เอกสารวิชาการฉบับที่ ๑๐/๒๕๖๔ Technical Paper No. 10/2021

การเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) ด้วยน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยเคมี

Sea Lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) Cultured with Bio-Fermented and Chemical Fertilizers

ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์ Prapat Kosawatpat
มนทกานติ ท้ามติ้น Montakan Tamtin
บุษบา ทองแดง Bussaba Tongdang
ทิพาพร แก้วประเสริฐศรี Tipaporn Kaewprasertsri

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง
กรมประมง
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Coastal Aquaculture Research and Development Division
Department of Fisheries
Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๑๐/๒๕๖๔ Technical Paper No. . 10/2021

การเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) ด้วยน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยเคมี

Sea Lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) Cultured with Bio-Fermented and Chemical Fertilizers

ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์ Prapat Kosawatpat
มนทกานติ ท้ามติ้น Montakan Tamtin
บุษบา ทองแดง Bussaba Tongdang
ทิพาพร แก้วประเสริฐศรี Tipaporn Kaewprasertsri

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี Phetchaburi Coastal Aquaculture Research and Development Center
กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง Coastal Aquaculture Research and Development Division
กรมประมง Department of Fisheries
๒๕๖๔ 2021

รหัสทะเบียนวิจัย 64 3 0315 64072

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	5
วิธีดำเนินการ	5
1. การวางแผนการทดลอง	5
2. การเตรียมการทดลอง	6
3. ดำเนินการทดลอง	8
การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปลานวลจันทร์ทะเลในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล	8
การทดลองที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน	9
ผลการศึกษา	12
การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรรูปปลานวลจันทร์ทะเลในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล	12
1.1 การเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล	12
1.2 คุณภาพน้ำและความเข้มแสงในชุดทดลองเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล	15
การทดลองที่ 2 ศึกษาการขยายผลการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน	17
2.1 ปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนพืชในน้ำหมักชีวภาพ	17
2.2 การเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	17
2.3 คุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	20
2.4 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	24
2.5 คุณภาพน้ำและความเข้มแสงในบ่อปูนเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล	25
2.6 ต้นทุนและผลตอบแทนในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน	27
วิจารณ์ผล	29
สรุปและข้อเสนอแนะ	32
คำขอบคุณ	32
เอกสารอ้างอิง	33

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน	12
2	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน	13
3	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน	14
4	คุณภาพน้ำในชุดทดลองเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน	15
5	ปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนพืชในน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลในการทดลองเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล	17
6	น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเล ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	18
7	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	19
8	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	19
9	ค่าสี L*, a*, b* เฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	20
10	ลักษณะทัลลัสและเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในบ่อปูนระดับมหมวล	22
11	ปริมาณสารสีของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่เลี้ยงในบ่อปูนระดับมหมวล	24
12	ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ วิตามินและแร่ธาตุของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่เลี้ยงในบ่อปูนระดับมหมวล	25
13	คุณภาพน้ำและความเข้มแสงในบ่อปูนเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล	26
14	ผลผลิตและต้นทุนผลตอบแทนต่อรอบ ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน	27
15	ต้นทุนผันแปรต่อรอบ ในการการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน	28

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การวัดขนาดเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเล	11
2	น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน	12
3	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพ ระดับความเข้มข้นต่างกัน	13
4	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพ ระดับความเข้มข้นต่างกัน	14
5	น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	18
6	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน	19
7	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวล ในบ่อปูน	20
8	การเรียงของเซลล์โดยรวมของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* จากกล้องจุลทรรศน์ แบบใช้แสง (Compound Light Microscope, LM) ขนาด 20 ไมครอน กำลังขยาย 40x	22
9	ลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ระดับจุลภาคของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* : จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) ขนาด 10 ไมครอน กำลังขยาย 100x :Deck lamella (d) Cell wall (cw), Chloroplast (c), Lipid droplet (ld) และ Starch granule (s)	23

การเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) ด้วยน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยเคมี

ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์[1]*, มนทกานติ ท้ามติ้น[2], บุษบา ทองแดง[1] และ ทิพาพร แก้วประเสริฐศรี[3]

[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี

[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสมุทรสาคร

[3]สำนักงานประมงอำเภอหนองหญ้าปล้อง

บทคัดย่อ

ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) ด้วยน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยเคมี แบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 หาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพที่ทำจากเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในโหลอะคริลิก เป็นเวลา 4 สัปดาห์ แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 น้ำทะเล (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2-4 เติมน้ำหมักชีวภาพความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1.0 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ พบว่า สาหร่ายผักกาดที่เลี้ยงในน้ำหมักชีวภาพที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีน้ำหนักรวมเฉลี่ย 82.73±5.0 กรัม มากกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จึงนำความเข้มข้นที่เหมาะสมนี้ไปใช้ในการทดลองที่ 2 เพื่อเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูนกลางแจ้ง เป็นเวลา 3 สัปดาห์ แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 น้ำทะเล (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 ปุ๋ย TMRL (Tungkang Marine Research Laboratory) และชุดการทดลองที่ 3 น้ำหมักชีวภาพ ที่ระดับความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วนเท่ากัน พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำหมักชีวภาพมีน้ำหนักรวมเฉลี่ย 36.97±0.2 กิโลกรัม ทั้งยังมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันมากกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ในสัปดาห์สุดท้ายทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างชัดเจน สาหร่ายที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพ มีการแบ่งเซลล์มากที่สุด ไม่มีการสะสมเม็ดแป้ง (Starch granule) และหยดไขมัน (Lipid droplet) ในคลอโรพลาสต์ ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลมีแผ่น Blade ขนาดเฉลี่ย 67.87±3.9 ไมครอน บางที่สุดและมีขนาดของเซลล์เล็กที่สุด สีของสาหร่ายทุกชุดทดลองอยู่ในโทนสีเขียว ปริมาณรงควัตถุ ได้แก่ Chlorophyll a, b, c และ Total Carotenoid ของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำหมักชีวภาพมีค่ามากที่สุด และมีปริมาณโปรตีน 25.38 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยน้ำหมักชีวภาพ มีกำไรและผลตอบแทนมากที่สุด ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า น้ำหมักชีวภาพที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งปุ๋ยทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้ดี ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านผลผลิต คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

คำสำคัญ: สาหร่ายผักกาดทะเล, น้ำหมักชีวภาพ, การเจริญเติบโต, คุณภาพของสาหร่าย, ต้นทุน, ผลตอบแทน

***ผู้รับผิดชอบ** ๑๒๒ หมู่ ๑ ต.แหลมผักเบี้ย อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี ๗๖๑๐๐ โทร.๐ ๓๒๔๗ ๓๘๗๗

E-mail: prapat1120@gmail.com

Sea Lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) Cultured with Bio-Fermented and Chemical Fertilizers

Prapat Kosawatpat[1]*, Montakan Tamtin[2], Bussaba Tongdang[1] and Tipaporn Kaewprasertsri[3]

[1]Phetchaburi Coastal Aquaculture Research and Development Center

[2]Samut Sakhon Coastal Aquaculture Research and Development Center

[3]Nong Ya Plong Fisheries District Office

Abstract

The study of culturing sea lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) with bio-fermented (BF) and chemical fertilizers (CF) was divided into two experiments. Experiment 1 was designed, to determine an appropriate concentration of BF made from residuals from fish processing. Sea lettuce was cultured for 4 weeks in 12 - ten liters of octagon aquarium which were divided into 4 treatments. Treatment 1 was: seaweed cultured in seawater without fertilizer (control), while, treatment 2-4, the BF was: add to make the final concentrations of 0.25, 0.5 and 1 parts per million (ppm), respectively. The result showed that the total biomass of sea lettuce cultured in BF at the concentration of 1.0 ppm. had the highest an average highest weight of 82.73±5.0 g, which were significantly different from other treatments ($p<0.05$). The experiment 2, sea lettuce, was to massively cultured in 15 tons-concrete ponds under outdoor environment for 3 weeks. The experiment was divided into 3 treatments of fertilizer sources, treatment 1: cultured in seawater (control), treatment 2: cultured in CF (Tungkang Marine Research Laboratory; TMRL) 1 ppm and treatment 3: cultured in BF 1 ppm. It was found that biomass of sea lettuce cultured in BF showed the highest average weight of 36.97±0.2 kg. In addition, daily growth and specific growth rate were found significantly higher than other treatments ($p<0.05$). However, the growth rate of seaweed in all treatments were found decreased in the last week of experiment Sea lettuce cultured in BF showed a high quality i.e. large number in cell division, no starch granules and lipid droplets in chloroplasts. The sea lettuce cultured in seawater (control) showed the, thinnest of blade (67.87±3.9 microns) and smallest cell size. While the L* color of sea lettuce cultured in, all treatment showed in green tone. The contents of pigments (chlorophyll a, b, c and total carotenoid), protein content production cost and profit were found the highest in sea lettuce cultured in BF. The results of this study concluded that the concentration of bio-fermented fertilizer at 1.0 ppm in seawater can be used as a good source of fertilizers and is suitable for replacing the use of chemical fertilizers which enables the better production, qualities and nutritional values in sea lettuce culture.

Key words: Sea Lettuce, Bio-Fermented, Growth, Seaweed quality, Costs, Returns

***Corroesponding author:** 122 Moo 1, Laem Pakbia, Ban Laem, Phetchaburi 76100

Tel. 0 3247 3877, E-mail: prapat1120@gmail.com

คำนำ

สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) จัดอยู่ในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียว ครอบครัว Ulvaceae มีชื่อสามัญว่า Sea Lettuce มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดี สาหร่ายผักกาดทะเลมีทัลลัสเป็นแผ่น แบนบางขนาดใหญ่ มีรอยจีบอยู่ตรงขอบ เจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวยาว พบลอยน้ำบริเวณชายฝั่งติดริมหาด หรือปนอยู่กับสาหร่ายชนิดอื่น (Lewmanomont *et al*., 1995) อุดมไปด้วยธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ใยอาหาร รวมทั้งวิตามินบีและแร่ธาตุที่จำเป็นอื่นๆอีกมากมาย สร้างเม็ดโลหิตแดง ควบคุมความดันโลหิต ลดน้ำตาล รักษาให้บาดแผลหายเร็ว รักษาโรคกระดูกผุ เป็นอาหารที่ย่อยง่าย และไขมันต่ำ (สุวรรณา และคณะ, 2551) สามารถนำมาบริโภคได้หลายรูปแบบ เช่น บริโภคสด หรือเป็นเมนูอาหารต่าง ๆ เช่น แกงจืด ต้มยำ ยำ ทอด ไข่เจียว ฯลฯ อีกทั้งยังเก็บรักษาโดยการแปรรูปทำผลิตภัณฑ์ได้อีกหลายชนิด เช่น สาหร่ายทะเลแห้ง สาหร่ายปรุงรส หรือนำมาผสมในขนมต่างๆ ฯลฯ (สุวรรณา และคณะ, 2560)

ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี ได้นำสาหร่ายชนิดนี้จากแหล่งธรรมชาติมาเพาะขยายพันธุ์ตั้งแต่ปี 2544 พบว่า สามารถปรับสภาพจากการเป็นสาหร่ายธรรมชาติให้มีความคุ้นเคยกับระบบน้ำในบ่อเลี้ยงและเพาะขยายพันธุ์ได้ง่าย ทั้งแบบใช้ต้นอ่อนหรือการแบ่งส่วนของใบไปขยายพันธุ์ต่อโดยปล่อยให้ลอยอิสระในน้ำหรือแบบมีที่ยึดเกาะผูกติดกับตาข่ายพลาสติก (มนทกานติ และคณะ, 2559) ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือ 25 ส่วนในพันส่วน (สุวรรณา และคณะ, 2551) และเลี้ยงได้หลายรูปแบบ เช่น การเลี้ยงร่วมกับสัตว์น้ำชนิดต่างๆ (Polyculture) ในบ่อปูนหรือบ่อดิน หรือการเลี้ยงแบบชนิดเดียว (Monoculture) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพิ่มแร่ธาตุอาหารแก่สาหร่าย (เอนก, 2559) ดังนั้นปัจจัยหลักในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลนอกจากความเค็มแล้ว อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือ ปุ๋ยหรือธาตุอาหาร ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ ในการเลี้ยงสาหร่ายทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในแหล่งน้ำได้ เป็นต้น นอกจากนี้ในอนาคตแนวโน้มของการทำการเกษตรจะมุ่งไปสู่กระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการเกษตรที่ยั่งยืน รวมถึงงานด้านประมงที่นำสารอินทรีย์ต่าง ๆ มาสร้างอาหารธรรมชาติ และการใช้น้ำหมักชีวภาพเพื่อแทนหรือลดการใช้สารเคมี เช่น ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ (เพ็ชร และคณะ, 2551) การเลี้ยงพรรณไม้น้ำ (คมกริช และคณะ, 2557) การเลี้ยงแพลงก์ตอน (ศิริพร และคณะ 2553; ชรินทร์ และคณะ, 2557; Daniela *et al*., 2008) และการเลี้ยงสาหร่าย (อรกัญญา และคณะ 2552; อเนก, 2559; Robertson-Andersson *et al*., 2006) เป็นต้น

น้ำหมักชีวภาพ ได้จากการหมักเศษพืชและสัตว์ในลักษณะสดโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของเหลวสีน้ำตาลประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรท (Carbohydrates) กรดอินทรีย์ (Organic acids) กรดอะมิโน (Amino acids) กรดฮิวมิก (Humic acids) น้ำย่อย (Enzymes) วิตามิน (Vitamins) ฮอร์โมน (Growth hormones) และแร่ธาตุ (Minerals) หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะด้านการเจริญเติบโตของพืชบนบกและพืชในน้ำ (ประดิษฐ์, 2544; กรมพัฒนาที่ดิน,

2546) ถือเป็นภูมิปัญญาของเกษตรกรที่ได้นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการประมงที่มีในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งยังสามารถผลิตได้ง่ายและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตน้ำหมักชีวภาพให้แก่เกษตรกรสามารถทำได้ไม่ยาก สอดคล้องกับที่กรมประมง โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรีร่วมกับฟาร์มทะเลตัวอย่างในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ จังหวัดเพชรบุรี ได้ส่งเสริมการเลี้ยงและแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ซึ่งจัดเป็นปลาเศรษฐกิจชนิดใหม่ โดยมีกลุ่มเกษตรกรแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลทั้งแบบถอดก้างหรือทำผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ อยู่ในหลายจังหวัด เช่น ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี ระยองและจันทบุรี เป็นต้น ทำให้มีเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลาเป็นจำนวนมาก ไม่สามารถใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ ทั้งยังหาได้ง่าย ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยนำเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ได้แก่ ส่วนหัว เศษเนื้อและเครื่องในปลา มาหมักทำน้ำหมักชีวภาพเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร TMRL (Tungkang Marine Research Laboratory) ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลในห้องปฏิบัติการ ซึ่ง Gopinathan (1982) รายงานว่า ปุ๋ยเคมีสูตร TMRL สามารถใช้ในการเพาะขยายไดอะตอม เช่น *Chaetoceros* spp*, Skeletonema costatum* และสาหร่ายขนาดเล็ก (micro algae) ในปริมาณมากภายนอกห้องปฏิบัติการได้ โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรีได้นำปุ๋ยสูตร TMRL มาใช้เลี้ยงไดอะตอม และแพลงก์ตอนพืชเช่นกัน ทั้งยังปรับใช้กับการเลี้ยงสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ เช่น สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายผักกาดทะเล เป็นต้น หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาขยายผลสู่การเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล (Mass culture) ในบ่อปูนขนาดใหญ่ โดยศึกษาการเจริญเติบโต คุณภาพของสาหร่าย ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะเซลล์ เพื่อดูความแตกต่างของเซลล์และโครงสร้างเซลล์ ที่เกิดจากแหล่งสารอาหารในการเลี้ยงที่ต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปพัฒนาและใช้ประโยชน์ในอนาคตได้ ทั้งยังศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ตลอดจนวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกษตรเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลเชิงพานิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นที่ต่างกันของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต คุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเล ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะเซลล์ และคุณค่าทางโภชนาการ ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลและปุ๋ยเคมี ในการขยายผลระดับมหมวลในบ่อปูน
3. เพื่อศึกษาต้นทุน และผลตอบแทนของสาหร่ายผักกาดทะเล ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลและปุ๋ยเคมี ในการขยายผลระดับมหมวลในบ่อปูน

วิธีดำเนินการ

1. การวางแผนทดลอง

แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design,CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดทดลองละ 3 ซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 1 : น้ำทะเล (ชุดควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 2 : น้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพความเข้มข้น 0.25 ส่วนในล้านส่วน
ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพความเข้มข้น 0.5 ส่วนในล้านส่วน
ชุดการทดลองที่ 4 : น้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน

การทดลองที่ 2 ศึกษาการขยายผลการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน

เมื่อได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในห้องปฏิบัติการ จึงนำมาขยายผลในการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับการเลี้ยงสาหร่ายด้วยปุ๋ยเคมี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design,CRD) แบ่งการทดลอง ออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดทดลองละ 3 ซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 1 : น้ำทะเล (ชุดควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 2 : น้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้นเดียวกับน้ำหมักชีวภาพ
ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม
จากการทดลองที่ 1

2. การเตรียมการทดลอง

2.1 การเตรียมสาหร่าย

การเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดลอง โดยการเลี้ยงแบบสอดในแผงอวนผูกแนวดิ่ง แขวนไว้ในบ่อปูนขนาด 5x4x1.5 เมตร บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 30-32 ส่วนในพันส่วน ที่ผ่านการบำบัดให้ตกตะกอนจากบ่อพักน้ำชีวภาพแล้ว ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เมตร ภายในบ่อมีระบบให้อากาศและระบบน้ำหมุนเวียน คลุมด้วยสแลนพรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 21 วัน

เตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลที่มีการเลี้ยงอายุ 3 สัปดาห์ มีลักษณะของทัลลัส (Thallus) เป็นแผ่นสมบูรณ์แข็งแรง ตัดแบ่งให้ได้ขนาด 6 - 8 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดกำจัดสิ่งปนเปื้อนและสาหร่ายชนิดอื่นที่ปะปนอยู่ออกไป นำมาพักในถัง 500 ลิตร ที่บรรจุน้ำทะเลที่มีความเค็มใกล้เคียงกับน้ำในบ่อเลี้ยงเป็นเวลา 7-10 วันก่อนทดลอง ค่อย ๆ ปรับความเค็มวันเว้นวัน วันละ 2 ส่วนในพันส่วน จนได้ความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน จากนั้นชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่กำหนดไว้ในแผนการทดลอง

2.2 การเตรียมน้ำทะเล

เตรียมน้ำทะเลความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน ที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนที่ความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วน (เตรียมจากแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 65 เปอร์เซ็นต์) ให้อากาศเต็มที่เป็นเวลา 1 วัน ก่อนปิดอากาศเพื่อให้ตกตะกอน สูบน้ำส่วนใสผ่านถุงกรองสักหลาดความละเอียด 10 ไมครอน ใส่บ่อปูนกลางแจ้งและให้อากาศเต็มที่เป็นเวลา 5-7 วัน เพื่อสลายฤทธิ์คลอรีนที่ตกค้าง ตรวจสอบการตกค้างของคลอรีนด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์ จากนั้นนำน้ำที่พร้อมใช้ไปเก็บไว้ในบ่อปูนปริมาตร 50 ลูกบาศก์เมตร ในโรงเรือนพร้อมให้อากาศเบา ๆ เพื่อใช้ในการทดลอง

2.3 การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

1. เตรียมวัสดุหมัก น้ำหมักชีวภาพจากเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ดัดแปลงตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน (2557) ประกอบด้วย เศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล จำนวน 30 กิโลกรัม เปลือกสับปะรด จำนวน 10 กิโลกรัม กากน้ำตาล จำนวน 10 กิโลกรัม น้ำ 10 ลิตร สารเร่งซุปเปอร์พด.2 จำนวน 1 ซอง (25กรัม)

2. นำเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลและเปลือกสับปะรด สับหรือบดให้ละเอียด ผสมกากน้ำตาลลงในถังหมัก ขนาด 100 ลิตร

3. นำสารเร่งซุปเปอร์พด.2 จำนวน 1 ซอง (25กรัม) ผสมน้ำ 10 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที

4. เทวัสดุหมักข้อ 2 ผสมกับสารละลายข้อ 3 ลงในถังหมัก คลุกเคล้าหรือคนส่วนผสมให้เข้ากันอีกครั้งแล้วตั้งในที่ร่ม หลังจากนั้นกวนทุกวัน ปิดฝาไม่ต้องสนิทเพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระยะเวลาหมัก 20 วัน

5. น้ำหมักชีวภาพที่จะนำมาใช้ในการทดลอง ต้องผ่านการหมักตามเกณฑ์ที่กรมพัฒนาที่ดิน (2557) กำหนดไว้ โดยพิจารณาดังนี้

- การเจริญของจุลินทรีย์น้อยลง โดยสังเกตจากคราบเชื้อที่พบในช่วงแรกจะลดลง
- ไม่พบฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกลิ่นแอลกอฮอล์ลดลง
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าอยู่ในช่วง 3-4

6. เมื่อน้ำหมักชีวภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ทำการกรองผ่านสวิงตาละเอียด ขนาดตา 32 ช่องต่อตารางนิ้ว นำส่วนที่เป็นน้ำไปใช้ในการทดลอง และเป็นน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมในครั้งเดียวกันทั้งหมด เพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพให้เหมือนกันทุกชุดการทดลอง

2.4 การเตรียมปุ๋ย TMRL

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นปุ๋ยเคมีสูตรTMRL โดยเตรียมสารละลายประกอบด้วย Urea 12.5 กิโลกรัม Diammonium Phosphate $(NH_4)_2HPO_4$ 12.5 กิโลกรัม Disodium-EDTA (Na_2EDTA) 12.5 กิโลกรัม Ferric chloride ($FeCl_36H_2O$) 250 กรัม วิตามิน B1 50 กรัม วิตามิน B12 0.25 กรัม และ Biotin 0.25 กรัม ชั่งสารแต่ละชนิดตามอัตราส่วนละลายแยกกันในน้ำจืด หลังจากนั้นนำมาผสมรวมกัน แล้วเติมน้ำจืดจนได้ปริมาณ 50 ลิตร เก็บในภาชนะทึบแสง

