



Thai Science and Technology Journal

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Journal Homepage : <http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj>



การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) ในโรงเรือนด้วยระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง Cultivation of Tao Macroalgae (*Spirogyra* sp.) in Greenhouse With pH Control System

วรวิทย์ ดลสุจิต^{1*}, วรณพร แซ่เตีย¹, นฤมล บุญกระจ่าง², รวินิภา ศรีมูล³, ปราโมทย์ พรสุริยา⁴

¹สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

³สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี 22210

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

Waratit Donsujit^{1*}, Wannaporn Saetia¹, Narumon Boonkrachang², Rawinipa Srimoon³,
Pramote Pornsuriya⁴

¹Division of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

²Division of Agriculture Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

³Division of Animal Production Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi 22210

⁴Division of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110

Received 13 August 2024; Received in revised 24 April 2025; Accepted 30 April 2025

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

Cultivation of Tao macroalgae (*Spirogyra* sp.) was conducted in a greenhouse using raceway ponds equipped with a pH control system. The algae were initially grown at 500 g per pond (fresh weight) in 1,000 L of culture water for a period of 10 days. Growth and biomass production under different pH control conditions were compared. Three pH control treatments were tested: no pH control (control), pH maintained between 7.0-7.5, and pH maintained between 7.5-8.0. After 10 days of cultivation, the pH range of 7.5-8.0 resulted in the

highest growth performance, with an average daily weight gain of 246.3 g/day (fresh weight), a specific growth rate of 17.8%/day, and a biomass yield of 148.1 g/m²/day. These values were significantly higher than those of the other treatments ($p < 0.05$). The results indicate that pH control is an important factor influencing algal growth and biomass production. Therefore, the cultivation of Tao macroalgae in this greenhouse system shows strong potential for further application and development towards commercial production.

คำสำคัญ	บทคัดย่อ
สาหร่ายเตา; เพาะเลี้ยง; ความเป็นกรด-ด่าง; โรงเรือน	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา (<i>Spirogyra</i> sp.) ในบ่อน้ำวนภายในโรงเรือนด้วยระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาเริ่มต้นที่ 500 กรัมต่อบ่อ (น้ำหนักสด) ปริมาตรน้ำ 1,000 ลิตร เป็นระยะเวลา 10 วัน ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตาที่เพาะเลี้ยงด้วยการควบคุมน้ำเลี้ยงให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน คือ ไม่ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (ชุดควบคุม), ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.0-7.5 และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.5-8.0 พบว่า เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน ด้วยการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.5-8.0 ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 246.3 กรัมต่อวัน (น้ำหนักสด) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็น 17.8% ต่อวัน และผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 148.1 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะเห็นได้ว่าการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวล ดังนั้นการผลิตสาหร่ายเตาในรูปแบบโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวนจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้หรือพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ได้ต่อไป
Keywords	
<i>Spirogyra</i> ; Cultivation; pH; Greenhouse	
*ผู้รับผิดชอบบทความ: waratit_do@rmutto.ac.th	
DOI: 10.14456/tstj.2025.46	

1. บทนำ

สาหร่ายขนาดใหญ่เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารเองได้ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่นเดียวกับพืชทั่วไป ตามปกติสาหร่ายจะมีสีเขียวเนื่องจากมีรงควัตถุคลอโรฟิลล์ที่ใช้ในการดูดกลืนพลังงานแสงจากแสงอาทิตย์ และดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากธรรมชาติเป็นหลักเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลต่างๆ สาหร่ายพบได้ในแหล่งน้ำทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม หรือแม้กระทั่งน้ำเสีย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น เป็นอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ด้านเภสัชกรรม การบำบัดน้ำเสีย ทำปุ๋ยชีวภาพ และผลิตพลังงานชีวภาพ เป็นต้น ในเชิงพาณิชย์มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น สาหร่ายทะเล สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แต่การศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายน้ำจืดกินได้ในพื้นที่ของประเทศไทยนั้นมีการรายงานเฉพาะสองกลุ่มคือ สาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเฉพาะในแถบพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการนำสาหร่ายน้ำจืดกินได้มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะนำมาเป็นอาหารของคนและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งนำมาเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อให้มีการเจริญเติบโตดีรวมถึงส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรคสัตว์น้ำ เช่น สกูลสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina*) และสกูลสาหร่ายไก่อ (*Cladophora*) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในปลาเศรษฐกิจ และการปรับปรุงสีในปลาสวยงาม [1, 2] ยังมีสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ที่น่าสนใจและเป็นที่ยุ้จักกันทั่วไป คือ สาหร่ายเตาหรือเตาหน้า จัดอยู่ในสกูล *Spirogyra* จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวชนิดหนึ่ง อยู่ใน Division chlorophyta เซลล์เป็นรูปทรงกระบอกยาว มีสีเขียวอ่อนจนกระทั่งสีเขียวเข้ม เป็นเส้นสายคล้ายเส้นผมไม่แตกแขนง ภายในเซลล์มีคลอโรพลาสต์เป็นเกลียว มีการสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำจืดที่เป็นน้ำนิ่งหรือน้ำไหลเอื่อยๆ ที่น้ำมีคุณภาพดีถึงปานกลาง อาจอยู่

