

ผลกระทบจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) แบบแพเชือก
ต่อปริมาณตะกอนและสภาพแวดล้อมของดินตะกอนพื้นที่อ่าวทะเล
บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี

Influences of Green Mussel (*Perna viridis*) Raft Culture on
Biodeposition and Surface Sediment Environment
in Sriracha Bay, Chonburi

ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน* และมารุต สุขสมจิตร

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

อลงกต อินทรชาติ และกนกวรรณ ขาวดอน

สถานีวิจัยประมงศรีราชา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110

Tritep Vichkovitten* and Marut Suksomjit

Department of Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Alongot Intarachart and Kanokwan Khaodon

Sriracha Fisheries Research Station, Faculty of Fisheries, Kasetsart University,

Bangpra, Sriracha, Chonburi 20110

บทคัดย่อ

ผลกระทบจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่ (Green mussel, *Perna viridis*) แบบแพเชือกในบริเวณพื้นที่อ่าวศรีราชาตรวจสอบด้วยการเก็บข้อมูลภาคสนาม 3 ครั้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 โดยแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างจะวางอุปกรณ์ในการดักตะกอนไว้ได้แพเลี้ยงหอยและในบริเวณพื้นที่อ้างอิงเพื่อศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพเชือก นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างดินตะกอนพื้นที่ตื้นน้ำได้แพเลี้ยงหอยและพื้นที่อ้างอิงด้วยอุปกรณ์ hand corer โดยนักดำน้ำเป็นผู้เก็บ ตัวอย่างที่ได้นำมาใช้เพื่อศึกษาสมบัติของดินตะกอน เก็บน้ำตัวอย่างในบริเวณพื้นที่ตั้งของแพเลี้ยงหอยและจุดอ้างอิงเพื่อศึกษา

และเปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากพื้นที่ทั้ง 2 แห่ง ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงช่วยเพิ่มอัตราการตกตะกอนลงสู่พื้นท้องทะเลด้านล่าง โดยมีอัตราการตกตะกอนสูงถึง $255.26 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าพื้นที่อ้างอิงมาก ($9.79\text{-}93.06 \text{ g/m}^2/\text{d}$) เมื่อพิจารณาคคุณภาพของตะกอนพบว่าตะกอนที่ดักได้มีสารอินทรีย์ $9.73\text{-}18.63 \%$ ซึ่งต่ำกว่าพื้นที่อ้างอิง ($11.89\text{-}27.86 \%$) แต่มีค่าไนโตรเจน $10.67\text{-}13.98 \text{ mg N/g}$ ซึ่งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง ($9.83\text{-}11.18 \text{ mg N/g}$) ดินตะกอนพื้นท้องน้ำบริเวณใต้แพเลี้ยงหอยจะมีปริมาณสารอินทรีย์ ($7.92\text{-}9.20 \%$) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์เพียง $\sim 1 \%$ ปริมาณไนโตรเจนในดินตะกอนใต้แพเลี้ยงหอยมีค่าต่ำกว่ามาก ($0.28\text{-}0.39 \text{ mg N/g}$) เมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนในตะกอนที่ตกใหม่ แต่ปริมาณไนโตรเจนในดินตะกอนใต้แพเลี้ยงหอยนี้ก็มีความสูงกว่าพื้นที่อ้างอิง 5-10 เท่า ($0.029\text{-}0.044 \text{ mg N/g}$) เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำพบว่าในบริเวณพื้นที่แพเลี้ยงหอยส่วนใหญ่แล้วจะมีธาตุอาหารในน้ำในปริมาณที่สูงกว่าพื้นที่อ้างอิง โดยมีค่า PO_4^{3-} ผันแปร $0.23\text{-}0.97 \mu\text{M}$ NH_4^+ เปลี่ยนแปลง $2.02\text{-}9.22 \mu\text{M}$ และ $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ มีค่า $0.32\text{-}3.28 \mu\text{M}$ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงช่วยเพิ่มปริมาณตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลด้านล่างแล้ว ยังมีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของดินตะกอนและคุณภาพน้ำในบริเวณพื้นที่เลี้ยง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดเกี่ยวกับพื้นที่เลี้ยงและการปฏิบัติในการเลี้ยงเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงในพื้นที่อ่าวศรีราชา

คำสำคัญ : หอยแมลงภู่มวลสูง; การเลี้ยงแบบแพเชือก; การตกตะกอน; สารอินทรีย์

Abstract

The influences of green mussel (*Perna viridis*) raft culture on bottom sediments of Sriracha coastal areas were examined in three occasions during November 2016 to July 2017. Sediment traps were deployed at each time of field sampling period for determination of sedimentation from raft culture activities compared to reference site. Bottom sediment underneath the raft and from the reference site were also retrieved using plexiglass hand corer by SCUBA diver for measurement of sediment qualities. Water was also collected from both sites for water qualities examination. The results indicated that mussel raft culture induced sedimentation with the rate was up to $255.26 \text{ g/m}^2/\text{d}$ and was much higher compared to that of the reference site ($9.79\text{-}93.06 \text{ g/m}^2/\text{d}$). The trapped sediment contained lower organic matter (OM) content ($9.73\text{-}18.63 \%$) but higher nitrogen ($10.67\text{-}13.98 \text{ mg N/g}$) compared to those of the reference site where the OM was ranging between $11.89\text{-}27.86 \%$ and $9.83\text{-}11.18 \text{ mg N/g}$ for nitrogen content. Bottom sediment under mussel raft contained higher OM ($7.92\text{-}9.20 \%$) compared to reference site ($\sim 1 \%$). Nitrogen contents under mussel raft were much lower ($0.28\text{-}0.39 \text{ mg N/g}$) compared to trapped sediment but these values were 5-10 times higher than that of the reference site ($0.029\text{-}0.044 \text{ mg N/g}$). Water at the mussel raft contained higher nutrient contents for most of the sampling periods compared to that of the

reference site where PO_4^{3-} was fluctuated between 0.23 and 0.97 μM , NH_4^+ felt within the range of 2.02-9.22 μM and $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ were 0.32-3.28 μM . Mussel raft culture could induce sedimentation to surface sediment and also alter bottom sediment characteristics as well as water qualities. Thus, it is necessary to apply the regulation on culture area and raft culture practices to reduce impacts from mussel raft culture in Sriracha coastal area.

Keywords: green mussel; raft culture; sedimentation; organic matter

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงหอยทะเลมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งในแง่พื้นที่ของการเลี้ยงและปริมาณการผลิต [1] หอยทะเลเป็นสัตว์ที่มีพฤติกรรมการกินอาหารแบบการกรอง จึงมีความได้เปรียบในการเลี้ยงเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำประเภทอื่น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องให้อาหารเสริม การเจริญเติบโตของหอยทะเลจึงขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารในธรรมชาติ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชและสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเป็นหลัก ดังนั้นการคัดเลือกพื้นที่ในการทำฟาร์มเลี้ยงหอยจึงมักเป็นพื้นที่ใกล้ฝั่งที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงหอยทะเลในประเทศไทยเพิ่มขึ้นจาก 74,000 ตันในปี พ.ศ. 2531 เป็น 140,000 ตันในปี พ.ศ. 2543 [2] และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 297,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2550 [3] กลุ่มหอยทะเลที่มีการเพาะเลี้ยงนั้น พบว่าหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Linnaeus, 1758) เป็นหนึ่งในหอยที่เกษตรกรนิยมทำการเพาะเลี้ยง เพราะเป็นที่นิยมบริโภคของคนไทย มีรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง และราคาไม่แพงจนเกินไป

