วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) ในโรงเรือนร่วมกับการใช้น้ำเลี้ยงปลานิล

Cultivation of Toa Macroalgae (*Spirogyra* sp.) in Greenhouse with Water from Rearing Nile Tilapia

วราทิตย์ ดลสุจิต[1*], วรรณพร แซ่เตีย[1] และ ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์[2]

Waratit Donsujit[1*], Wannaporn Saetia[1] and Thaithaworn Lirdwitayaprasit[2]

[1] *สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก*

[2] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

[1] *Fisheries Division, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok*

[2] *Marine Science Department, Faculty of Science, Chulalongkorn University*

Received : 14 June 2022

Revised : 5 October 2022

Accepted : 8 October 2022

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) ในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวน (raceway pond) เป็นการเพาะเลี้ยงระบบปิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาเริ่มต้นที่ 500 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) ที่มีปริมาตรน้ำ 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ได้ผลผลิตชีวมวลรวมอยู่ในช่วง 1,586-1,710 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) โดยระหว่างการเพาะเลี้ยงมีการควบคุมน้ำเลี้ยงให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.5-8.5 และค่าความเป็นด่างให้มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตาที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำเลี้ยงปลานิลในปริมาณแตกต่างกันคือ 0% (ชุดควบคุม), 30% และ 50% พบว่า จากการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน ด้วยการใช้น้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 30% ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 170.3 กรัมต่อวัน (น้ำหนักสด) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็น 14.8% ต่อวัน และผลผลิตชีวมวลรวมเท่ากับ 2,202.9 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) สูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) จะเห็นได้ว่าน้ำเลี้ยงปลานิลสามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้นการผลิตสาหร่ายเตาในรูปแบบโรงเรือนนี้จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำหรือพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ : สาหร่ายเตา ; การเพาะเลี้ยง ; โรงเรือน ; บ่อน้ำวน ; ปลานิล

Abstract

Development of Toa macroalgae (*Spirogyra* sp.) cultivation in a greenhouse with raceway ponds in environmentally closed system was studied. The initial cultivation of algae was 500 g fw/pond with water volume of 500 liters for 10 days. It was found that the total biomass was in the range of 1,586-1,710 g fw/pond. During cultivation pH and alkalinity were maintained in the range of 7.5-8.5 and more than 50 mg/L, respectively. According to comparative studies of the growth and biomass of *Spirogyra* sp. cultivated with wastewater from Nile tilapia culture pond at 0% (control), 30% and 50%. The results showed that the highest daily weight gain (170.3 g fw/day), specific growth rate (14.8%/day) and total biomass (2,202.9 g fw/pond) of algae was found when added with 30% wastewater ($p<0.05$). The results imply that wastewater from Nile tilapia culture pond can be used as a source of nutrients, nitrogen in algae cultivation, substitutes the use of chemical fertilizers. Therefore, the production of *Spirogyra* in this greenhouse was possible to apply in aquaculture farms or develop commercially.

Keywords : *Spirogyra* ; cultivation ; greenhouse ; raceway pond ; Nile tilapia

***Corresponding author. E-mail** : waratit_do@rmutto.ac.th

บทนำ

สาหร่ายขนาดใหญ่จัดเป็นทรัพยากรทางชีวภาพที่มีความสำคัญทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง สามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำทั้งแหล่งน้ำไหลและแหล่งน้ำนิ่ง เช่น แม่น้ำ ลำคลอง น้ำตก แอ่งน้ำ อ่างเก็บน้ำ หรือสระน้ำ ฯลฯ โดยทั่วไปสาหร่ายจะมีสีเขียวเนื่องจากมีรงควัตถุคลอโรฟิลล์ที่ใช้ในการดูดกลืนพลังงานแสงจากแสงอาทิตย์ และผลิตสารอินทรีย์จากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ สาหร่ายจึงจัดเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิที่มีความสำคัญต่อห่วงโซ่อาหาร การใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยนำสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมมาใช้ในการบำบัดและลดมลพิษที่เรียกว่า การบำบัดสารมลพิษชีวภาพ (bioremediation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ปลอดภัยและใช้ต้นทุนค่อนข้างต่ำ มีการนำสาหร่ายขนาดใหญ่มาช่วยกำจัดของเสียทางการเกษตรมีหลายวิธีการ โดยสาหร่ายสามารถดึงสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้งมาเปลี่ยนเป็นชีวมวลของสาหร่ายเอง ทำให้ได้ผลผลิตชีวมวลสาหร่ายไปสร้างมูลค่าเพิ่มได้อีก (Feng *et al.*, 2016; Ge & Champagne, 2016, Sirirustananun, 2016; Henriques, 2017; Lawton, 2017; Ge *et al.*, 2018) ส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาจาก 4 แหล่ง คือ 1) ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่าย 2) อาหารที่สัตว์น้ำไม่ได้กิน 3) อาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้ และ 4) ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตาย เช่น แพลงก์ตอน และสัตว์น้ำ เป็นต้น สำหรับของเสียที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบอย่างมากต่อสัตว์น้ำก็คือของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่อาจเป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยแอมโมเนีย (NH_3, NH_4^+) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและจากการย่อยสลายของอาหารสัตว์ที่เหลือจากการบริโภค จัดเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก การสะสมของแอมโมเนียในน้ำเพียง 0.1 มิลลิกรัม (ไนโตรเจน) ต่อลิตร จะทำให้สัตว์น้ำมีอาการเครียด มีการขับถ่ายปริมาณมากและต้องการออกซิเจนสูงขึ้นส่งผลให้เสี่ยงต่อการเกิดโรค (Koydon, 2014)