กันบ่อกับก้อนดินก้อนหิน หรืออาจลอยอยู่บริเวณผิวน้ำเมื่อจับรู้สึกลื่นมือเนื่องจากมีเมือกหุ้ม สกูลนี้มีประมาณ 290 ชนิด แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามขนาด สาหร่ายเตาเป็นที่รู้จักกันดีของชาวบ้านในแถบภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากนิยมนำมารับประทานเป็นอาหารพื้นบ้าน โดยมีรายงานว่าสาหร่ายเตามีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเส้นใย มีแร่ธาตุวิตามิน และมีรงควัตถุหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์เอและบี เบต้าแคโรทีน และแซนโทฟิล และที่สำคัญยังพบกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายกินได้ชนิดอื่นเช่นสาหร่ายไก่อและสาหร่ายลอน [3, 4, 5, 6] สาหร่ายเตามักพบมีการเจริญเติบโตในนาข้าวและในแม่น้ำ ชาวบ้านจึงนิยมไปเก็บนำมาประกอบอาหาร แต่เนื่องด้วยปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากที่ดินเพื่อการเกษตร เช่น การทำนาข้าวเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของข้าว รวมถึงมีการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในรูปเคมีสังเคราะห์มากกว่ารูดินอินทรีย์จากธรรมชาติ ซึ่งอาจส่งผลให้คุณภาพของสาหร่ายเตาไม่เหมาะสมกับการนำมารับประทาน และอาจทำให้ฤทธิ์ทางชีวภาพของสาหร่ายเตาแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ ส่วนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงในบ่อดินและมีการจำหน่ายผลผลิตเตาทั้งสดและแปรรูป สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่น [7] ทั้งนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาของชาวบ้านมีลักษณะเป็นบ่อดินที่ระดับน้ำไม่ลึก ทำให้สาหร่ายได้รับแสงแดดอย่างทั่วถึง ใช้แหล่งน้ำสะอาดธรรมชาติโดยอาศัยสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเป็นปุ๋ยตามธรรมชาติ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะเป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตและความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา แต่การเพาะเลี้ยงรูปแบบนี้มีข้อเสียในเรื่องของการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายส่งผลให้เกษตรกรได้ผลผลิตสาหร่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ปัจจุบันยังพบสภาพปัญหาของสารพิษตกค้างในแหล่งน้ำธรรมชาติรวมทั้ง

การปนเปื้อนยาและสารเคมีจากการเกษตร อาจมีผลทำให้สาหร่ายไม่ปลอดภัยต่อการนำมาบริโภคและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความพยายามศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อที่ไรดิน เช่น บ่อพลาสติกหรือบ่อคอนกรีต ทั้งนี้ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการและปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในสภาพไรดิน

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอชมีผลต่อการดำรงชีวิตของปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำ พีเอชของน้ำเป็นค่าแสดงให้เห็นว่าน้ำนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือด่างหากน้ำมีค่าพีเอชต่ำกว่า 7 แสดงว่า น้ำนั้นมีสภาพเป็นกรด แต่ถ้ามีค่าพีเอชมากกว่า 7 ขึ้นไป แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นด่าง ค่าพีเอชของน้ำทะเลชายฝั่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ เนื่องจากน้ำทะเลมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ แต่ค่าพีเอชของแหล่งน้ำจืดจะผันแปรในช่วงที่กว้างกว่าอยู่ในช่วง 7-9 [8] โดยเฉพาะในแหล่งน้ำจืดที่มีพีชน้ำและแพลงก์ตอนพืชหนาแน่น ค่าพีเอชของน้ำผันแปรในรอบวันเป็นผลมาจากการสังเคราะห์แสงและการหายใจอันเป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำเปลี่ยนแปลง ในช่วงกลางวันที่มีแสงพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงส่วนการหายใจของพืชน้ำ แพลงก์ตอนพืช และสัตว์ต่างๆ ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่น้ำ แต่อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์จะมากกว่า ค่าพีเอชของน้ำจึงเพิ่มขึ้น ช่วงกลางวันสิ่งมีชีวิตในน้ำมีการหายใจปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มาเพียงอย่างเดียว ค่าพีเอชจึงลดต่ำลง การผันแปรในรอบวันของค่าพีเอชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำ (ความแตกต่างทั้งหมด) อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำและอัตราการหายใจ สำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำค่าพีเอชของน้ำถูกควบคุมด้วยกระบวนการเดียวกันกับแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำกระบวนการของสิ่งมีชีวิตมีผลต่อค่าพีเอชมากกว่ากระบวนการอื่นๆ ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 ค่าพีเอช

ที่ต่ำและสูงเกินไปสามารถทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียดและตายได้ สัตว์น้ำแต่ละชนิดทนต่อค่าพีเอชได้แตกต่างกัน แต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและพืชน้ำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชมากกว่าสัตว์น้ำ [9, 10]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเพาะเลี้ยงเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว และเพื่อพัฒนาให้สามารถผลิตสาหร่ายเตาในรูปแบบโรงเรือนโดยเพาะเลี้ยงในบ่อคอนกรีตระบบน้ำวนเพื่อให้ได้สาหร่ายเตาที่มีคุณภาพและได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องในพื้นที่จำกัด มีความปลอดภัยต่อการบริโภคของทั้งคนและสัตว์ แล้วยังสามารถถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกร และผู้ที่สนใจนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อประกอบอาชีพได้โดยไม่ต้องรอเก็บสาหร่ายเตาจากธรรมชาติ ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตาในน้ำเลี้ยงที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาหรือสาหร่ายชนิดอื่นๆ ในรูปแบบโรงเรือนต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 โรงเรือนและบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การทดลองนี้เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบกลางแจ้งในโรงเรือนแบบเปิดที่สาหร่ายได้รับแสงธรรมชาติโดยตรง