ข้อมูลการเลี้ยงหอยทะเลในพื้นที่จังหวัดชลบุรี (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรในจังหวัดชลบุรีเลี้ยงหอยแมลงภู่มากที่สุด หอยแมลงภู่เป็นหอยที่มีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างในแถบอินโด-แปซิฟิก [2, 4] เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณพื้นที่แหล่งน้ำกร่อย ทำให้พื้นที่แหล่งน้ำกร่อยบริเวณปากแม่น้ำจึงเป็นแหล่งเลี้ยง

หอยแมลงภู่ที่สำคัญของประเทศ พื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่กันเป็นจำนวนมาก ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งแถบจังหวัดสมุทรสาคร สมุทรสงคราม สมุทรปราการ และชลบุรี ในอดีตการเลี้ยงหอยแมลงภู่นิยมใช้วิธีการเลี้ยงแบบปักไม้ โดยใช้ไม้ไผ่ขนาดความยาวตั้งแต่ 6-12 เมตร ปักลงไปในพื้นที่ท้องทะเลเพื่อล่อให้ลูกหอยแมลงภู่ที่เกิดตามธรรมชาติมาเกาะอาศัยและเจริญเติบโต เกษตรกรจะใช้เวลาในการเลี้ยงประมาณ 6-12 เดือนจนหอยได้ขนาดตามที่ตลาดต้องการจึงจับขาย [5] ไม้ไผ่ที่ใช้ในการเลี้ยงแบบปักหลักนี้จะมีอายุการใช้งานเพียง 1-2 ปี และการเลี้ยงแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้ไม้ไผ่เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนเกี่ยวกับวัสดุในการเลี้ยงเพิ่มขึ้น แต่ในปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงหอยแมลงภู่ในพื้นที่จังหวัดชายทะเลของประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดชลบุรีได้ปรับเปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงแบบแขวน ในลักษณะที่เป็นการเลี้ยงแบบแพเชือก การเลี้ยงแบบนี้จะนำเอาเชือกหรืออวนมาใช้เป็นวัสดุในการล่อลูกหอยในธรรมชาติแทนวัสดุจำพวกไม้ไผ่ เชือกและอวนที่นำมาใช้มีความทนทานจึงสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าไม้ไผ่ ทำให้การเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพเชือกเป็นที่นิยมของเกษตรกรเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ [6]

เนื่องจากหอยแมลงภู่เป็นสัตว์น้ำจำพวกเกาะติด (sessile animal) และกินอาหารแบบการกรอง โดยจะกรองและขับถ่ายอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการเพิ่มจำนวนของพื้นที่แพเชือกที่ใช้ในการเลี้ยงหอยแมลงภู่ อาจก่อให้เกิดปัญหาการสะสมตัวของตะกอน

Table 1 Coastal aquaculture farmers of Chonburi province in the year 2018 (Source: Chonburi Fisheries Provincial Office)

District	Cultured organisms	Area (Rai)	Number of farmers (ind)*
Mueang Chonburi (368 ind)*	- Cockles (หอยแครง)	1,265.75	138
	- Green mussel (หอยแมลงภู่)	635.75	185
	- Oyster (หอยนางรม)	342.50	78
Sriracha (246 ind)*	- Green mussel (หอยแมลงภู่)	1,268.00	243
	- Oyster (หอยนางรม)	30.00	6
	- Seabass (ปลากะพงขาว)	195.00	7
	- Grouper (ปลาเก๋า)	27.00 m ²	1
Banglamung (79 ind)*	- Green mussel (หอยแมลงภู่)	310.00	79
	- Oyster (หอยนางรม)	157.00	1
Sattahip (31 ind)*	- Green mussel (หอยแมลงภู่)	7.50	31
	- Oyster (หอยนางรม)	7.50	1
	- Grouper (ปลาเก๋า)	1,015.00 m ²	1
	- Pen shell (หอยจอบ)	50.00	1
	- Wing shell (หอยชักตีน)	50.00	1

* Some farmers culture more than one species.

บริเวณพื้นที่ท้องทะเลอันเนื่องมาจากของเสียที่หอยแมลงภู่ขับถ่ายออกมา ประกอบกับเส้นเชือกที่ใช้ในการเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแขวนนั้นสามารถที่จะชะลอการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำ จึงอาจเหนี่ยวทำให้เกิดการตกตะกอนในบริเวณแปลงเลี้ยงหอยแมลงภู่เพิ่มขึ้น ปริมาณตะกอนและสารอินทรีย์ที่ตกทับถมบริเวณพื้นที่ท้องทะเลเพิ่มขึ้น สามารถส่งผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินตะกอนในพื้นที่เลี้ยง [7,10] ตะกอนที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อกระบวนการย่อยสลายของดินตะกอนบริเวณพื้นที่ท้องทะเล ทั้งนี้หากปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมีอย่างเพียงพอ ผลผลิตที่เกิดขึ้นจาก

กระบวนการย่อยสลายย่อมไม่ส่งผลกระทบต่อการเลี้ยงหอยแมลงภู่ แต่หากปริมาณออกซิเจนในมวลน้ำหรือในดินตะกอนมีไม่เพียงพอที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ตกทับถมลงมาได้ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็จะเกิดขึ้นแทน โดยปฏิกิริยา sulfate reduction ถือเป็นกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในดินตะกอนชายฝั่ง [11] ผลผลิตที่ได้ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งหอยแมลงภู่ด้วย [12] ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากกิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง จึงมีความจำเป็นที่

จะต้องศึกษาถึงปริมาณตะกอนและสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อใช้ประกอบการจัดการเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงให้เกิดความยั่งยืน อีกทั้งช่วยรักษาระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมชายฝั่ง การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาปริมาณและคุณภาพของตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อ (2) ศึกษาผลกระทบจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้รับจากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อต่อสภาพแวดล้อมของดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเลที่มีการเพาะเลี้ยง และ (3) ได้แนวทางในการจัดการเกี่ยวกับการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อแบบแพเชือกที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สถานที่ดำเนินการเก็บตัวอย่าง

สถานที่ดำเนินการศึกษาวิจัย ได้แก่พื้นที่ชายฝั่งทะเลอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อมาเป็นระยะเวลานาน ทั้งที่เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม คือ การเลี้ยงแบบปักหลักไม้ไผ่ และเปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อแบบแพเชือกในปัจจุบัน ซึ่งการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อแบบแพเชือกในพื้นที่นี้เริ่มเลี้ยงมาตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2537 โดยมีการขยายพื้นที่เลี้ยงเพิ่มขึ้นทุกปี

2.2 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

การศึกษานี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อและสภาพแวดล้อมและคุณภาพของดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเลในบริเวณที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 2 จุด ได้แก่ จุดที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อแบบแพเชือก กับพื้นที่อ้างอิงซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อ โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง คือ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 เดือนมีนาคม และเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อ

เก็บตัวอย่างตะกอนโดยใช้อุปกรณ์ดักตะกอน (sediment trap) [13,14] ทำจากท่อพลาสติกชนิด acrylic สี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 cm ความยาว 40 cm จำนวน 6 ท่อ ประกอบเข้ากับโครงสแตนเลสที่ช่วยยึดท่อไว้ บริเวณส่วนปลายด้านบนของอุปกรณ์ยึดท่อจะผูกกับทุ่นลอยเพื่อให้อุปกรณ์ดักตะกอนลอยอยู่ในน้ำได้ ส่วนปลายด้านล่างของชุดดักตะกอนจะผูกกับทุ่นจมน้ำที่จะคอยถ่วงให้อุปกรณ์ดักตะกอนอยู่ในตำแหน่งเดิม โดยให้อุปกรณ์ดักตะกอนสูงจากพื้นท้องทะเล 1 m วางอุปกรณ์ในการดักตะกอนเป็นระยะเวลา 2 วัน ตะกอนที่ได้จากท่อดักตะกอนแต่ละท่อจะนำมากรองและอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักแห้งคงที่ ตะกอนส่วนหนึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ด้วยวิธี loss on ignition โดยเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และคำนวณน้ำหนักที่หายไป ตะกอนส่วนที่เหลือจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method [15]

