp 536-610). Los Angeles: University of California Press

Oh, H. M., lee, S. J., Jang, M.-H. & Yoon, B. D. (2000). Microcystin production by *Microcystis aeruginosa* in a phosphorus-limited chemostat. *Appl. Environ. Microbiol. 66,* 176-179.

Paerl, H. W. & Tucker, C. S. (1995). Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. *J. of the World Aqua. Society*, *26*, 109–131.

Price, N. M. & Morel, F. M. M. (1991). Co-limitation of phytoplankton growth by nickel and nitrogen. *Limnol. Oceanogr*, *36*, 1071-71.

Raven, J. A. (1988). The iron and molybdenum use efficiencies of plant growth with different energy, carbon and nitrogen sources. *New Phytol*, *109*, 279-87.

Rydin, E., Hyenstrand, P., Gunnerhed, M. & Bomqvist, P. (2002). Nutrient limitation of cyanobacterial blooms: an enclosure experiment from the coastal zone of the NW Baltic proper. *Mar. Ecol. Prog. Ser, 239*, 31-36.

Seo, J. & Boyd, C. E. (2001). Effect of bottom soil management practices on water quality improvement in channel catfish *Ictalurus punctatus* ponds. *Aquacultural Engineering*, *25*, 83-97.

Sunda, W. G., & Huntsman, S. A. (1998). Interactive effects of external manganese, the toxic metals copper and zinc, and light in controlling cellular manganese and growth in a coastal diatom. *Limnol.* Oceanogr., *43*, 1467-75.

Sunda, W. G. & Huntsman, S. A. (2004). Relationships among photoperiod, carbon fixation, growth, chlorophyll a and cellular iron and zinc in a coastal diatom. *Limnol. Oceanogr, 49,* 1742-1753.

Sunda, W. G., Price, N. M. & Morel, F. M. M. (2005). Trace metal ion buffers and their use in culture studies. In R. A. Andersen. (ed). *Algal Culturing Techniques*. (pp 35-63). Amsterdam: Elsevier Academic Press.

Suriyaphan, J., Limsuwan, C., Chuchird, N. & Taparhudee, W. (2011). Effect of water and soil qualities on phytoplankton die-offs in intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured ponds. *Kasetsart University Fisheries Research Bulletin*, *35*(3), 11-21.

Vuorio, K., Lagus, A., Leitimaki, J. M., Soumala, J. & Helminen, H. (2005). Phytoplankton community responses to nutrient and iron enrichment under different nitrogen to phosphorus ratio in the northern Baltic Sea. *J. Exp. Mar. Biol.* Ecol., *322,* 39-52.