ลักษณะโรงเรือนมีพื้นที่ประมาณ 144 ตารางเมตร (12 x 12 เมตร) ประกอบด้วยส่วนของหลังคากระเบื้องอะคริลิกใสที่แสงสามารถส่องผ่านได้ และส่วนหลังคาเมทัลลิกทึบแสง พื้นที่ที่ใช้เตรียมงาน บ่อเตรียมน้ำ บ่อบำบัดน้ำ และถังเก็บน้ำทึบแสงอยู่ภายใต้หลังคาทึบแสง ส่วนบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายจำนวน 10 บ่อ ขนาดพื้นที่ประมาณ 32 ตารางเมตร (8 x 4 เมตร) ตั้งอยู่ภายใต้หลังคาใสที่แสงสามารถส่องผ่านได้และช่วยป้องกันน้ำฝน

ลักษณะบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นบ่อน้ำวน (Raceway pond) มีลักษณะเป็นถูโดยมีสันตรงกลางขนาด 1x2x0.8 เมตร เป็นบ่อปูนขัดผิวหนาแน่น ภายในบ่อทาด้วยสื่อกี้ออกซีเรชั่นสีขาว ติดตั้งใบพัดมีลักษณะเป็น

ใบพัดสแตนเลส 6 แฉก คัดแปลงจากใบพัดที่ใช้ตีน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งใบพัดจะหมุนที่ความเร็วต่ำประมาณ 12-15 รอบต่อนาที ด้วยมอเตอร์เกียร์ที่ต่อผ่านเกียร์บล็อกสามทาง ใส่แกนเพลลาที่เป็นท่อเหล็กเป็นตัวขับให้ใบพัดหมุน เพื่อให้น้ำเลี้ยงในบ่อมีการหมุนวนและผสมกันตลอดเวลา ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเลี้ยงและช่วยให้สาหร่ายได้รับแสงแดดอย่างทั่วถึง

2.2 อุปกรณ์ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ชุดระบบวัดและควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงสาหร่ายเตาที่บ่อน้ำวนประกอบไปด้วย

1. เครื่องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH controller) ประกอบด้วยโปรบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่จุ่มอยู่ในน้ำเลี้ยงตลอดเวลา
2. ชุดอุปกรณ์เติมสารละลายกรด โดยเตรียมกรดซิตริก ($C_6H_8O_7$) ที่ความเข้มข้น 4.8 กรัมต่อลิตร บรรจุในถังทึบแสงขนาด 20 ลิตร
3. ชุดอุปกรณ์เติมสารละลายด่าง โดยเตรียมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ที่ความเข้มข้น 50 กรัมต่อลิตร บรรจุในถังทึบแสงขนาด 20 ลิตร
4. ชุดอุปกรณ์เติมปุ๋ย (ปุ๋ยโซเดียมไนเตรทและปุ๋ยไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต) บรรจุในขวดทึบแสงขนาด 2 ลิตร (Figure 1)



Figure 1 A pH measuring and controlling equipment set for macroalgae cultivation in a raceway pond

การทำงานของอุปกรณ์ชุดระบบวัดและควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มจากตั้งค่าความเป็นกรด-ด่างที่เครื่องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ เช่น 7.50-8.00 เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้มากกว่า 8.00 อุปกรณ์จะสั่งรีเลย์ทำงานให้ปั๊มเติมสารละลายกรดลงในบ่อเลี้ยงสาหร่ายจนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.50 จึงหยุดทำงาน มีการเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต วันละ 2 รอบๆ ละ 100 มิลลิลิตร เพื่อปรับค่าความเป็นด่างไม่ให้ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และตรวจวัดด้วยเครื่อง Alkalinity checker^{hc} handheld รุ่น HI775 ยี่ห้อ Hanna

2.3 การเตรียมสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.)

เก็บสาหร่ายเตามาจากบ่อบัวของสถาบันบัวราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และนำมาพักเพื่อปรับสภาพในบ่อบัวของฟาร์มสาหร่ายและปลาสวยงาม สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ก่อนทดลองนำสาหร่ายเตมาล้างด้วยน้ำสะอาดที่ปราศจากคลอรีน เพื่อให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือตะกอนปนเปื้อนที่เกาะตามเส้นสายสาหร่ายออกจนสะอาด ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายเตาที่ใช้ในการทดลองที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและภาพใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า ลักษณะเซลล์รูปทรงกระบอก มีคลอโรพลาสต์บิดเป็นเกลียวคล้ายรีบบิ้นอยู่ทั่วทั้งเซลล์ (Figure 2)

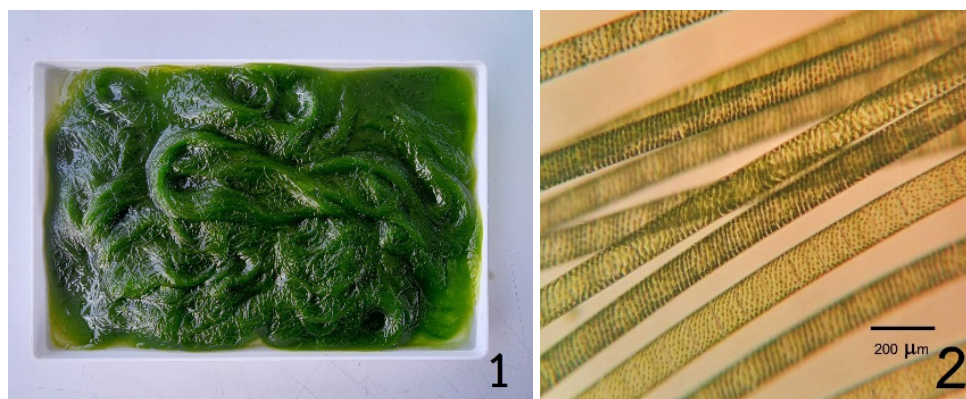


Figure 2 Tao macroalgae *Spirogyra* sp. 1. Filamentous image 2. Microscope image

2.4 การวางแผนการทดลอง

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) ในบ่อน้ำวนภายในโรงเรือนด้วยระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือ

ชุดการทดลองที่ 1 เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา ในบ่อน้ำวนที่ไม่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา ในบ่อน้ำวนที่ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.00-7.50

ชุดการทดลองที่ 3 เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา ในบ่อน้ำวนที่ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.50-8.00

2.5 การเตรียมน้ำและสาหร่ายเตา

ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงเริ่มต้นที่ 7.2 และเติมน้ำให้มีปริมาตรบ่อละ 1,000 ลิตร จำนวน 9 บ่อ นำหัวเชื้อสาหร่ายเตาที่เตรียมไว้ใส่ลงในบ่อทดลอง ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 กรัม (น้ำหนักสด) ต่อลิตร (น้ำเลี้ยง) เท่ากับ 500 กรัมต่อบ่อ โดยใช้กระชอน สแตนเลสขนาดตาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ตักสาหร่าย และสลัดน้ำออกให้มากที่สุดแล้วชั่งน้ำหนัก ทุกบ่อทดลอง

เติมปุ๋ยที่มีองค์ประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟต ที่อัตราส่วน N:P = 8:1 โดยเติมปุ๋ยโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในน้ำเลี้ยงเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมปุ๋ยไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในน้ำเลี้ยงเท่ากับ 0.125 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเติมปุ๋ยทั้งสองชนิดวันเว้นวัน

2.6 การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ตลอดการทดลองทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทุกวันๆ ละ 3 ครั้ง ที่เวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในรอบวัน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิ น้ำและความชื้นสัมพัทธ์ (pH) ตรวจวัดด้วย pH meter รุ่น HI775 ยี่ห้อ Hanna ค่าความเป็นด่างตรวจวัดด้วยเครื่อง Alkalinity checker^{hc} handheld รุ่น HI775 ยี่ห้อ Hanna ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ตรวจวัดด้วย TDS meter รุ่น HI98301 ยี่ห้อ Hanna ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar power energy meter) รุ่น SMZ06-SOLAR หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ค่าความเข้มแสง ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Quantum par meter) ยี่ห้อ AST รุ่น APM092 หน่วยวัดเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) และค่าทั้ง 4

พารามิเตอร์ ได้แก่ แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตตรวจวัดทุกวันก่อนการเติมปุ๋ย ที่เวลา 9.00 น. โดยแอมโมเนียรวมตรวจวัดด้วย เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย Ammonia LR checker^{hc} handheld colorimeter รุ่น HI700 ยี่ห้อ Hanna ไนโตรเจนตรวจวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย Nitrite HR checker^{hc} handheld colorimeter รุ่น HI708 ยี่ห้อ Hanna ไนโตรเจนตรวจวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย Nitrate HR รุ่น HI96786 ยี่ห้อ Hanna และออร์โธฟอสเฟตตรวจวัดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย Phosphate LR checker^{hc} handheld colorimeter รุ่น HI713 ยี่ห้อ Hanna

2.7 วัดการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของ สหรัยเตา

ระหว่างการเพาะเลี้ยงทำการเก็บลักษณะทางกายภาพของสหรัยเตาในบ่อ ได้แก่ สีของสหรัย ลักษณะเส้นสาย การรวมกลุ่ม การลอยตัว และสีน้ำเลี้ยง เป็นต้น ทำการชั่งน้ำหนักสดสหรัยวันแรกที่เริ่มเลี้ยงของทุกชุดการทดลอง เพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักวันเริ่มต้น และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บสหรัยไปชั่งหา น้ำหนักสดวันสุดท้ายรวมกับน้ำหนักสหรัยที่เก็บเกี่ยวระหว่างการทดลองทั้งหมด คำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily weight gain; ADG) (กรัมต่อวัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rates; SGR) (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (เปอร์เซ็นต์) ดังสมการที่ (1) (2) และ (3) [11, 12]

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

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

$$\text{ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต} = \frac{W_t - W_0}{W_t} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักสดสหรัยวันเริ่มต้น (กรัม)

W_t คือ น้ำหนักสดสหรัยวันสุดท้าย (กรัม)

t คือ ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง (วัน)

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (Analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยวิธี Tukey's ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

3. ผลการวิจัย

3.1 การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเลี้ยง สหรัยเตาในบ่อน้ำวน

จากการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.00-7.50 ในชุดการทดลองที่ 2 และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.50-8.00 ในชุดการทดลองที่ 3 ด้วยอุปกรณ์ชุดระบบวัดและควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลา 10 วัน จากการศึกษาพบว่า ในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณการใช้สารละลายกรดซิตริกและสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อบ่อที่แตกต่างกัน รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการใช้สารทั้งสองชนิด โดยชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณการใช้และค่าใช้จ่ายสูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 โดยชุดการทดลองที่ 2 ใช้สารละลายกรดซิตริกในช่วง 18.5-20.5 ลิตร และสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.8-0.9 ลิตรต่อบ่อ คิดเป็นค่าใช้จ่าย 6.2-6.9 บาท และ 1.0-1.1 บาทตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ 3 พบว่ามีการใช้สารละลายกรดซิตริกเพิ่มขึ้นเป็น 30.5-34.0 ลิตร และสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0-1.1 ลิตรต่อบ่อ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเป็น 10.2-11.4 บาท และ 1.2-1.4 บาทตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Volume and cost of citric acid and sodium bicarbonate solution applied in each treatment for 10 days.

