

ผลของสูตรปุ๋ยผสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล

Effects of mixed fertilizer formulas on growth of sea lettuce seaweed (*Ulva rigida*)

ธีญาภรณ์ แก้วทวี^{1*} และ อัมรินทร์ ทองเสนอ¹

Teeyaporn Keawtawee^{1*} and Ammarin Thongsaner¹

¹ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

¹ Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, hat yai campus, Songkhla, Thailand, 90110

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเลชนิด *Ulva rigida* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย 3 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (Control: ปุ๋ย 16-16-16), สูตร T1 (ปุ๋ย 46-0-0 ผสม ปุ๋ย 16-20-0) และสูตร T2 (ปุ๋ย 46-0-0 ผสม ปุ๋ย 16-16-16) ผลการทดลองพบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรควบคุม และ สูตร T2 ซึ่งมีธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบ มีน้ำหนักเฉลี่ย ($1,024.70 \pm 25.46$ กรัม และ $1,022.26 \pm 40.85$ กรัม ตามลำดับ) สูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตร T1 (850.16 ± 34.56 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล ในด้านองค์ประกอบทางโภชนาการ พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรควบคุม และสูตร T1 มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงกว่าสูตร T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $25.35 \pm 0.66\%$ และ $24.59 \pm 0.33\%$ ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมัน เถ้า และความชื้นของสาหร่ายในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีปริมาณไขมันในช่วง 0.28-0.39%, ปริมาณเถ้าในช่วง 3.70-4.21% และความชื้นในช่วง 85.78-88.68% สรุปได้ว่า สาหร่ายผักกาดทะเลสามารถเจริญเติบโตได้ดีในปุ๋ยสูตรที่มีธาตุโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบซึ่งส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ปุ๋ยผสม; สาหร่ายผักกาดทะเล; การเจริญเติบโต; สารอาหาร

ABSTRACT: This study aimed to investigate the growth performance and nutritional composition of sea lettuce, *Ulva rigida*, cultivated using three fertilizer formulations: a control treatment (16-16-16 fertilizer), T1 (46-0-0 fertilizer combined with 16-20-0 fertilizer), and T2 (46-0-0 fertilizer combined with 16-16-16 fertilizer). The results showed that sea lettuce cultured with the control and T2 treatments, both containing potassium (K), exhibited significantly higher average biomass ($1,024.70 \pm 25.46$ g and $1,022.26 \pm 40.85$ g, respectively) than that cultured with the T1 treatment (850.16 ± 34.56 g) ($P < 0.05$). These findings indicate that potassium plays an important role in the growth of sea lettuce. Regarding nutritional composition, sea lettuce cultured with the control and T1 treatments showed significantly higher average protein contents than that cultured with the T2 treatment ($P < 0.05$), with mean values of $25.35 \pm 0.66\%$ and $24.59 \pm 0.33\%$, respectively. In contrast, lipid, ash, and moisture contents did not differ significantly among treatments ($P > 0.05$), with lipid contents ranging from 0.28–0.39%, ash contents from 3.70–4.21%, and moisture contents from 85.78–88.68%. In conclusion, sea lettuce can grow effectively in fertilizer formulations containing potassium, which significantly enhances biomass production.

Keywords: mixed fertilizers; sea lettuce; growth; nutrients

* Corresponding author: teeyaporn.k@psu.ac.th

Received: date; September 12, 2025 Revised: date; May 12, 2026

Accepted: date; May 20, 2026 Published: date; June 24, 2026

บทนำ

สาหร่ายทะเลได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีศักยภาพสูงด้านโภชนาการและประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะสาหร่ายในสกุล *Ulva* spp. ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ water-soluble polysaccharide และแร่ธาตุที่หลากหลายทั้งแร่ธาตุหลัก เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S และแร่ธาตุรอง เช่น Fe, Zn, Cu, I, Se, Mn (Mouga et al., 2025) สารสำคัญในกลุ่มนี้คือ Ulvan ที่ได้รับความสนใจจากงานวิจัยในด้านฤทธิ์ทางชีวภาพหลายประการ ได้แก่ การต้านการอักเสบ การป้องกันการแข็งตัวของเลือด (anticoagulant) การยับยั้งการเจริญของเนื้องอก (anti-tumor) การต้านอนุมูลอิสระ การลดระดับไขมันในเลือด (anti-hyperlipidemia) ช่วยในการปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน (immune regulation) รวมถึงการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Kidgell et al., 2019; Li et al., 2023) ในด้านองค์ประกอบทางเคมีสาหร่าย *Ulva* มีสัดส่วนแฉะ (ash) ประมาณ 13.0–50.0 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 5.0–27.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.5–4.0 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 53.0–78.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (DW) (Hofmann et al., 2025) มี โพลีแซคคาไรด์ แมนนิแซคคาไรด์ และเฮลิกซ์ อีกทั้งมีอัตราส่วน Naต่อK ต่ำกว่า 1.7 ซึ่งจัดว่าเหมาะสมต่อการบริโภคเพื่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังมีปริมาณไขมันต่ำเพียง 3.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง แต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนกลุ่ม n-3 (PUFAs) เช่น alpha-linolenic acid, eicosapentaenoic acid และ docosahexaenoic acid (Queirós et al., 2021) ด้วยสมบัติดังกล่าว สาหร่ายสกุล *Ulva* จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ การบำบัดน้ำเสีย หรือแม้แต่ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้เจริญเติบโตในน้ำทะเล ซึ่งเป็นแหล่งสะสมเกลือแร่ ส่งผลให้มีแร่ธาตุหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ (อุไรวรรณ, 2563)

สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ที่จัดอยู่ในดิวิชัน Chlorophyta พบได้ทั่วไปตามบริเวณชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะในแอ่งน้ำตื้น บนโขดหิน แนวปะการัง และพื้นที่ใกล้ปากแม่น้ำ ลักษณะทัลลัสซึ่งเป็นส่วนทั้งหมดของสาหร่ายมีลักษณะเด่นคือ เป็นเนื้อเยื่อที่ยังไม่มีการพัฒนาไปเป็นราก ลำต้นหรือใบที่แท้จริงเหมือนกับพืชชั้นสูง มีลักษณะเป็นแผ่นบางยาวประมาณ 10–30 ซม. (Paopun et al., 2023) การสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าในมุมมองผิว (surface view) เซลล์ส่วนใหญ่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าจัดเรียงตัวตามแนวยาวของทัลลัส ขณะที่การตัดขวาง (transverse section) พบว่าโครงสร้างโดยทั่วไปเป็นแบบสองชั้น เซลล์มีความหนาประมาณ 10–20 ไมโครเมตร และความสูงของเซลล์เฉลี่ย 10–30 ไมโครเมตร ทั้งนี้ขนาดและลักษณะเซลล์อาจแปรผันไปตามชนิดของสาหร่ายตำแหน่งในทัลลัส และสภาวะของการเพาะเลี้ยง (Lagourgue et al., 2022; Steinhagen et al., 2023; Mutizabal-Aros et al., 2024) ในบางสปีชีส์ส่วนของทัลลัสอาจเป็นชั้นเดียว (monostromatic) ในขณะที่บริเวณกลางยังคงเป็นสองชั้น (distromatic) โดยความหนาของทัลลัสและลักษณะเซลล์อาจเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยแวดล้อมและระยะการเจริญเติบโต (Hu et al., 2022) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่กำหนดการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในน้ำ โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทั้งนี้สาหร่ายชนิดนี้มักใช้ในโตรเจนในสัดส่วนที่สูงกว่าฟอสฟอรัส (อัญชลี และคณะ, 2021) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของสูตรปุ๋ยที่มีสัดส่วนธาตุอาหาร (ไนโตรเจน-ฟอสฟอรัส-โพแทสเซียม) แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต การเพิ่มน้ำหนัก และการสะสมมวลชีวภาพของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ในระบบปิด โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม (K) และเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ (โปรตีน ไขมัน แฉะ และความชื้น) ในการช่วยคัดเลือกสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มผลผลิตและการสะสมสารอาหารในเชิงพาณิชย์

วิธีการศึกษา

การเตรียมพันธุ์สาหร่ายผักกาดทะเลก่อนการทดลอง

สาหร่ายผักกาดทะเลที่ใช้ในการทดลองมาจากบ่อเพาะเลี้ยงภายในศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลสตูล จังหวัดสตูล โดยสาหร่ายถูกเลี้ยงในบ่อปูนซีเมนต์ที่มีปริมาตรน้ำรวม 7,000 ลิตร ภายใต้สภาวะความเค็มประมาณ 25 ส่วนในพันส่วน กระบวนการเตรียมพันธุ์ก่อนการทดลองเริ่มจากการล้างสาหร่ายออกจากบ่อเพาะเลี้ยงด้วยความระมัดระวัง จากนั้นทำการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทะเลหลาย ๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่อาจปนเปื้อนมาด้วยตัวอย่าง เช่น เศษตะกอน สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก สาหร่ายชนิดอื่น

หรือสิ่งสกปรก จากนั้นใส่ลงในตะกร้าพลาสติกที่สะอาดและทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ เพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินออกจากตัวอย่าง แล้วนำสาหร่ายไปพักภายในบ่อปูนซีเมนต์ที่มีปริมาตรน้ำรวม 7,000 ลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน

การเตรียมปุ๋ยสำหรับเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

ในการทดลองครั้งนี้ ได้กำหนดสัดส่วนปุ๋ยโดยอ้างอิงตามมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเล จังหวัดสตูล ซึ่งใช้ปุ๋ยในอัตรา 20 กรัม/ปริมาตรน้ำ 1,000 ลิตร ทั้งนี้ ได้จัดชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด ดังนี้ ชุดควบคุมใช้ปุ๋ย 16-16-16 ในปริมาณ 8 กรัม ละลายในถังเลี้ยงที่มีปริมาตรน้ำ 400 ลิตร เพื่อให้ได้สัดส่วนเทียบเท่ากับ 20 กรัม/น้ำ 1,000 ลิตร ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมาตรฐาน ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ปุ๋ย 46-0-0 ปริมาณ 4 กรัม ร่วมกับปุ๋ย 16-20-0 ปริมาณ 4 กรัม และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ปุ๋ย 46-0-0 ปริมาณ 4 กรัม ร่วมกับปุ๋ย 16-16-16 ปริมาณ 4 กรัม

การวางแผนการทดลอง

การศึกษานี้มีการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้ ชุดควบคุม (Control) ทำการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยปุ๋ย 16-16-16 เพียงชนิดเดียว ชุดการทดลองที่ 1 (T1) ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ยสูตร 16-20-0 และ ชุดการทดลองที่ 2 (T2) ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ยสูตร 16-16-16 แต่ละชุดการทดลองมีจำนวนซ้ำ (replication) 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 9 หน่วยทดลอง การทดลองจัดทำในโรงเรือนที่ควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสม โดยใช้ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500 ลิตร เติมน้ำทะเลที่ผ่านการกรองด้วยถุงกรองละเอียด 10 ไมครอน ปรับความเค็มให้อยู่ที่ 25 ส่วนในพัน และเติมน้ำในแต่ละถังจำนวน 400 ลิตร พร้อมติดตั้งระบบอากาศ (aeration system) อย่างต่อเนื่องในแต่ละถังทดลองสาหร่ายผักกาดทะเลถูกปล่อยที่น้ำหนักเริ่มต้น 400 กรัม (ความหนาแน่นเริ่มต้น 100 กรัม/ปริมาตรน้ำ 100 ลิตร) โดยเติมทุกสัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลาทดลองทั้งหมด 1 เดือน ภายใต้สภาพความเข้มแสงมากกว่า 5,000 ลักซ์