2.2.2 การศึกษาตัวอย่างดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเล

เก็บตัวอย่างดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเลช่วงเวลาเดียวกับการศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่มื่อ โดยนักประดาน้ำจะใช้อุปกรณ์ hand corer กดลงไปดิน แล้วตัดดินเป็นชั้น ชั้นละ 2 cm จนถึงระดับความลึก 20 cm เก็บตัวอย่างไว้ในหลอดเก็บตัวอย่าง และแช่เย็นจนกว่าจะนำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในดินตะกอน ปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจน

2.2.3 การศึกษาคุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำบริเวณที่วางอุปกรณ์ดัก

ตะกอนในช่วงเวลาเดียวกับการศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่ว่า ตัวอย่างที่เก็บมาได้จะวิเคราะห์หาความเค็มและ pH ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง GF/C น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว แข็งแข็งไว้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุอาหารในน้ำโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (PG Instrument, T80+) โดยแอมโมเนีย (NH_4^+) ตรวจวัดด้วยวิธี Koroleff's indophenol blue method ไนโตร + ไนเตรท ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) ตรวจวัดด้วยวิธี cadmium reduction method และ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ตรวจวัดด้วยวิธี ascorbic acid method [16]

3. ผลการศึกษา

3.1 ปริมาณตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเล

ปริมาณตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลในบริเวณพื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่ว่าแบบแพเชือกเปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่อ้างอิง แสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าบริเวณที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ว่าแบบแพเชือกมีอัตราการตกตะกอนสูงกว่าพื้นที่อ้างอิงตลอดทั้ง 3 ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่าง ทั้งในช่วงเดือนพฤศจิกายน (พ.ศ. 2559) มีนาคม (พ.ศ. 2560) และกรกฎาคม (พ.ศ.

2560) โดยมีอัตราการตกตะกอนสูงที่สุดในเดือนมีนาคม (พ.ศ. 2560) ที่ $255.26 \text{ g/m}^2/\text{d}$ รองลงมา คือ เดือน พฤศจิกายน (พ.ศ. 2559) ซึ่งมีอัตราการตกตะกอน $228.17 \text{ g/m}^2/\text{d}$ และเดือนกรกฎาคม (พ.ศ. 2560) มีอัตราการตกตะกอน $87.31 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ขณะที่จุดอ้างอิงซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ได้มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่ว่าแบบแพเชือก มีอัตราการตกตะกอน $9.79-93.06 \text{ g/m}^2/\text{d}$ โดยช่วงเวลาที่อัตราการตกตะกอนสูงที่สุดนั้นสอดคล้องกับการตกตะกอนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่ว่าแบบแพเชือก ซึ่งเห็นว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู่ว่าแบบแพเชือกช่วยเพิ่มอัตราการตกตะกอนในพื้นที่ให้สูงกว่าพื้นที่อ้างอิงที่ไม่ได้เพาะเลี้ยง 3-10 เท่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่คุณภาพของตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลพบว่าตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลในจุดที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่ว่าแบบแพเชือกมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่าตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลในบริเวณอ้างอิง โดยปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนที่ตกได้ในบริเวณตำแหน่งที่ตั้งแพเลี้ยงหอยมีค่า $9.73-18.63 \%$ โดยมีค่าสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม (พ.ศ. 2560) และมีค่าต่ำที่สุดในเดือนพฤศจิกายน (พ.ศ. 2559) ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนสำหรับจุดอ้างอิงมีค่า $11.89-27.86 \%$

Table 2 Sedimentation rate and sediment organic matter content from green mussel raft culture area (M) compared to reference site (R). Data were collected between November 2016 and July 2017 (Values are expressed as mean \pm SD).

Sampling period	Station	Parameters	
		Sedimentation rate ($\text{g/m}^2/\text{d}$)	OM (%)
November 2016	M	228.17 ± 7.55	9.73 ± 5.11
	R	42.54 ± 3.73	27.86 ± 3.78
March 2017	M	255.26 ± 16.63	8.05 ± 1.20
	R	93.06 ± 3.53	11.89 ± 0.62
July 2017	M	87.31 ± 1.43	10.97 ± 0.36
	R	9.79 ± 3.16	18.63 ± 1.96

3.2 สมบัติของดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเล

ลักษณะของดินตะกอนในบริเวณจุดอ้างอิงมีลักษณะเป็นทรายละเอียด เนื้อดินอัดกันแน่นเป็นดินดาน การเก็บตัวอย่างโดยใช้ hand corer ทำได้ยาก ทำให้เก็บตัวอย่างได้ถึงระดับความลึกเพียงประมาณ 12 cm เท่านั้น การที่ลักษณะของดินตะกอนเป็นดินดาน ทำให้การเปลี่ยนแปลงสภาพของดินตะกอนในจุดอ้างอิงในแต่ละฤดูกาลนั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยพบว่าดินตะกอนในจุดอ้างอิงนี้มีปริมาณน้ำในดินตะกอนค่อนข้างคงที่ประมาณ 20 % และมีปริมาณเนื้อดินที่ 80 % ส่วนปริมาณสารอินทรีย์ก็มีค่าต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกน้อยมาก โดยที่จุดอ้างอิงนี้มีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างคงที่ตามความลึกที่ ~1 % ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่น้อยมาก (ตารางที่ 3)

บริเวณใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่มิตะกอนสะสมอยู่มากกว่าบริเวณพื้นที่ที่ไม่ได้มีการเลี้ยงหอย ลักษณะของตะกอนมีความละเอียดสูงและมีชิ้นส่วนของเปลือกหอยปะปนอยู่ด้วย ลักษณะดังกล่าวนี้แสดงออกมาให้เห็นโดยค่าปริมาณน้ำในดินตะกอนและ

ปริมาณเนื้อดิน (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ในพื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มิในดินตะกอนในปริมาณที่มากกว่า ทำให้มีปริมาณเนื้อดินตะกอนน้อยกว่าบริเวณที่ไม่ได้มีการเลี้ยง ปริมาณน้ำในดินตะกอนจะมีค่าสูงในดินตะกอนบริเวณผิวสัมผัสกับมวลน้ำด้านบน และมีปริมาณลดลงตามความลึก ขณะที่ปริมาณเนื้อดินมีค่าต่ำสำหรับดินตะกอนบริเวณผิว แต่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลนั้นมีความแตกต่างกัน โดยปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณผิวมีค่า 54.48-62.66 % และลดลงไปที่ 23.54-24.85 % ที่ระดับความลึก 18-20 cm ขณะที่เนื้อดินตะกอนมีค่า 37.34-45.42 % บริเวณผิว และเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกจนถึงค่า 75.15-76.46 % ที่ระดับความลึก 18-20 cm ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนโดยทั่วไปมีปริมาณมากในบริเวณผิวและลดลงตามระดับความลึก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีลักษณะเดียวกันทุกฤดู โดยปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีค่าสูง (7.92-9.20 %) บริเวณผิวและลดลงตามระดับความลึกจนมีค่า 2.35-2.97 % ที่ระดับความลึก 18-20 cm (ตารางที่ 4)

Table 3 Sediment qualities from the area without Green mussel raft culture operation (reference site; R) collected between November 2016 and July 2017. The abbreviations are given as WC; water content, SC; sediment content and OM; organic matter content (Values are expressed as mean from three replicates).