Treatments	Volume of applied solution per pond (L)		Cost (Baht)	
	Citric acid	Sodium bicarbonate	Citric acid	Sodium bicarbonate
1	0	0	0	0
2	19.8±0.9	0.8±0.0	6.7±0.3	1.0±0.1
3	32.1±1.4	1.0±0.0	10.8±0.5	1.3±0.1

Note: Data shown as means ± SD (n = 3)

3.2 คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวนในทุกชุดการทดลอง เป็นระยะเวลา 10 วัน ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดที่ไม่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยง มีค่าอยู่ในช่วง 7.53-8.94 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.62 ชุดการทดลองที่ 2 มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 7.00-7.50 และชุดการทดลองที่ 3 การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 7.50-8.00 โดยทุกชุดการทดลองมีค่าอุณหภูมิอากาศระหว่าง 29.4-34.6 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ น้ำระหว่าง 28.3-31.3 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.3 องศาเซลเซียส พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 108.3-609.3 W/m² มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 368.7 W/m² ความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 193.4-1,058.0 μmol/m²/s มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 608.8 μmol/m²/s มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่าง 250-301 mg/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 269 mg/L ความเป็นด่างระหว่าง 51-85 mg/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77 mg/L มีค่าแอมโมเนียและไนไตรท์เท่ากับ 0 mg-N/L มีค่าไนเตรทระหว่าง 0.65-1.98 mg-N/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.40 mg-N/L โดยชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ค่าออร์โทฟอสเฟต

ระหว่าง 0-0.41 mg-P/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 mg-P/L โดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยมากกว่า ชุดการทดลองที่ 3 (Table 2)

3.3 การเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตา

3.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายเตา

ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดที่ไม่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยง **วันที่ 1** เป็นระยะการปรับตัวของสาหร่ายเตา มีการเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟู เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวเข้มปนอ่อน **วันที่ 2** สาหร่ายเตามีการเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูน้อยลง เส้นสาหร่ายเริ่มงอปนกับเส้นยาวตรงและมีสีเขียวอ่อน **วันที่ 3** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแน่นขึ้น และไม่ฟูเหมือนสองวันแรก มีตะกอนสีน้ำตาลแทรกตามเส้นสายของสาหร่าย และมีตะกอนกองอยู่ด้านล่างติดกับพื้นบ่อ เส้นสาหร่ายเริ่มหักงอมากขึ้นและเส้นสั้น มีสีเขียวเข้มหมอง **วันที่ 4** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแน่นขึ้น ไม่ฟู มีสีเขียวเข้มหมองออกคล้ำ เส้นสาหร่ายหักงอ เส้นสั้น เมื่อจับสัมผัสเส้นสาหร่ายเหลวเละ ซึ่งเป็นลักษณะการตายของสาหร่ายเตา (Figure 2)

Table 2 Water qualities of Tao cultivation in greenhouses for 10 days.

Parameters	Treatment 1			Treatment 2			Treatment 3		
	min	max	average	min	max	average	min	max	average
pH	7.53	8.94	8.62±0.37	7.00-7.50			7.50-8.00		
Water temperature (°C)	29.3	31.3	30.4±0.7	28.3	31.2	30.2±0.7	29.3	31.2	30.3±0.4
Total dissolved solid (mg/L)	250	257	253±3	250	298	272±15	263	301	282±13
Alkalinity (mg/L)	85	85	85	61	85	72±9	51	85	73±13
Ammonia (mg-N/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrite (mg-N/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrate (mg-N/L)	0.65	1.59	1.07±0.39	1.22	1.98	1.60±0.23	1.09	1.84	1.52±0.24
Phosphate (mg-P/L)	0.09	0.33	0.21±0.09	0.08	0.41	0.25±0.12	0	0.09	0.04±0.03
Air temperature (°C)	min = 29.4 max = 34.9 average = 32.1±1.5								
Solar-powered (W/m ²)	min = 108.3 max = 609.3 average = 368.7±181.0								
Light intensity (μmol/m ² /s)	min = 193.4 max = 1,058.0 average = 608.8±278.8								

Note: Data shown as means ± SD (n = 3)



Figure 2 Growth characteristics of Tao cultivation in raceway ponds of treatment 1

ชุดการทดลองที่ 2 มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 7.00-7.50 พบว่า **วันที่ 1** เป็นระยะการปรับตัวของสาหร่ายเตา มีการเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟู เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวเข้มสด **วันที่ 3** สาหร่ายเตามีการเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสด มีปริมาณเพิ่มขึ้น **วันที่ 5** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสด มีปริมาณเพิ่มขึ้น **วันที่ 7** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสดเข้ม น้ำเลี้ยงเริ่มมีสีเขียวอ่อน เนื่องจากการบลูมของแพลงก์ตอนพืช **วันที่ 9** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสด น้ำเลี้ยงมีสีเขียวเข้มขึ้น (Figure 3)

ชุดการทดลองที่ 3 มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 7.50-8.00 พบว่า **วันที่ 1** เป็นระยะการปรับตัวของสาหร่ายเตา มีการเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟู เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวเข้มสด **วันที่ 3** สาหร่าย

เตามีการเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสด มีปริมาณเพิ่มขึ้น **วันที่ 5** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสดเข้ม มีปริมาณเพิ่มขึ้น **วันที่ 7** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสดเข้ม มีปริมาณเพิ่มขึ้น น้ำเลี้ยงเริ่มมีสีเขียวอ่อน เนื่องจากการบลูมของแพลงก์ตอนพืช **วันที่ 9** สาหร่ายเตาเกาะรวมกลุ่มที่พื้นบ่อแบบหลวมๆ และฟูขึ้น แผ่ขยายตามพื้นบ่อมากขึ้น เส้นสาหร่ายยาวตรงและมีสีเขียวสดเข้ม มีปริมาณเพิ่มขึ้น น้ำเลี้ยงมีสีเขียวเข้มขึ้น (Figure 4)