2.5 ปริมาณการใช้ปุ๋ย TMRL และน้ำหมักชีวภาพในชุดทดลอง

ก่อนการทดลองตรวจวัดความเข้มข้นแอมโมเนียรวมตามวิธี Modified Indophenol Blue Method (นิคม, 2562) ของปุ๋ย TMRL และน้ำหมักชีวภาพ มีค่าแอมโมเนียรวมเท่ากับ 1,240 และ 2,124 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ปริมาณของปุ๋ยที่เติมขึ้นกับปริมาตรน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทั้ง 2 การทดลอง หลังจากนั้นเติมปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดตามปริมาณที่คำนวณได้ในแต่ละชุดการทดลอง ตามสูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นแอมโมเนียของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)

V_1 = ปริมาตรของปุ๋ยที่เติมในชุดทดลอง (มิลลิลิตร)

N_2 = ความเข้มข้นแอมโมเนียตามแผนการทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)

V_2 = ปริมาตรน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย (มิลลิลิตร)

2.6 การเตรียมระบบทดลองเลี้ยงสาหร่าย

มี 2 ระบบดังนี้

การทดลองที่ 1 เตรียมโหลอะคริลิกทรงเหลี่ยม ความจุน้ำ 12 ลิตร จำนวน 12 ใบ ก่อนการทดลองล้างโหลให้สะอาดด้วยโพวิโดน-ไอโอดีน 10 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดวางคว่ำทิ้งไว้ให้แห้ง ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น หัวทราย สายยางให้อากาศ เป็นต้น ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วน แช่ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและวางตากไว้ให้แห้ง

การทดลองที่ 2 เตรียมบ่อปูนขนาด 2x10x1 เมตร จำนวน 9 บ่อ ก่อนการทดลอง ล้างขัดฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วน แช่ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วตากบ่อให้แห้ง ให้อากาศด้วยการวางท่อพีวีซีขนาด 4 หุน 1 แถว ตามแนวยาวกลางบ่อ เจาะรูให้อากาศขนาด 1 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรู 50 เซนติเมตร เพื่อให้สาหร่ายกระจายแขวนลอยในน้ำและได้รับแสงอย่างทั่วถึง

3. ดำเนินการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

เลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในห้องปฏิบัติการ ในโหลอะคริลิก จำนวน 12 ใบ โดยการสุ่มวางเรียงกันบนชั้นที่ติดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ควบคุมความเข้มแสง 8,000-10,000 ลักซ์ ชั้นละ 4 ใบ เติมน้ำความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน ปริมาตร 10 ลิตร ให้อากาศด้วยหัวทรายเบา ๆ จำนวน 1 หัวต่อใบ โดยใช้น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น 10 กรัมต่อใบ (ความหนาแน่น 1 กรัมต่อลิตร) เปลี่ยนถ่ายน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ ทุกสัปดาห์ใส่น้ำหมักชีวภาพตามแผนการทดลอง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ใช้ปูนโดโลไมท์ [$CaMg(CO_3)_2$] ควบคุมค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ไม่น้อยกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และรักษาระดับความเค็มของน้ำให้คงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1. เก็บข้อมูลน้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลสดก่อนและระหว่างทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดลอง โดยสลัดน้ำออกและนำสาหร่ายวางให้สะเด็ดน้ำบนผ้าซับน้ำที่เกาะผิวของสาหร่ายผักกาดทะเล เป็นระยะเวลาประมาณ 3 นาที ก่อนนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง เพื่อหาการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนี้

- อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่ายต่อวัน (Average Daily Growth : ADG) หน่วยเป็น กรัม/วัน (อรกัญญา และอำไพ, 2552)

$$ADG = \frac{W_t - W_0}{t}$$

เมื่อ W_0 = น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น (กรัม)
W_t = น้ำหนักสาหร่ายสุดท้าย (กรัม)
t = ระยะเวลา (วัน)

- อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate : SGR) เพื่อหาระยะเวลาการเลี้ยงที่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์/วัน (Oliveira *et al*, 2012)

$$SGR = \frac{\ln (W_t - W_0) \times 100}{t}$$

เมื่อ W_0 = น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น (กรัม)

W_t = น้ำหนักสาหร่ายสุดท้าย (กรัม)

t = ระยะเวลา (วัน)

2. ตรวจวัดคุณสมบัติน้ำก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำในโหลทดลองเวลา 09.00 น. ทุกสัปดาห์ ดังนี้

- อุณหภูมิน้ำ ตรวจวัดโดยใช้ เทอร์โมมิเตอร์
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยใช้ DO meter ยี่ห้อ YSI รุ่น Pro 30
- ความขุ่น โดยใช้ Turbirity Meter ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100 P
- ความเค็ม โดยใช้ Reflectometer แบบหักเหแสง ยี่ห้อ ATAGO
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH Meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI2211
- ค่าความเป็นด่าง ตามวิธี Potentiometric titration Method (นิคม, 2562)
- ปริมาณแอมโมเนียรวม ตามวิธี Modified Indophenol Blue Method (นิคม, 2562)
- ปริมาณไนเตรท (NO_3-N) ตามวิธี Brucine Colorimetric Method (EPA, 1971)
- ปริมาณไนไตรท์ (NO_2-N) ตามวิธี Diazotization Method (นิคม, 2562)
- ปริมาณฟอสเฟต ตามวิธี Ascorbic Acid Method (นิคม, 2562)

3. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก และการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one–way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Turkey's Honestly Significant Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

การทดลองที่ 2 ศึกษาการขยายผลการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน

เลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในบ่อปูนกลางแจ้ง จำนวน 9 บ่อ โดยการสุ่มบ่อที่เรียงกัน ใช้แสงธรรมชาติมีสแลนพรางแสง ควบคุมความเข้มแสงที่ระดับผิวน้ำ 10,000 - 20,000 ลักซ์ เติมน้ำปริมาตร 15 ลูกบาศก์เมตร ความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน ให้อากาศด้วยการวางท่อพีวีซีพื้นบ่อ ใช้น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น 15 กก.ต่อบ่อ (ความหนาแน่น 1 กรัมต่อลิตร) เปลี่ยนถ่ายน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกสัปดาห์ ใส่น้ำหมักชีวภาพตามระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 และปุ๋ยTMRL ในระดับความเข้มข้นเดียวกัน โดยหลังการเติมปุ๋ยตรวจเช็คปริมาณแอมโมเนียในน้ำเลี้ยงสาหร่ายให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 0.05 ส่วนในล้านส่วน

(ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี, มปป.) ซึ่งเป็นปริมาณขั้นต่ำที่สาหร่ายดูดซึมไปใช้ได้ ใส่ปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ใช้ปูนโดโลไมต์ [$CaMg(CO_3)_2$] ควบคุมค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ไม่น้อยกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และรักษาระดับความเค็มของน้ำให้คงที่ตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1. ก่อนการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการหมักเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยกวนน้ำหมักชีวภาพในถังหมักด้วยไม้พายให้เข้ากัน สุ่มตักตัวอย่างปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพบริเวณกลางถังหมักครั้งละ 500 มิลลิลิตร จนครบ 2 ลิตร กวนน้ำหมักที่ได้อีกครั้งทิ้งให้ตกตะกอน ตักตัวอย่างจากจุดกึ่งกลางภาชนะขึ้นมาปริมาณ 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารและฮอร์โมนพืช ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ดังนี้

- ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) (AOAC, 2016)
- โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), กำมะถัน(S) (Norin *et al*., 1987)
- ฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน จิบเบอร์เรลลิน และไซโตไคนิน ด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Water Alliance 2695 และ Photo Diode Array Detector ที่ความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 400 - 600 นาโนเมตร

2. เก็บข้อมูลน้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลสดก่อนและระหว่างทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดลอง และหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายตามการทดลองที่ 1

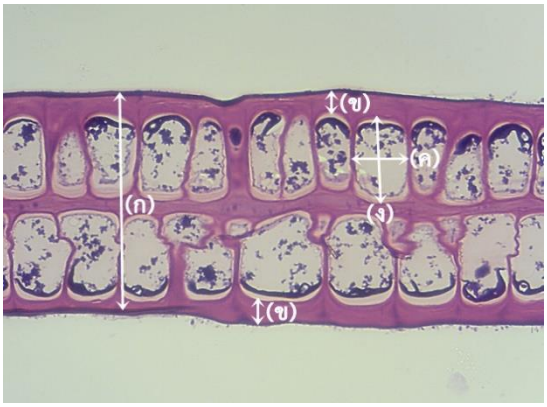
3. เก็บตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลสด เพื่อตรวจวัดสี L*, a*, b* โดยใช้เครื่อง Colorimeter ยี่ห้อ HunterLab รุ่น UltraScan VIS ดังนี้

: L* ค่าตั้งแต่ 50-100 คือสีสว่าง ค่าสูงมีความสว่างมาก หรือ
ค่าตั้งแต่ 0-50 คือสีทึบ ค่าต่ำมีความทึบแสงมาก

: a* ค่าเป็นจำนวนเต็มบวก เช่น 1,2,3, คือสีแดง ตัวเลขบวกมากค่าสีแดงมากขึ้น หรือ
ค่าเป็นจำนวนเต็มลบ เช่น -1,-2,-3, คือสีเขียว ตัวเลขติดลบมากค่าสีเขียวมากขึ้น

: b* ค่าเป็นจำนวนเต็มบวก เช่น 1,2,3 คือสีเหลือง ตัวเลขบวกมากค่าสีเหลืองมากขึ้น หรือ
ค่าเป็นจำนวนเต็มลบ เช่น -1,-2,-3 คือสีน้ำเงิน ตัวเลขติดลบมากค่าสีน้ำเงินมากขึ้น

4. ตัด section ตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลสด ศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ ระดับจุลภาค พร้อมบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) ยี่ห้อ Hitachi รุ่น HT 7700 และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Compound Light Microscope, LM) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axiostar Plus ตามวิธี Patcharee (2018) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การวัดขนาดเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเล

(ก) ความหนาของแผ่น Blade

(ข) ความหนาของผิวเซลล์

(ค) ความกว้างของเซลล์

(ง) ความยาวของเซลล์

5. เก็บสาหร่ายผักกาดทะเลสดล้างด้วยน้ำจืด ผึ่งลมให้แห้ง 1-2 วัน และอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดละเอียด เพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุและองค์ประกอบทางเคมี ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ดังนี้

- ปริมาณคลอโรฟิลล์ a, b และ c (Strickland and Parsons, 1972.) และปริมาณแคโรทีนอยด์ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo รุ่น Helios Alpha ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

- ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น วิตามิน และแร่ธาตุ (AOAC, 2019)

6. ตรวจวัดความเข้มแสงในน้ำของบ่อทดลอง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นบ่อ ก่อนถ่ายน้ำและหลังเติมปุ๋ย เวลา 09.00 ทุกสัปดาห์ ด้วยเครื่อง Lux Meter ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM-209M

7. ตรวจวัดคุณสมบัติน้ำก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อทดลองเวลา 09.00 น. ทุกสัปดาห์ตามการทดลองที่ 1

8. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก การเจริญเติบโต ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเล มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one–way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Turkey's Honestly Significant Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

9. นำผลผลิตเฉลี่ยที่เก็บเกี่ยวได้จากการเลี้ยงในบ่อปูนระดับมหมวลในการทดลองที่ 2 แต่ละชุดการทดลองคูณด้วยราคาที่จำหน่ายได้ในวันที่เก็บเกี่ยว พร้อมข้อมูลต้นทุนผันแปร จากนั้นนำรายได้ทั้งหมดที่จำหน่ายได้ และต้นทุนการผลิตทั้งหมดมาคำนวณต้นทุนและผลตอบแทน (สมศักดิ์, 2530 และ Kay, 1986)