Depth (cm)	Sampling period								
	November 2016			March 2017			July 2017		
	WC (%)	SC (%)	OM (%)	WC (%)	SC (%)	OM (%)	WC (%)	SC (%)	OM (%)
0-2	19.38	80.82	1.00	20.64	79.36	0.90	21.40	78.60	1.05
2-4	18.78	81.45	0.98	19.70	80.30	0.92	21.42	78.58	0.95
4-6	18.86	81.05	1.32	18.99	81.01	0.91	20.91	79.09	1.00
6-8	21.42	78.71	1.13	18.69	81.31	1.01	20.73	79.27	0.93
8-10	19.37	80.46	1.23	19.13	80.87	1.03	20.99	79.01	1.00
10-12	12.62	67.20	0.98	17.60	82.40	1.18	20.13	79.87	0.99

Table 4 Sediment qualities from green mussel raft culture (M) collected between November 2016 and July 2017. The abbreviations are given as WC; water content, SC; sediment content and OM; organic matter content (Values are expressed as mean from three replicates).

Depth (cm)	Sampling period								
	November 2016			March 2017			July 2017		
	WC (%)	SC (%)	OM (%)	WC (%)	SC (%)	OM (%)	WC (%)	SC (%)	OM (%)
0-2	54.48	45.42	9.20	57.03	42.97	7.92	62.66	37.34	7.94
2-4	46.08	53.92	6.38	41.62	58.38	4.44	46.55	53.45	6.49
4-6	44.81	55.19	6.37	44.46	55.54	4.62	45.37	54.63	5.95
6-8	42.10	57.90	5.93	35.94	64.06	3.99	37.84	62.16	4.74
8-10	39.10	60.90	5.60	33.07	66.93	3.35	34.38	65.62	4.26
10-12	35.20	64.80	4.72	28.08	71.92	3.08	28.88	71.12	3.47
12-14	27.81	72.19	3.39	27.77	72.23	2.71	30.94	69.06	3.57
14-16	26.87	73.13	3.30	26.00	74.00	2.60	27.35	72.65	2.83
16-18	24.13	75.87	2.69	24.03	75.97	2.56	25.89	74.11	2.95
18-20	24.85	75.15	2.85	24.44	75.56	2.35	23.54	76.46	2.97

เมื่อตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนในตะกอนที่ ฟังตกใหม่ (trapped sediment) และตะกอนบริเวณ พื้นท้องทะเล พบว่าปริมาณตะกอนที่ตกใหม่มี ไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่สูงทั้งในบริเวณจุดที่มีการ เลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพเชือกและจุดอ้างอิง แต่ ปริมาณไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้จากตะกอนที่ตกได้จาก แพหอยมีค่าไนโตรเจนสูงกว่าจุดอ้างอิง 5-10 เท่า ใน ทุกฤดูกาลของการเก็บตัวอย่าง โดยมีปริมาณไนโตรเจน 10.67-13.98 mg N/g ขณะที่จุดอ้างอิงมีปริมาณ ไนโตรเจน 9.83-11.18 mg N/g ปริมาณไนโตรเจนใน ดินตะกอนพื้นท้องน้ำมีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้ในตะกอนที่ตกลงมา ใหม่ ปริมาณไนโตรเจนในดินตะกอนได้แพเลี้ยงหอยมี การเปลี่ยนแปลงเป็นไปในลักษณะที่ลดลงตามความลึก โดยมีค่า 0.28-0.39 mg N/g ที่บริเวณผิว (0-2 cm)

และลดลงสู่ค่า 0.12-0.22 mg N/g ที่ระดับความลึก 18-20 cm ขณะที่บริเวณจุดอ้างอิงถึงแม้ปริมาณ ไนโตรเจนในดินตะกอนมีค่าต่ำ แต่ก็ก็มีรูปแบบการ เปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในลักษณะที่ลดลงตามความลึก เช่นกัน โดยบริเวณผิวดินตะกอน (0-2 cm) มีปริมาณ ไนโตรเจน 0.039-0.050 mg N/g ขณะที่ดินตะกอนที่ ระดับความลึก 8-10 cm มีค่า 0.029-0.044 mg N/g (ตารางที่ 5)

3.3 การศึกษาคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างระหว่างแปลงที่มีการเลี้ยง หอยแมลงภู่แบบแพเชือกเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง โดยค่าดัชนีคุณภาพน้ำบริเวณแพเลี้ยงหอยมีค่า อุณหภูมิ 30.3-31.6 °C pH มีค่า 7.87-8.18 ความเค็ม มีค่า 26.6-32.6 ppt ปริมาณ PO_4^{3-} มีค่า 0.23-0.97

µM ปริมาณ NH₄⁺ มีค่า 2.02-9.22 µM และปริมาณ PO₄³⁻ มีค่า 0.33-0.72 µM ปริมาณ NH₄⁺ มีค่า 1.96-7.97 µM และปริมาณ NO₂⁻+NO₃⁻ มีค่า 0.32-3.28 µM ส่วนคุณภาพน้ำใน พื้นที่อ้างอิงมีค่าอุณหภูมิ 30.0-31.4 °C pH มีค่า 7.80-8.11 ความเค็มมีค่า 27.2-33.0 ppt ปริมาณ

Table 5 Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) of trapped sediment and bottom surface sediment collected from green mussel raft culture area (M) compared to reference site (R) during the period between November 2016 and July 2017 (Values are expressed as mean±SD, n.d. refers to no data).

Source	Sediment depth (cm)	TKN (mg N/g)					
		November 2016		March 2017		July 2017	
		M	R	M	R	M	R
Trapped sediment	-	11.587±0.622	9.825±0.994	10.666±1.390	9.824±1.390	13.983±4.039	11.179±0.814
Surface sediment	0-2	0.391±0.050	0.039±0.021	0.275±0.042	0.041±0.003	0.314±0.097	0.050±0.053
	8-10	0.383±0.167	0.029±0.026	0.131±0.043	0.032±0.009	0.293±0.042	0.044±0.024
	18-20	0.218±0.040	n.d.	0.117±0.060	n.d.	0.144±0.031	n.d.

n.d. = not detected

Table 6 Comparison of water quality parameters including temperature (Temp), pH, salinity (Sal), phosphate (PO₄³⁻), ammonia (NH₄⁺) and nitrite + nitrate (NO₂⁻+NO₃⁻) collected from green mussel raft culture area (M) compared to reference site (R) during the period between November 2016 and July 2017 (Values are expressed as mean from three replicates).

Sampling period	Station	Parameters					
		Temp (°C)	pH	Sal. (‰)	PO ₄ ³⁻ (µM)	NH ₄ ⁺ (µM)	NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ (µM)
November 2016	M	30.3	8.18	30.2	0.23	7.37	1.09
	R	30.0	8.11	30.8	0.33	7.26	0.98
March 2017	M	30.6	7.96	32.6	0.75	9.22	0.32
	R	30.8	7.84	33.0	0.33	7.97	0.45
July 2017	M	31.6	7.87	26.6	0.97	2.02	3.28
	R	31.4	7.80	27.2	0.72	1.96	0.94