การเก็บข้อมูล

ชั่งน้ำหนักของสาหร่ายผักกาดทะเลในแต่ละชุดการทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยการนำสาหร่ายทั้งหมด ใส่ในตะกร้าเพื่อสะเด็ดน้ำ แล้วทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความละเอียด 2 ตำแหน่งทศนิยม บันทึกข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Gain; ADG: กรัม/วัน) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate; SGR: เปอร์เซ็นต์/วัน) ดังนี้

$$ADG = (W_t - W_0)/t \quad (1)$$

$$SGR = (\ln (W_t - W_0)/t) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น (กรัม)

W_t = น้ำหนักสาหร่ายสุดท้าย (กรัม)

t = ระยะเวลา (วัน)

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การประเมินความเหมาะสมของคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละถังทดลองก่อนและหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำในทุกสัปดาห์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (Total Ammonia Nitrogen; TAN) ด้วยวิธี Modified Indophenol Blue Method ไนโตรเจน (NO₂-N) ใช้วิธี Diazotization Method (Strickland & Parsons, 1972) ไนเตรต (NO₃-N) ใช้วิธี Cadmium Reduction Method (Strickland & Parsons, 1972) ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved nitrogen; TDN) และฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved phosphorus; TDP) ด้วยวิธี Simultaneous Alkaline Persulfate Oxidation (Grasshoff et al., 1983)

การวิเคราะห์คุณค่าทางสารอาหาร

การวิเคราะห์โปรตีน (Protein Analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจลดาร์ (Kjeldahl method) ทำการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายแห้งประมาณ 0.3000 กรัม ด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไนโตรเจน จากนั้นใส่ในหลอดวิเคราะห์โปรตีน เติมน้ำสารเร่งจำนวน 3 กรัม ลงในหลอด เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

10 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสจนกระทั่งสารละลายใสเป็นสีเขียวแล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปกลั่นโดยการ ตวงกรดบอริก 30 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่และหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด/หลอด วิเคราะห์โปรตีนเข้ากับชุดกลั่น โดยให้ปลายท่อควบแน่นจมอยู่ในกรดบอริกแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ลงในหลอดเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีดำ กลั่นเป็นเวลา 4 นาที จากนั้นล้างปลายท่อด้วยน้ำกลั่นและนำขวดรูปชมพู่ออกจากเครื่องกลั่น ไปไตเตรทสารละลายในขวดรูปชมพู่อีกครั้งด้วยกรดเกลือมาตรฐาน (0.10 N HCl) จนถึงจุดยุติ (end point) โดยสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรต เพื่อนำไปคำนวณปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนต่อไป

การคำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีนจากสมการ

$$\% \text{ โปรตีน} = [1.4 \times (V-V_2) \times N \times 6.25] / w$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นโมลาร์

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

ล้างถ้วยกระเบื้อง (crucible) ให้สะอาด นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องโดยละเอียด ชั่งตัวอย่างใส่ถ้วยกระเบื้องประมาณ 1 กรัม นำตัวอย่างเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (หรืออบข้ามคืน) นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง ทำซ้ำจนกว่าจะได้น้ำหนักตัวอย่างคงที่

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = [(a - b) / w] \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของตัวอย่างและถ้วยกระเบื้องก่อนอบแห้ง (กรัม)

b = น้ำหนักของตัวอย่างและถ้วยกระเบื้องหลังอบแห้ง (กรัม)

w = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์หาไขมัน (ใช้เครื่อง Soxtec™8000) (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

อบ aluminum cup ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น อบตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก aluminum cup ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรองประมาณ 1 - 2 กรัม (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในหลอดกระดาษกรอง (thimble) นำไปใส่เข้าเครื่อง Soxtec™ 8000 นำ aluminum cup ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วมาเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 80 มิลลิลิตร นำไปใส่เข้าเครื่อง เข้าสู่ขั้นตอน boiling โดยตัวอย่างจะถูกต้มในตัวทำลาย 20 นาที เข้าสู่ขั้นตอน rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 40 นาที เข้าสู่ขั้นตอน recovery เพื่อให้ตัวทำลายระเหยออกไป 10 นาที นำ aluminum cup ออกจากเครื่องแล้วนำไปอบที่ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำ aluminum cup ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมัน จากสมการ

$$\% \text{ ไขมัน} = [(b - a) / w] \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนัก aluminum cup ก่อนวิเคราะห์ (กรัม)

b = น้ำหนัก aluminum cup หลังวิเคราะห์ (กรัม)

w = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

ล้างถ้วยกระเบื้อง (crucible) ให้สะอาด นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องโดยละเอียด ชั่งตัวอย่างใส่ถ้วยกระเบื้องประมาณ 1 กรัม บันทึกน้ำหนักอย่างละเอียด นำตัวอย่างไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ห้ามเปิดเตาเผาถ้าขณะที่ยังร้อน) นำตัวอย่างที่เผาแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผา

การคำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้า จากสมการ

$$\% \text{ เถ้า} = [(b - a) / w] \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างภายหลังการเผา (กรัม)

w = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลอง และเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) ข้อมูลทั้งหมดแสดงในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) พร้อมทั้งคำนวณค่า coefficient of variation (CV) และค่า F-test เพื่อประเมินความแปรปรวนและความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงด้วยปุ๋ยสูตรผสมที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเล พบว่า สาหร่ายในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-16-16 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด (872.86 ± 66.48 กรัม) รองลงมาคือปุ๋ย 16-16-16 (808.63 ± 80.72 กรัม) และปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ 16-20-0 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำที่สุด (743.60 ± 53.43 กรัม) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 7 วัน (ช่วงแรก) ส่วนช่วงระยะเวลาการเลี้ยง 7-14 (ช่วงกลาง) ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเลี้ยงสาหร่ายผักกาดเป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าน้ำหนักสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ 16-16-16 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด (943.26 ± 29.45 กรัม) และรองลงมาปุ๋ย 16-16-16 (897.20 ± 28.25 กรัม) และปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ 16-20-0 (855.53 ± 32.35 กรัม) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า น้ำหนักสาหร่ายเฉลี่ยในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 16-16-16 ($1,024.70 \pm 25.46$ กรัม) และปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ 16-16-16 ($1,022.26 \pm 40.85$ กรัม) มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ 16-20-0 (850.16 ± 34.56 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1 และ Figure 1)

Table 1 Average weight $\pm$ SD (g) of sea lettuce grown with different mixed fertilizer treatments

Time (days)	Average weight $\pm$ SD (g)			F-test	CV (%)
	Control: 16-16-16	T1: 46-0-0 + 16-20-0	T2: 46-0-0 + 16-16-16		
0	400 $\pm$ 0.00	400 $\pm$ 0.00	400 $\pm$ 0.00	ns	0.00
7	808.63 $\pm$ 80.72	743.60 $\pm$ 53.43	872.86 $\pm$ 66.48	ns	8.39
14	845.86 $\pm$ 30.79	803.83 $\pm$ 46.61	875.30 $\pm$ 63.63	ns	5.81
21	897.20 $\pm$ 28.25 ^{ab}	855.53 $\pm$ 32.35 ^b	943.26 $\pm$ 29.45 ^a	*	3.35
28	1024.70 $\pm$ 25.46 ^a	850.16 $\pm$ 34.56 ^b	1022.26 $\pm$ 40.85 ^a	**	3.54

Values with different letters within the same column are significantly different ($P < 0.05$).

ns = not significantly different ($P > 0.05$).

“*” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

“**” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สูตรปุ๋ยที่มีสัดส่วนธาตุอาหารแตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล โดยสาหร่ายทะเลที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-16-16 มีอัตราการเติบโตสูงสุดในช่วง 21 วันแรก เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของยูเรียเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนให้สาหร่ายนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อ ส่วนสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-20-0 ให้ผลการเจริญเติบโตต่ำกว่าอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาของ (Xiao et al., 2019) ที่ระบุว่าฟอสเฟตไม่มีผลโดยตรงต่อการกระตุ้นการเติบโต ดังนั้นการได้รับฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่สูงเกินความจำเป็นจึงไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระบบการเลี้ยง และมีรายงานว่าการใช้โพแทสเซียมในปริมาณที่เพียงพอช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย รวมถึงการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มชีวมวลของสาหร่าย (Van Ginneken, 2018; Koletti et al., 2025) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสาหร่ายทะเล เช่น *Sargassum horneri* เป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงมาก โดยโพแทสเซียมนี้มีบทบาทสำคัญในการรักษาสสมดุลประจุไฟฟ้าและโครงสร้างภายในเซลล์ (Ying et al., 2023) ซึ่งการทำงานร่วมกันของธาตุอาหารจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเจริญเติบโต ดังนั้นการเลือกใส่ปุ๋ยสูตรที่มีความสมดุลของธาตุอาหารหลักจึงช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนและทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตที่ดี

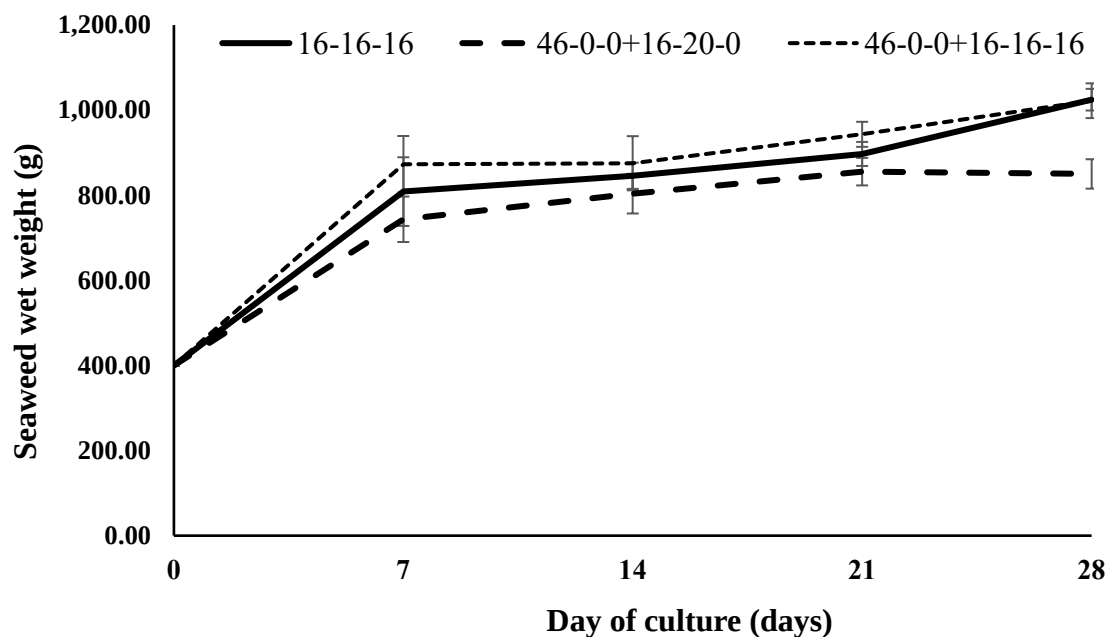


Figure 1 Relationship between weight and cultivation period (days) of sea lettuce grown under different mixed fertilizer formulations.