ผลการศึกษา

การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักชีวภาพจากเศษเนื้อและเครื่องในปลานวลจันทร์ทะเลในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

การเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 10.0 กรัม เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในน้ำทะเล (ชุดควบคุม), น้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1.0 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ มีผลการทดลอง ดังนี้

1.1 การเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล

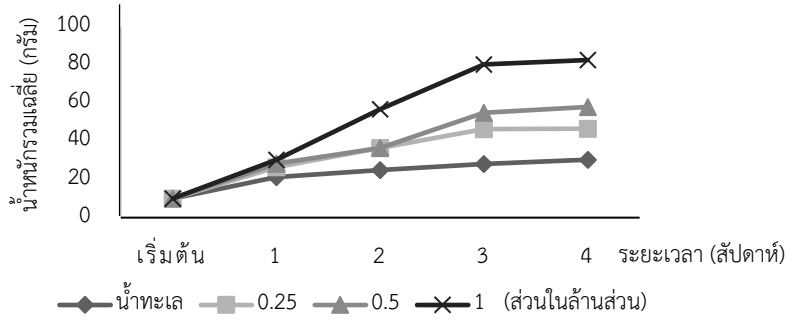
1.1.1 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนัก

ตั้งแต่สัปดาห์เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีน้ำหนักรวมเฉลี่ยมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ เท่ากับ 30.38±0.39 56.90±0.21, 80.47±0.50 และ 82.73±0.32 กรัม ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีน้ำหนักรวมเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์น้อยที่สุด (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2)

ตารางที่ 1 น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเล ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นน้ำหมักชีวภาพ (ส่วนในล้านส่วน)	น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่าย (กรัม)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
น้ำทะเล	21.23±0.21^{d}	24.93±0.18^{d}	28.10±0.29^{d}	30.42±0.54^{d}
0.25	26.55±0.43^{c}	36.60±0.48^{c}	46.52±0.31^{c}	48.73±0.41^{c}
0.5	28.30±0.30^{b}	40.18±0.67^{b}	54.96±0.52^{b}	58.10±0.19^{b}
1.0	30.38±0.39^{a}	56.90±0.21^{a}	80.47±0.50^{a}	82.73±0.32^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 2 น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเล ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน

1.1.2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลต่อวัน (ADG)

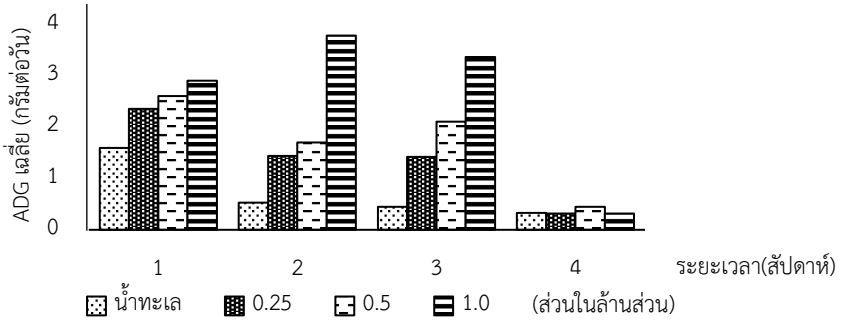
ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 2, และ 3 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2.91±0.06, 3.79±0.06 และ 3.37±0.05 กรัม ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.60±0.03, 0.53±0.05 และ 0.45±0.02 กรัม ตามลำดับ

ในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 0.5 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.45±0.05 กรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล, น้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 0.25 และ 1.0 ส่วนในล้านส่วน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเฉลี่ยต่อวันสะสม ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0-4) สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.60±0.01 กรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.73±0.02 กรัม (ตารางที่ 2 และภาพที่ 3)

ตารางที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นน้ำหมักชีวภาพ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) (กรัม/วัน)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 0-4
น้ำทะเล	1.60±0.03^{d}	0.53±0.05^{d}	0.45±0.02^{d}	0.33±0.04^{b}	0.73±0.02^{d}
0.25	2.36±0.06^{c}	1.44±0.03^{c}	1.42±0.05^{c}	0.32±0.03^{b}	1.38±0.01^{c}
0.5	2.61±0.04^{b}	1.70±0.06^{b}	2.11±0.03^{b}	0.45±0.05^{a}	1.72±0.01^{b}
1.0	2.91±0.06^{a}	3.79±0.06^{a}	3.37±0.05^{a}	0.32±0.03^{b}	2.60±0.01^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน

1.1.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลต่อวัน (SGR)

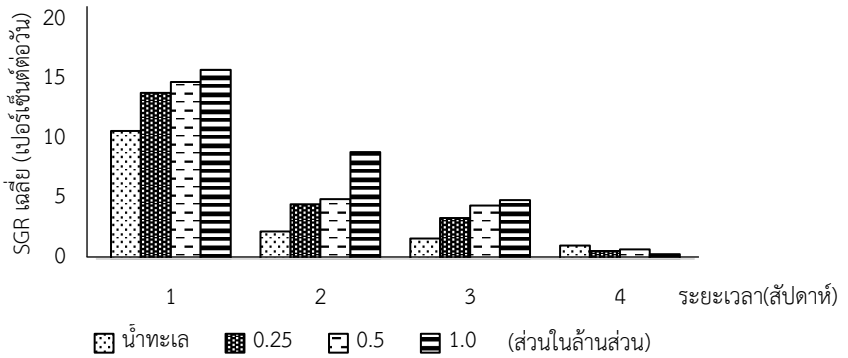
ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 2, และ 3 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 15.87±0.21, 8.96±0.20 และ 4.95±0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลมีค่าน้อยที่สุด มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์ เท่ากับ 10.75±0.12, 2.30±0.23 และ 1.71±0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.13±0.11 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 0.25 และ 0.5 ส่วนในล้านส่วน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.40±0.04 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 4)

ตารางที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นน้ำหมักชีวภาพ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวัน (SGR) (เปอร์เซ็นต์/วัน)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
น้ำทะเล	10.75±0.12^{d}	2.30±0.23^{d}	1.71±0.08^{d}	1.13±0.11^{a}
0.25	13.95±0.22^{c}	4.59±0.07^{c}	3.42±0.13^{c}	0.66±0.10^{b}
0.5	14.86±0.11^{b}	5.01±0.11^{b}	4.47±0.11^{b}	0.80±0.08^{b}
1.0	15.87±0.21^{a}	8.96±0.20^{a}	4.95±0.09^{a}	0.40±0.04^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้นต่างกัน

1.2 คุณภาพน้ำและความเข้มแสงในชุดทดลองเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองมีค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดอยู่ในช่วง ดังนี้ อุณหภูมิ 26 - 31 องศาเซลเซียส ความเค็ม 22 - 25 ส่วนในพันส่วน ความขุ่น 0.20 - 8.56 NTU ความเป็นด่าง 96 - 153 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง 7.48 - 9.50 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.003 - 0.617 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0.009 - 0.177 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรท 0.156 - 0.469 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.010 - 1.055 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าความเข้มแสงชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่างของชั้นทดลอง เท่ากับ 4,200 - 10,630, 4,410 - 10,500 และ 4,066 - 10,340 ลักซ์ ตามลำดับ โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่าความขุ่นเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 4.25±2.43 NTU ค่าแอมโมเนียรวมเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.123±0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสเฟตเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.503±0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำในชุดทดลองเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของชุดการทดลอง ความเข้มข้นน้ำหมักชีวภาพ (ส่วนในล้านส่วน)			
	น้ำทะเล	0.25	0.5	1.0
อุณหภูมิ	28±1.21	28±1.20	28±1.21	28±1.22
(องศาเซลเซียส)	26 - 31	26 - 31	26 - 31	26 - 31
ความเค็ม	25±0.90	25±0.91	25±0.91	25±0.90
(ส่วนในพันส่วน)	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25
ความขุ่น	1.30±0.74	2.56±1.80	3.31±1.92	4.25±2.43
(NTU)	0.20 – 2.44	0.22 – 5.23	0.24 – 7.05	0.24 – 8.56
ปริมาณออกซิเจนในน้ำ	5.83±0.41	5.80±0.62	5.79±0.84	5.55±0.90
(มิลลิกรัม/ลิตร)	4.82 – 6.63	4.62 – 7.24	4.21 – 7.20	4.51 – 7.01
ค่าความเป็นด่าง	114±7.11	115±7.30	117±8.14	121±13.50
(มิลลิกรัม/ลิตร)	102 - 130	104 - 130	96 - 135	100 - 153
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.67±0.42	8.78±0.50	8.72±0.49	8.70±0.51
	7.53 – 9.34	7.53 – 9.50	7.57 – 9.48	7.48 – 9.49
แอมโมเนียรวม	0.048±0.03	0.043±0.03	0.037±0.02	0.123±0.16
(มิลลิกรัม/ลิตร)	0.011 – 0.115	0.011 - 0.096	0.003 - 0.074	0.017 - 0.617
ไนไตรท์	0.096±0.06	0.097±0.06	0.094±0.06	0.098±0.06
(มิลลิกรัม/ลิตร)	0.009 - 0.174	0.009 - 0.177	0.009 - 0.172	0.014 - 0.174

ตารางที่ 4 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของชุดการทดลอง			
	ความเข้มข้นน้ำหมักชีวภาพ (ส่วนในล้านส่วน)			
	น้ำทะเล	0.25	0.5	1.0
ไนเตรท	0.312±0.09	0.302±0.10	0.271±0.08	0.248±0.11
(มิลลิกรัม/ลิตร)	0.167 - 0.464	0.174 - 0.463	0.180 - 0.441	0.156 - 0.469
ฟอสเฟต	0.034±0.03	0.091±0.05	0.287±0.21	0.503±0.39
(มิลลิกรัม/ลิตร)	0.010 - 0.105	0.025 - 0.157	0.025 - 0.724	0.025 - 1.055
ความเข้มแสงชั้นบน	9,484±1,841			
ของชั้นทดลอง (ลักซ์)	4,200 - 10,630			
ความเข้มแสงชั้นกลาง	8,255±1,169			
ของชั้นทดลอง (ลักซ์)	4,410 - 10,500			
ความเข้มแสงชั้นล่าง	8,249±1,474			
ของชั้นทดลอง (ลักซ์)	4,066 - 10,340			

การทดลองที่ 2 ศึกษาการขยายผลการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน

การเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 15 กิโลกรัม ระยะเวลา 3 สัปดาห์ ในน้ำทะเล (ชุดควบคุม), น้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน โดยมีผลการทดลอง ดังนี้

2.1 ปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนพืชในน้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปลานวลจันทร์ทะเลที่ผ่านการหมักเป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่ามีธาตุอาหาร โดยมีค่าของไนโตรเจน 1.00, ฟอสฟอรัส 0.60, โพแทสเซียม 0.75, แคลเซียม 0.51 แมกนีเซียม 0.10 และกำมะถัน 0.10 เปอร์เซ็นต์ มีฮอร์โมนพืช โดยมีค่าของออกซิน 0.18, จิบเบอร์เรลลิน 7.45 และ ไซโตไคนิน 5.90 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนพืช ในน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปลานวลจันทร์ทะเล