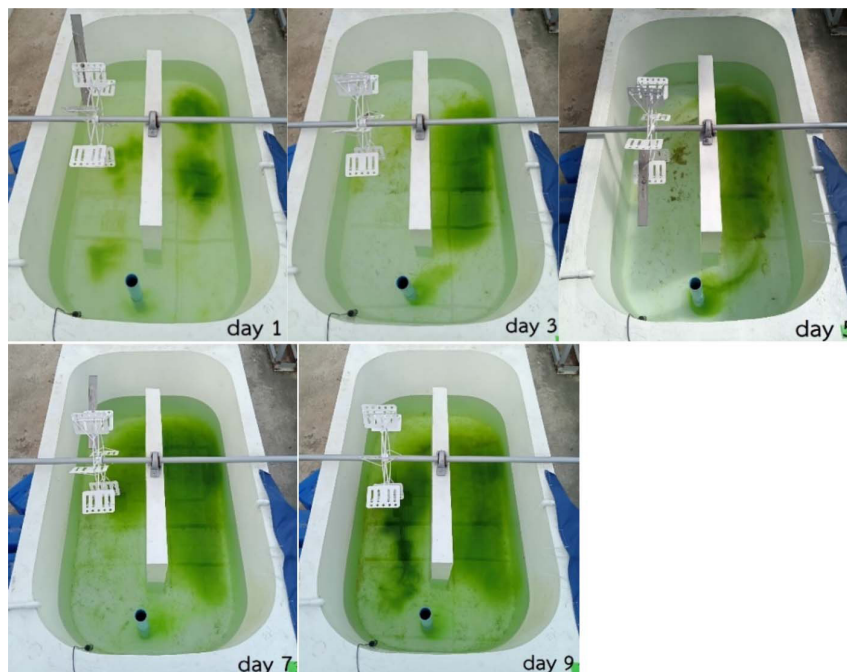


Figure 3 Growth characteristics of Tao cultivation in raceway ponds of treatment 2

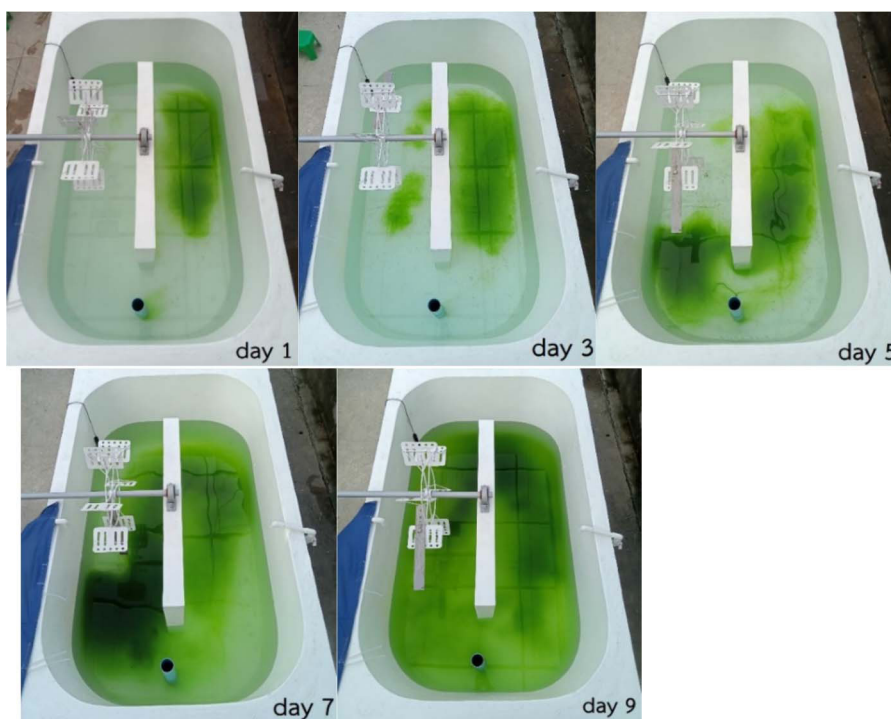


Figure 4 Growth characteristics of Tao cultivation in raceway ponds of treatment 3

3.3.2 การเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตา

สาหร่ายเตาทั้ง 3 ชุดการทดลอง ใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 500 กรัม (น้ำหนักสด) ในช่วงสองวันแรกยังไม่เห็นความแตกต่าง แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 3 ชุดการทดลองที่ 1 สาหร่ายเตาเริ่มมีลักษณะผิดปกติ เส้นสาหร่ายสั้นและหักงอ และทยอยตายในวันที่ 4 ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีการเจริญเติบโตตามปกติตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 วัน พบว่าผลผลิตชีวมวลในชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1,481.4 กรัมต่อตารางเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 246.3 กรัมต่อวัน 17.8 %ต่อวัน และ 83.1% ตามลำดับ (Table 3)

4. วิเคราะห์ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อมระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในทุกชุดการทดลองมีค่าอุณหภูมิอากาศระหว่าง 29.4-34.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำระหว่าง 28.3-31.3 องศาเซลเซียส พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 108.3-609.3 W/m² ความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 193.4-1,058.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่าง 250-301 mg/L ค่าความเป็นด่างระหว่าง 51-85 mg/L ค่าแอมโมเนียและไนโตรที่เท่ากับ 0 mg-N/L ค่าไนเตรทระหว่าง 0.65-1.98 mg-N/L ค่าออร์โธฟอสเฟตระหว่าง 0-0.41 mg-P/L ซึ่งค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าการเลี้ยงสาหร่ายเตาในโรงเรือนของ Jaturonglumlert et al., ที่ใช้น้ำจากธรรมชาติในการเพาะเลี้ยง มีการรายงานว่า อุณหภูมิน้ำระหว่าง 16-28 องศาเซลเซียส พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 500-760

Table 3 Biomass and growth of Tao cultivation in greenhouses for 10 days.