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Gain;ADG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate;SGR)

ผลการศึกษาพบว่า ปุ๋ยแต่ละสูตรมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแตกต่างกัน โดยเฉพาะในช่วงปลายของการเลี้ยง สำหรับค่า ADG สาหร่ายที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-16-16 มีการเจริญเติบโตสูงสุดและมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 28 วัน (7 วัน: 67.55 ± 9.49 กรัม/วัน; 28 วัน: 22.22 ± 1.46 กรัม/วัน) ขณะที่ปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-20-0 แม้เริ่มต้นมีค่า ADG สูง (49.08 ± 7.63 กรัม/วัน) แต่กลับมีค่า ADG ลดลงอย่างชัดเจนในช่วงของการเลี้ยง 21-28 วัน (21 วัน: 21.69 ± 1.54 กรัม/วัน; 28 วัน: 16.07 ± 1.23 กรัม/วัน) ในทุกชุดการทดลองหลังวันที่ 7 ADG มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนครบ 28 วัน หลังครบระยะเวลาเลี้ยง 28 วัน ชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 1 มีค่า ADG ต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 2) ในส่วนของ SGR แนวโน้มมีความสอดคล้องกับ ADG คือปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-16-16 ให้การเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดและคงที่ตลอดการทดลอง (7 วัน: 11.12 ± 1.06 เปอร์เซ็นต์/วัน; 28 วัน: 3.34 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์/วัน) ส่วนปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ 16-20-0 มีค่า SGR ลดลงมากในช่วง 21-28 วัน (21 วัน: 3.62 ± 0.18 เปอร์เซ็นต์/วัน; 28 วัน: 2.69 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์/วัน) ค่า SGR สูงสุดในวันที่ 7 ของการเพาะเลี้ยงทั้งสามชุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) หลังวันที่ 7 SGR มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนครบ 28 วัน โดยชุดควบคุมและ T2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ T1 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 3)

Table 2 Average daily gain (ADG) $\pm$ SD (g) of sea lettuce grown with different mixed fertilizer treatments

Time (days)	Average daily gain $\pm$ SD (g/day)			F-test	CV (%)
	Control: 16-16-16	T1: 46-0-0 + 16-20-0	T2: 46-0-0 + 16-16-16		
7	58.37 $\pm$ 11.53	49.08 $\pm$ 7.63	67.55 $\pm$ 9.49	ns	16.60
14	31.84 $\pm$ 2.20	28.84 $\pm$ 3.32	33.95 $\pm$ 4.54	ns	11.07
21	23.67 $\pm$ 1.34 ^{ab}	21.69 $\pm$ 1.54 ^b	25.87 $\pm$ 1.39 ^a	*	6.03
28	22.31a $\pm$ 0.91 ^a	16.07b $\pm$ 1.23 ^b	22.22a $\pm$ 1.46 ^a	**	6.04

Values with different letters within the same column are significantly different ($P < 0.05$).

ns = not significantly different ($P > 0.05$).

“*” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

“**” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

Table 3 Specific growth rate (SGR) $\pm$ SD (g) of sea lettuce grown with different mixed fertilizer treatments

Time (days)	Specific growth rate $\pm$ SD (%/day)			F-test	CV (%)
	Control: 16-16-16	T1: 46-0-0 + 16-20-0	T2: 46-0-0 + 16-16-16		
7	10.01 $\pm$ 1.42	8.83 $\pm$ 1.00	11.12 $\pm$ 1.06	ns	11.81
14	5.34 $\pm$ 0.26	4.97 $\pm$ 0.41	5.58 $\pm$ 0.51	ns	7.66
21	3.84 $\pm$ 0.15 ^{ab}	3.62 $\pm$ 0.18 ^b	4.08 $\pm$ 0.15 ^a	*	4.19
28	3.36 $\pm$ 0.08 ^a	2.69 $\pm$ 0.14 ^b	3.34 $\pm$ 0.14 ^a	**	4.10

Values with different letters within the same column are significantly different ($P < 0.05$).

ns = not significantly different ($P > 0.05$).

“*” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

“**” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเล ชนิด *Ulva rigida* มีการเจริญเติบโต โดยทัลลัสของสาหร่ายจะแสดงการเจริญแบบขยายตัว (thallus expansion) อย่างชัดเจน ในช่วง 14 วันแรกของการเลี้ยง (Paopun et al., 2023) ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ในอัตราปานกลาง ส่งผลให้เนื้อเยื่อสาหร่ายมีความบางและยืดตัวได้ดี โดยกลไกการเจริญเติบโตจะเปลี่ยนไป มีอัตราการแบ่งเซลล์ (cell division rate) เพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันขนาดของเซลล์เดี่ยวจะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเซลล์ใหม่ถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อทดแทนการขยายตัวเชิงพื้นที่ของทัลลัส ในระยะเริ่มต้นสาหร่ายมักเจริญเติบโตด้วยการยืดขยายเนื้อเยื่อ (tissue expansion) ทำให้พื้นที่ผิวต่อมวลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เซลล์เดิมขยายขนาดและคลอโรพลาสต์เพิ่มการกระจายเพื่อรองรับการสังเคราะห์แสงและสะสมมวลชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นในการเพาะเลี้ยง มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเลเนื่องจากความหนาแน่นที่สูงขึ้นจะเกิดการแย่งแสงสารอาหาร (Cao et al., 2022) โดยอัตราการขยายพื้นที่ (area expansion) กับการสะสมมวล (biomass accumulation) จะมีอัตราเติบโตเชิงพื้นที่สูงในระยะต้นก่อนกลับเป็นการแบ่งเซลล์ที่เข้มข้นขึ้นในระยะหลัง (Gao et al., 2018; Fort et al., 2019) ซึ่งการเพิ่มอัตราการแบ่งเซลล์ส่งผลให้เซลล์มีขนาดเล็กลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงด้านปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มแสง ปริมาณธาตุอาหาร และอุณหภูมิ เป็นต้น สาหร่ายมักปรับกลยุทธ์เป็นการสร้างเซลล์ใหม่อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เซลล์มีขนาดเล็กลงแต่มีความหนาแน่นของเซลล์ในเนื้อเยื่อสูงขึ้น ซึ่งเป็นการปรับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนแก๊สและการขนส่งสารภายในทัลลัส (Massocato et al., 2022; Zollmann et al., 2023)

