การใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพของคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ*

Applied of macroinvertebrate in bioremediation of water and sediment qualities in aquaculture system

สาวิกา กัลปพฤกษ์**
สิทธิ กุหลาบทอง***
ญาณนันท์ สุนทรกิจ****

บทคัดย่อ

การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ คือการใช้สิ่งมีชีวิตในกระบวนการลดมลพิษ ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการนี้มากที่สุด ได้แก่ แบคทีเรีย รา พืช สาหร่าย และสัตว์หน้าดิน เป็นต้น การบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำโดยการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ 1. Zooextraction โดยการเก็บเกี่ยวผลผลิตสัตว์ หรือการนำสัตว์ที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วซึ่งมีความสามารถในการสะสมสารพิษเข้ามาอยู่ในตัวสัตว์นั้นๆ ออกนอกระบบ, 2. Zoodegradation โดยการใส่สัตว์ที่ไม่มีอยู่เดิมเข้าไปในแหล่งมลพิษ โดยสัตว์เหล่านั้นต้องที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด หรือลดความเป็นพิษของสารมลพิษลง โดยในกรณีของการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถประยุกต์ใช้ได้ 4 กรณี ได้แก่ 1. การลดปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยง 2. การกำจัดแบคทีเรียจากน้ำทิ้งในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3. การบำบัดฟื้นฟูสารอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และ 4. การควบคุมแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยง

คำสำคัญ: การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ สัตว์หน้าดิน บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ มลพิษ

Abstract

Bioremediation is pollution reduction process by using organism. Bacteria, fungi, plants and benthos are commonly used in this process. Bioremediation in water resource can separated into 2 characters namely 1. Zooextraction, harvest the organism has ability to accumulate pollutants into your body out of the system and 2. Zoodegradation, input to accumulate pollutants into your body out of the system and 2. Zoodegradation, in put the bioremediator for pollution reducing into the system. For the application of bioremediation in

---

*บทความวิชาการนี้เป็นการรวบรวมองค์ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพในระบบการเพาะเลี้ยง

**อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์น้ำ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120 E-mail sawika@su.ac.th

***Save wildlife volunteer Thailand อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา 13170

****สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี อ. เขาคิชฌกูฏ จ. จันทบุรี 22210

aquaculture system can separated into 4 cases namely 1. Nutrient reducing in aquaculture pond, 2. Removing bacteria from the waste in aquaculture, 3. Bioremediation of organic carbon in sediment of aquaculture pond and 4. Plankton control in aquaculture pond.

Keyword: bioremediation, benthic macroinvertebrate, aquaculture pond, pollution

บทนำ

การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นกระบวนการบำบัด หรือลดปริมาณการสะสมของสารพิษต่างๆ ในระบบนิเวศ โดยใช้สิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น จุลินทรีย์ พืช หรือสัตว์ เป็นต้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ปลอดภัย และใช้ต้นทุนค่อนข้างต่ำ อาจกล่าวได้ว่าการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่กระตุ้นการสลายตัวของสารพิษ หรือเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ช่วยให้เกิดการฟื้นฟูระบบนิเวศ ในต่างประเทศการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นที่นิยมแพร่หลายมานานแล้ว โดยแนวคิดแรกเริ่มเกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีทางชีวภาพด้านการกำจัดสารพิษจำพวกน้ำมันที่รั่วไหลในสิ่งแวดล้อมทางทะเลโดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลาย และลดปริมาณการสะสมของสารพิษในระบบนิเวศ ต่อมาได้มีการประยุกต์มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักโดยเฉพาะการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตาสาหกรรม เช่น การใช้สัตว์ในกลุ่มหอยสองฝา และฟองน้ำ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับและสะสมโลหะเข้ามาไว้ในตัวเองในระดับสูง และเริ่มพัฒนามาสู่การบำบัดน้ำทิ้งทางการเกษตร และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

