

การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) โดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง

Growth of the Sea Grape (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) by Shrimp Pond Waste Water

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์¹ และจิรเวฐณ์ เพ็ชรสุทธิ¹



บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) ภายใต้สภาวะถังเลี้ยงกลางแจ้ง (outdoor tank) จากเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนกันยายน 2548 โดยเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทะเลธรรมชาติเพียงอย่างเดียว และเลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจะเชิงเทรา ตำบลท่าสะอ้าน อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติเพียงอย่างเดียว การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล และการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำที่ใช้ในการทดลอง ส่วนปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม) ที่พบในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นมีตะกั่วในปริมาณมากที่สุดซึ่งสาหร่ายที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติมีปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต สาหร่ายพวงองุ่น น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง

ABSTRACT

Growth of the Thai sea grape (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) was evaluated under outdoor tanks from February to September 2005 with ambient seawater and seawater enriched with shrimp pond waste water at Chachoengsao Coastal Fisheries Research and Development Center, Tasa-arn Subdistrict, Bangpakong District, Chachoengsao Province. *Caulerpa lentillifera* cultured in seawater enriched with shrimp pond waste water had higher growth rate and yield than that of cultured in seawater. The growth performance of *Caulerpa lentillifera* varied depending on experimental conditions, for example, rainfall, nutrient enrichment and varied salinity of cultured water. Among three heavy metals (Pb, Hg, Cd), Pb is the highest concentration accumulated in the tissue of *C. lentillifera*. The *C. lentillifera* culture in ambient seawater had higher metal concentrations than in seawater enriched with shrimp pond waste water.

Keywords: growth, Thai sea grape, *Caulerpa lentillifera*, shrimp pond waste water

¹อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

บทนำ

หลายสิบปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีพื้นที่เลี้ยงกุ้งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งในการเลี้ยงกุ้งมีปัญหาที่เกิดขึ้นตามมามากมาย (สุธี และคณะ, 2543) รวมทั้งมีการปล่อยน้ำทิ้งภายหลังจากการเลี้ยง หากไม่ได้รับการบำบัดก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้ สำหรับสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) เป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้โดยการลดปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งภายหลังจากการบำบัดน้ำพบว่าทำให้สาหร่ายขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว และในประเทศเองก็มีการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อบำบัดและปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ผลผลิตในธรรมชาติยังไม่เพียงพอ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องสร้างแหล่งพันธุ์ของสาหร่ายให้มีปริมาณเพียงพอ ดังนั้นสาหร่ายพวงองุ่นจึงเป็นสาหร่ายทะเลอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาเลี้ยง เพื่อการสร้างแหล่งพันธุ์ของสาหร่ายให้มีปริมาณเพียงพอเพื่อใช้ประโยชน์ในการลดปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้การบำบัดน้ำทิ้งแล้วในประเทศไทยโดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคใต้ก็มีการบริโภคสาหร่ายชนิดนี้มาเป็นเวลานาน ดังนั้นการพัฒนาการเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นจึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานในหลายๆ ด้าน การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย ปัจจัยสภาพแวดล้อมและคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงที่มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงปริมาณโลหะหนักที่อาจตกค้างในเนื้อเยื่อของสาหร่าย ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาการเลี้ยงเพื่อสร้างแหล่งพันธุ์ของสาหร่าย และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งภายใต้สภาวะถึงเลี้ยงกลางแจ้ง (outdoor tank)

2. เพื่อศึกษาปัจจัยแวดล้อมและคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งภายใต้สภาวะถึงเลี้ยงกลางแจ้ง

3. เพื่อตรวจสอบโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งภายใต้สภาวะถึงเลี้ยงกลางแจ้ง

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะถึงเลี้ยงกลางแจ้ง

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) โดยวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ทดลองเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในถังไฟเบอร์กลาสทรงกลมขนาดความจุ้นประมาณ 1,000 ลิตร โดยเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และเลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) ในอัตราส่วนที่ขึ้นกับความเค็มของน้ำทะเลที่ใช้ในแต่ละครั้ง (อย่างละ 1 ถัง) โดยแต่ละถังมีการเลี้ยง 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเลี้ยงสาหร่ายเพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตในตะกร้าพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร จำนวน 15 ใบต่อถัง แต่ละใบใส่สาหร่ายน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม พร้อมด้วยก้อนหินขนาดจำนวน 3-4 ก้อนเพื่อให้เป็นที่ยึดเกาะของสาหร่ายที่เลี้ยง แขนงตะกร้าไว้กับไม้ไผ่ซึ่งวางพาดกับขอบของถังไฟเบอร์กลาสทั้ง 2 ด้าน ตะกร้าพลาสติกอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำประมาณ 15-30 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักสาหร่ายทุก 10 วัน อีกส่วนหนึ่งเลี้ยงเพื่อเพิ่มผลผลิตของสาหร่ายเพื่อสุ่มเก็บมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของสาหร่ายที่เลี้ยงได้ทุก 1 เดือน โดยซึ่งสาหร่ายน้ำหนักเริ่มต้น 200 กรัมใส่ลงเลี้ยงในตะกร้าพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบต่อถัง ดำเนินการเลี้ยงเช่นเดียวกันเพื่อหาอัตราการเจริญเติบโต มีการให้อากาศด้วยหัวทรายขนาดใหญ่ 2 หัวตลอดเวลา นอกจากนี้ยังควบคุมความเค็มของน้ำที่

ใช้เลี้ยงสาหร่ายทั้ง 2 ถังโดยใช้น้ำบาดาลและน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลผสมในน้ำทะเลธรรมชาติให้มีความเค็มอยู่ในช่วงประมาณ 30‰ เปลี่ยนถ่ายน้ำในปริมาตร 1 ใน 2 ส่วนของน้ำที่เลี้ยงสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ตรวจวัดอุณหภูมิ ความเค็ม ก่อนและหลังเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี (ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO), ความเป็นกรดต่าง (pH), แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท, ออร์โธฟอสเฟต และความเป็นต่างของน้ำ)

ศึกษาปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว ปรอท และ แคดเมียม) ในเนื้อเยื่อของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงได้ใน T1 และน้ำใน T2 โดยผลผลิตสาหร่ายที่เลี้ยงได้ทุกๆ เดือน สุ่มตัวอย่างนำมาทำความสะอาดโดยปัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนที่เกาะกับสาหร่ายจนกว่าจะสะอาด และล้างด้วยน้ำจืดจนสาหร่ายไม่มีความเค็มจากน้ำทะเล ตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง บดให้ละเอียดแล้วจึงเก็บรักษาไว้ในขวดและมีฝาปิดมิดชิด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยใช้ชุดเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่าย (Atomic absorption spectrophotometer) ตามวิธีการของสรสิทธิ์ และคณะ (2535)

การเก็บข้อมูล

การตรวจสอบน้ำหนักของสาหร่ายทุก 10 วัน โดยชั่งน้ำหนักของสาหร่ายในตะกร้า เพื่อตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโต จากนั้นชั่งน้ำหนักสาหร่ายกลับให้ได้ใกล้เคียงกับน้ำหนักเริ่มต้นเลี้ยง (ประมาณ 100 กรัม) และนำไปใส่กลับลงในตะกร้าเดิมแล้วนำลงเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส ซึ่งสูตรคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตอ้างตาม Penniman, Mathieson, and Penniman (1986) มีดังนี้

$$G = [(W_t/W_0)^{1/t} - 1] \times 100$$

เมื่อ G = อัตราการเจริญเติบโตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยเวลา(เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

W_0 = น้ำหนักของสาหร่ายเมื่อเริ่มทำการเลี้ยง (กรัม)

W_t = น้ำหนักของสาหร่ายเมื่อเวลา t (กรัม)

t = เวลาการเลี้ยง (วัน)

ศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น โดยตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นที่สำคัญคือ อุณหภูมิวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะบรรจุของเหลวเป็นแอลกอฮอล์ ความเค็มวัดโดยใช้เครื่องมือวัดความเค็ม (salinity refractometer) [ATAGO S/Mill-E] ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) วัดโดยใช้เครื่องมือ DO meter (YSI Model 57) ความเป็นกรดต่าง (pH) วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ pH meter (Fisher Scientific รุ่น Accumet 1003) แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท, ออร์โธฟอสเฟต และความเป็นต่างของน้ำตรวจวัดโดยใช้เครื่อง spectrophotometer (Shimadzu UV-1061) วิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีของนิเวศน์ (2528)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12.0

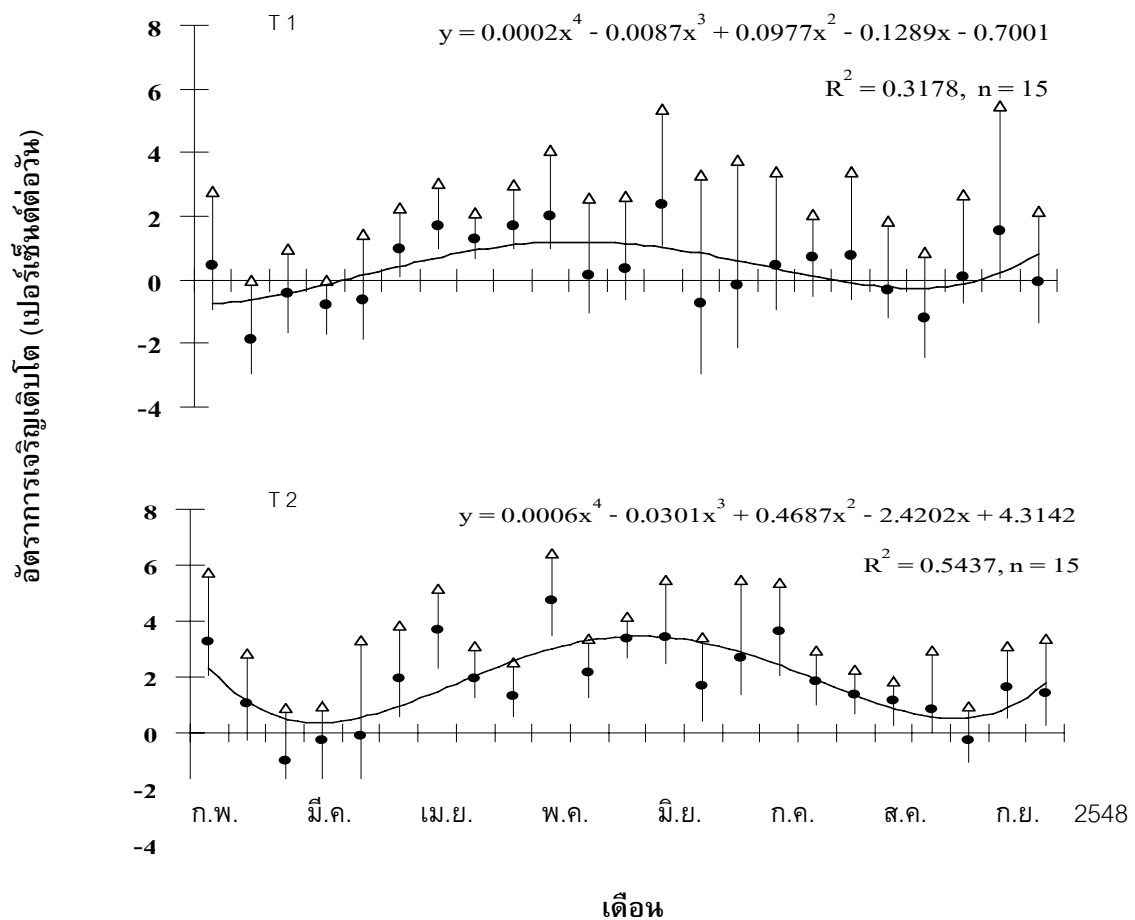
ผลการวิจัย

การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลภายใต้สภาวะถังเลี้ยงกลางแจ้ง (outdoor tank)