Treatments	Initial (g fresh weight)	Biomass (fresh weight)		Average daily weight gain (g/day)	Specific growth rates (%/day)	Growth efficiency (%)
		(g/m ²)	(g/m ² /day)			
1*	500	402.9 ^a ±8.4	100.7 ^a ±2.1	76.4 ^a ±4.2	11.9 ^a ±0.5	37.9 ^a ±1.3
2	500	1,104.7 ^b ±45.0	110.5 ^b ±4.5	170.9 ^b ±9.0	14.9 ^b ±0.4	77.3 ^b ±0.9
3	500	1,481.4 ^c ±64.3	148.1 ^c ±6.4	246.3 ^c ±12.9	17.8 ^c ±0.4	83.1 ^c ±0.7

Note: Data shown as means ± SD (n = 3), Mean value labeled with different letters vertically showed a statistically significant difference (p<0.05), * Treatment 1: Algae died on the 4th day of the experiment.

W/m² ความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 600-1,100 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดระหว่าง 293-550 mg/L ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.50-7.12 ค่าความเป็นด่างระหว่าง 21-28 mg/L ค่าไนเตรทระหว่าง 10.1-23.0 mg-N/L ค่าออร์โธฟอสเฟตระหว่าง 0.42-2.30 mg-P/L [13]

เมื่อพิจารณาข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่างของการศึกษา พบว่าชุดการทดลองที่ 1 สาหร่ายเตาตายในวันที่ 4 ของการทดลอง เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่ไม่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยง ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 8.94 สอดคล้องกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปที่มีแพลงก์ตอนพืชสาหร่าย หรือพืชน้ำเจริญเติบโตในบ่อ ซึ่งในช่วงเวลากลางวันสาหร่ายเตาจะดึงธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเพื่อนำมาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในรอบวันเปลี่ยนแปลงแบบผันผวนมาก ซึ่งในการศึกษานี้ได้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาด้วยการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้อยู่ในช่วง

ค่าที่ต้องการด้วยการเติมสารละลายกรดซิตริก ซึ่งเป็นกรดอ่อน มีสูตรโครงสร้าง คือ $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ทำให้สาหร่ายเตาได้รับธาตุคาร์บอนซึ่งมีในกรดซิตริกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลให้สาหร่ายเตาในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมสารละลายกรดเพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยง ทำให้ค่าความเป็นด่างลดลง จึงเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าความเป็นด่างในน้ำเลี้ยงต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตรและช่วยป้องกันค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงในรอบวันไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงแบบผันผวนมากจนเกินไป เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7-9 คาร์บอนในน้ำจะอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนต และการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำเลี้ยงจะเป็นแหล่งของธาตุคาร์บอนให้สาหร่ายดึงคาร์บอนจากโซเดียมไบคาร์บอเนตไปใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับกรดซิตริก จึงส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโต [9] การเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่เหมาะสมต้องใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณเพียงพอ โดยทั่วไปธาตุอาหารหลักของสาหร่ายซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและต้องการปริมาณมาก ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และ

กลุ่มธาตุอาหารที่จำเป็นแต่ต้องการปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง และโมลิบดินัม เป็นต้น ส่วนใหญ่สาหร่ายไซออนินทรีย์คาร์บอนในการสังเคราะห์แสงในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำหรือในรูปของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) การที่คาร์บอนในน้ำจะอยู่ในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง เมื่อความเป็นกรด-ด่างมีค่าระหว่าง 7-9 คาร์บอนจะอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนต เมื่อความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 9 ขึ้นไปจะอยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนต และเมื่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าประมาณ 5 จะอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [14, 15]

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาในบ่อน้ำวนภายในโรงเรือนแบบเปิด โดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่างกัน พบว่าชุดการทดลองที่ 3 ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 7.50-8.00 สาหร่ายเตามีผลผลิตชีวมวลสูงสุดที่สุด คือ 148.1 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (น้ำหนักสด) รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 7.00-7.50 คือ 110.5 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (น้ำหนักสด) เมื่อนำข้อมูลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้มาเปรียบเทียบในแง่ผลผลิตชีวมวลพบว่า การศึกษาของ Jaturonglumlert et al., เป็นการพัฒนาฟาร์มเลี้ยงสาหร่ายเตาแบบอินทรีย์เชิงพาณิชย์ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยฟาร์มมีลักษณะเป็นโรงเรือนที่มีโครงสร้างหลักหุ้มด้วยพลาสติกคลุมบ่อเพาะเลี้ยงที่เป็นบ่อดินบนพื้นที่ 300 ตารางเมตร โดยใช้ น้ำเลี้ยงธรรมชาติจากยอดเขา มีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงระหว่าง 6.50-7.12 ได้ผลผลิตชีวมวล 150 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน [13] จากการศึกษาของ Kangas et al., ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาด้วยน้ำทิ้งจากการเกษตรในบ่อน้ำวนกลางแจ้ง ปริมาตร 1,200 ลิตร ได้ผลผลิตชีวมวล 5 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน [16] จากการศึกษาของ Pimpimol et al., ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาด้วยน้ำเลี้ยงปลานิลในบ่อซีเมนต์กลางแจ้ง ปริมาตร 150 ลิตร ได้ผลผลิตชีวมวล 12.52-16.72 กรัม