สาหร่ายเตาหรือเทาน้ำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Spirogyra* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและเป็นที่รู้จักของคนทั่วไป อยู่ใน Division Chlorophyta ลักษณะเป็นเส้นสายคล้ายเส้นผม ไม่แตกแขนง เซลล์รูปทรงกระบอกยาว มีสีเขียวอ่อนจนกระทั่งถึงสีเขียวเข้ม แต่ละสายประกอบด้วยเซลล์เพียงแถวเดียว ภายในเซลล์มีคลอโรพลาสเป็นเกลียว พบอยู่ในแหล่งน้ำจืดทั่วไปในเขตร้อนและอบอุ่นในน้ำนิ่งหรือน้ำไหลไม่แรงนัก อาจอยู่ก้นบ่อกับก้อนดิน ก้อนหิน หรืออาจจะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ เมื่อจับรู้สึกลื่นมือเนื่องจากผนังเซลล์มีเมือกหุ้ม จีนัสนี้มีประมาณ 290 ชนิด (Peerapornpisal, 2015; Wongsawad & Peerapornpisal, 2015) จัดเป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยโปรตีน 16.7-18.6% คาร์โบไฮเดรต 55.7-56.3% ไขมัน 5.2-18.1% เส้นใย 7.66% เถ้า 11.78% แร่ธาตุ วิตามิน และมีรงควัตถุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น คลอโรฟิลล์เอ และบี เบต้าแคโรทีน และแซนโทฟิล และที่สำคัญยังพบกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูงตั้งแต่ 155-589 มิลลิกรัม GAE ต่อกรัม ของสารสกัด ดังนั้นจึงมีการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับสาหร่ายเตาเป็นอย่างยิ่ง (Peerapornpisal *et al*., 2009; Peerapornpisal *et al*., 2012; Junthip *et al*., 2013; Sirirustananun & Chanartaeparporn, 2015; Tipnee *et al*., 2015; Phonrin, 2017) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาส่วนใหญ่ที่พบเป็นแบบระบบเปิด เช่นแถบทางภาคเหนือมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อดินในเชิงพาณิชย์และมีการจำหน่ายผลผลิตทั้งแบบสดและแปรรูป สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่น แต่เกษตรกรมักประสบปัญหาในการเพาะเลี้ยงทำให้ได้ผลผลิตไม่เพียงพอและต่อเนื่อง ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาของเกษตรกรมีลักษณะเป็นบ่อดินที่ไม่ลึกทำให้สาหร่ายได้รับแสงแดดอย่างทั่วถึง โดยใช้แหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีความสะอาดและอาศัยสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำ

ตามธรรมชาติโดยไม่ได้ใส่ปุ๋ย พบว่าการเพาะเลี้ยงแบบระบบเปิดมีข้อเสียในเรื่องการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทั้งแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและการใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ส่งผลให้ผู้เลี้ยงได้ผลผลิตสาหร่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ปัจจุบันยังพบสภาพปัญหาของสารพิษปนเปื้อนจากสารเคมีในแหล่งน้ำธรรมชาติ อาจไม่ปลอดภัยต่อการนำมาสาหร่ายที่เก็บจากธรรมชาติมาบริโภคและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในระบบปิดด้วยบ่อที่ไร้ดิน เช่น บ่อปูนหรือบ่อพลาสติก ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการและปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในสภาพไร้ดิน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาสภาวะที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในระบบโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวนและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตาที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลในปริมาณที่ต่างกัน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตสาหร่ายเตาที่มีต้นทุนต่ำ และเป็นแนวทางการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติหรือประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ และนำไปสู่วิถีการเกษตรแบบเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมและออกแบบระบบที่ใช้ในการทดลอง

(1) ลักษณะโรงเรือน

บ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งหมดอยู่ภายใต้โรงเรือนขนาด 144 ตารางเมตร (12 x 12 เมตร) มีหลังคากระเบื้องอะคริลิกใสที่แสงสามารถส่องผ่านได้และช่วยป้องกันน้ำฝน มีส่วนพื้นที่ที่ใช้เตรียมงานอยู่ภายใต้หลังคาทึบแสง ส่วนบ่อเตรียมและบำบัดน้ำ และถังเก็บน้ำทึบแสงตั้งอยู่กลางแจ้ง

(2) ลักษณะบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย

เป็นบ่อน้ำวน (raceway pond) มีลักษณะเป็นลู่โดยมีสันตรงกลาง ขนาดบ่อกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 0.6 เมตร หนา 0.10 เมตร สันตรงกลางกว้าง 0.1 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 0.6 เมตร จำนวน 10 บ่อ โดยบ่อเลี้ยงเป็นบ่อปูนขัดผิวหน้ามัน ภายในบ่อทาด้วยสีอีพ็อกซี่เรซิ่นสีขาวทั้งหมดเพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงที่ดี การติดตั้งใบพัดมีลักษณะเป็นใบพัด 6 แฉก ดัดแปลงจากใบพัดที่ใช้ตีน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งทำจากสแตนเลส โดยต่อใบให้ยาวด้วยแผ่นสแตนเลสหนา 0.3 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ติดตั้งไว้บ่อละ 1 ใบ ซึ่งใบพัดจะหมุนที่ความเร็วต่ำประมาณ 12-15 รอบต่อนาที ด้วยมอเตอร์เกียร์ 1 HP ต่อผ่านเกียร์บล็อกสามทาง ใส่แกนเพลาที่เป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เป็นตัวขับให้ใบพัดหมุน เพื่อให้น้ำเลี้ยงในบ่อมีการหมุนวนตลอดเวลา ช่วยทำให้สาหร่ายได้รับแสงแดดอย่างทั่วถึงและช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเลี้ยง

(3) รูปวาดและรายละเอียดของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวน

รูปวาดแสดงให้เห็นภาพโดยรวมของโครงสร้างระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวน ประกอบด้วย บ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาระบบน้ำวน จำนวน 10 บ่อ (หมายเลข 1) บ่อเตรียมและบำบัดน้ำ จำนวน 3 บ่อ (หมายเลข 2) เป็นบ่อปูนซีเมนต์สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขัดผิวหน้ามัน ขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 1.5 เมตร ถังเก็บน้ำ

ทึบแสง (หมายเลข 3) เป็นถังพลาสติกทรงกระบอกทึบแสงปริมาตร 3,000 ลิตร มีฝาปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เมตร และสูง 2 เมตร จำนวน 4 ถัง และบ่อพักน้ำเลี้ยงปลานิล (หมายเลข 4) (Figure 1)

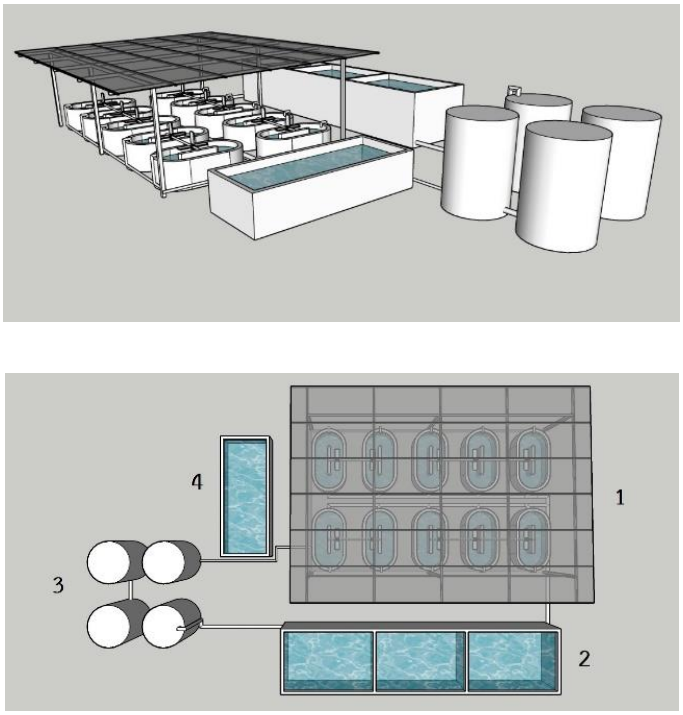

Figure 1 Drawing of Toa macroalgae (*Spirogyra* sp.) cultivation in a greenhouse. Top: over view, bottom: top view; (1) raceway ponds with paddle wheel (2) water prepared and water treatment tanks (3) storage water tanks and (4) storage water ponds