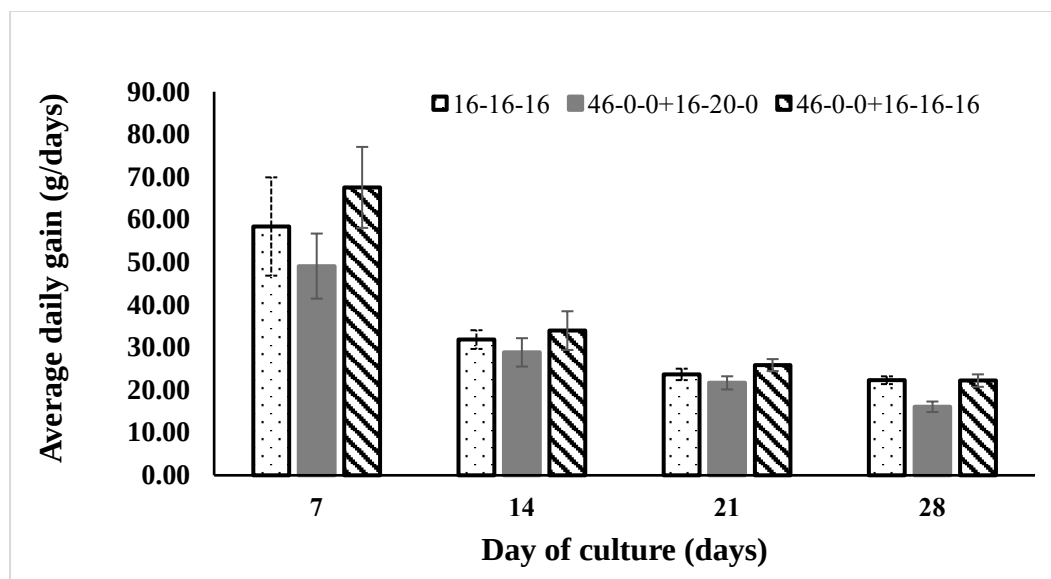


Figure 2 average daily gain (ADG) and cultivation period (days) of sea lettuce grown under different mixed fertilizer formulations.

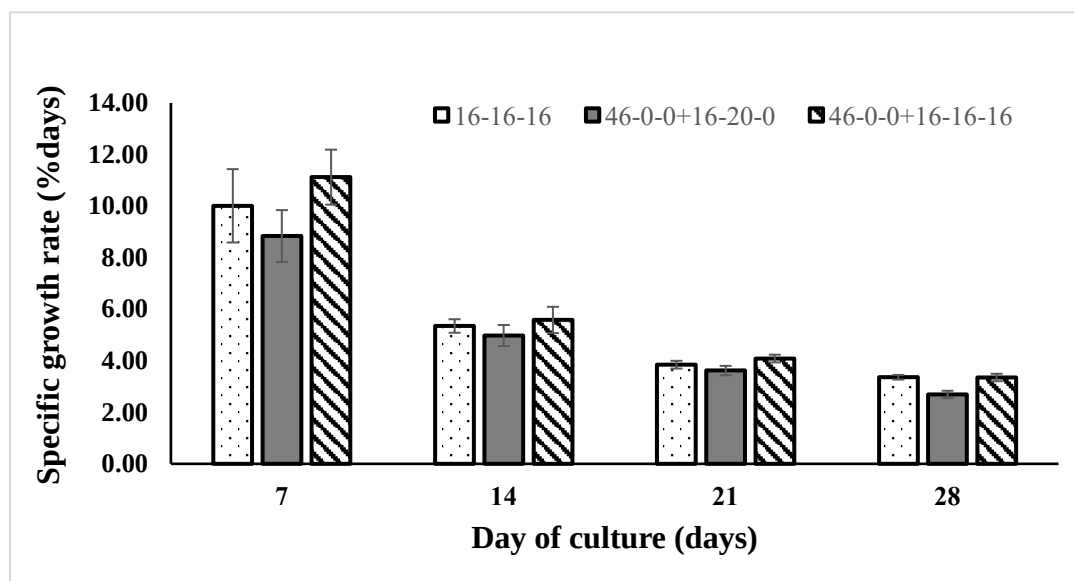


Figure 3 average specific growth rate (SGR) and cultivation period (days) of sea lettuce grown under different mixed fertilizer formulations.