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงใน T1 เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์มีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ ในเดือนนี้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ -2.99 ± 1.12 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน แต่ต่อมาในเดือนเมษายนสาหร่ายมีแนวโน้มการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และในเดือนสิงหาคมสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตเริ่มลดลง สำหรับในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงต้นเดือนตุลาคมสาหร่ายได้ตายลงอย่างฉับพลันเกือบหมดเนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาปริมาณมากในบริเวณ

ที่ทดลองเลี้ยงสาหร่ายส่งผลให้ความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว แต่ในช่วงเดือนกันยายนสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 5.49 ± 1.46 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน รองลงมาคือ

เดือนมิถุนายนโดยมีค่าเท่ากับ 5.38 ± 1.31 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) จากเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนกันยายน 2548

; เส้นโค้ง = fitted polynomial regression line, ● = อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย, I = standard deviations,

Δ = อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงใน T2 เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ในเดือนมีนาคมสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ ในเดือนนี้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ -2.48 ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ต่อมาในเดือนเมษายนสาหร่ายมีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และในต้นเดือนสิงหาคมอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเริ่มลดลง สำหรับในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงต้นเดือนตุลาคมสาหร่ายที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส ตายลงอย่างฉับพลันเกือบทั้งหมด เนื่องจากเป็นช่วงปลายฤดูฝน ฝนตกชุก โดยเฉพาะเดือนกันยายนมีวันที่มีฝนตกถึง 21 วัน ส่วนวันที่มีฝนตกมากที่สุดคือวันที่ 13 กันยายน 2548 มีปริมาณน้ำฝนสูงถึง 92.0 มิลลิเมตร ในเดือนนี้มีฝนตกเฉลี่ยสูงสุดถึง 16.69 มิลลิเมตร และตลอดทั้งเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนทั้งหมดสูงถึง 350.5

มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548) ส่งผลให้ความเค็มของน้ำลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว คืออยู่ในช่วง 21.0-30.0 ppt. (ตารางที่ 3) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงใน T2 พบในกลางเดือนพฤษภาคมโดยมีค่าเท่ากับ 6.42 ± 1.28 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน รองลงมาคือเดือนกุมภาพันธ์โดยมีค่าเท่ากับ 5.75 ± 1.18 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน (ภาพ 1) สาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงใน T1 มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยน้อยกว่าและสาหร่ายที่เลี้ยงใน T2 โดยสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 มีอัตราการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ย 0.35 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ในขณะที่เลี้ยงใน T2 มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 1.81 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และเมื่อทดสอบความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตระหว่าง T1 และ T2 พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เลี้ยงใน T2 มีมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำที่จากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) จากเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนกันยายน 2548

วัน เดือน ปี	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	
	T1	T2
15 ก.พ. 48	0.43	3.25
25 ก.พ. 48	-1.87	1.03
7 มี.ค. 48	-0.45	-0.98
17 มี.ค. 48	-0.8	-0.28
28 มี.ค. 48	-0.66	-0.1
7 เม.ย. 48	0.95	1.97
19 เม.ย. 48	1.67	3.68
29 เม.ย. 48	1.26	1.96
9 พ.ค. 48	1.71	1.31
19 พ.ค. 48	2.01	4.73
30 พ.ค. 48	0.12	2.16
9 มิ.ย. 48	0.33	3.38
20 มิ.ย. 48	2.37	3.44
30 มิ.ย. 48	-0.76	1.66
11 ก.ค. 48	-0.16	2.68
20 ก.ค. 48	0.47	3.64
29 ก.ค. 48	0.73	1.86

8 ส.ค. 48	0.74	1.38
18 ส.ค. 48	-0.32	1.15
29 ส.ค. 48	-1.23	0.86
8 ก.ย. 48	0.11	-0.24
19 ก.ย. 48	1.51	1.62
29 ก.ย. 48	-0.08	1.40
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	0.35	1.81
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.09	1.45
t-test		3.86
Sig.		0.00

ปัจจัยแวดล้อมและคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลภายใต้สภาวะกึ่งเลี้ยงกลางแจ้ง

สาหร่ายทั้ง T1 และ T2 มีค่าอยู่ในช่วง 25.0°C -33.0°C ส่วนอุณหภูมิของอากาศบริเวณที่เลี้ยงสาหร่ายทั้ง T1 และ T2 อยู่ในช่วงระหว่าง 25.0°C -34.0°C

คุณภาพน้ำทางกายภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นแสดงในตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการเลี้ยง

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทางกายภาพของน้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) ที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ในสภาพถังไฟเบอร์กลาสจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนตุลาคม 2548

เดือน	อุณหภูมิน้ำ (°C)		อุณหภูมิอากาศ (°C)	
	T1	T2	T1	T2
ก.พ.	26-33	26-33	27.5-34	27.5-34
มี.ค.	25-28	25-28	27-32	27-32
เม.ย.	26-30	26-30	25-33	25-33
พ.ค.	27-31	27-31	28-34	28-34
มิ.ย.	27-31	27-31	30-33	30-33
ก.ค.	27-31	27-31	28-33	28-33
ส.ค.	27-31	27-31	28-32	28-32
ก.ย.	25-30	25-30	26-32	26-32
ต.ค.	28-29	28-29	29-30	29-30