ต่อตารางเมตรต่อวัน [17] และเมื่อพิจารณาข้อมูลการศึกษาในสาหร่ายโก ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ที่กินได้และพบในแหล่งน้ำธรรมชาติทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเช่นเดียวกับสาหร่ายเตา [3] พบว่าจากรายงานการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโกของ Mala et al., ซึ่งเป็นการเพาะเลี้ยงระบบปิดในบ่อซีเมนต์แบบ Raceway ponds พบว่า สามารถเก็บเกี่ยวมวลชีวภาพในรูปสาหร่ายโกสดสูงสุดเท่ากับ 1,140 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักสด) เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 180 วัน แต่เมื่อคิดเป็นผลผลิตต่อวันจะได้ 6.33 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงระหว่าง 8.40-9.55 [18]

5. สรุป

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายเตาที่เพาะเลี้ยงด้วยการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน พบว่า และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.5-8.0 พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.5-8.0 มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันเท่ากับ 246.3 กรัมต่อวัน (น้ำหนักสด) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะคิดเป็น 17.8% ต่อวัน และผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 148.1 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน สูงกว่าชุดการทดลองอื่น จะเห็นได้ว่าการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวล ดังนั้นการผลิตสาหร่ายเตาในรูปแบบโรงเรือนด้วยบ่อน้ำวนจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้หรือพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัย และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลา งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. References

- [1] Kumprom, T., Promya, J., Meng-Umphon, K., Whangchai, N. and Chitmanat, C., 2011, Effects of *Spirulina platensis* and *Cladophora* sp. on immunity stimulating capacity and color improvement of goldfish (*Carassius auratus*), KKU Res J. 16(6): 612-621. (in Thai)
- [2] Promya, J., Traichayaporn, S. and Chitmanat, C., 2012, Effect of raw *Spirulina platensis* on growth performance and immunity stimulating capacity in nursing red tilapia (*Oreochromis* sp.), KKU Res J. 40(1): 218-227. (in Thai)
- [3] Peerapornpisal, Y., 2007, Edible freshwater macroalgae in Northern Thailand research, J. Fish. Tech. Res. 2(1): 178-188. (in Thai)
- [4] Peerapornpisal, Y., 2015, Freshwater Algae in Thailand, 3th Ed., Chotana Print, Chiang Mai, 440 p. (in Thai)
- [5] Sirirustananun, N. and Chanartaeparporn, P., 2015, Nutrient contents and growth of *Spirogyra* spp. in water resources of Phetchabun province, J. Agri. Res. Ext. 32(1): 58-66. (in Thai)
- [6] Phonrin, A., 2017, Determination of Total Phenolic and Antioxidant Activity in Freshwater Macroalgae from Nan Province, Master Thesis, Burapha University, Chonburi, 71 p. (in Thai)
- [7] Amornlirdpisarn, D., Mengumpun, K. and Rattanapoj, T., 2013, Cultivation of Organic *Spirogyra* for Use in Health Supplements and Cosmeceutical Products, Co Research Program Rep, 98 p. (in Thai)
- [8] Stickney, R. R., 2009, Aquaculture: An Introductory Text, 2nd Ed., Cambridge, CABI, 320 p.
- [9] Tanthulwet, M. and Phornprapha, P., 1996, Water Quality Management and Wastewater Treatment in Fish Ponds and Other Aquatic Animals, 3th Ed., Thammasat University Press, Bangkok, 214 p. (in Thai)
- [10] Boyd, C. E. and Tucker, C. S., 1998, Pond Aquaculture Water Quality Management, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 355 p.
- [11] O'Neal, S. W. and Lembi, C. A., 1995, Temperatures and irradiance effects on growth of *Pithophora oedogonia* (Chlorophyceae) and *Spirogyra* sp. (Charophyceae), J. Phyco. 31: 720-726.
- [12] Ge, S., Madill, M. and Champagne, P., 2018, Use of freshwater macroalgae *Spirogyra* sp. for the treatment of municipal wastewaters and biomass production for biofuel applications, Bio. Bioen. 111: 213-223.

- [13] Jaturonglumlert, S., Whangchai, N. and Warith, J., 2016, Development of *Spirogyra* Organic Farming for Commercial, pp. 269-274, In Proceedings THEMTP, 15th Ed., Surat Thani. (in Thai)
- [14] Fogg, G. E. and Thake, B., 1987, Algal Culture and Phytoplankton Ecology, Wisconsin Press, England, 578 p.
- [15] Andersen, R. A., 2005, Algal Culturing Techniques, Elsevier Academic Press, China, 545 p.
- [16] Kangas, P. and Mulbry, W., 2014, Nutrient removal from agricultural drainage water using algal turf scrubbers and solar power, Biores. Tech. 152: 484-489.
- [17] Pimpimol, T., Tongmee, B., Lomlai, P., Prasongpol, P., Whangchai, N., Unpaprom, Y. and Ramaraj, R., 2020, *Spirogyra* cultured in fishpond wastewater for biomass generation, Maejo Int. J. Energ. Environ. Comm. 2(3): 58-65.
- [18] Mala, T., Promya, J., Amornlerdpison, D. and Daengprok, W., 2018, Comparison of biomass and nutrition values of kai algae cultivation in environmentally closed system, J. Fish. Tech. Res. 12(2): 53-62. (in Thai)