(4) การเตรียมน้ำสำหรับใช้ในระบบ

การเตรียมน้ำก่อนเข้าสู่ระบบ โดยนำน้ำดิบจากบ่อดินภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มาพักไว้ในบ่อเตรียมและบำบัดน้ำบ่อที่ 1 เติมสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ความเข้มข้น 10 ppm เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอยต่าง ๆ และพ่นอากาศลงในน้ำ 2-3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้ตกตะกอน 1 วัน จากนั้นดูดน้ำส่วนใสด้านบนเข้าสู่บ่อเตรียมและบำบัดน้ำบ่อที่ 2 แล้วทำการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน 65% ที่ความเข้มข้น 15 ppm พ่นอากาศลงในน้ำ 2-3ชั่วโมง แล้วทิ้งให้ตกตะกอน จากนั้นดูดน้ำส่วนใสด้านบนเข้าสู่บ่อเตรียมและบำบัดน้ำบ่อที่ 3 พ่นอากาศลงในน้ำประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้คลอรีนสลายตัว แล้วทิ้งให้ตกตะกอน จากนั้นดูดน้ำส่วนใสด้านบนมาเก็บใส่ถังเก็บน้ำทึบแสงเพื่อใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวน สำหรับน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีกระบวนการบำบัดเช่นเดียวกับน้ำดิบที่มาจากบ่อดิน

(5) การเตรียมน้ำทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา

เติมน้ำสะอาดปริมาตรบ่อละ 500 ลิตร จำนวน 3 บ่อ นำหัวเชื้อสาหร่ายเตาที่เตรียมไว้ใส่ลงในบ่อทดลองที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 1 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักสด) เท่ากับ 500 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) โดยใช้กระชอนสแตนเลสขนาดตาไม่เกิน

2 มิลลิเมตร ตักสาหร่ายและสลัดน้ำออกให้มากที่สุดแล้วชั่งน้ำหนัก เติมปุ๋ยธาตุอาหารครบ สูตร 15-15-15 ยี่ห้อเรือใบไข่มุก ที่ประกอบไปด้วย ธาตุอาหารไนโตรเจน (N) 15% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 15% และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O) 15% โดยชั่งและละลายด้วยน้ำในบ่อให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมทุก ๆ 2 วัน ตลอดระยะเวลาการทดลองทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายเตาออกทุก ๆ 2 วัน โดยใช้กระชอนสแตนเลสตักสาหร่ายและสลัดน้ำออกให้มากที่สุด ชั่งน้ำหนักให้ได้ครั้งละ 200 กรัม (อ้างอิงมาจากการทดลองเบื้องต้น ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทุกวัน และเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา รายละเอียดดังหัวข้อ 4. การเก็บข้อมูล

2. การเตรียมสาหร่ายเตา Spirogyra sp.

สาหร่ายเตาสดเก็บมาจากบ่อบัว สถาบันบัวราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดที่ปราศจากคลอรีน เพื่อให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือตะกอนปนเปื้อนที่เกาะตามเส้นสายสาหร่ายออกจนสะอาด จากนั้นนำสาหร่ายเตามาเพาะเลี้ยงในบ่อน้ำวนเพื่อปรับสภาพก่อนเริ่มการทดลอง 2 สัปดาห์ Figure 2 แสดงถึงลักษณะทั่วไปของสาหร่ายเตาที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและภาพใต้กล้องจุลทรรศน์

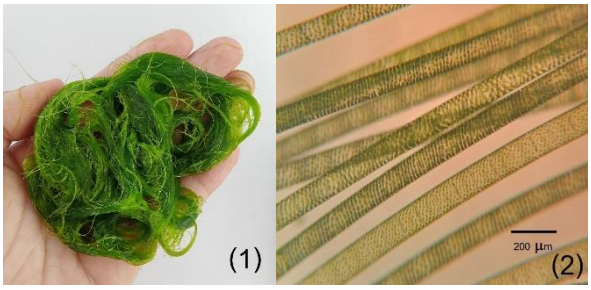

Figure 2 Toa macroalgae *Spirogyra* sp. (1) filamentous image; (2) microscope image

3. การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิล

(1) การวางแผนการทดลอง

จากการทดลองเบื้องต้น (preliminary) พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวน (ไม่มีการเติมน้ำใหม่และถ่ายน้ำออก) โดยใช้น้ำธรรมชาติจากบ่อดินที่ไม่มีการเติมปุ๋ยเคมี เมื่อเพาะเลี้ยงไป 4-5 วัน สาหร่ายเตาเริ่มเหลืองและตายเนื่องจากขาดสารอาหาร เช่นเดียวกันเมื่อทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาโดยเติมน้ำเลี้ยงปลานิลในปริมาณมากกว่า 50% และมีการกรองก่อนนำมาใช้ สาหร่ายเตาเริ่มทยอยตาย หลังจากเพาะเลี้ยงไป 3-4 วัน เนื่องจากมีตะกอนขนาดเล็กเกาะตามเส้นสายค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือ

ชุดการทดลองที่ 1 เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวนที่มีการเติมปุ๋ยเคมี (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวนที่มีการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 30%

ชุดการทดลองที่ 3 เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวนที่มีการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 50%

(2) การเตรียมน้ำเลี้ยงปลานิล

น้ำเลี้ยงปลานิลนำมาจากฟาร์มเลี้ยงปลานิลของสาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ซึ่งเลี้ยงปลานิลอายุประมาณ 3 เดือน ในบ่อคอนกรีตด้วยระบบน้ำหมุนเวียน และมีการเติมใหม่เป็นประจำทุกสัปดาห์ โดยได้ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจากฟาร์มของสาขาวิชาประมงระหว่างการทดลอง พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.9-7.3 ความเป็นด่าง ระหว่าง 45-60 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม ระหว่าง 1.05-2.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ ระหว่าง 0.25-0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนเตรท ระหว่าง 0.05-0.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบน้ำหมุนเวียนโดยทั่วไป อ้างอิงจากการศึกษาของ Pimpimol *et al.* (2020); Plaipetch & Jadphan-In (2020) ก่อนนำน้ำเลี้ยงปลานิลมาเติมในบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาให้ทำการกรองและพักไว้ในบ่อเตรียมน้ำ จากนั้นเจือจางความเข้มข้นของค่าแอมโมเนียรวมให้เป็น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำสะอาด โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย (ammonia LR checker^{hc} handheld colorimeter รุ่น HI700 ยี่ห้อ Hanna)