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำทางเคมี (ความเค็ม pH และ DO) ของน้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) ที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ในสภาพถังไฟเบอร์กลาสจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนตุลาคม 2548

เดือน	ความเค็ม (‰)		pH		DO (mg/l)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
ก.พ.	30-33	30-33	8.0-8.3	7.9-8.3	4.43-5.67	3.82-6.61
มี.ค.	30	30-32	8.0-8.3	8.0-8.4	4.44-6.70	4.55-6.98
เม.ย.	30	30	7.9-8.3	8.1-8.4	3.02-7.37	2.73-7.17
พ.ค.	27-30	28-30	7.8-8.2	7.9-8.4	3.59-8.25	4.25-7.83
มิ.ย.	30	30	7.9-8.1	8.1-8.2	4.80-7.20	5.74-6.96
ก.ค.	26-30	27-30	8.0-8.2	7.9-8.2	4.55-7.34	4.70-6.98
ส.ค.	30	30	8.0-8.2	8.0-8.1	4.96-7.25	4.39-6.60
ก.ย.	21-30	22-30	8.1-8.3	8.0-8.3	4.12-6.92	3.76-5.93
ต.ค.	24-30	25-30	8.1-8.2	8.0-8.1	-	-

หมายเหตุ: - ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำทางเคมี (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต และความเป็นต่าง) ของน้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) ที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ในสภาพถังไฟเบอร์กลาสจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน 2548

เดือน	แอมโมเนีย (ammonia) (mg/l)		ไนไตรท์ (nitrite) (mg/l)	
	T1	T2	T1	T2
ก.พ.	0.0391-0.2494	0.0381-0.7953	0.0028-0.1040	0.0028-0.6600
มี.ค.	0.0625-0.2483	0.0683-0.3008	0.0050-0.2172	0.0048-0.6689
เม.ย.	0.0439-0.8128	0.0354-1.5350	0.0055-0.2526	0.0051-0.6498
พ.ค.	0.0354-1.3196	0.0470-2.0497	0.0037-0.0905	0.0030-0.5716
มิ.ย.	0.0206-2.0473	0.0265-2.2640	0.0035-0.0512	0.0034-0.7854
ก.ค.	0.0426-0.5847	0.0673-0.7987	0.0029-0.2503	0.0052-0.6212
ส.ค.	0.1070-2.7071	0.1698-1.6090	0.0023-0.0039	0.0029-0.0066
ก.ย.	0.1050-1.3872	0.0209-1.0079	0.0028-0.0056	0.0029-0.0055

ตารางที่ 4 (ต่อ)

เดือน	ไนเตรท (nitrate)		ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphates)		ความเป็นด่าง (alkalinity)	
	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
ก.พ.	0.0038-0.1229	0.0023-0.7047	0.0026-0.0708	0.0029-0.1307	136-160	140-180
มี.ค.	0.0004-0.7610	0.0002-0.8290	0.0012-0.2351	0.0003-0.3559	105-148	130-200
เม.ย.	0.0018-0.7198	0.0053-0.8630	0.0003-0.0886	0.0003-0.3017	85-130	120-210
พ.ค.	0.0022-0.2598	0.0057-0.5720	0.0036-0.0227	0.0031-0.1289	95-191	127-189
มิ.ย.	0.0026-0.5784	0.0005-0.1992	0.0035-0.0808	0.0035-0.1624	90-147	110-175
ก.ค.	0.0019-0.8009	0.0044-0.7854	0.0003-0.0412	0.0031-0.0562	105-130	120-185
ส.ค.	0.0017-0.0065	0.0002-0.0058	0.0006-0.0195	0.0004-0.0477	100-135	130-145
ก.ย.	0.0012-0.0060	0.0038-0.0056	0.0038-0.0081	0.0028-0.0212	105-125	120-145

คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในถังไฟเบอร์กลาส ดังแสดงในตารางที่ 3 และตาราง 4 พบว่าความเค็มใน T1 และ T2 มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 21.0-33.0% ส่วนค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 7.9-8.3 (T1) และ 7.9-8.4 (T2) สำหรับค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ใน T1 มีค่ามากกว่า T2 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.02-8.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2.73-7.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียใน T1 และ T2 มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.0206-2.7071 มิลลิกรัมต่อลิตร (T1) และ 0.0209-2.2640 มิลลิกรัมต่อลิตร (T2) ค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ใน T2 มีค่ามากกว่า T1 โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.0023-0.2526 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.0028-0.7854 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของไนเตรทใน T1 และ T2 มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.0004-0.8009 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.0002-0.8630 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.0003-0.1414 มิลลิกรัมต่อลิตร (T1) และ 0.0003-0.3559 มิลลิกรัมต่อลิตร (T2) และความเป็นด่างอยู่ในช่วง 85-191 มิลลิกรัมต่อลิตร (T1) และ 110-210 มิลลิกรัมต่อลิตร (T2)

สำหรับความยาวนานของแสงแดดทั้งหมดบริเวณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจะเชิงเตรา ต.