คุณค่าทางสารอาหารในสาหร่ายผักกาดทะเล

ผลของการใช้ปุ๋ยสูตรผสมแต่ละชนิดจะทำให้ได้ผลผลิตสาหร่ายทะเลที่มีปริมาณสารอาหารแตกต่างกัน ซึ่งการศึกษานี้พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 16-16-16 (ชุดควบคุม) และปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-20-0 (T1) มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลที่ได้รับปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับปุ๋ย 16-16-16 (T2) โดยมีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 25.35 เปอร์เซ็นต์ 24.59 เปอร์เซ็นต์ และ 23.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และความชื้นของสาหร่ายในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.28 - 0.39 เปอร์เซ็นต์ 3.70 - 4.21 เปอร์เซ็นต์ และ 85.78 - 88.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 4) จะเห็นได้ว่าแม้อัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (N:P:K) ที่ใช้ในการทดลองยังคง

แสดงถึงความสามารถของสาหร่ายในการเจริญเติบโตและสะสมธาตุได้ตามปกติ เนื่องจากการที่ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโต จึงไม่เกิดภาวะขาดธาตุใดธาตุหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการจำกัดการเจริญเติบโต โดยสาหร่ายผักกาดทะเล มีความยืดหยุ่นในการใช้ธาตุอาหารสูง (nutrient plasticity) โดยสามารถดูดซึมและปรับสมดุลการใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในช่วงอัตราส่วนที่กว้าง อีกทั้งยังมีความสามารถในการกักเก็บธาตุส่วนเกินในรูปสารประกอบที่สะสมได้ (luxury uptake) เพื่อใช้ในภายหลัง (Nederlof et al., 2022) จากการศึกษาของ Queirós et al. (2021) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเล มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงระหว่าง 7.6–25.8 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (DW) ในขณะที่ปริมาณไขมันอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ (0.2–1.3 เปอร์เซ็นต์ DW) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าสาหร่ายผักกาดที่เลี้ยงด้วยปุ๋ย 46-0-0 ร่วมกับ ปุ๋ย 16-16-16 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีจากพืช

Table 4 Nutritional composition of sea lettuce cultivated under different mixed fertilizer formulations

Nutritional composition	Fertilizer formulations			F-test	CV (%)
	Control: 16-16-16	T1: 46-0-0 + 16-20-0	T2: 46-0-0 + 16-16-16		
Protein (%)	25.35 ^a ± 0.66	24.59 ^a ± 0.33	23.21 ^b ± 0.20	**	1.80
Lipid (%)	0.33 ± 0.06	0.39 ± 0.14	0.28 ± 0.12	ns	35.08
Ash (%)	3.83 ± 0.03	4.21 ± 1.35	3.70 ± 0.52	ns	21.49
Moisture (%)	88.68 ± 0.49	87.23 ± 4.29	85.78 ± 3.19	ns	3.56

Values with different letters within the same row are significantly different ($P < 0.01$).

ns = not significantly different ($P > 0.05$).

“**” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

“***” indicates that values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

ผลของการติดตามคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่า อุณหภูมิมีน้ำทะเลอยู่ระหว่าง 25-28 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และความเป็นด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 5-9 มิลลิกรัม/ลิตร 7.7-8.0. และ 153-204 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนละลายน้ำและฟอสฟอรัสละลายน้ำรวม มีค่าอยู่ในช่วง 0-1.49 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร 0-0.78 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร 0-0.95 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร 0.20-5.55 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และ 1.00-2.87 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำเบื้องต้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล ซึ่งสาหร่ายทะเลส่วนใหญ่ โดยเฉพาะสกุล *Ulva* มีความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (Rocha et al., 2023)

สรุป

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลภายใต้สูตรปุ๋ยที่มีสัดส่วนธาตุอาหารหลักแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางโภชนาการ แสดงให้เห็นว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่ได้รับสัดส่วนของธาตุอาหารหลักอย่างเหมาะสม จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล ดังนั้นการศึกษารุ่นนี้สรุปได้ว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในเชิงพาณิชย์ที่มุ่งเน้นความสมดุลระหว่างปริมาณผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการ ควรเลือกใช้ปุ๋ยสูตรที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอย่างเหมาะสม โดยปุ๋ยสูตรผสม 46-0-0 ร่วมกับ 16-16-16 และ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 เพียงอย่างเดียว มีสารอาหารหลักเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล ดังนั้น การเลือกใช้ปุ๋ยสูตรผสมหรือสูตร 16-16-16 เพียงอย่างเดียว จึงเป็น

ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลเชิงพาณิชย์ เนื่องจากให้ผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ต้นทุนต่ำและสะดวกต่อการใช้งาน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลสตูล จ.สตูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ บุคลากร สถานที่ วัสดุ และอุปกรณ์ ในการทำวิจัย รวมถึงให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- นิคม ละอองศิริวงศ์. 2562. คู่มือการวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจรับรองมาตรฐานฟาร์ม. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งนาธิวาส กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. นครศรีธรรมราช.
- อุไรวรรณ วัฒนกุล, วัฒนา วัฒนกุล และมานิช ขำเจริญ. 2563. คุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีที่สำคัญในสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงด้วยระดับธาตุอาหารต่างกัน. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. สงขลา.
- อัญชลี ต้นไชยยะ, พงศ์เชษฐ พิชิตกุล, อิสริยา วุฒิสินธุ์ และมนทกานติ ท้ามดิน. 2564. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*). แก่นเกษตร. 50: 1-12.
- Cao, C., T. Zhang, M. Wu, B. Chen, and Z. Ma. 2022. Differential growth and physiological responses of *Sargassum fusiforme* and epiphytic *Ulva lactuca* to culture densities and interspecific competition. *Regional Studies in Marine Science*. 56: 102671.
- Fort, A., M. Lebrault, M. Allaire, A. A. Esteves-Ferreira, M. McHale, F. Lopez, J. M. Fariñas-Franco, S. Alseekh, A. R. Fernie, and R. Sulpice. 2019. Extensive variations in diurnal growth patterns and metabolism among *Ulva* spp. Strains. *Plant Physiology*. 180: 109–123.
- Gao, G., J. Beardall, M. Bao, C. Wang, W. Ren, and J. Xu. 2018. Ocean acidification and nutrient limitation synergistically reduce growth and photosynthetic performances of a green tide alga *Ulva linza*. *Biogeosciences*. 15: 3409-3420.
- Hofmann, L. C., S. Strauss, S. Shpigel, L. Guttman, D. B. Stengel, C. Rebours, and A. J. Meléndez-Martínez. 2025. The green seaweed *Ulva*: tomorrow's "wheat of the sea" in foods, feeds, nutrition, and biomaterials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 62: 5092–5119.
- Hu, M., S. Zhao, J. Liu, Y. Tong, Z. Xia, J. Xia, S. Li, Y. Sun, J. Cao, and J. J. Zhang. 2022. The morphology, genetic diversity, and distribution of *Ulva meridionalis* (Ulvaceae, Chlorophyta) in Chinese seas. *Journal of Marine Science and Engineering*. 10: 1873.
- Kidgell, J. T., M. Magnusson, R. de Nys, and C. R. K. Glasson. 2019. Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Research*. 39: 101422.
- Koletti, A., D. Skliros, I. Dervisi, A. Roussis, and E. Flemetakis. 2025. Oxidative Stress Responses in Microalgae: Modern Insights into an Old Topic. *Applied Microbiology*. 5: 1-18.
- Lagourgue, L., S. Gobin, M. Brisset, S. Vandenberghe, C. Bonneville, T. Jauffrais, S. Van Wynsberge, and C. E. Payri. 2022. Ten new species of *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) discovered in New Caledonia: genetic and morphological diversity, and bloom potential. *European Journal of Phycology*. 57: 458–478.