(3) การเตรียมน้ำทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา

เติมน้ำสะอาดปริมาตรบ่อละ 500 ลิตร จำนวน 9 บ่อ นำหัวเชื้อสาหร่ายเตาที่เตรียมไว้ใส่ลงในบ่อทดลองที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 1 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักสด) เท่ากับ 500 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) โดยใช้กระชอนสแตนเลสขนาดตาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ตักสาหร่ายและสลัดน้ำออกให้มากที่สุดแล้วชั่งน้ำหนัก โดยชุดการทดลองที่ 1 เติมปุ๋ยธาตุอาหารครบ สูตร 15-15-15 โดยชั่งและละลายด้วยน้ำในบ่อให้มีความเข้มข้นของน้ำเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมทุก ๆ 2 วัน ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เติมน้ำเลี้ยงปลานิลที่ได้เตรียมไว้ทุก ๆ 2 วัน ที่ปริมาณ 30% และ 40% ตามลำดับ โดยทำการถ่ายน้ำเดิมในบ่อเลี้ยงออกที่ปริมาณ 150 ลิตร และ 250 ลิตร ตามลำดับ ก่อนการเติมน้ำใหม่ (น้ำเลี้ยงปลานิล) ให้มีปริมาณเท่าเดิมทุกครั้ง และเติมปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต สูตร 0-52-34 ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารคือ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม โดยเติมในปริมาณที่น้อยและใกล้เคียงกับสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวทั่วไป เพื่อไม่ให้สาหร่ายขาดธาตุอาหารทั้งสองชนิดนี้ โดยชั่งและละลายด้วยน้ำในบ่อให้มีความเข้มข้นของน้ำเท่ากับ 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดระยะเวลาการทดลองทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายเตาออกทุก ๆ 2 วัน โดยใช้กระชอนสแตนเลสตักสาหร่ายและสลัดน้ำออกให้มากที่สุด ชั่งน้ำหนักให้ได้ครั้งละ 200 กรัม

4. การเก็บข้อมูล

(1) การตรวจวัดคุณภาพน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตลอดการทดลองทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทุกวัน ๆ ละ 3 ครั้ง ที่เวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในรอบวัน ได้แก่ อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตรวจวัดด้วย pH meter รุ่น HI775 ยี่ห้อ Hanna โดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อให้อยู่ในช่วง 7.50-8.50 เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงเกิน 8.50 ให้เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 % เพื่อปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เพื่อปรับค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ไม่ให้ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่างตรวจวัดด้วยเครื่อง alkalinity checker^{hc} handheld รุ่น HI775 ยี่ห้อ Hanna ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ตรวจวัดด้วย TDS meter รุ่น HI98301 ยี่ห้อ Hanna ค่าความเข้มแสง ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (solar power energy meter) รุ่น SMZ06-SOLAR หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) และค่าแอมโมเนียรวมตรวจวัด

ทุกวันก่อนการเติมปุ๋ยและน้ำเลี้ยงปลานิล ที่เวลา 9.00 น. เพื่อให้ทราบค่าแอมโมเนียที่คงเหลือในแต่ละวัน ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย (ammonia LR checker^{hc} handheld colorimeter รุ่น HI700 ยี่ห้อ Hanna)

(2) การวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

ระหว่างการเพาะเลี้ยงทำการเก็บลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเตาในบ่อ ได้แก่ สีของสาหร่าย ลักษณะเส้นสาย การรวมกลุ่ม การลอยตัว และสีน้ำเลี้ยง เป็นต้น ทำการชั่งน้ำหนักสดสาหร่ายวันแรกที่เริ่มเลี้ยงของทุกชุดการทดลองเพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักวันเริ่มต้น และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บสาหร่ายไปชั่งหาน้ำหนักสดวันสุดท้ายรวมกับน้ำหนักสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวระหว่างการทดลองทั้งหมด คำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (average daily weight gain; ADG) (กรัมต่อวัน) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rates; SGR) (% ต่อวัน) ดังสมการที่ (1) และ (2) (Ge *et al*., 2018; O'Neal & Lembi, 1995)

$$ADG = \frac{W_t - W_0}{t} \quad (1)$$

$$SGR = \frac{\ln (W_t/W_0)}{t} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักสดสาหร่ายวันเริ่มต้น (กรัม)
W_t คือ น้ำหนักสดสาหร่ายวันสุดท้าย (กรัม)
t คือ ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง (วัน)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูล ได้แก่ การเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวลรวม และคุณภาพน้ำ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows version 20

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวน

คุณภาพน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาระบบที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นรูปแบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในโรงเรือนที่สาหร่ายได้รับแสงจากธรรมชาติ เป็นการเพาะเลี้ยงแบบระบบปิดที่นำน้ำจืดจากแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมด้วยการตกตะกอนด้วยสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน แล้วนำน้ำที่ปรับสภาพแล้วไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือน หลังจากน้ำผ่านการใช้งานแล้วจะถูกนำไปปรับสภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวนที่ติดตั้งใบพัด ที่มีน้ำปริมาตร 500 ลิตร จำนวน 3 บ่อ ใส่หัวเชื้อสาหร่ายเตาเริ่มต้นบ่อละ 500 กรัม (น้ำหนักสด) ตลอดการทดลองมีการควบคุมน้ำเลี้ยงในบ่อให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.5-8.5 และค่าความเป็นด่างของน้ำให้มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อมระหว่างการเพาะเลี้ยง มีค่า

ความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 113.5-940.8 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 22.8-29.2 องศาเซลเซียส ความเป็นด่างอยู่ในช่วง 40.0-93.0 มิลลิกรัตต่อลิตร และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ในช่วง 294.3-469.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตา

เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวน จำนวน 3 บ่อ ด้วยหัวเชื้อสาหร่ายเตาเริ่มต้นบ่อละ 500 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเตาในช่วงวันที่ 1-2 เป็นช่วงการปรับตัวของสาหร่ายเตา มีการรวมกลุ่มที่พื้นบ่อและมีสีเขียวอ่อน ในวันที่ 3 สาหร่ายเริ่มมีการกระจายตัวออกจากกัน ลักษณะเส้นยาวเป็นสาย มีสีเขียวอ่อนปนสีเขียวเข้ม และเพิ่มปริมาณมากขึ้น จนเข้าวันที่ 5-6 สาหร่ายมีลักษณะเส้นสายยาวปกติ และมีสีเขียวเข้มขึ้น จนเข้าสู่วันที่ 9 สาหร่ายเริ่มตาย เส้นหงิกงอและเป็นสายสั้น ๆ ซึ่งระหว่างรอบการเลี้ยงสาหร่ายเตา พบว่าตั้งแต่วันที่ 2 มีการบลูมของแพลงก์ตอนพืช ทำให้สีน้ำมีสีเขียวอ่อนและเข้มขึ้นจนเข้าสู่วันที่ 8 แพลงก์ตอนพืชเริ่มตาย สีน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล และเกิดตะกอนจากซากแพลงก์ตอนพืชที่ตาย ทำให้น้ำเลี้ยงในบ่อเริ่มขุ่น ซึ่งตะกอนเหล่านี้มาเกาะตามเส้นสายของสาหร่ายเตา ทำให้สาหร่ายเริ่มตายและมีปริมาณลดลง