4. วิเคราะห์ผล

4.1 ตะกอนที่เกิดจากการเลี้ยง

หอยแมลงภู่งินอาหารโดยการกรองจากน้ำทะเล หลังจากที่ย่อยกรองอาหารจากน้ำทะเลแล้ว ชิ้นส่วนของเสียที่ผ่านกระบวนการย่อยเรียบร้อยแล้ว เรียกว่ามูล (faeces) และส่วนของอาหารที่กรองแล้ว แต่ไม่ได้คัดเลือกน้ำเข้าสู่กระเพาะอาหาร จะขับออกมา เรียกเศษอาหารส่วนนี้ว่ามูลเทียม (pseudofaeces) ตะกอนที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นตัวที่ช่วยเพิ่มสารอินทรีย์สู่พื้นท้องทะเลในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแปลงเลี้ยงหอย [7,10, 17] การสะสมของตะกอนจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงในบริเวณพื้นที่ของฟาร์มหอยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ 4 ประการ ได้แก่ (1) อัตราผลผลิตของตะกอนจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยง (2) การกระจายของตะกอนจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยง เช่น การเคลื่อนที่ของตะกอนจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงในมวลน้ำอันเนื่องมาจากกระบวนการต่าง ๆ จนกระทั่งมันสัมผัสกับพื้นท้องทะเล (3) การกระจายตัวของตะกอนจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงบนผิวน้ำดินตะกอนอีกครั้ง หลังจากที่มีมันตกลงสู่พื้นท้องทะเลเรียบร้อยแล้ว ซึ่งการกระจายตัวของตะกอนเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นในลักษณะของการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ไปในแนวระนาบบนผิวน้ำท้องทะเล การเคลื่อนที่เป็นช่วง ๆ อันเกิดจากการโยนตัวของคลื่น และ/หรือการฟุ้งกระจายในแนวตั้ง เช่น การพังทลายของหน้าดิน และ (4) อัตราการย่อยสลายของตะกอนจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยง [18]

การเลี้ยงหอยแมลงภู่งูแบบแขวนช่วยเพิ่มตะกอนแก่ดินตะกอนพื้นท้องทะเล โดย Hatcher และคณะ [13] รายงานว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู่งูแบบเส้นเชือกทางตะวันออกของประเทศแคนาดา มีอัตราการตกตะกอน $88.7 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ซึ่งมากกว่าพื้นที่อ้างอิงถึง $> 50 \text{ g/m}^2/\text{d}$ และ Hartstein และ Stevens [14]

แสดงให้เห็นว่าอัตราการตกตะกอนบริเวณตอนเหนือของเกาะใต้ ประเทศนิวซีแลนด์ ในแปลงหอยมีค่า $133 \text{ g/m}^2/\text{d}$ เปรียบเทียบกับ $24 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ในบริเวณพื้นที่ควบคุม การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่งูแบบแพเชือก ส่งผลทำให้เกิดตะกอนเพิ่มขึ้นรวมถึงช่วยเพิ่มอัตราการตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ ซึ่งความแตกต่างของอัตราการตกตะกอนที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าต่างกัน 3-10 เท่า พื้นที่ที่มีกิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่งูแบบแพเชือกมีอัตราการตกตะกอน $87.31\text{-}255.26 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ซึ่งสูงกว่าจุดอ้างอิงที่มีอัตราการตกตะกอน $9.79\text{-}93.06 \text{ g/m}^2/\text{d}$ และเป็นที่น่าสังเกตว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู่งูแบบแพเชือกในพื้นที่เขตร้อนนี้ทำให้การเพิ่มขึ้นของอัตราการตกตะกอนสูงกว่าที่ปรากฏในพื้นที่เขตอบอุ่น 2-3 เท่า ตลอดจนปริมาณตะกอนที่ตกในพื้นที่อ้างอิงก็สูงกว่าเช่นกัน แสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของอาหารหรือปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำทะเลเขตร้อนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าพื้นที่เขตอบอุ่น

คุณภาพของสารอินทรีย์และสารอื่นที่เป็นองค์ประกอบของตะกอนที่เกิดจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยง ย่อมส่งผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายของสารนั้น เมื่อพิจารณาที่คุณภาพของตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเล พบว่าตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลในจุดที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่งูแบบแพเชือกมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำกว่าตะกอนที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลในบริเวณอ้างอิง โดยปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนที่ตกได้ในบริเวณตำแหน่งที่ตั้งแพเลี้ยงหอยมีค่า $9.73\text{-}18.63 \%$ ขณะที่จุดอ้างอิงมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน $11.89\text{-}27.86 \%$ ทั้งนี้ถ้าหากองค์ประกอบของตะกอนที่เกิดขึ้นมีส่วนที่ย่อยสลายง่าย (labile component) ย่อมถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้รวดเร็วกว่า [19,20] ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ปริมาณของสารอินทรีย์ในดินตะกอน จึงมีความเป็นไปได้ที่กระบวนการในการย่อย

สลายของตะกอนที่ตกในพื้นที่อ้างอิงมีโอกาสในการย่อยสลายที่เร็วกว่าตะกอนที่เกิดจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงแบบแพะเชือก ปริมาณสารอินทรีย์ที่ตกลงสู่พื้นท้องทะเลที่เพิ่มขึ้นจากหอยแมลงภู่มวลสูงและสิ่งมีชีวิตอื่นที่อาศัยอยู่ร่วมกันบนแพะเชือก ย่อมส่งผลต่อสมบัติทางชีวธรณีเคมีของดินตะกอนพื้นท้องทะเล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการหายใจของดินตะกอนพื้นท้องทะเล และการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารของดินตะกอนพื้นท้องทะเลกับมวลน้ำเหนือดินตะกอน

4.2 การหมุนเวียนของธาตุอาหารในดินตะกอน

ตะกอนที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงไปด้วยคาร์บอนและไนโตรเจน และมีความค่าทางอาหารสูง โดยที่คุณภาพของตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงจะขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของอาหาร [21] ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้านเวลาและสถานที่ ตะกอนจากการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงประกอบด้วยสารที่ย่อยสลายง่ายโดยจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก กระบวนการย่อยสลายของตะกอนมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากดินตะกอนพื้นท้องทะเล ในบริเวณแหล่งเลี้ยงหอยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง [22] ปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่มวลสูงส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางธรณีเคมีของดินตะกอนพื้นท้องทะเล [7-9] กระบวนการในการย่อยสลายของตะกอนจากหอยแมลงภู่มวลสูงมีความซับซ้อน โดยชิ้นส่วนที่ย่อยสลายง่ายจะใช้เวลาในการย่อยสลายเร็ว (ระยะเวลาที่ใช้อยู่ในระดับชั่วโมงถึงวัน) ในขณะที่องค์ประกอบที่ย่อยสลายยากจะมีความคงทนมากกว่า

สารอินทรีย์ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เป็นไปตามลำดับขั้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งการกระจายของปฏิกิริยาเหล่านี้ตามระดับความลึกจะขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวออกซิไดซ์และสารอินทรีย์ที่

ย่อยสลายง่าย การแพร่ของสารละลายและการขุดรูของสัตว์หน้าดิน หรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ [23] ดินตะกอนชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นโคลน กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นภายในระดับความลึก 0.1-1 cm ขณะที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายที่ใช้ไนเตรท (NO_3^-) แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นที่ระดับความลึก 1-10 cm และปฏิกิริยา sulfate reduction ส่วนใหญ่แล้วเกิดขึ้นในดินตะกอนที่ระดับความลึก 10-100 cm ขณะที่ปฏิกิริยา methanogenesis เกิดขึ้นในดินตะกอนที่ระดับความลึกมากกว่า 100 cm [24] การตกตะกอนของตะกอนที่อุดมด้วยสารอินทรีย์ได้แปลงเลี้ยงหอยทำให้ความต้องการใช้ออกซิเจนในดินตะกอนเพิ่มขึ้น เมื่อกระบวนการย่อยสลายของตะกอนใช้ออกซิเจนมากเกินไปกว่าอัตราการทดแทนของออกซิเจนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนน้ำ ลักษณะเช่นนี้สามารถก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anoxic conditions) ซึ่งเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายที่เรียกว่า sulfate reduction ให้เกิดขึ้นในดินตะกอนที่อยู่ใกล้กับผิวดิน [12] ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้ (HS^- , H_2S , S^{2-}) ที่ผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นโลหะซัลไฟด์ (metal sulfide) เช่น iron monosulfide (FeS), greigite (Fe_3S_4) และที่สำคัญคือ pyrite (FeS_2) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ซัลไฟด์อิสระ (free sulfide) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปรากฏในรูปของ hydrogen sulfide (H_2S) มีความเป็นพิษสูงและสามารถเข้าสู่เซลล์ผ่านทาง การแพร่ โดยทั้ง H_2S และ organic sulfide เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซไข่เน่าในดินตะกอนชายฝั่งทะเล [23]