ท่าสะพาน อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2548 พบว่าความยาวนานของแสงแดดมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ซึ่งความยาวนานของแสงแดดทั้งหมดในปี 2548 มีค่าค่อนข้างสูงในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ส่วนในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนมีค่าต่ำ โดยในเดือนกรกฎาคมมีความยาวนานของแสงแดดทั้งหมดต่ำสุด 119.4 ชั่วโมง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ได้จากการเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลภายใต้สภาวะกึ่งเลี้ยงกลางแจ้ง

ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน 2548 (ตารางที่ 5) พบว่าปริมาณตะกั่วในสาหร่าย T1 และ T2 มีค่าอยู่ในช่วง 1.0-1.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.7-1.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณปรอทพบมีค่าระหว่าง 0.009-0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (T1) และ 0.009-0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (T2) สำหรับปริมาณแคดเมียมพบมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.08-1.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (T1) และ 0.03-1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (T2)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติถึงปริมาณโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่ทำการทดลอง พบว่าใน

เนื้อเยื่อสาหร่ายมีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยมากที่สุด (1.4375 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รองลงมาเป็นแคดเมียม (0.4544 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และปรอทซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด (0.0188 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (ตาราง 6) เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายโดยใช้วิธีการทางสถิติ ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ได้ค่าสถิติทดสอบ (F-test) 103.156 และค่า Sig.= 0.000 แสดงว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในเนื้อเยื่อสาหร่ายมีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญ

จากผลการทดลองและการทดสอบทางสถิติ พบว่า ในเนื้อเยื่อสาหร่ายมีปริมาณตะกั่วมากกว่าปริมาณของแคดเมียมและปรอทอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และยังพบว่าปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อสาหร่ายมีปริมาณมากกว่าปริมาณของปรอทอย่างมีระดับนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% (ตาราง 7)

เมื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 กับปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T2 จำแนกตามชนิดของโลหะหนัก

จากการทดลองพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 มีปริมาณตะกั่วอยู่ในเนื้อเยื่อประมาณ 1.6000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงใน T2 มีปริมาณตะกั่วประมาณ 1.2750 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 8) และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่ามีค่าสถิติทดสอบ (t-test) 2.263 และค่า Sig.=0.040 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 มีปริมาณตะกั่วแตกต่างจากที่พบในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T2 ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% (แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05)

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงอุ้ง (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติ (T1) และน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล (T2) ในสภาพถังไฟเบอร์กลาสจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกันยายน 2548

เดือน	ตะกั่ว (mg/kg)		ปรอท (mg/kg)		แคดเมียม (mg/kg)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
ก.พ.	1.7	1.4	0.04	0.01	1.4	1.0
มี.ค.	1.9	1.6	0.02	0.01	0.7	0.5
เม.ย.	1.8	1.5	0.02	0.01	0.8	0.6
พ.ค.	1.8	1.3	0.01	0.009	0.4	0.3
มิ.ย.	1.7	1.4	0.02	0.01	0.5	0.3
ก.ค.	1.5	1.2	0.01	0.009	0.3	0.2
ส.ค.	1.4	1.1	0.01	0.009	0.1	0.06
ก.ย.	1.0	0.7	0.009	0.009	0.08	0.03

ตารางที่ 6 ปริมาณโลหะหนักและค่าสถิติทดสอบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่าย

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโดยเฉลี่ย (mg/kg)	Std. Deviation	F-test	Sig.
ตะกั่ว	1.4375	0.3243	103.156	.000
ปรอท	0.0188	0.0094		
แคดเมียม	0.4544	0.3775		

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายค่าเฉลี่ยที่แตกต่าง (Sig.)

ชนิดของโลหะหนัก	ปรอท	แคดเมียม
ตะกั่ว	1.4256 (0.000)	0.9831 (0.000)
ปรอท		-0.4425 (0.000)

ตารางที่ 8 ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงอุ้งที่เลี้ยงใน T1 และ T2

ชนิดของโลหะหนัก	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ย	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
ตะกั่ว	T1	1.6000	0.2928	2.263	0.040
	T2	1.2750	0.2816		

ตาราง 9 ปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงอุ้งที่เลี้ยงใน T1 และ T2

ชนิดของโลหะหนัก	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ย	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
ปรอท	T1	0.0174	0.0104	2.127	0.071
	T2	0.0095	0.0005		

ตารางที่ 10 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงอุ้งที่เลี้ยงใน T1 และ T2

ชนิดของโลหะหนัก	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ย	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
แคดเมียม	T1	0.5350	0.4337	0.846	0.412
	T2	0.3737	0.3200		

ในการพิจารณาปริมาณปรอท พบว่าเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 มีปริมาณปรอทโดยเฉลี่ย 0.0174 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่เลี้ยงใน T2 มีปริมาณปรอทโดยเฉลี่ย 0.0095 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 9) เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ค่าสถิติทดสอบ t-test มีค่า 2.127 และมีค่า Sig. = 0.071 แสดงว่าปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่

เลี้ยงใน T1 และที่เลี้ยงใน T2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่ทำการทดลองพบว่า โดยเฉลี่ยปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 มีปริมาณ 0.5350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และที่เลี้ยงใน T2 มีปริมาณ 0.3737 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 10) เมื่อทำการ

ทดสอบทางสถิติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าสถิติทดสอบ (t-test) มีค่า 0.846 และ Sig. มีค่า 0.412 แสดงว่าปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงใน T1 และที่เลี้ยงใน T2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

วิจารณ์ผล

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลภายใต้สภาวะถึงเลี้ยงกลางแจ้ง

สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงในถึงกลางแจ้ง โดยใช้ น้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลซึ่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นกับความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำ ความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย อิพีไฟต์หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ขึ้นปกคลุมบนทาลัส และฤดูกาลการเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น สำหรับการเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในถึงกลางแจ้งโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล มีการเจริญเติบโตมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ($p < 0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Trono and Denila (1987) ได้เลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa* ในบ่อเลี้ยงที่ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าผลผลิตและอัตราการเจริญเติบโตขึ้นกับปัจจัยทางนิเวศวิทยา เช่น อุณหภูมิ, ความเค็ม pH ความเข้มแสง และระดับสารอาหาร การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นเป็นไปตามฤดูกาล โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดอยู่ในช่วงฤดูร้อน และต่ำสุดในช่วงฤดูฝนหรือฤดูหนาว ความเค็มของน้ำที่ลดลงในบ่อเลี้ยงมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย นอกจากนี้ความเข้มแสงต่ำและระดับสารอาหารยังอาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นเดียวกัน ซึ่งตรงกับรายงานการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida* โดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลา *Sparus aurata* และสาหร่ายชนิดนี้มีอัตราการดูดซับสารอาหารไนโตรเจนสูงสุดในช่วงฤดูร้อน และให้ผลผลิตสูงสุด 40 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน (Jimenez del Rio, Ramazanov, and Gracia-Reina, 1996) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Smith, Robertson, and Preez (1997) ซึ่งพบว่าสาหร่าย