ส่วนผลผลิตชีวมวลรวมของสาหร่ายเตาในวันสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 10 มาจากการเก็บเกี่ยวสาหร่ายเตาออกทุก ๆ 2 วัน ครั้งละ 200 กรัม รวมกับน้ำหนักสาหร่ายวันสุดท้าย พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1,586-1,710 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,660 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด)

ต้นทุนการผลิตชีวมวลสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนเบื้องต้นของการผลิตชีวมวลสาหร่ายเตาในโรงเรือนต้นแบบด้วยบ่อน้ำวนจำนวน 10 บ่อ (2x1 เมตร) รวมพื้นที่เพาะเลี้ยงขนาด 20 ตารางเมตร ซึ่งมีค่าใช้จ่ายตลอดทั้งปีเท่ากับ 274,640 บาท อัตราการผลิต 0.83 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักสด) จะได้ผลผลิตสาหร่ายเตาประมาณ 16.60 กิโลกรัม (น้ำหนักสด) ที่ราคารับซื้อกิโลกรัมละ 200 บาท สามารถขายได้ 3,320 บาทต่อรอบ ซึ่งในระยะเวลาหนึ่งปีสามารถผลิตได้ 12 เดือน ๆ ละ 2 รอบ ดังนั้นจึงเก็บผลผลิตได้ 24 รอบ จึงทำให้หนึ่งปีมียอดขายทั้งสิ้น 79,680 บาท ซึ่งเมื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนจะได้เท่ากับ 3.45 ปี (Table 1)

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิล

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา *Spirogyra* sp. ในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวน เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 126.1-876.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ทุกชุดการทดลองมีอุณหภูมิน้ำและความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 22.8-29.2 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.5-8.2 ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 30% และ 50% มีค่าความเป็นด่างต่ำกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 40.0-93.0 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและแอมโมเนียรวมของชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 50% มีค่าสูงสุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 294.3-469.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0-0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Table 2)

Table 1 Cost of Toa macroalgae biomass production in a greenhouse with raceway ponds.

List	This study
construction cost of greenhouse and ponds (baht)	120,000
equipment, motor, paddle wheel and electrical system (baht)	50,000
annual processing cost (baht) * material, electricity and labor costs	104,640
total cost (baht)	**274,640**
details of operating expenses	
cost per production crop (baht)	4,360
number of production crop per year (crop)	24
cultivation duration per crop (days)	10
biomass per m^2 (kg)	0.83
total biomass per crop (kg)	16.60
cultivation area (m^2)	20
sales per crop (baht) *minimum price of 200 baht/kg	3,320
annual sales (baht)	79,680
payback period (years)	3.45

[1] worker 1 person 400 baht/day

Table 2 Water quality of Toa macroalgae *Spirogyra* sp. cultivation in a greenhouse during culture trial.

Treatment	Temperature (°C)	pH	Alkalinity (mg/L)	TDS (mg/L)	Ammonia (mg/L)
1	26.5±1.2[a]	7.9±0.4[a]	70.0±5.7[a]	367.4±36.1[b]	0.02±0.03[b]
2	26.4±1.2[a]	7.9±0.3[a]	61.7±3.9[c]	369.1±13.2[b]	0.05±0.05[b]
3	26.2±1.1[a]	7.8±0.3[a]	64.9±9.9[b]	379.3±19.5[a]	0.11±0.05[a]

Mean with the different superscript letters in the same column were significant at (p<0.05)

คุณภาพน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

การเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตา

ลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเตาตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าในช่วงวันที่ 1-2 เป็นช่วงการปรับตัวของสาหร่ายเตา มีการรวมกลุ่มที่พื้นบ่อและมีสีเขียวอ่อน ในวันที่ 3 ของทุกชุดการทดลอง สาหร่ายเริ่มมีการกระจายตัวออกจากกัน ลักษณะเส้นยาวเป็นสาย มีสีเขียวอ่อนปนสีเขียวเข้ม และเพิ่มปริมาณมากขึ้น จนเข้าวันที่ 6 ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 สาหร่ายมีลักษณะเส้นสายยาวปกติ แต่ชุดการทดลองที่ 3 สาหร่ายมีลักษณะเส้นหงิกงอ ไม่เป็นสายยาว มีสีเขียวเข้มขึ้น จนเข้าสู่วันที่ 9 สาหร่ายเริ่มตาย เส้นหงิกงอและเป็นสายสั้น ๆ ซึ่งระหว่างรอบการเลี้ยงสาหร่ายเตา พบว่าตั้งแต่วันที่ 2 มีการบลูมของแพลงก์ตอนพืช สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำและการนับจำนวนแพลงก์ตอนพืช (ไม่ได้แสดงผลการศึกษา) ทำให้สีน้ำมีสีเขียวอ่อนและเข้มขึ้น และเริ่มลดลงเมื่อเข้าสู่วันที่ 8-9 ซึ่งเมื่อแพลงก์ตอนพืชดรอป (ตาย) เกิดตะกอนจากซากแพลงก์ตอนพืชที่ตาย ทำให้น้ำเลี้ยงขุ่น และตะกอนเหล่านี้มาเกาะตามเส้นสายของสาหร่ายเตา ทำให้สาหร่ายตายบางส่วนตาย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากลักษณะน้ำเลี้ยงในชุดการทดลองที่ 3 ที่มีสีเข้มและตะกอนมากกว่าชุดการทดลองอื่น Figure 3 แสดงถึงลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวน หมายเลข (1)-(3) คือสาหร่ายเตาของชุดการทดลองที่ 1 ในวันที่ 1 5 และ 10 ตามลำดับ หมายเลข (4)-(6) คือสาหร่ายเตาของชุดการทดลองที่ 2 ในวันที่ 1 5 และ 10 ตามลำดับ และหมายเลข (7)-(9) คือสาหร่ายเตาของชุดการทดลองที่ 3 ในวันที่ 1 5 และ 10 ตามลำดับ

ส่วนผลการศึกษาด้านการเจริญเติบโตพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการเติมน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลปริมาณ 30% สาหร่ายเตามีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และผลผลิตชีวมวลสูงสุด เท่ากับ 170.30 กรัมต่อวัน (น้ำหนักสด) 14.8% ต่อวัน และ 2,202.96 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p<0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการเติมน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลปริมาณ 50% มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และผลผลิตชีวมวลต่ำที่สุด (Table 3)