ดัชนีที่บ่งบอกคุณภาพของดินตะกอนได้แก่ redox potential (Eh) และปริมาณซัลไฟด์ สามารถใช้บ่งบอกถึงการตกทับถมของสารอินทรีย์ภายใต้พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ [12,25] นอกจากนี้ Hargrave และ

คณะ [26] ได้ศึกษาความแตกต่างเชิงพื้นที่ของดัชนีคุณภาพของดินตะกอนระหว่างพื้นที่เลี้ยงหอยและพื้นที่ที่ไม่ได้มีการเลี้ยง พบว่าในบริเวณพื้นที่เลี้ยงหอยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์และความเข้มข้นของซิลไฟด์สูงกว่า ขณะที่ค่าศักย์ไฟฟ้า (Eh) มีค่าต่ำกว่าพื้นที่อ้างอิงที่ไม่ได้เลี้ยงหอย แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความแตกต่างทางกายภาพ และความลึกที่ทำให้เกิดความผันแปรของคุณภาพดินตะกอน โดยการศึกษาในพื้นที่อ่าวศรีราชาพบว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพเชือกช่วยเพิ่มการสะสมของปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน และยังส่งผลทำให้ปริมาณซิลไฟด์ในดินตะกอนมีค่าสูงกว่าพื้นที่อ้างอิงถึง 30 เท่า [25]

อย่างไรก็ตาม ยังมีงานวิจัยอีกเป็นจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่าดัชนีคุณภาพของดินตะกอนเหล่านี้มีความไวไม่มากพอที่จะตรวจวัดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่ต่อดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเล เช่น การศึกษาของ da Costa และ Nalesso [27] ที่ได้ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ภายในบริเวณฟาร์มและที่ ตำแหน่ง 50, 200 และที่ 1,000 m (ตำแหน่งอ้างอิง) พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีค่า 4.9-9.0 % ตลอดระยะเวลา 1 ปี ของการเก็บข้อมูล แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างระยะทางงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงหอยแมลงภู่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ท้องทะเล และการที่ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีค่าสูงนั้นเป็นเพราะว่าตำแหน่งที่ตั้งของฟาร์มอยู่ใกล้กับป่าชายเลนและยังได้รับอิทธิพลของแม่น้ำที่อยู่ใกล้เคียงกัน

4.3 การแลกเปลี่ยนธาตุอาหาร

การหมุนเวียนของธาตุอาหารในแหล่งน้ำตื้นชายฝั่ง ส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยกระบวนการย่อยสลายในดินตะกอน (benthic remineralization) ซึ่ง

ทำหน้าที่คอยควบคุมการเคลื่อนที่และปริมาณของธาตุอาหารในน้ำ [28] ตะกอนที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงหอยโดยปกติแล้ว มีส่วนในการเพิ่มความต้องการใช้ออกซิเจนและก่อให้เกิดผลผลิตและเกิดการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในบริเวณรอยต่อระหว่างผิวหน้าดินและมวลน้ำด้านบน [29,30] นอกจากนี้เมื่ออุตสาหกรรมเลี้ยงหอยแมลงภู่เจริญเติบโตขึ้นก็จะก่อให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ในบริเวณพื้นที่เลี้ยงมากขึ้น และมวลชีวภาพของสัตว์ที่เจริญเติบโตร่วมกับหอยก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนจำนวนมาก ตลอดจนเกิดการถ่ายเทธาตุอาหารบริเวณพื้นผิวของโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยง (เช่น หอยและสิ่งมีชีวิตอื่นที่มาเกาะบนอุปกรณ์เลี้ยงหอย) และมวลน้ำโดยรอบ [30-32]

ปริมาณธาตุอาหารในมวลน้ำที่ตรวจวัดได้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่ส่งผลทำให้ธาตุอาหารในน้ำสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากของเสียที่หอยขับถ่ายออกมา ประกอบกับมูลและมูลเทียมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงมีส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย จึงมีโอกาสนในการปลดปล่อยธาตุอาหารสู่มวลน้ำได้มากกว่า การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในดินตะกอน เช่น แอมโมเนียม [32] ฟอสเฟต [33] โดยปกติแล้วในบริเวณพื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยมีค่าสูงกว่าพื้นที่อ้างอิง [30,34] การปลดปล่อยแอมโมเนียมและฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมวลน้ำและผิวดินตะกอนส่วนหนึ่งนั้น เกิดจากการย่อยสลายของตะกอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเลี้ยงหอยที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนั่นเอง ตะกอนจากการเพาะเลี้ยงเป็นแหล่งที่สำคัญของไนโตรเจน และน่าจะมีส่วนสำคัญต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนและไนเตรทหลังจากที่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) [7,29] การปลดปล่อยไนเตรทสุทธิจากบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมวลน้ำกับดิน

ตะกอนภายใต้พื้นที่เลี้ยงหอยมักเป็นที่สังเกตพบได้อยู่บ่อยครั้ง ถึงแม้ว่ามีความผันแปรที่เกิดขึ้นระหว่างวันที่สูง [34] และความผันแปรระหว่างฤดูกาลที่สูงด้วย [30] ปัจจัยหลายด้านที่อาจช่วยในการอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างการศึกษา ซึ่งรวมไปถึงความผันแปรของกระแสน้ำและสภาพพื้นที่ที่สามารถส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำ

4.4 การจัดการในการเลี้ยงหอยแมลงภู่มแบบแพเชือกบริเวณอ่าวศรีราชา

การที่อ่าวศรีราชาเป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มแบบแพเชือกเป็นบริเวณกว้าง เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในหลาย ๆ ปัจจัย กล่าวคือ ลักษณะพื้นที่โดยทั่วไปที่มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงหอยแมลงภู่มต้องเป็นพื้นที่ที่มีลูกพันธุ์หอยในธรรมชาติ ชุกชุม ซึ่งพื้นที่อ่าวศรีราชาเป็นแหล่งเลี้ยงหอยแมลงภู่มมาอย่างยาวนาน ตั้งแต่การเลี้ยงแบบดั้งเดิม คือ การเลี้ยงแบบปักหลัก จนกระทั่งมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบมาเป็นการเลี้ยงแบบแพเชือกในปัจจุบัน เกษตรกรผู้เลี้ยงหอยแมลงภู่มจะทำหน้าที่เพียงเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมในการนำวัสดุลูกหอยลงไปแขวนไว้ในทะเลเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าพื้นที่อ่าวศรีราชายังเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของลูกพันธุ์หอยแมลงภู่มอยู่ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการ ได้แก่ ความเค็ม สภาพพื้นที่ในการเลี้ยงหอยแมลงภู่มแบบแพเชือกควรเป็นบริเวณที่มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงความเค็มไม่มากนัก และความเค็มต้องไม่สูงหรือต่ำมากเกินไป เพราะความเค็มเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความชุกชุมของลูกหอย อาหารและการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่มที่เพาะเลี้ยง อ่าวศรีราชาเป็นพื้นที่ใกล้ชายฝั่งจึงได้รับอิทธิพลของน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเลบ้าง แต่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดบริเวณปากแม่น้ำโดยตรง ทำให้ปัจจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่มในอ่าวศรีราชาไม่มากนัก ลักษณะ