Gracilaria gracilis เมื่อเพิ่มการให้สารอาหารประเภท $\text{NH}_4\text{-N}$ เป็น 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อเยื่อของสาหร่ายเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของนิสราภรณ์ (2544) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* ในถึงไฟเบอร์กลาสผลปรากฏว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในถึงไฟเบอร์โดยใช้ น้ำทะเลธรรมชาติผสมน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลา มีอัตราการเจริญเติบโตวันสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลเพียงอย่างเดียว อาจเนื่องจากในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลา มีสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในถึงกลางแจ้ง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางมีนาคม 2548 สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวชนิด *Chaetomorpha* sp. และ *Enteromorpha clathrata* เกาะที่ตะกร้าพลาสติก และเชือกที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สาหร่ายทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวแย่งสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ส่งผลให้สารอาหารในน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น จึงมีการเพิ่มสัดส่วนการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เลี้ยงสาหร่ายให้มากขึ้นจาก 1 ใน 2 ส่วนเป็น 3 ใน 4 ส่วนของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย เพื่อเป็นการเพิ่มสารอาหารในน้ำให้แก่สาหร่ายพวงองุ่น และมีการกำจัดสาหร่ายสีเขียวชนิดดังกล่าวออกจากตะกร้าพลาสติก และเชือกโดยการทำความสะอาดทุกสัปดาห์ นอกจากนี้มีหนอนแดงปกคลุมบนทาลัสของสาหร่ายเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุในการขัดขวางการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจึงทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตลดลง จึงมีการแก้ไขโดยการเขย่าตะกร้าพลาสติกที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายเบาๆ ทุก 2 วันส่งผลให้ปริมาณหนอนแดงลดลง สาหร่ายจึงสามารถเพิ่มพื้นที่สังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตได้มากขึ้น (Boyd, 1982) ทำให้ในเดือนต่อมาสาหร่ายมีแนวโน้มมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และในช่วงนี้พบการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ซึ่งจะพบบนผิวของทาลัสมีลักษณะรูปร่างเป็นตาข่ายอย่างชัดเจน ในระยะนี้ภายในไซโตพลาสซึมจะมีการเคลื่อนที่ของแกมิต แกมิตจะถูก

ปล่อยออกมา หลังจากนั้นจะเกิดการคอนจูเกชัน (conjugation) เป็นไซโกต (zygote) เกาะลงบนพื้นหรือ ก้อนหินแล้วออกเป็นต้นใหม่ (Miyake and Kunieda, 1937) ส่วนสาหร่ายต้นเดิมจะมีสีซีดลงหลังจากมีการ ปล่อยแกมีตไปแล้วเกิดซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงที่อากาศ อบอุ่นในฤดูร้อน จึงอาจเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ ส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตลดลง

สำหรับลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของ สาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติจะเห็นสโต ลอน (stolon) มีขนาดเล็กยืดยาว มีสีซีดเหลือง จำนวน รามูลัส (ramulus) มีน้อยและมีขนาดเล็กบางครั้งไม่มี รามูลัส ไรซอยด์ (rhizoid) มีเป็นจำนวนน้อย เห็นเป็น เส้นสั้นๆ อาจเนื่องจากได้รับสารอาหารในน้ำไม่ เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ส่วนสาหร่ายพวงองุ่นที่ เลี้ยงในน้ำทะเลผสมน้ำจืดจากการเลี้ยงกุ้งทะเล ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏจะเห็นทาลัสเป็นสีเขียว ไส้ ปลายทาลัสยืดยาว รามูลัสค่อนข้างถี่ ไรซอยด์มีเป็น จำนวนมากและแตกแขนงเป็นเส้นยาว อาจเนื่องจากใน น้ำจืดจากการเลี้ยงกุ้งทะเลมีสารอาหารที่เพียงพอและ จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังจะเห็นได้จาก สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำจืดจาก การเลี้ยงกุ้งทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าสาหร่าย ที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติ และให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อ เลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน (Trono, 1988; นิสรารณ, 2544)

ปัจจัยแวดล้อมและคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการ เจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงโดยใช้น้ำจืดจากการเลี้ยงกุ้งทะเล ภายใต้สภาวะกึ่งเลี้ยงกลางแจ้ง

สาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสมี อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ในเดือนเมษายนถึง กรกฎาคม 2548 ซึ่งเป็นช่วงที่ความเข้มข้นของ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต ของน้ำใช้เลี้ยงสาหร่ายมีปริมาณค่อนข้างสูง (ตารางที่ 4) สาหร่ายจึงสามารถดึงสารต่างๆ ดังกล่าวเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย ในน้ำ (DO) ในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม

2548 มีค่าค่อนข้างสูง (ตารางที่ 3) ซึ่งสัมพันธ์กับอัตรา การเจริญเติบโตที่สูงขึ้นของสาหร่ายซึ่งออกซิเจนที่ ละลายในน้ำมีความสำคัญมากต่อแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิต เกือบทุกชนิดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ให้เกิด พลังงาน (นิสรารณ, 2548) ไม่ว่าพืชหรือสัตว์ต้องการ ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ส่วนแบคทีเรียใช้ออกซิเจน ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ได้ผลผลิตเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งเป็นวัตถุดิบในการ สังเคราะห์แสงและเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของสาหร่าย (Maitland, 1978)

การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงใน ถังกลางแจ้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับควมยาวนานของ แสงแดดที่สาหร่ายได้รับ พบว่าช่วงที่สาหร่ายพวงองุ่นมี อัตราการเจริญเติบโตต่ำในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือน มีนาคมเป็นช่วงเดียวกับที่สาหร่ายได้รับความยาวนาน ของแสงแดดมาก ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าการเจริญเติบโต ของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงมีการตอบสนองต่อความ ยาวนานของแสงแดดที่ได้รับ ส่งผลให้สาหร่ายมีการ เจริญเติบโตที่แตกต่างกัน (สมบุญ, 2538) หากได้รับ แสงแดดเป็นระยะเวลานานขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับ ความร้อนเนื่องจากน้ำมีความสามารถในการเก็บความ ร้อนสูง จึงส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (ยนต์, 2531) อาจส่งผลให้สาหร่ายมีอัตราการ เจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้สอดคล้องกับรายงานของ Toma (1987) ว่าสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีความไวต่อแสงมาก สาหร่ายจะถูกยับยั้งการเจริญ เติบโตเมื่อได้รับแสงมาก

สำหรับช่วงเดือนมีนาคม 2548 อัตราการ เจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงทั้ง 2 การ ทดลองลดลง เนื่องจากตั้งแต่ปลายเดือนกุมภาพันธ์ มีอิพิไฟต์จำนวนมากขึ้นปกคลุมสาหร่าย ส่วนในเดือน กันยายนถึงต้นเดือนตุลาคม 2548 อัตราการเจริญ เติบโตของสาหร่ายลดลงเช่นเดียวกันเนื่องจากเป็นช่วง ปลายฤดูฝน ฝนตกหนักมาก เป็นเหตุให้น้ำที่ใช้เลี้ยง สาหร่ายในถังไฟเบอร์มีความเค็มลดลงอย่างรวดเร็ว ทาลัสมีลักษณะนิ่มและเริ่มตาย อัตราการเจริญเติบโต จึงลดลง ซึ่งความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายอาจ เกี่ยวข้องกับกระบวนการออสโมซิสของสาหร่าย

โดยตรง เมื่อน้ำมีความเค็มลดลงมากกระบวนการออสโมซิสสูงขึ้น ทำให้สาหร่ายต้องใช้พลังงานในการควบคุมสมดุลของน้ำภายในเซลล์ ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Lobban et al., 1985) เช่นเคยมีรายงานว่าสาหร่ายพวงองุ่นมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในช่วงฤดูร้อน และในช่วงฤดูฝนสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุดเนื่องจากความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายต่ำกว่า 25‰ (Horstmann, 1983; Toma, 1987; Trono, 1988; นิสราภรณ์, 2544) การที่ความเค็มของน้ำในถังไฟเบอร์กลาสลดลงมากเพราะถูกเจือจางด้วยน้ำฝนทำให้ค่าความเป็นด่างลดลงด้วย ซึ่งค่าความเป็นด่างมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเค็มของน้ำ ความเป็นด่างเป็นปัจจัยที่ช่วยควบคุมไม่ให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลง (buffer capacity) ค่า pH รวดเร็วเกินไป ถ้าค่าความเป็นด่างต่ำทำให้ความสามารถของน้ำที่จะป้องกันไม่ให้ pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงต่ำ ซึ่งจะทำให้ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Boyd, 1982; นิสราภรณ์, 2548)

การตรวจสอบปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากการเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลภายใต้สภาวะกึ่งเลี้ยงกลางแจ้ง

ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยง ดังตารางที่ 5-7 พบว่าปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่ตรวจสอบ (ตะกั่ว โปรท และแคดเมียม) พบปริมาณของตะกั่วในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือแคดเมียมและโปรทตามลำดับ ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่ตรวจสอบ พบในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงใน T1 มากกว่าใน T2 ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณโปรท และแคดเมียมในเนื้อเยื่อสาหร่ายพบไม่แตกต่างกันที่เลี้ยงใน T1 และเลี้ยงใน T2 ($p < 0.05$) การที่เนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นมีการสะสมของโลหะหนักโดยเฉพาะตะกั่วซึ่งพบในปริมาณมากที่สุด อาจเนื่องจากแหล่งน้ำที่นำมาใช้เลี้ยงสาหร่ายอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรกรรมและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ทั้งยังเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมของสารที่พัดพามาจากแม่น้ำสายอื่น ๆ ที่ไหลลงสู่อ่าว

ไทยตอนบน เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน เป็นต้น และอาจเป็นเพราะแหล่งน้ำใกล้ฝั่งซึ่งเป็นแหล่งน้ำใกล้ชุมชนจึงมีการปนเปื้อนและมีการทิ้งสารลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณสูง (ปิยวรรณ และกานดา, 2548) นอกจากนี้โลหะหนักทั้งสามชนิดจะพบในปริมาณมากในช่วงฤดูแล้ง ส่วนในฤดูฝนจะพบในปริมาณที่น้อยกว่า สำหรับปริมาณโลหะหนักพบในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำ T1 มากกว่าเนื่องจากในขั้นตอนการเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติได้นำน้ำจากธรรมชาติมาใช้โดยตรงโดยไม่มีการพักน้ำ หรือมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำปริมาณโลหะหนักในน้ำจึงอาจมีปริมาณมากกว่าในน้ำที่เตรียมไว้สำหรับการเลี้ยงกุ้ง เพราะน้ำที่เตรียมไว้สำหรับการเลี้ยงกุ้งต้องมีการพักน้ำสำหรับการตกตะกอน นอกจากนี้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำก่อนนำไปเลี้ยงกุ้งจึงส่งผลให้น้ำมีคุณภาพดีกว่า เพราะฉะนั้นปริมาณโลหะหนักจึงอาจมีน้อยกว่าน้ำที่นำมาจากทะเลธรรมชาติโดยตรง (พรเลิศ, เจ เอฟ เทอร์นบอล และชโล, 2537)