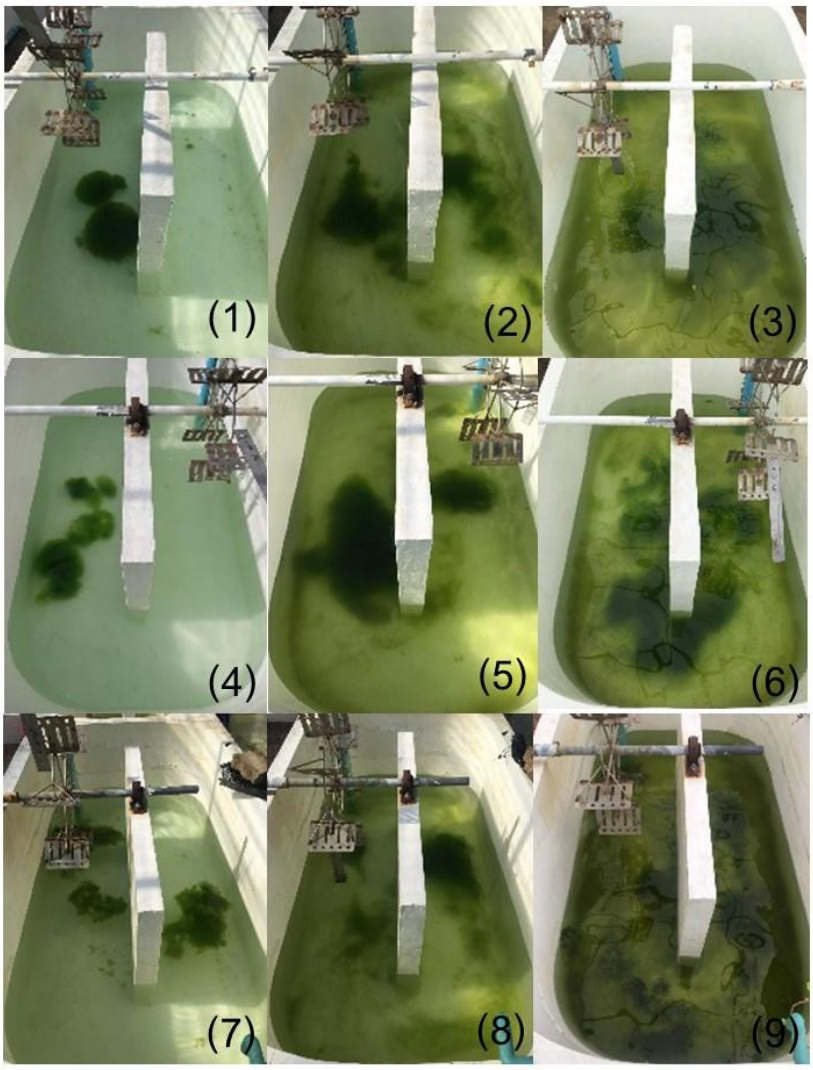

Figure 3 Growth of Toa macroalgae *Spirogyra* sp. in raceway ponds during culture trial.

Table 3 Growth and biomass of Toa macroalgae *Spirogyra* sp. cultivation in a greenhouse during culture trial.

Treatment	Growth		ผลผลิตชีวมวล (น้ำหนักสด)	
	ADG (g/day)	SGR (%/day)	initial (g)	Total (g)
1	104.4±7.9^{b}	11.3±0.5^{b}	500.0	1,543.7±78.8^{b}
2	170.3±8.4^{a}	14.8±0.4^{a}	500.0	2,202.9±84.0^{a}
3	91.1±2.8^{c}	10.4±0.2^{b}	500.0	1,411.3±28.3^{c}

Mean with the different superscript letters in the same column were significant at (p<0.05)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ในส่วนการพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวนภายใต้โรงเรือนขนาด 144 ตารางเมตร ประกอบด้วย บ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบบ่อวนติดตั้งใบพัดกวนน้ำ บ่อเตรียมและบำบัดน้ำ ถังเก็บน้ำทึบแสง และพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเป็นการเพาะเลี้ยงแบบระบบปิดที่นำน้ำจืดจากแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมด้วยการตกตะกอนด้วยสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน แล้วนำน้ำที่ปรับสภาพแล้วไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือน หลังจากน้ำผ่านการใช้งานแล้วจะถูกนำไปปรับสภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการปนเปื้อนสารพิษในน้ำเลี้ยงได้ ทำให้สาหร่ายเตาที่ผลิตได้ภายในโรงเรือนมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่งใช้พื้นที่เพาะเลี้ยงขนาด 20 ตารางเมตร โดยมีอัตราการผลิต 830 กรัมต่อตารางเมตร ในระยะเวลา 10 วัน เป็นระบบที่สามารถผลิตชีวมวลสาหร่ายเตาได้ตลอดทั้งปี โดยไม่มีข้อจำกัดของพื้นที่ แหล่งน้ำ และฤดูกาล แตกต่างจากการศึกษาของ Jaturonglumlert *et al*. (2016) จากข้อมูลการพัฒนาฟาร์มเลี้ยงสาหร่ายเตาแบบอินทรีย์เชิงพาณิชย์ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยฟาร์มมีลักษณะเป็นโรงเรือนที่มีโครงสร้างเหล็กคลุมด้วยพลาสติก ภายในมีบ่อเพาะเลี้ยงที่เป็นบ่อดินพื้นที่ 300 ตารางเมตร ใช้น้ำธรรมชาติจากยอดเขา มีอัตราการผลิต 1,500 กรัมต่อตารางเมตร ในระยะเวลาหนึ่งปีมีช่วงฤดูผลิต 5 เดือน เนื่องจากต้องพึ่งพาแหล่งน้ำธรรมชาติจึงไม่สามารถเพาะเลี้ยงในฤดูน้ำแล้งได้ และเมื่อพิจารณาข้อมูลที่มีความใกล้เคียง สาหร่ายไกและสาหร่ายเตาเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ที่พบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นิยมนำมาทำอาหารในท้องถิ่นและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (Peerapornpisal, 2008) จากรายงานการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกของ Mala *et al*. (2018) ซึ่งเป็นแบบระบบปิดในบ่อซีเมนต์ระบบ raceway ponds พบว่า สามารถเก็บเกี่ยวมวลชีวภาพในรูปสาหร่ายไกสดสูงสุดเท่ากับ 1,140 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 180 วัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาและสาหร่ายไก พบว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือน (การศึกษาในครั้งนี้) มีอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 58 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน สูงกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกเกือบสิบเท่า (6.12 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) เนื่องจากเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนมีการควบคุมปัจจัยการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาตลอดการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่เหมาะสมต้องใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณเพียงพอ โดยทั่วไปธาตุอาหารหลักของสาหร่ายซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและต้องการปริมาณมาก ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และกลุ่มธาตุอาหารที่จำเป็นแต่ต้องการปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง และโมลิบดินัม เป็นต้น ส่วนใหญ่สาหร่ายใช้อนินทรีย์คาร์บอนในการสังเคราะห์แสงในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำหรือในรูปของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) การที่คาร์บอนในน้ำจะอยู่ในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อความเป็นกรด-ด่างมีค่าระหว่าง 7-9 คาร์บอนจะอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนต เมื่อความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 9 ขึ้นไปจะอยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนต และเมื่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าประมาณ 5 จะอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Fogg & Thake, 1987; Andersen, 2005)