ของอ่าวศรีราชาถือว่าเป็นอ่าวเปิด จึงมีโอกาที่จะได้รับอิทธิพลของคลื่นและลมมากกว่าสภาพพื้นที่ที่เป็นอ่าวปิด แต่พื้นที่ชายฝั่งแถบนี้มีเกาะสี่ซึ่งวางตัวในตำแหน่งด้านนอกชายฝั่ง จึงมีส่วนสำคัญในการลดแรงกระทำจากคลื่นและลมในฤดูมรสุมได้ และด้วยสภาพพื้นที่ที่เป็นอ่าวเปิด ทำให้การหมุนเวียนของน้ำภายในอ่าวเกิดขึ้นได้ดี [35] ด้วยเหตุนี้อ่าวศรีราชาจึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงหอยแมลงภู่ม

แม้ว่าสภาพพื้นที่อ่าวศรีราชาจะมีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงหอยแมลงภู่ม แต่การที่จะทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่มแบบแพเชือกในพื้นที่อ่าวศรีราชาเกิดความยั่งยืนได้นั้นจำเป็นต้องมีการจัดการที่ดี เนื่องจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่มแบบแขวนหรือการเลี้ยงหอยแมลงภู่มแบบแพเชือก สามารถส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงการหมุนเวียนของน้ำตลอดช่วงระยะเวลาของการเลี้ยง เนื่องจากรูปแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงหอยจะเป็นตัวชะลอการเคลื่อนที่ของน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของหอยที่เลี้ยงและสิ่งมีชีวิตอื่นที่เจริญเติบโตกับตัวหอยและอุปกรณ์การเลี้ยง ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงแบบเส้นเชือกหรือการเลี้ยงแบบแพ ดังนั้นการหมุนเวียนของน้ำจึงมีความสำคัญต่อการยึดเกาะและปริมาณของตัวอ่อนของหอยที่จะเกิดขึ้นใหม่ในพื้นที่เพาะเลี้ยง และยังเชื่อมโยงต่อผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศในบริเวณพื้นที่เลี้ยงได้อีกด้วย แม้ว่าพื้นที่อ่าวศรีราชาจะมีบริเวณกว้าง แต่ตำแหน่งในการวางแพเลี้ยงหอยก็มีความสำคัญต่อการลงเกาะของลูกหอยและการเจริญเติบโตของหอยที่เลี้ยง [35] ทั้งนี้ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางแพหอยจึงควรอยู่สูงจากพื้นท้องทะเลเมื่อระดับน้ำลดลงต่ำสุดอย่างน้อย 2 m เพื่อที่กระแสน้ำสามารถพัดผ่านแพเลี้ยงหอยได้สะดวก เป็นการช่วยลดผลกระทบจากตะกอนที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงที่ตกลงบริเวณใต้แพเลี้ยงหอย นอกจากนี้ การเว้นระยะตำแหน่งของแพเลี้ยงหอยถือว่ามีส่วน

สำคัญที่ส่งผลต่อการลงเกาะและการเจริญเติบโตของ หอยที่เลี้ยง ตลอดจนผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อดิน ตะกอนใต้แพเลี้ยงหอย ตำแหน่งที่ตั้งของแพเลี้ยงหอย ควรมีระยะห่างระหว่างแพประมาณ 20 m เพื่อให้มี พื้นที่ที่กระแสน้ำสามารถพัดผ่านแพเลี้ยงหอยไปได้อย่าง สะดวก นอกจากเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสให้ลูกหอยมี การกระจายตัวในการเกาะวัสดุหรือผืนอวนที่ใช้ในการ เพาะเลี้ยงได้ดียิ่งขึ้นแล้ว ยังมีส่วนช่วยเพิ่มความ สะดวกในการเข้าทำงานในการดูแลแพเลี้ยงหอยของ เกษตรกร โครงสร้างของแพและพวงหอยมีส่วนสำคัญที่ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำลดลง จนก่อให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงของการตกตะกอนภายในพื้นที่ฟาร์มซึ่ง ส่งผลต่อสังคมของสิ่งมีชีวิตบริเวณพื้นที่ท้องทะเล นอกจากนี้ตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงหอยแมลงภู่ แบบแพเชือกที่ใช้เวลา 6-12 เดือน กว่าหอยจะได้ ขนาดตามความต้องการของตลาด บริเวณที่มีหอยเกาะ อยู่อย่างหนาแน่นมากย่อมมีโอกาสที่จะเกิดปัญหาจาก การทับถมกันของเปลือกหอยบริเวณพื้นที่ท้องทะเล อัน เนื่องมาจากการเบียดกันของหอยจนหลุดร่วงในช่วง ของการเพาะเลี้ยง เปลือกหอยที่ทับถมกันมีส่วนในการ ชะลอการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำบริเวณผิวน้ำดิน เป็นการเพิ่มอัตราการตกตะกอนใต้แพเลี้ยงหอย ดังนั้น การจัดการเรื่องการกำหนดพื้นที่ในการวางแพเลี้ยง หอย ระยะห่างระหว่างแพเลี้ยงหอยจึงมีส่วนสำคัญที่ จะช่วยลดผลกระทบจากการเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพ เชือกต่อระบบนิเวศดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเลในพื้นที่ อ่าวศรีราชาได้

5. สรุป

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยง หอยแมลงภู่แบบแพเชือกสามารถส่งผลกระทบต่อ คุณลักษณะของดินตะกอนพื้นที่ท้องทะเล ตลอดจน กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวธรณีเคมีของดิน

ตะกอนบริเวณใต้แปลงเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพเชือก ลักษณะของดินตะกอนบริเวณใต้แพเลี้ยงหอยที่ ละเอียด และมีปริมาณสารอินทรีย์สูง เป็นคุณลักษณะ ที่ช่วยยืนยันถึงอิทธิพลจากการเลี้ยงหอยที่ช่วยเพิ่ม ปริมาณตะกอนทั้งที่เกิดจากของเสียที่เป็นของแข็งหรือ มูลที่เกิดจากหอยที่เพาะเลี้ยง และตะกอนอันเนื่องจาก เศษอาหารหรือเศษซากแพลงก์ตอนในทะเลที่เหลือจาก ที่หอยกินหรือมูลเทียม ซึ่งปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น เหล่านี้เป็นผลมาจากกิจกรรมการเลี้ยงหอยแมลงภู่ แบบแพเชือก นอกจากนี้บริเวณใต้แพเลี้ยงหอยจะมี เศษซากชิ้นส่วนของเปลือกหอยแมลงภู่ปนอยู่เป็น จำนวนมาก เนื่องมาจากหอยที่เลี้ยงเมื่อเจริญเติบโตขึ้น ก็จะมีการเบียดกันจนทำให้หอยบางตัวถูกเบียดจนหลุด ออกจากวัสดุยึดเกาะตกลงสู่พื้นที่ท้องทะเลด้านล่าง และ ถ้าหอยจมลงในดินตะกอนก็จะตายในที่สุด กิจกรรม การเลี้ยงหอยสามารถส่งผลทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ใน ดินตะกอนเพิ่มขึ้น ปริมาณสารอินทรีย์จำนวนมากที่ เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงหอย จะทำหน้าที่เป็นสารตั้ง ต้นของกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่อยู่ใน บริเวณพื้นที่ท้องทะเล ซึ่งส่งผลกระทบต่อความชื้นของธาตุ อาหารและกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนใน ดินตะกอนใต้แพเลี้ยงหอย ดังนั้นการจัดการพื้นที่ สำหรับการผลิตหอยแมลงภู่แบบแพเชือกในอ่าวศรี ราชา จึงมีส่วนสำคัญเพื่อให้เกิดความยั่งยืนในการเลี้ยง โดยต้องไม่เลี้ยงอย่างหนาแน่น และมีการเว้นระยะห่าง ระหว่างแพที่ใช้ในการเลี้ยง เพื่อให้กระแสน้ำพัดผ่าน แพที่ใช้ในการเลี้ยงได้สะดวก ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบ จากตะกอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงต่อพื้น ท้องทะเลบริเวณชายฝั่งแห่งนี้ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ให้การ สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จ