- Li, C., T. Tang, Y. Du, L. Jiang, Z. Yao, L. Ning, and B. Zhu. 2023. Ulvan and Ulva oligosaccharides: a systematic review of structure, preparation, biological activities and applications. *Bioresources and Bioprocessing*. 10: 66.
- Massocato, T. F., V. Robles-Carnero, B. R. Moreira, P. Castro-Varela, L. Pinheiro-Silva, W. D. S. Oliveira, J. Vega, A. Avilés, J. Bonomi-Barufi, L. R. Rörig, and F. L. Figueroa. 2022. Growth, biofiltration and photosynthetic performance of *Ulva* spp. cultivated in fishpond effluents: An outdoor study. *Frontiers in Marine Science*. 9: 981468.
- Mouga, T., M. M. Almeida, F. I. Pitacas, A. M. Rodrigues, C. Vitória, and O. Anjos. 2025. Elemental and nutritional characterisation with vibrational spectroscopy analysis of *Ulva* sp., *Gracilaria multipartita*, and *Sargassum muticum*. *Applied Sciences*. 15: 4212.
- Mutizabal-Aros, J., M. E. Ramírez, P. A. Haye, A. Meynard, B. Pinilla-Rojas, A. Núñez, and L. Contreras-Porcia. 2024. Morphological and molecular identification of *Ulva* spp. (Ulvophyceae; Chlorophyta) from Algarrobo Bay, Chile: Understanding the composition of green tides. *Plants*. 13: 1258.
- Nederlof, M. A. J., A. Neori, M. C. J. Verdegem, A. C. Smaal, and H. M. Jansen. 2022. *Ulva* spp. performance and biomitigation potential under high nutrient concentrations: implications for recirculating IMTA systems. *Journal of Applied Phycology*. 34: 2157–2171.
- Paopun, Y., P. Thanomchat, C. Roopkham, P. Umroong, W. Pan-utai, P. Satmalee, P. Kosawatpat, B. Thongdang, and M. Tamtin. 2023. Structural development of Marine Green Alga (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) during cultivation. *Trends in Sciences*. 20: 1-10.
- Queirós, A. S., A. R. Circuncisão, E. Pereira, M. Válega, M. H. Abreu, A. M. S. Silva, and S. M. Cardoso. 2021. Valuable nutrients from *Ulva rigida*: Modulation by seasonal and cultivation factors. *Applied Sciences*. 11: 6137.
- Rocha, J. S., D. Santos, M. A. Martins, C. M. Bauer, M. Maraschin, L. Hayashi, and F. N. Vieira. 2023. Sea lettuce (*Ulva ohnoi*) cultivation in biofloc technology: Growth performance and characterization of bioactive compounds. *Boletim do Instituto de Pesca*. 49: e848.
- Steinhagen, S., L. Kramár, and G. B. Toth. 2023. The unheeded existence of the tubular greens: molecular analyses reveal the distribution of a new *Ulva* species (Ulvophyceae, Chlorophyta), *Ulva capillata* sp. nov. in the Atlantic-Baltic Sea transect. *Journal of Applied Phycology*. 35: 509–522.
- Van Ginneken, V. 2018. Some mechanism seaweeds employ to cope with salinity stress in the Harsh Euhaline Oceanic environment. *American Journal of Plant Sciences*. 9: 1191-1211.
- Xiao, X., S. Agusti, F. Lin, C. Xu, Y. Yu, Y. Pan, K. Li, J. Wu, and C. M. Duarte. 2019. Resource (light and nitrogen) and density-dependence of seaweed growth. *Frontiers in Marine Science*. 6: 618.
- Ying, H., G. Zeng, Y. He, Y. Hou, and N. Ai. 2023. Enhanced assembling of N-and-K-riched macroalgae as carbon adsorbent for CO₂ capture with Ni(NO₃)₂/KOH as co-catalysts. *Molecules*. 28: 6242.
- Zollmann, M., A. Liberzon, R. R. Palatnik, D. Zilberman, and A. Golberg. 2023. Effects of season, depth and pre-cultivation fertilizing on *Ulva* growth dynamics offshore the Eastern Mediterranean Sea. *Scientific Reports*. 13: 14784.