ในช่วงเวลากลางวันสาหร่ายเตาจะดึงธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย จึงทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในรอบวันเปลี่ยนแปลงแบบผันผวนมาก และยังส่งผลให้ค่าความเป็นด่างลดลง เนื่องจากปริมาณคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตในน้ำเลี้ยงสาหร่ายลดลง ซึ่งในการเพาะเลี้ยง

สาหร่ายเตานอกจากจะต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องควบคุมความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงในรอบวันไม่ให้เปลี่ยนแปลงแบบผันผวนมากจนเกินไป ดังนั้นจึงควบคุมค่าความเป็นด่างในน้ำไม่ให้ต่ำจนเกินไป ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองค่าความเป็นด่างของทั้งสามชุดการทดลองอยู่ในช่วง 61-70 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าค่าความเป็นด่างในน้ำเลี้ยงมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ให้เติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื่องจากที่ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7-9 คาร์บอนในน้ำจะอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนต และการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำเลี้ยง จะเป็นแหล่งของธาตุคาร์บอนให้สาหร่ายดึงคาร์บอนจากโซเดียมไบคาร์บอเนตไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ก็ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อลดค่า ความเป็นกรด-ด่างลงให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมคือ 7.5-8.5 ซึ่งตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีความแตกต่างกันทั้งสามชุดการทดลอง และอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน สาหร่ายสามารถใช้อนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ส่วนใหญ่สาหร่ายจะใช้แอมโมเนียและไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเจริญเติบโต โดยแอมโมเนียจะถูกดึงมาใช้ก่อนไนเตรท และไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ลงมาเป็นแอมโมเนียก่อนนำมาใช้ภายในเซลล์ (Morris, 1974) สำหรับของเสียที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบอย่างมากต่อสัตว์น้ำก็คือของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยแอมโมเนียเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและจากการย่อยสลายของอาหารสัตว์น้ำที่เหลือจากการบริโภค ซึ่งในอาหารเม็ดสำเร็จรูปสัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและกระบวนการเมแทบอลิซึมได้เพียงร้อยละ 21 เท่านั้น ส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงถึงร้อยละ 35 (Nimrat & Vuthiphandchai, 2009) ซึ่งในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ได้เติมปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นปุ๋ยสำหรับใช้ในพืชผักทั่วไป ประเภทปุ๋ยธาตุอาหารครบ สูตร 15-15-15 ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่าชุดการทดลองที่ 1 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลองต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการเติมน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลปริมาณ 30% และเติมปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต สูตร 0-52-34 แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายเตามีการดึงแอมโมเนียในน้ำเลี้ยงปลานิลมาใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในชุดควบคุม ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไนโตรเจนในปุ๋ยธาตุอาหารครบ สูตร 15-15-15 ยี่ห้อเรือใบไข่มุก อาจอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_3^+) หรือไนเตรท (NO_3^-) หรือยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) ก็ได้ ซึ่งถ้าอยู่ในรูปไนเตรทสาหร่ายจะต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนรูปให้เป็นแอมโมเนียก่อนจึงจะสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ โดยอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตสและมีเหล็กกับโมลิบดินัมเป็นโคแฟกเตอร์ (Osotsapha, 2015; Zhou, 2020) ดังนั้นจึงสูญเสียพลังงานมากกว่าจึงส่งผลต่อกระบวนการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทำให้ชุดการทดลองที่ 2 สาหร่ายเตาจึงมีแนวโน้มการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลสูงสุด ส่วนชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 50% พบว่าสาหร่ายเตามีการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลองต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลในปริมาณมากเกินกว่าที่สาหร่ายจะสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ไม่ได้ส่งผลดี แม้ว่าสาหร่ายและพืชทั่วไปสามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรงเพื่อนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีนในการสร้างเซลล์ โดยส่วนใหญ่แอมโมเนียเป็นแหล่งปฐมภูมิของสารประกอบไนโตรเจนอนินทรีย์ของสาหร่าย แต่การที่ในน้ำมีแอมโมเนียมากเกินไปจะทำให้เกิดพิษกับสาหร่ายได้ หากมีในไซโตพลาสซึมเพียงความเข้มข้นต่ำก็อาจเป็นพิษได้เช่นกัน (Osotsapha, 2015) เช่นเดียวกับการศึกษาในการบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนด้วย

สาหร่ายเตาที่นำมาเพาะเลี้ยงในระบบชุดปฏิกรณ์แบบใช้แสงขนาด 2 ลิตร ที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่างกัน พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาด้วยน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียเท่ากับ 1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลสูงกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียเท่ากับ 8.06 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ge *et al.*, 2018) นอกจากนี้ในชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการเติมน้ำเลี้ยงปลานิลมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 ทำให้มีตะกอนแขวนลอยในน้ำมากกว่า ซึ่งไปบดบังแสงที่จะส่องถึง ทำให้สาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มที่ จึงมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 และจากสีน้ำในชุดการทดลองที่ 3 ที่มีสีเข้มและตะกอนมากกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากการบลูมของแพลงก์ตอนพืชและเมื่อแพลงก์ตอนพืชเข้าสู่ระยะตาย (death phase) เกิดตะกอนจากซากแพลงก์ตอนพืชที่ตาย ทำให้น้ำเลี้ยงในบ่อเริ่มขุ่น ซึ่งตะกอนเหล่านี้มาเกาะตามเส้นสายของสาหร่ายเตา ทำให้สาหร่ายเริ่มตายและมีปริมาณลดลง