ลู่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสถานีวิจัยประมงศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างและการปฏิบัติงานในภาคสนาม ตลอดจนการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

7. References

- [1] FAO, 2014, The State of World Fisheries and Aquaculture, Opportunities and Challenges, Rome.
- [2] Chalermwat, K., Szuster, B.W. and Flaherty, M., 2003, Shellfish aquaculture in Thailand, *Aquacult. Econ. Manage.* 7: 249-261.
- [3] Tunkijjanukij, S. and Intarachart, A., 2007, Development of green mussel cultivation in Thailand: Sriracha Bay, Chonburi province, *Aquacult. Asia* 12: 24-25.
- [4] Rajagopal, S., Venugopalan, V.P., Nair, K.V.K., van der Velde, G. and Jenner, H.A., 1998, Settlement and growth of the green mussel *Perna viridis* (L.) in coastal waters: Influence of water velocity, *Aquat. Ecol.* 32: 313-322.
- [5] Coastal Aquaculture Division, 1993, Manual for Green mussel aquaculture, Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- [6] Sriracha Fisheries Research Station, 2001, Integrated Green Mussel Culture and Food Processing, Academic Publication, Kasetsart University Research and Development Institute, Bangkok. (in Thai)
- [7] Gilbert, F., Souchu, P., Bianchi, M. and Bonin, P., 1997, Influence of shellfish farming activities on nitrification, nitrate reduction to ammonium and denitrification at the water-sediment interface of the Thau lagoon, France, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 151: 143-153.
- [8] Kaiser, M.J., Laing, I., Utting, S.D. and Burnell, G.M., 1998, Environmental impacts of bivalve mariculture, *J. Shellfish Res.* 17: 59-66.
- [9] Mirto, S., La Rosa, T., Danovaro, R. and Mazzola, A., 2000, Microbial and meiofaunal response to intensive mussel-farm biodeposition in coastal sediments of the Western Mediterranean, *Mar. Pollut. Bull.* 40: 244-252.
- [10] McKindsey, C.W., Archambault, P., Callier, M.D. and Olivier, F., 2011, Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: A review, *Can. J. Zool.* 89: 622-646.
- [11] Chamberlain, J., Fernandes, T.F., Read, P., Nickell, T.D. and Davies, I.M., 2001, Impacts of biodeposits from suspended mussel (*Mytilus edulis* L.) culture on the surrounding surficial sediments, *ICES J. Mar. Sci.* 58: 411-416.
- [12] Holmer, M., Black, K., Duarte, C.M., Marbà, N. and Karakassis, I., 2008, *Aquaculture in the Ecosystem*, Springer-Verlag, Berlin.
- [13] Hatcher, A., Grant, J. and Schofield, B., 1994, Effects of suspended mussel

- culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay, Mar. Ecol. Prog. Ser. 115: 219-235.
- [14] Harstein, N.D. and Stevens, C.L., 2005, Deposition beneath longline mussel farms, Aquacult. Eng. 33: 192-213.
- [15] AOAC, 1990, Official methods of analysis of AOAC International, 15th Ed., The Association, Arlington, VA.
- [16] Parson, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M., 1984, A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, Pergamon Press, Oxford.
- [17] Newell, R.I.E., 2004, Ecosystem influence of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review, J. Shellfish Res. 23: 51-61.
- [18] Giles, H., Broekhuizen, N., Bryan, K.R. and Pilditch, C.A., 2009, Modelling the dispersal of biodeposits from mussel farms: the importance of simulating biodeposit erosion and decay, Aquaculture 291: 168-178.
- [19] Giles, H. and Pilditch, C.A., 2006, Effects of mussel (*Perna canaliculus*) biodeposit decomposition on benthic respiration and nutrient fluxes, Mar. Biol. 150: 261-271.
- [20] Carlsson, M.S., Glud, R.N. and Petersen, J.K., 2010, Degradation of mussel (*Mytilus edulis*) fecal pellets released from hanging longlines upon sinking and after settling at the sediment, Can. J. Fish. Aquat. Sci. 67: 1376-1387.
- [21] Miller, D.C., Norkko, A. and Pilditch, C.A., 2002, Influence of diet on dispersal of horse mussel *Atrina zelandica* biodeposits, Mar. Ecol. Prog. Ser. 242: 153-167.
- [22] Newell, R.I.E., Cornwell, J.C. and Owens, M.S., 2002, Influence of simulated bivalve biodeposition and microphytobenthos on sediment nitrogen dynamics: a laboratory study, Limnol. Oceanogr. 47: 1367-1379.
- [23] Valiela, I., 1995, Marine Ecological Processes, Springer-Verlag, New York.
- [24] Aller, R.C. and Aller, J.Y., 1998, The effect of biogenic irrigation intensity and solute exchange on diagenetic reaction rates in marine sediments, J. Mar. Res. 56: 905-936.
- [25] Vichkovitten, T., Intarachart, A. and Khaodon, K., 2017, Impact of green mussel (*Perna viridis*) raft-culture on benthic environment in Sriracha coastal water, Thailand, GMSARN Int. J. 11: 116-122.
- [26] Hargrave, B.T., Doucette, L.I., Cranford, P.J., Law, B.A. and Milligan, T.G., 2008, Influence of mussel aquaculture on sediment organic enrichment in a nutrient-rich coastal embayment, Mar. Ecol. Prog. Ser. 365: 137-149.
- [27] da Costa, K.G. and Nalesso, R.C., 2006, Effects of mussel farming on microbenthic community structure in Southeastern

- Brazil, *Aquaculture* 258: 655-663.
- [28] Mazouni, N., Gaertner, J.C., Deslous-Paoli, J.M., Landrein, S. and Geringer d'Oedenberg, M., 1996, Nutrient and oxygen exchanges at the water-sediment interface in a shellfish farming lagoon (Thau, France), *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 205: 91-113.
- [29] Christensen, P.B., Glud, R.N., Dalsgaard T. and Gillespie, P., 2003, Impacts of longline mussel farming on oxygen and nitrogen dynamics and biological communities of coastal sediments, *Aquaculture* 218: 567-588.
- [30] Richard, M., Archambault, P., Thouzeau, G. and Desrosiers, G., 2007, Summer influence of 1 and 2 yr old mussel cultures on benthic fluxes in Grande-Entrée lagoon, Îles-de-la-Madeleine (Quebec, Canada), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 1198-1213.
- [31] Mazouni, N., 2004, Influence of suspended oyster cultures on nitrogen regeneration in a coastal lagoon (Thau, France), *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 276: 103-113.
- [32] Nizzoli, D., Welsh, D.T., Fano, E.A. and Viaroli, P., 2006, Impact of clam and mussel farming on benthic metabolism and nitrogen cycling, with emphasis on nitrate reduction pathways, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 315: 151-165.
- [33] Carlsson, M.S., Holmer, M. and Petersen, J.K., 2009, Seasonal and spatial variations of benthic impacts of mussel longline farming in a eutrophic Danish fjord, Limfjorden, *J. Shellfish Res.* 28: 791-801.
- [34] Alonso-Pérez, F., Ysebaert, T. and Castro, C.G., 2010, Effects of suspended mussel culture on benthic-pelagic coupling in a coastal upwelling system (Ria de Vigo, NW Iberian Peninsula), *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 382: 96-107.
- [35] Anongponyoskun, M., Tharapan, S., Intarachart, A., Doydee, P. and Sojisuporn, P., 2012, Dissolved oxygen dispersion model within green mussel farming area in Sri Racha bay, Chonburi province, Thailand, *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 46: 565-572.