สรุปผลการวิจัย

1.1 การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสให้ผลการทดลองคือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลมีค่าสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติ ($p < 0.05$)

1.2 ลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเลมีสีเขียวใส รามูลส์ค่อนข้างถี่ ไรซอยด์มีเป็นจำนวนมากและแตกแขนง ในขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติมีสีเหลืองซีด รามูลส์มีน้อยและอยู่ห่างๆ กัน ส่วนไรซอยด์มีน้อยและเป็นเส้นสั้นๆ

1.3 คุณภาพของน้ำในถังไฟเบอร์กลาสในช่วงที่ทดลองเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น พบว่าองค์ประกอบหลักที่ทำให้ผลการทดลองผันแปรคือ สารอาหารและความเค็มของน้ำเลี้ยงสาหร่าย ทั้งนี้ในน้ำที่มีสารอาหารในโตรเจนสูงทำให้สาหร่ายพวงองุ่นมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และสาหร่ายพวงองุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ที่ความเค็ม 30 ถึง 35‰ ที่ความเค็ม

ประมาณ 30% ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตดี แต่ความเค็มที่ต่ำกว่า 20‰ ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเป็นสาเหตุให้สาหร่ายตายอย่างฉับพลัน

1.4 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นที่ตรวจสอบ (ตะกั่ว โปรท และแคดเมียม) พบปริมาณของตะกั่วในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือแคดเมียมและโปรทตามลำดับ

1.5 ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่ตรวจสอบพบในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติมีมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำที่จากการเลี้ยงกุ้งทะเล ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณโปรทและแคดเมียมพบในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติไม่แตกต่างกับในเนื้อเยื่อสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำที่จากการเลี้ยงกุ้งทะเล ($p < 0.05$)

1.6 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อสาหร่ายพวงองุ่นขึ้นกับคุณภาพของแหล่งน้ำ และการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำมาใช้เลี้ยงสาหร่าย

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2548. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประจำปี พ.ศ. 2548. กรุงเทพฯ.
- นิเวศน์ เรืองพานิช. 2528. คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง: ความรู้เบื้องต้นและวิธีวิเคราะห์. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. 2544. การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น, *Caulerpa lentillifera* J.Agardh. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- 2548. การผลิตสัตว์น้ำ. สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ปิยวรรณ ศรีวิลาศ และกานดา ใจดี. 2548. สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงถึงศรีราชา. วารสารการประมง. 58(1): 66-70.

พรเลิศ จันทร์รัชชกุล, เจ เอฟ เทอร์นบอ และชอล ลัมสุวรรณ. 2537. คู่มือการเลี้ยงและป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ยนต์ มุสิก. 2531. กำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อปลา II. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2538. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สรสิทธิ์ วัชรโยธาน, ทศนีย์ อัดตะนันท์, ไพบุลย์ ประพฤติธรรม, ชัยพฤกษ์ สุวรรณรัตน์, สุเทพ ทองแพ และสมชาย กริษาภิรมย์. 2535. คู่มือการวิเคราะห์ดิน-น้ำ. โครงการพัฒนาวิชาการดินและปุ๋ย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุธี เกื้อเกตุ, สุขุม เรา้ใจ, สิริ ทุกขวินาศ และรังสิไชย ทับแก้ว. 2543. การสำรวจศึกษาผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืด: กรณีศึกษาการสะสมและการกระจายของไอออนจากน้ำทะเลจากบ่อเลี้ยงที่มีระบบการเลี้ยงต่างกันที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2543. สถาบันวิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเล กรมประมง. กรุงเทพฯ.

Boyd, C. E. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Amsterdam: Elsevier Science.

Horstmann, U. 1983. Cultivation of the green alga, *Caulerpa racemosa*, in tropical waters and some aspects of its physiological ecology. Aquaculture. 32: 361-371.

- Jimenez del Rio, M., Z. Ramazanov and G. Garcia-Reina. 1996. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents, (pp. 61-66). Lindstrom, S. C. & Chapman, D. J. Proceedings of the Fifteenth International Seaweed Symposium, Belgium.
- Lobban, C. S., Harrison, P. J., and Duncan, M. J. 1985. The Physiological Ecology of Seaweeds. London: Cambridge University Press.
- Maitland, P. S. 1978. Biology of Fresh Water. London: Blackie & Son.
- Miyake, K. and H. Kunieda. 1937. On the sexual reproduction of *Caulerpa* (preliminary note). Cytologia. 8: 205-207.
- Penniman, C. A., A. C. Mathieson and C. E. Penniman. 1986. Reproductive phenology and growth of *Gracilaria tikvahiae* McLachlan (Gigartinales. Rhodophyta) in the Great Bay Estuary. New Hampshire. Botanica Marina. 29: 147-154.
- Smith, A. J., B. L. Robertson and D. R. du. Preez. 1997. Influence of ammonium-N pulse concentrations and frequency, tank condition and nitrogen starvation on growth rate and biochemical composition of *Gracilaria gracilis*. Journal of Applied Phycology. 8(6): 473-481.
- Toma, T. 1987. *Caulerpa lentillifera*. Aquaculture in Tropical Area. Midori Shobo, Japan.
- Trono, G. C., Jr. 1988. Pond culture of *Caulerpa*. Manual on Seaweed Culture. ASEAN/SE/88. Manual No 3. (pp 1-12). FAO of the United Nations, Manila, Philippines.
- Trono, G. C., Jr., and H. L. Denila. 1987. Studies on the pond culture of *Caulerpa*. Philippine Journal of Science. 17: 83-98.