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) ในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวนภายใต้โรงเรือนประกอบด้วยบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบบ่อวนติดตั้งใบพัดกวนน้ำ บ่อเตรียมและบำบัดน้ำ ถังเก็บน้ำทึบแสง และพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเป็นการเพาะเลี้ยงที่นำน้ำจืดจากแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมด้วยการตกตะกอนด้วยสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน แล้วนำน้ำที่ปรับสภาพแล้วไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือน หลังจากน้ำผ่านการใช้งานแล้วจะถูกนำไปปรับสภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการปนเปื้อนสารพิษในน้ำเลี้ยงได้ ทำให้สาหร่ายเตาที่ผลิตได้ภายในโรงเรือนมีความปลอดภัยต่อการบริโภค เป็นระบบที่สามารถผลิตชีวมวลสาหร่ายเตาได้ตลอดทั้งปี โดยไม่มีข้อจำกัดของพื้นที่ แหล่งน้ำ และฤดูกาล และยังเป็นการเพาะเลี้ยงระบบปิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาเริ่มต้นที่ 500 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) ที่มีปริมาตรน้ำ 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ได้ผลผลิตชีวมวลรวมอยู่ในช่วง 1,586-1,710 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) โดยที่ระหว่างการเพาะเลี้ยงมีการควบคุมน้ำเลี้ยงให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.5-8.5 และค่าความเป็นด่างให้มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตาที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำเลี้ยงปลานิลในปริมาณแตกต่างกันคือ 0% (ชุดควบคุม), 30% และ 50% พบว่า จากการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน ด้วยการใช้น้ำเลี้ยงปลานิลปริมาณ 30% ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 170.3 กรัมต่อวัน (น้ำหนักสด) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็น 14.8% ต่อวัน และผลผลิตชีวมวลรวมเท่ากับ 2,202.9 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) สูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จะเห็นได้ว่าน้ำเลี้ยงปลานิลสามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีและช่วยลดต้นทุนได้ ดังนั้นการผลิตสาหร่ายเตาในรูปแบบโรงเรือนนี้จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำหรือพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Amornlirdpisarn, D., Mengumpun, K. & Rattanapoj, T. (2013). *Cultivation of organic Spirogyra for use in health supplements and cosmeceutical products*. Co Research Program Rep. (in Thai)

Andersen, R. A. (2005). *Algal Culturing Techniques*. China: Elservier Academic Press.

Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C. & Fang, F. (2016). Nutrient removal ability and economical benefit of a rice-fish co-culture system in aquaculture pond. *Ecological Engineering*, *94*, 315–319.

Fogg, G. E. & Thake, B. (1987). *Algal culture and phytoplankton ecology*. England: Wisconsin Press.

Ge, S. & Champagne, P. (2016). Nutrient removal, microalgal biomass growth, harvesting and lipid yield in response to centrate wastewater loadings. *Water Resource, 88*, 604-612.

Ge, S., Madill, M. & Champagne, P. (2018). Use of freshwater macroalgae *Spirogyra* sp. for the treatment of municipal wastewaters and biomass production for biofuel applications. *Biomass and Bioenergy*, *111*, 213-223.

Henriques, B., Rocha, L. S., Lopes, C. B., Figueira, P. A., Duarte, C., Vale, C. M., Pardal, A. & Pereira, E. (2017). A macroalgae-based biotechnology for water remediation: Simultaneous removal of Cd, Pb and Hg by living *Ulva lactuca*. *Journal of Environmental Management*, *191*, 275-289.

Jaturonglumlert, S., Whangchai, N. & Warith, J. (2016). Development of *Spirogyra* organic farming for commercial. (pp. 269-274). In *Proceedings THEMTP* (15th ed.), Surat Thani. (in Thai)

Junthip, R., Amornlerdpison, D., & Chimsook, T. (2013). Phytochemical screening, antioxidant activity and total phenolic content of *Spirogyra* spp. In *Advanced Materials Research* (Vol. 699, pp. 693-697). Trans Tech Publications Ltd.

Koydon, S. (2014). Nitrogen elimination in zero waste aquaculture system. *RMUTSB Academic Journal, 2*(1), 66-80. (in Thai).

Lawton, R. J., Cole, A. J., Roberts, D. A., Paul N. A., & Nys, R. (2017). The industrial ecology of freshwater macroalgae for biomass applications. *Algal Research*, *24*, 486–491.

Mala, T, Promya, J., Amornlerdpison, D. & Daengprok, W. (2018). Comparison of biomass and nutrition values of kai algae cultivation in environmentally closed system. *Journal of Fisheries Technology*, *12*(2), 53-62.

Morris, I. (1974). Nitrogen assimilation and protein synthesis. In *Algal Physiology and Biochemistry*. (pp. 115-125). Los Angeles: University of California Press.

Nimrat, S. & Vuthiphandchai, W. (2009). *Aquacultural sustainability role of microorganisms and the application*. Bangkok: Chula Press. (in Thai)

O'Neal, S. W. & Lembi, C. A. (1995). Temperatures and irradiance effects on growth of *Pithophora oedogonia* (Chlorophyceae) and *Spirogyra* sp. (Charophyceae). *Journal of Phycology*, *31*, 720-726.

Osotsapha, Y. (2015). *Plant nutrition*, 4th ed. Bangkok: Kasetsart University Press. (in Thai)

Peerapornpisal, Y. (2008). Edible freshwater macroalgae in Northern Thailand research. *Journal of Fisheries Technology Research*, *2*(1), 178-189.

Peerapornpisal, Y. (2015). *Freshwater algae in Thailand*. (3th ed.). Chiang Mai: Chotana print.

Peerapornpisal, Y., Kanjanapothi, D., Taesotikul, T., & Amornlerdpison, D. (2009). Potential of some freshwater algae in Northern Thailand as nutraceutical. *Phycologia*, *48*(4) Suppl, 104-112. (in Thai)

Peerapornpisal, Y., Panyoyai, T. & Amornlerdpison, D. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory activities of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kutzing. *KKU Science Journal*, *40*(1), 228-235. (in Thai)

Phonrin, A. (2017). *Determination of total phenolic and antioxidant activity in freshwater macroalgae from nan province*. M.S. thesis, Department of Chemical Education, Faculty of Science, Burapha University. (in Thai)

Pimpimol, T., Tongmee, B., Lomlai, P., Prasongpol, P., Whangchai, N., Unpaprom, Y., & Ramaraj, R. (2020). Spirogyra cultured in fishpond wastewater for biomass generation. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, *2*(3), 58-65.

Plaipetch, P., & Jadphan-In, W. (2020). Using of palm oil sludge to replace rice bran in juvenile nile tilapia feed. *Burapha Science Journal*, *25*(3), 1215-1228.

Sirirustananun, N. (2016). The suitable stocking density to growth of macroalgae *Spirogyra* spp. and its ability of ammonia nitrogen removal. *Journal of Agricultural Technology*, *12*(3), 533-543.

Sirirustananun, N. & Chanartaeparporn, P. (2015). Nutrient contents and growth of *Spirogyra* spp. in water resources of Phetchabun province. *Journal of Agricultural Research and Extension*, *32*(1), 58-66.

Tipnee, S., Ramaraj, R., & Unpaprom, Y. (2015). Nutritional evaluation of edible freshwater green macroalga *Spirogyra varians*. *Emergent Life Sciences Research*, *1*(2), 1-7.

Wongsawad, P. & Peerapornpisal, Y. (2015). Morphological and molecular profiling of *Spirogyra* from northeastern and northern Thailand using inter simple sequence repeat (ISSR) markers. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *22*, 382–389.

Zhou, W., Lu, Q., Han P. & Li, J. (2020). Microalgae cultivation and photobioreactor design. In *Microalgae cultivation for biofuels production*. (pp. 31-50). San Diego, CA: Academic Press.