ธาตุอาหาร	ฮอร์โมนพืช	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ (มิลลิกรัม/ลิตร)
ไนโตรเจน		1.00	
ฟอสฟอรัส		0.60	
โพแทสเซียม		0.75	
แคลเซียม		0.51	
แมกนีเซียม		0.10	
กำมะถัน		0.10	
	ออกซิน		0.18
	จิบเบอร์เรลลิน		7.45
	ไซโตไคนิน		5.90

2.2 การเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

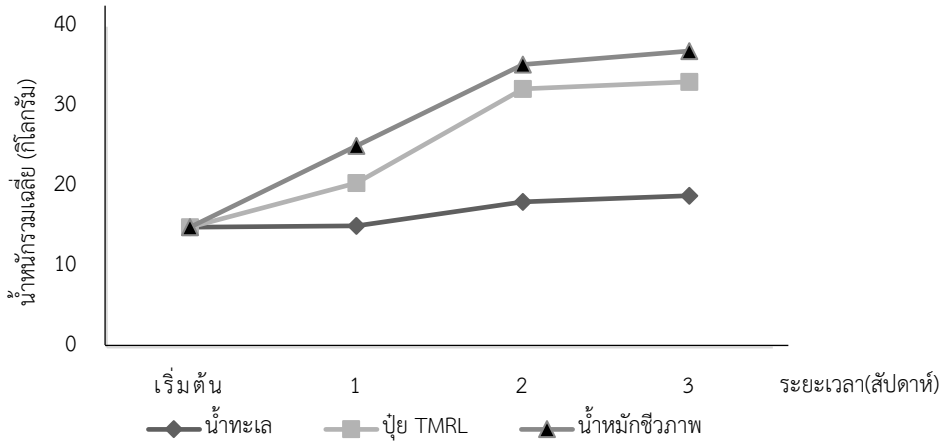
2.2.1 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนัก

ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีน้ำหนักรวมเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 25.13±0.25, 35.30±0.30 และ 36.97±0.22 กิโลกรัม ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีน้ำหนักรวมเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 15.17±0.14, 18.17±0.20 และ 18.93±0.19 กิโลกรัม (ตารางที่ 6 และภาพที่ 5)

ตารางที่ 6 น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่าย (กิโลกรัม)		
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
น้ำทะเล	15.17±0.14^{c}	18.17±0.20^{c}	18.93±0.19^{c}
ปุ๋ย TMRL	20.53±0.31^{b}	32.27±0.31^{b}	33.13±0.24^{b}
น้ำหมักชีวภาพ	25.13±0.25^{a}	35.30±0.30^{a}	36.97±0.22^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 5 น้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

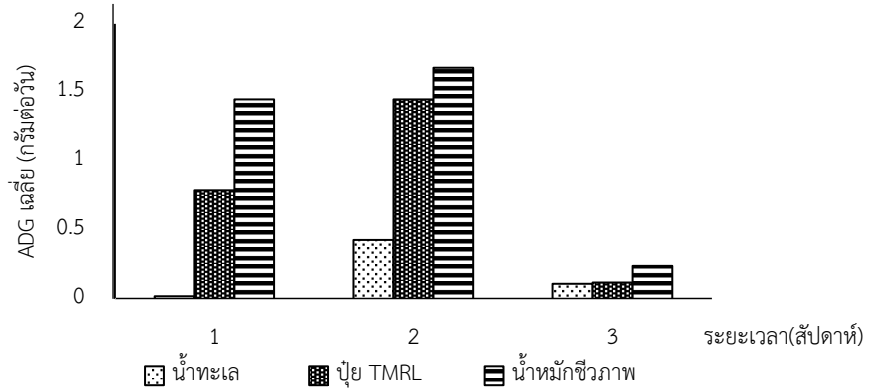
2.2.2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลต่อวัน (ADG)

ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.45±0.07, 1.68±0.08 และ 0.24±0.02 กรัม ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยเมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 พบว่า ทุกชุดการทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมากและลดน้อยลงในสัปดาห์ที่ 3 และเมื่อคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายต่อวันสะสมตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0-3) สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.05±0.01 กรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.19±0.01 กรัม (ตารางที่ 7 และภาพที่ 6)

ตารางที่ 7 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

ชุดการทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) (กรัม/วัน)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 0-3
น้ำทะเล	0.02±0.01^{c}	0.43±0.03^{c}	0.11±0.01^{b}	0.19±0.01^{c}
ปุ๋ย TMRL	0.79±0.04^{b}	1.45±0.07^{b}	0.12±0.04^{b}	0.86±0.01^{b}
น้ำหมักชีวภาพ	1.45±0.07^{a}	1.68±0.08^{a}	0.24±0.02^{a}	1.05±0.01^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 6 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

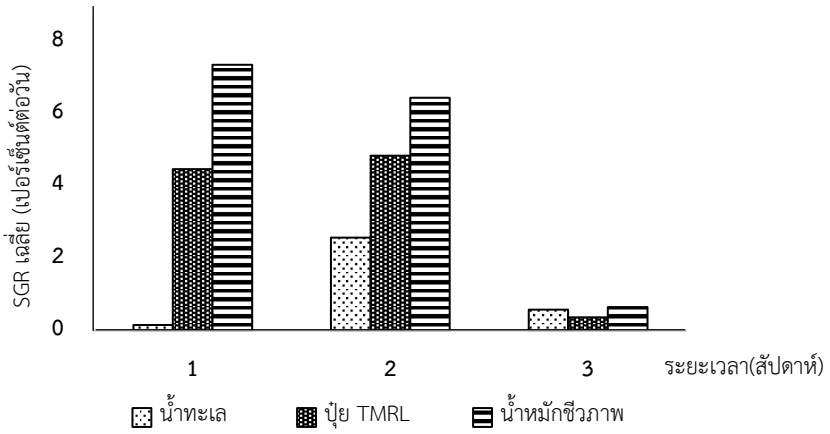
2.2.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลต่อวัน (SGR)

ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 7.37±0.12, 6.46±0.31 และ 0.66±0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยเมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 พบว่า ทุกชุดการทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันมากและลดน้อยลงในสัปดาห์ที่ 3 (ตารางที่ 8 และภาพที่ 7)

ตารางที่ 8 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

ชุดการทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวัน (SGR) (เปอร์เซ็นต์/วัน)		
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
น้ำทะเล	0.16±0.05^{c}	2.58±0.17^{c}	0.59±0.04^{b}
ปุ๋ย TMRL	4.48±0.17^{b}	4.85±0.23^{b}	0.38±0.14^{b}
น้ำหมักชีวภาพ	7.37±0.12^{a}	6.46±0.31^{a}	0.66±0.06^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 7 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลเฉลี่ยต่อวัน ที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

2.3 คุณภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

2.3.1 ค่าสีของสาหร่ายผักกาดทะเล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 3 สัปดาห์ ค่าสี L* ของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 34.86±0.7 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ค่าสี a* ของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน เฉลี่ยเท่ากับ -2.46±0.4 และ -2.76±0.4 ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีค่ามากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าสี b* ของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 6.15±0.6 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ค่าสี L*, a*, b* เฉลี่ยของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

ชุดการทดลอง	ค่าสีเฉลี่ย		
	L*	a*	b*
น้ำทะเล	29.43±0.6^{c}	-2.46±0.4^{a}	4.36±0.5^{b}
ปุ๋ย TMRL	34.86±0.7^{a}	-4.05±0.3^{b}	6.15±0.6^{a}
น้ำหมักชีวภาพ	31.45±0.6^{b}	-2.76±0.4^{a}	4.09±0.5^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.3.2 ลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ระดับจุลภาคของสาหร่ายผักกาดทะเล

ลักษณะเซลล์โดยรวมของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Compound Light Microscope, LM) ขนาด 20 ไมครอน กำลังขยาย 40x มีการจัดเรียงตัวเป็นแถว มี 2 แถวซ้อนกัน โดยมีรายละเอียดลักษณะ ดังนี้ (ตารางที่ 10 และภาพที่ 8)

ความหนาของแผ่น Blade มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 67.87±3.9 - 86.94±2.3 ไมครอน โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีความหนามากที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง และสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลมีความหนาน้อยที่สุด

ความหนาของผิวเซลล์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.03±3.6 - 12.40±2.8 ไมครอน โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีความหนาของผิวเซลล์มากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ความกว้างของเซลล์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12.42±2.2 - 20.07±6.8 ไมครอน โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีความกว้างของเซลล์มากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

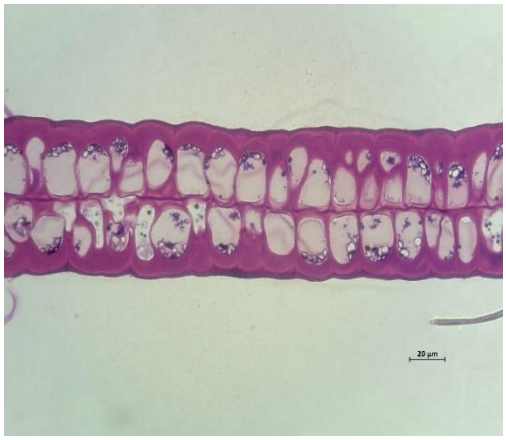
ความยาวของเซลล์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.63±3.8 - 33.29±1.7 ไมครอน โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีความยาวมากที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

โครงสร้างภายในเซลล์ระดับจุลภาคของสาหร่ายผักกาดทะเล จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) ขนาด 10 ไมครอน กำลังขยาย 100x พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีการสะสมหยดไขมัน Lipid droplet (ld) และเม็ดแป้ง Starch granule (s) ในคลอโรพลาสต์ และสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีการสะสมหยดไขมัน Lipid droplet (ld) ในคลอโรพลาสต์ (ภาพที่ 9) ซึ่งการสะสมแป้งในเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเล พบในชุดการทดลองที่สาหร่ายได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีการสะสมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

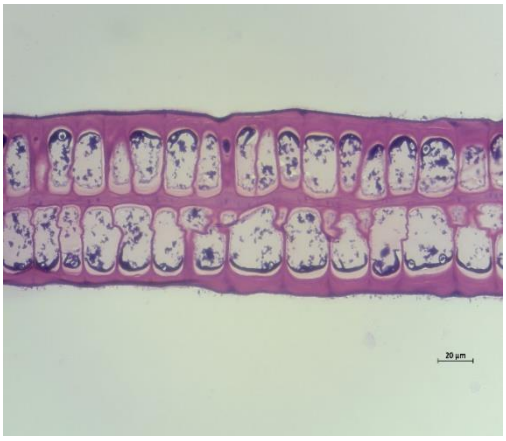
ตารางที่ 10 ลักษณะทัลลัสและเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

ลักษณะของเซลล์	ชุดการทดลอง		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
ความหนาของแผ่น Blade (Thickness cross section of blade, µm)	67.87±3.9^{c}	86.94±2.3^{a}	75.21±1.9^{b}
ความหนาของผิวเซลล์ (Thickness of epidermis cell, µm)	8.03±3.6^{b}	10.28±2.7^{ab}	12.40±2.8^{a}
ความกว้างของเซลล์ (Wide of cell, µm)	12.42±2.2^{b}	20.07±6.8^{a}	16.30±3.4^{ab}
ความยาวของเซลล์ (Long of cell, µm)	24.63±3.8^{b}	33.29±1.7^{a}	25.27±1.9^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



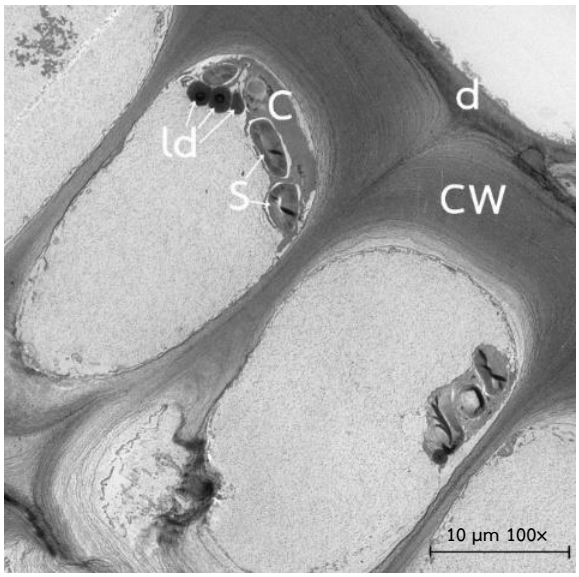
น้ำทะเล



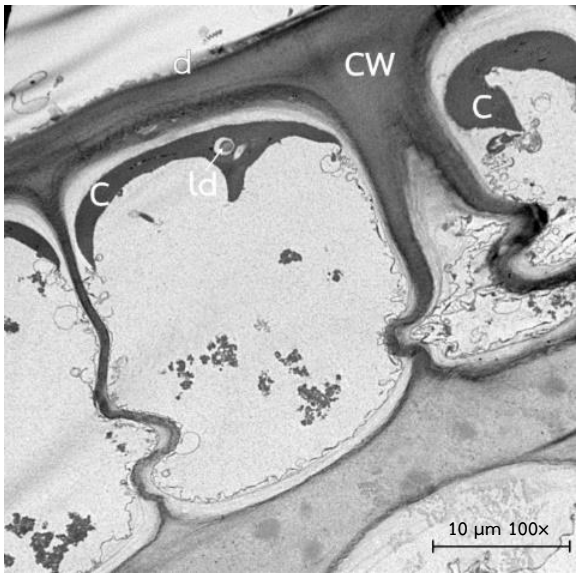
ปุ๋ย TMRL

น้ำหมักชีวภาพ

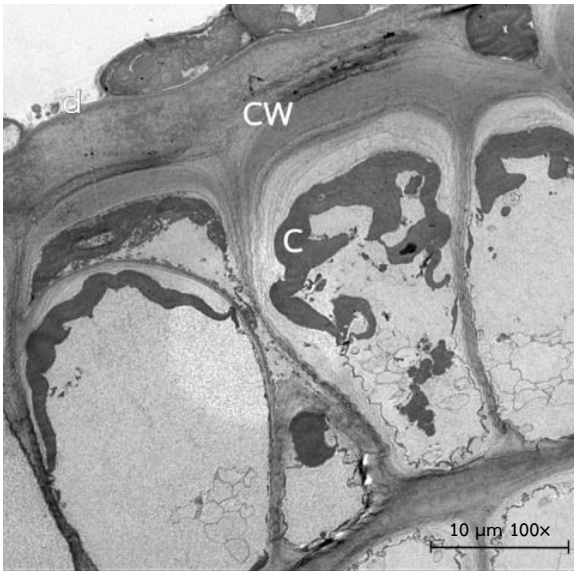
ภาพที่ 8 การเรียงของเซลล์โดยรวมของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Compound Light Microscope, LM) ขนาด 20 ไมครอน กำลังขยาย 40x



น้ำทะเล



ปุ๋ย TMRL



น้ำหมักชีวภาพ

ภาพที่ 9 ลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ระดับจุลภาคของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) ขนาด 10 ไมครอน กำลังขยาย 100x **:** Deck lamella (d), Cell wall (cw), Chloroplast (c), Lipid droplet (ld) และ Starch granule (s)

2.4 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 3 สัปดาห์ นำสาหร่ายผักกาดทะเลแห้ง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาปริมาณรงควัตถุและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย พบว่า

ปริมาณรงควัตถุ ได้แก่ Chlorophyll a, b, c และ Total Carotenoid ของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 51.85, 60.21, 59.74 และ 42.95 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่ารองลงมาในทุกรงควัตถุ (ตารางที่ 11)

ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30.19 เปอร์เซ็นต์ โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่ารองลงมาเท่ากับ 25.38 เปอร์เซ็นต์ และสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 11.31 เปอร์เซ็นต์ ไขมันมีค่าอยู่ในช่วง 0.66-1.22 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 61.83 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 10.11-11.72 เปอร์เซ็นต์ เถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 15.41-19.99 เปอร์เซ็นต์ พลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 282.90-300.84 กิโลแคลอรี่/100 กรัม Vitamin B1 และ Vitamin B2 ของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.13 และ 2.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ปริมาณแร่ธาตุของทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง ดังนี้ ฟอสฟอรัส 831.76-2,819.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียม 8,985.50-18,550.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคลเซียม 5,096.03-5,769.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แมงกานีส 39.38-59.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แมกนีเซียม 19,284.97-27,734.58 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โซเดียม 5,073.93-8,954.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เหล็ก 221.39-442.62 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสี 13.67-28.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดง 9.47-17.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และซีลีเนียม 1.11-3.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 11 ปริมาณรงควัตถุของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

รงควัตถุ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	ชุดการทดลอง		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
Chlorophyll a	19.35	30.38	51.85
Chlorophyll b	23.36	33.53	60.21
Chlorophyll c	24.39	34.17	59.74
Total Carotenoid	14.99	28.07	42.95
Total Carotenoid Red	6.47	12.12	18.55
Total Carotenoid Yellow	8.52	15.95	24.40

ตารางที่ 12 ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ วิตามินและแร่ธาตุของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งที่เลี้ยงระดับมหมวลในบ่อปูน

องค์ประกอบทางเคมี (น้ำหนักแห้ง)	ชุดการทดลอง		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
คุณค่าทางโภชนาการ (กรัม/100 กรัม)			
โปรตีน	11.31	30.19	25.38
ไขมัน	1.22	0.66	0.92
คาร์โบไฮเดรต	61.83	39.05	44.35
ความชื้น	11.53	10.11	11.72
เถ้า	15.41	19.99	17.33
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่)	300.84	282.90	289.90
วิตามินและแร่ธาตุ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
วิตามิน B1	0.41	3.13	2.02
วิตามิน B2	1.44	2.42	1.64
ฟอสฟอรัส	831.76	2044.98	2819.60
โพแทสเซียม	8985.50	18550.89	17249.67
แคลซียม)	5690.44	5769.51	5096.03
แมงกานีส	59.90	39.38	55.82
แมกนีเซียม	19284.97	27734.58	29937.45
โซเดียม	8954.05	5830.29	5073.93
เหล็ก	221.39	442.62	382.56
สังกะสี	14.75	13.67	28.26
ทองแดง	17.78	14.52	9.47
ซีลีเนียม	2.27	1.11	3.26

2.5 คุณภาพน้ำและความเข้มแสงในบ่อปูนเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล

คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองมีค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดอยู่ในช่วง ดังนี้ อุณหภูมิ 28 - 29 องศาเซลเซียส ความเค็ม 23 - 27 ส่วนในพันส่วน ความขุ่น 0.24 - 8.89 NTU สารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) 107 - 207 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 82 - 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง 7.10 - 8.83 แอมโมเนียรวม 0.003 - 1.283 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0.003 - 0.920 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรท 0.044 - 2.930

มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 0.006 - 0.907 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มแสงผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นบ่อ ในบ่อเลี้ยงสาหร่าย เท่ากับ 19,020 - 28,120, 530 - 12,530 และ 100 - 9,752 ลักซ์ ตามลำดับ โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่าความขุ่นเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 4.44±2.62 NTU ค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 8.05±0.41 เนื่องจากมีความผันแปรของความเป็นกรด-ด่างช่วงกว้างกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.10 - 8.44 และค่าแอมโมเนียรวมเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 0.368±0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีค่าไนไตรท์และไนเตรทเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 0.633±0.31 และ 1.461±0.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 คุณภาพน้ำและความเข้มแสงในบ่อปูนเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของชุดการทดลอง		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
อุณหภูมิ	29±0.51	29±0.52	29±0.50
(องศาเซลเซียส)	28 - 29	28 - 29	28 - 29
ความเค็ม	26±0.83	25±1.1	25±0.96
(ส่วนในพันส่วน)	24 - 27	23 - 26	23 - 27
ความขุ่น	2.58±2.01	2.96±1.93	4.44±2.62
(NTU)	0.24 - 5.95	0.26 - 7.38	0.72 - 8.89
สารแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	171±19.12	155±26.40	171±24.23
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	150 - 198	107 - 194	144 - 207
ความเป็นด่าง	115±11.34	105±13.02	128±14.44
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	100 - 134	82 - 130	108 - 150
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.43±0.24	8.44±0.22	8.05±0.41
	8.23 - 8.83	8.23 - 8.83	7.10 - 8.44
แอมโมเนียรวม	0.112±0.27	0.238±0.34	0.368±0.39
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.003 - 1.057	0.004 -1.057	0.038 - 1.283
ไนไตร์ท	0.105±0.13	0.633±0.31	0.012±0.01
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.003 - 0.470	0.004 - 0.920	0.004 - 0.027
ไนเตรท	0.307±0.14	1.461±0.81	0.241±0.19
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.083 - 0.529	0.224 - 2.930	0.044 - 0.686
ฟอสเฟต	0.022±0.06	0.290±0.18	0.367±0.33
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.006 - 0.080	0.008 - 0.586	0.021 - 0.907

ตารางที่ 13 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของชุดการทดลอง		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
ความเข้มแสงผิวน้ำ	21,875±3,392	21,971±3,199	21,895±3,533
(ลักซ์)	19,100 – 27,680	19,020 – 27,560	19,070 – 28,120
ความเข้มแสงกลางน้ำ	5,822±378	3,981±538	3,988±496
(ลักซ์)	1,898 – 10,620	716 - 12,530	530 – 12,010
ความเข้มแสงพื้นบ่อ	3,399±354	2,430±401	2,437±437
(ลักซ์)	885 – 9,210	140 – 9,265	100 – 9,752

2.6 ต้นทุนและผลตอบแทนในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน

เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 3 สัปดาห์ นำน้ำหนักรวมเฉลี่ยของสาหร่ายที่ทดลองได้แต่ละชุดการทดลอง มาคำนวณผลผลิตและต้นทุนผลตอบแทนต่อการเลี้ยง 1 รอบ พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน ให้ผลตอบแทนดีที่สุด โดยได้น้ำหนักรวมเฉลี่ยเท่ากับ 110.91 กิโลกรัม มีต้นทุนผันแปร 9,546.86 บาท ต้นทุนการผลิต 86.08 บาทต่อกิโลกรัม ราคาจำหน่าย 140.00 บาทต่อกิโลกรัม กำไร 53.92 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีรายได้รวม 15,527.40 บาท มีอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนร้อยละ 62.64 (ตารางที่ 14 และ 15)

ตารางที่ 14 ผลผลิตและต้นทุนผลตอบแทนต่อรอบ ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน

รายละเอียด	ชุดการทดลองที่		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
ผลผลิตเฉลี่ยต่อรอบ (กิโลกรัม)	18.93	33.13	36.97
ผลผลิตรวมเฉลี่ยต่อรอบ (กิโลกรัม)	56.79	99.39	110.91
จำนวนบ่อขนาด 20 ลูกบาศก์เมตร (บ่อ)	3	3	3
ราคาจำหน่ายต่อกิโลกรัม (บาท)	140	140	140
รายได้ต่อรอบ (บาท)	7,950.60	13,914.60	15,527.40
ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม (บาท)	159.12	117.55	86.08
กำไรต่อกิโลกรัม (บาท)	-19.12	22.45	53.92
กำไรต่อรอบ (บาท)	-1,085.96	2,231.77	5,980.54
อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (ร้อยละ)	-12.02	19.10	62.64

ตารางที่ 15 ต้นทุนผันแปรต่อรอบ ในการการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน

รายละเอียด	ชุดการทดลอง		
	น้ำทะเล	ปุ๋ย TMRL	น้ำหมักชีวภาพ
ค่าต้นพันธุ์สาหร่าย	6,750.00	6,750.00	6,750.00
คลอรีน	800.00	800.00	800.00
ค่าน้ำประปา	300.00	300.00	300.00
ค่าไฟฟ้า	1,000.00	1,000.00	1,000.00
ค่าแรงงาน	75.00	75.00	75.00
ค่าปุ๋ยTMRL (108.9 ลิตร ๆ ละ 24 บาท)		2,613.60	
ค่าน้ำหมักชีวภาพ (63 ลิตร ๆ ละ 8 บาท)			504.00
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุนผันแปร (1.2.5 %/ปี)	111.56	144.23	117.86
รวมต้นทุนผันแปร	9,036.56	11,682.83	9,546.86
ร้อยละ	100.00	100.00	100.00

วิจารณ์ผล

จากการศึกษาครั้งนี้ ในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในห้องปฏิบัติการ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลที่เหมาะสม คือ 1.0 ส่วนในล้านส่วน โดยมีน้ำหนักรวมเฉลี่ย 82.73±0.32 กิโลกรัม มีค่ามากที่สุดตลอดการทดลอง แต่การเลี้ยงในช่วง 1-3 สัปดาห์ เป็นการเจริญเติบโตในช่วงระยะ log phase และในสัปดาห์ที่ 4 มีแนวโน้มเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตแบบ stationary phase ที่น้ำหนักสาหร่ายเริ่มลดน้อยลง ดังนั้นในการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล (Mass culture) ในบ่อปูนที่เปรียบเทียบกับปุ๋ย TMRL ในระดับความเข้นข้นที่เท่ากันคือ 1.0 ส่วนในล้านส่วน จึงใช้เวลาการเลี้ยงสาหร่ายเพียง 3 สัปดาห์ โดยพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน มีน้ำหนักรวมเฉลี่ย 36.97±0.22 กิโลกรัม อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 1.05±0.01 กรัมต่อวัน มีค่ามากที่สุด และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันในแต่ละสัปดาห์ เท่ากับ 7.37±0.12, 6.46±0.31 และ 0.66±0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากที่สุดเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 จะเห็นว่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวันมากและลดน้อยลงในสัปดาห์ที่ 3 อย่างชัดเจน และยังพบการเจริญเติบโตลักษณะนี้ในทุกชุดการทดลอง สอดคล้องกับสุวรรณา และคณะ (2560) ที่รายงานว่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายผักกาดทะเลมีค่าลดลงตามระยะเวลาเลี้ยงที่มากขึ้น รวมถึงสุวรรณา และคณะ (2552) ที่รายงานว่า การเก็บเกี่ยวสาหร่ายผักกาดทะเลให้ได้ผลผลิตสูงในระยะเวลาที่เหมาะสมควรเก็บเกี่ยวภายใน 21 วัน หรือสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งสาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับเอนก (2559) ที่กล่าวว่า สาหร่ายผักกาดทะเลมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดภายใน 21 วัน หรือสัปดาห์ที่ 3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และสามารถใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นแหล่งของธาตุอาหารทดแทนปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

น้ำหมักชีวภาพจากการศึกษานี้ ใช้เศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเลเป็นวัสดุหลักในการหมัก มีธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) มีธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ที่สำคัญมีกลุ่มของฮอร์โมนพืชที่ไม่มีในปุ๋ย TMRL ได้แก่ ออกซิน (Auxins) มีค่า 0.18 มิลลิกรัม/ลิตร จิบเบอร์เรลลิน (Gibberellins) 7.45 มิลลิกรัม/ลิตร และไซโตไคนิน (Cytokinins) 5.90 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสารอาหารเหล่านี้พืชต้องการในปริมาณที่น้อย แต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน โดยกรมวิชาการเกษตร (2547) รายงานว่า น้ำหมักชีวภาพมีสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณที่แตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ เช่น กลุ่มออกซิน มีบทบาทในการควบคุมการขยายตัวหรือการแบ่งเซลล์ พบมีปริมาณสูงในน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ ในขณะที่กลุ่มจิบเบอเรลลิน มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ กระตุ้นการงอก พบมากในน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ ส่วนกลุ่มไซโตไคนิน มีบทบาทกระตุ้นการแบ่งเซลล์ พบมีปริมาณไม่แตกต่างกันทั้งในน้ำหมักชีวภาพจากพืชและสัตว์ นอกจากนี้สุริยา (2540) รายงานว่า น้ำหมักจากปลามีกรดอะมิโนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซินได้และยังสามารถจับตัวกับธาตุอาหาร ทำให้พืชดูดซึมนำไปใช้ได้เร็วขึ้น

สีของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน มีสีเขียวอมเหลือง ส่วนสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเล และน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน มีสีเขียวอ่อนอมเหลือง ซึ่งเป็นสีปกติของสาหร่ายผักกาดทะเล นอกจากนี้ลักษณะเซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเลทุกชุดการทดลองมีการจัดเรียงตัวเป็นแถว มี 2 แถวซ้อนกัน สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน มีความหนาของแผ่น Blade เฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 86.94±2.3 ไมครอน และสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีความหนาของแผ่น Blade เฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 67.87±3.9 ไมครอน ทั้งยังมีขนาดของเซลล์เล็กที่สุด โดยมีความกว้างของเซลล์เฉลี่ย 12.42±2.2 ไมครอน ความยาวของเซลล์เฉลี่ย 24.63±3.8 ไมครอน และมีการสะสมเม็ดแป้ง (Starch granule) และหยดไขมัน (Lipid droplet) ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางโภชนาการ ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลมาก ในขณะที่ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลที่เติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน มีการแบ่งเซลล์มากที่สุด สังเกตได้จากเซลล์ที่ซ้อนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีการสะสมเม็ดแป้งและหยดไขมันเพราะได้รับสารอาหารเพียงพอ ทั้งยังสอดคล้องกับสุวรรณา และคณะ (2552) ที่รายงานว่า เซลล์ของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในบ่อปูนร่วมกับปลากะรังและหอยหวาน มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเป็น 2 ชั้นซ้อนกัน ความหนา ของแผ่น blade ประมาณ 60 ไมครอน ภายในมีคลอโรพลาสต์อยู่ที่ขอบนอกของเซลล์ ผนังเซลล์ (Cell walls) เป็นเส้นใยและสร้างเซลลูโลส (Cellulose) เพื่อเก็บสะสมพลังงานในรูปแป้งทุก ๆ เซลล์ประกอบด้วยรงควัตถุที่ช่วยในการสังเคราะห์แสงรวมทั้งเซลล์สืบพันธุ์ (Reproductive cells) มีการเจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ ทั้งในแนวกว้างและแนวยาว แผ่ออกเป็นแผ่น ทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารได้มาก (Kirby, 2001)

สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นสาหร่ายทะเลกลุ่มสีเขียวชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Ratana-arporn and Chirapat, 2006) สอดคล้องกับผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL และเติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน อายุการเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 30.19 และ 25.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าของมนทกานติ และคณะ (2559) ที่เลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยน้ำทะเล อายุการเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 11.08 เปอร์เซ็นต์ และที่อายุการเก็บเกี่ยว 8 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 19.83-22.41 เปอร์เซ็นต์ และสุวรรณา และคณะ (2552) ที่รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงหอยหวาน อายุการเก็บเกี่ยว 5 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีน 23 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายทะเลมีความแปรผันได้ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิด ฤดูกาล หรืออาจขึ้นกับแหล่งของสารอาหารและอายุการเก็บเกี่ยวได้เช่นกัน (Fleurence, 1999) ทั้งยังมีเถ้าในปริมาณอยู่ในช่วง 17.33-19.99 เปอร์เซ็นต์ โดยมนทกานติ และคณะ (2559) รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีอายุ 8 สัปดาห์ มีปริมาณเถ้า 26.34-34.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Ratana-arporn and Chirapart (2006) ได้กล่าวว่า เถ้าในสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งของแร่ธาตุและพบว่าสาหร่าย *U. reticulata* มีปริมาณเถ้า 17.58 เปอร์เซ็นต์ มีค่าค่อนข้างสูงเช่นกัน สอดคล้องกับ Mohamed and Alzaablawy (2005) ที่รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอุดมด้วยแร่ธาตุ

หลายชนิด ได้แก่ เหล็ก ไอโอดีน แมงกานีส โซเดียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น ทั้งยังมีวิตามินหลายชนิดทั้งวิตามิน A, B1, C เช่นเดียวกับรายงานของ Cyrus *et al.* (2012) ที่พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลมีโซเดียม แมกนีเซียม โปแตสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ยังพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานเท่ากับ 1.22, 61.83 กรัม/100 กรัม และ 300.84 กิโลแคลอรี่/100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL และเติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน โดยมนทกานติ และคณะ (2559) รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีอายุ 3 สัปดาห์ มีปริมาณไขมัน 2.36 กรัม/100 กรัม และที่มีอายุ 8 สัปดาห์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 42.16 กรัม/100 กรัม ปริมาณพลังงาน 287.52 กิโลแคลอรี่/100 กรัม ด้านการสะสมรงควัตถุของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน มีปริมาณ Chlorophyll a 51.85 มิลลิกรัม/100 กรัม ปริมาณ Chlorophyll b 60.21 มิลลิกรัม/100 กรัม ปริมาณ Chlorophyll c 59.74 มิลลิกรัม/100 กรัม และปริมาณ Total Carotenoid 42.95 มิลลิกรัม/100 กรัม ในขณะที่ Satpati and Pal (2011) รายงานว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บมาจากบริเวณชายฝั่งของทะเลสาบชิลกา ในประเทศอินเดีย มีปริมาณ Chlorophyll a 13.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ Chlorophyll b 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ Total chlorophyll 21.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณ Carotenoid 4.5 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเล มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง อาจมีสารสำคัญ เช่น อุลแวน (Ulvan) ตามที่ระพีพร (2560); Briand *et al*. (2005) รายงานว่า สาหร่ายกลุ่ม *Ulva* มีสารอุลแวน (Ulvan) ซึ่งเป็นสารเยื่อใยที่ละลายน้ำได้ เป็นอนุพันธุ์โอลิโกพอลิแซ็กคาไรค์หรือน้ำตาลสายสั้นอยู่ตามผนังเซลล์ มีประโยชน์ต่อระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารของสัตว์และพืช นิยมนำวัตถุดิบมาประกอบอาหารในหลายประเทศ รวมทั้งมีการแนะนำให้ผู้สูงอายุบริโภคเพื่อเสริมสุขภาพ

คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระดับมหมวล (Mass culture) ในบ่อปูน โดยสาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้าน มีความขุ่นของน้ำ (Turbility) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44±2.62 NTU และมีปริมาณตะกอนสารแขวนลอยของน้ำมาก ทำให้น้ำเป็นสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเกิดจากเศษตะกอนวัสดุหมักและกากน้ำตาล ทำให้บดบังแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่วนคุณภาพน้ำอื่น ๆ ที่สำคัญอยู่ในช่วง ดังนี้ อุณหภูมิ 28 - 29 องศาเซลเซียส ความเค็ม 23 – 27 ส่วนในพันส่วน แอมโมเนียรวม 0.003 - 1.283 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรท 0.044 - 2.930 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟส 0.006 - 0.907 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มแสงที่ผิวน้ำ 19,020 - 28,120 ลักซ์ ซึ่งเป็นเกณฑ์ปกติในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล สอดคล้องกับสุวรรณา และคณะ (2560) ที่รายงานว่า คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล มีอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน ไนเตรท 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟส 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มแสงที่ผิวน้ำ 12,120 ลักซ์

ต้นทุนและผลตอบแทนในการเลี้ยงสาหร่ายผัดกาดทะเลระดับมหมวลในบ่อปูน ระยะเวลาเลี้ยง 3 สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมน้ำหมักชีวภาพระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน

ให้ผลตอบแทนดีที่สุด เนื่องจาก มีน้ำหนักผลผลิตมาก ประกอบกับปริมาณการใช้และต้นทุนของปุ๋ยน้อยกว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เลี้ยงในน้ำทะเลเติมปุ๋ย TMRL ระดับความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งในการศึกษานี้คำนวณเฉพาะต้นทุนผันแปร เนื่องจากจำนวนบ่อเลี้ยงสาหร่ายในการทดลองมีน้อย แต่ในการลงทุนเลี้ยงจริงของเกษตรกรจะใช้บ่อเลี้ยงสาหร่ายจำนวนมากเพื่อให้คุ้มค่ากับการลงทุน โดยเฉพาะในต้นทุนคงที่ เช่น โรงเรือนมีหลังคา บ่อปูนเลี้ยงสาหร่าย บ่อพักน้ำ และระบบให้อากาศ เป็นต้น โดยสุวรรณา และคณะ (2560) ที่ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในน้ำทะเล 300 ลิตร ระยะเวลาเลี้ยง 28 วันโดยการเติมสารละลายโซเดียมไนเตรท ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร และสารละลายไดโซเดียม-ไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ผลผลิตสูงสุดในรอบการเลี้ยง 1 ปี มีต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร คิดเป็นร้อยละ 16.42 และ 83.58 ราคาขาย 140 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุน 116.61 บาทต่อกิโลกรัม กำไร 23.39 บาทต่อกิโลกรัม มีอัตราผลตอบแทนต่อการลงทุนร้อยละ 20.06

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาครั้งนี้ สรุปว่า การเลี้ยงสาหร่ายผัดกาดทะเลด้วยน้ำหมักชีวภาพเศษเหลือใช้จากการแปรรูปปลานวลจันทร์ทะเล ความเข้มข้น 1.0 ส่วนในล้านส่วน สามารถใช้เป็นแหล่งสารอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งด้านน้ำหนักของผลผลิตและคุณภาพของสาหร่าย ในการเลี้ยงสาหร่ายเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกำไรและผลตอบแทนมากที่สุด

ทั้งนี้ปัญหาที่พบในการการศึกษานี้คือ การใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ เมื่อนำมาเลี้ยงสาหร่ายผัดกาดทะเลพบว่า มีตะกอนแขวนลอยและความขุ่นของน้ำมาก ทำให้ไม่สามารถใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพเกิน 1.0 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งอาจให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น รวมทั้งลดความถี่ของการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้ ช่วยลดต้นทุนในการเลี้ยง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการปรับเปลี่ยนการใช้กากน้ำตาลในน้ำหมักชีวภาพเป็นวัสดุชนิดอื่น ทั้งยังควรศึกษาสารสำคัญ ที่มีรายงานว่าพบในสาหร่ายกลุ่ม *Ulva* เช่น สารอุลแวน (Ulvan) เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์เชิงพานิชย์ รวมถึงวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล ในฟาร์มของเกษตรกร เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการส่งเสริมการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล ต่อไป

คำขอบคุณ

การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่งานเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเล ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2546. คู่มือการผลิตและประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2557. ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 39 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ น้ำหมักชีวภาพ(ตอนที่ 1). กองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 51 หน้า.

คมกริช สมทรัพย์, วิไลลักษณ์ ชินะจิตร และ เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเตียว. 2557. การเปรียบเทียบผลของปุ๋ยปลาต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอนูเบียสบาร์เทอรี่. ภาควิชาประมง, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 6 หน้า.

ชรินทร์ ขอพึ่ง, สาวิตรี จันทรานุ และ พีรพงษ์ เชาวนพงษ์. 2557. การผลิตน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp*. ระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน. *ใน*: อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6; วันที่ 20-21 มีนาคม 2557; คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. หน้า 319.

นิคม ละอองศิริวงศ์. 2562. คู่มือการวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจรับรองมาตรฐานฟาร์ม. กองพัฒนาระบบการรับรองมาตรฐานสินค้าประมงและหลักฐานเพื่อการสืบค้น, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 251 หน้า.

ประดิษฐ์ บุญอำพล. 2544. ตามกระแส “น้ำหมัก”. วารสารนนทรี. ปีที่ 48, ฉบับเมษายน- มิถุนายน. 2544. หน้า 27-28.

เพ็ชร อวนสอาด, บงกชรัตน์ ปิติยนต์ และ จารนัย พณิชยกุล. 2551. การลดปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ในบ่อกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) โดยการใช้น้ำหมักชีวภาพ. ศูนย์การศึกษาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปีที่ 53 ฉบับที่ 2 กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2551.

มนทกานติ ท้ามติ้น, ชัชวาลี ชัยศรี, ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์, จีรรัตน์ เกื้อแก้ว และ นฏา ไล้ทองคำ. 2559. คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) และการประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2559. กองวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 25 หน้า.

ระพีพร เรืองช่วย. 2560. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลและการใช้ประโยชน์. แผนกวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 200 หน้า.

ศิริพร ชูเชิด, ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม, สิทธิชัย พัฒนเกียรติชีวนิ, จงกล พรมยะ, บัญญัติ มนเทียรอาสน์ และ ศิริเพ็ญ ไชยาพร. 2553. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) *ใน*: สูตรอาหาร

น้ำหมักต้นทุนต่ำ. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. หน้า 26-33.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี. มปป. การเพาะเลี้ยงและแปรรูปสาหร่ายพวงองุ่น. กองวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 30 หน้า.

สมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2530. หลักและวิธีการจัดการธุรกิจฟาร์ม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพ. 240 หน้า.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2540. ปุ๋ยน้ำชีวภาพเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยปลาหมัก. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพ. 24 หน้า.

สุวรรณา วรสิงห์. 2551. ผลของความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823). เอกสารวิชาการฉบับที่ 35/2551. กองวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 19 หน้า.

สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวีระชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และ ภาคภูมิ วงศ์แข็ง. 2552. สัณฐานวิทยาการเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์สาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* C. Agardh, 1823. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2552. กองวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 25 หน้า.

สุวรรณา วรสิงห์, วนัสบดี นัยนิติกุล และ กวิน กลมกล่อม. 2560. ผลของความเข้มแสง อุณหภูมิ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida C*. Agardh, 1826). เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2560. กองวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 19 หน้า.

อรกัญญา เม่งหยู และ อำไพ ล่องลอย. 2552. ผลของน้ำสกัดสาหร่าย *Chaetomorpha crassa* (C. *Agardh*) Kutzing, F. T., 1845 ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเขากวาง *Caulerpa racemose* (Forsskal). เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2552. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 25 หน้า

เอนก โสภณ. 2559. การวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มผลิตสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ด้วยการใช้น้ำหมักชีวภาพจากวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตร และการประมงสำหรับทดแทนปุ๋ยเคมี. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 66 หน้า.

AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International-21st Edition. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA.

AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of AOAC International-21st Edition. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA.

Briand, X., Stephanie, C., Dumas, B., Esquerre-Tugaye, M-T.and Salamagne, S. 2005. Use of Ulvans as Elicitors of Mechanisms for Nitrogen Absorption and Protein. United States Patent No. US 2005/0127695 A1, Mar 30, 2005.

Cyrus, M., J.J. Bolton, L. De Wet and B. Macey. 2012. The development of a formulated feed

containing Ulva (Chlorophyta) to promote rapid growth and enhanced production of high quality roe in the sea urchin *Tripneustes gratilla* (Linnaeus). *Aquaculture Research* 45 (1):159-17.

Daniela A., B. Esperanza, S. Maria and F. Khenia. 2008. Experimental evaluation of a composted seaweed extract as microalgal culture media. *Aquacult Int* 16:85–90.

EPA. 1971. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric, Brucine). Approveed for NPDES and SWDA (Issued 1971).

Fleurence, J. 1999. Seaweed proteins:biochemical, nutritional aspects and potential uses. Trends in Food Science and Technology 10:25-28.

Gopinathan, C.P. 1982. Methods of culturing phytoplankton. In manual of research methods for fish and shell fish nutrition. *CMFRI.Spl.Publ*, 8:113-118.

Kay, R. D. 1986. Farm Management : Planing, Control and Implementation. McGraw Hill Book Co., Singapore. 401 pp.

Kirby, A. 2001. Marine botany. Available soure: http://www.mbari.org/staff/conn/botany/greens/anna/default.htm. March 7, 2021.

Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Faculty of Fisheries, Kasetsart University, 164 pp.

Mohamed, K. and E. Alzaablawy. 2005. Utilization some of seaweeds in poultry diets. M.Sc. thesis. Agricultural sciences (Environment and Biological Agriculture), Department of Environment and Biological Agriculture. Faculty of Agriculture, AlAzhar University. 70 pp.

Norin Suisansho, Nogyo Kankyo and Gijutsu Kenkyujo. 1987. Official Methods of Analysis of Fertilizers. National Institute of Agro-Environmental Sciences, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Japan. 141 p.

Oliveira,V. P., F. A. M. Freire and E. M. Soriano. 2012. Influence of depth on the growth of the seaweed *Gracilaria birdie* (Rhodophyta) in a shrimp pond. *Braz. J. Aquat.Sci. Technol.* 16(1) : 33-39.

Patcharee Umroong. 2018. Leaf Anatomy and Minimal Structure in Leaves of *Hydrocotyle umbellata* L., Obtained from Water Stress, were Examined under Electron Microscope and Light Microscope. Journal of The Microscopy Society of Thailand. January-June 2018. Vol.31 (1). 29-33

Ratana-arporn, P. and A. Chirapat. 2006. Nutritional evaluation of tropical green seaweeds Caulerpa lentillifera and Ulva reticulata. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 (Suppl.): 75-83.

Robertson-Andersson, D. V., D.Leitao, J. J. Bolton, R. J. Anderson, A.Njobeni and K. Ruck. 2006. Can kelp extract (KELPAKR) be useful in seaweed mariculture. University of Cape Town, South Africa. Journal of Applied Phycology 18(3) : 315-321.

Satpati, G.G. and Pal, R. 2011. Biochemical composition and lipid characterization of Marine green alga *Ulva rigida* - a nutritional approach. *J. Algal Biomass Utln*. 2(4) : 10-13.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R., 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Board. Can., No. 167.2nd Edition. pp. 127-130.