แต่ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพยังมีการศึกษาอยู่ในวงจำกัด จากการรวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องพบว่า การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพส่วนใหญ่เน้นไปที่การบำบัดน้ำทิ้งเป็นหลัก และทำการศึกษากับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ แต่การประยุกต์ใช้การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพยังมีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะในประเทศไทยยังมีการให้ความสำคัญกับการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพของคุณภาพน้ำ และดินตะกอนค่อนข้างน้อย โดยปรากฏเอกสารทางวิชาการในด้านของการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำและดินตะกอนทางชีวภาพในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำน้อยมาก ทั้งที่คุณภาพน้ำ และดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพผลผลิตของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ดังนั้นการรวบรวมและเรียบเรียงเอกสารทางวิชาการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำและดินตะกอนพื้นบ่อเพาะเลี้ยงโดยชีววิธีในครั้งนี้จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านชีวภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยต่อไปในอนาคต อันจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในด้านการลดความเสี่ยงจากความเป็นพิษที่เกิดจากการสะสมของสารมลพิษในบ่อเลี้ยง ในน้ำทิ้ง และยังช่วยบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำ และดินตะกอนพื้นบ่อซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงในระยะยาว อีกทั้งในแง่ของผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถนำเอาองค์ความรู้นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

1. หลักการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ

การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ (Bioremediation) คือการใช้สิ่งมีชีวิตในกระบวนการลดมลพิษ หรือกระบวนการบำบัดฟื้นฟูในภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยการใช้สิ่งมีชีวิตในระบบ ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการนี้มากที่สุด ได้แก่ แบคทีเรีย รา พืช สาหร่าย และสัตว์หน้าดิน เป็นต้น (Vidali, 2001; ยนต์, 2556)

1.1 หลักการของการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ

การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ มีพัฒนาการมาจากเทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnology) ในด้านการลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมทั้งระบบนิเวศทางน้ำและทางบก โดยที่เน้นกระบวนการไปที่การลดมลพิษที่เกิดจากสารอินทรีย์ แต่การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพจะเน้นไปที่การใช้สิ่งมีชีวิตในการควบคุม กำจัด หรือลดความเป็นพิษลง โดยหลักการสำคัญคือ การใช้สิ่งมีชีวิตที่มีในระบบ หรือปล่อยเพิ่มเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยาในแหล่งมลพิษนั้นๆ เช่น การย่อยสลาย การกิน หรือการใช้ประโยชน์อื่นๆ จากสารมลพิษนั้น แล้วเปลี่ยนจากสารมลพิษให้เป็นมวลของสิ่งมีชีวิตนั้น หรือเปลี่ยนรูปไปเป็นสารที่มีมลพิษน้อยลง (Vidali, 2001) ซึ่งกล่าวได้ว่าการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่กระตุ้นการสลายตัวของสารพิษ หรือเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ช่วยให้เกิดการฟื้นฟูระบบนิเวศ (ยนต์, 2556)

1.2 เทคโนโลยีของการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ

โดยเทคโนโลยีของการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ Perelo (2010) และยนต์ (2556) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. Bioaugmentation คือการใส่สิ่งมีชีวิตที่ไม่มีอยู่เดิมในระบบนิเวศ หรือพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษ โดยมีวัตถุประสงค์หลักให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นบำบัดฟื้นฟูสารมลพิษต่างๆในพื้นที่

2. Biostimulation คือการกระตุ้นสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติในการบำบัดฟื้นฟู (Bioremediator) ที่มีอยู่เดิมในธรรมชาติ หรืออยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษเหล่านั้นอยู่แล้ว ให้สามารถเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนได้สูงสุด กล่าวคือการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ Bioremediator เพื่อที่จะทำให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นบำบัดฟื้นฟูสารมลพิษต่างๆในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 หลักการประยุกต์ใช้สัตว์ในการบำบัดฟื้นฟู

การใช้สัตว์ในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ (Zooremediation) สามารถแบ่งรูปแบบของการบำบัดทางชีวภาพได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ตามการรายงานของ Gifford *et al*. (2006) ได้แก่

1. Zooextraction โดยการเก็บเกี่ยวผลผลิตสัตว์ หรือการนำสัตว์ที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้ว ซึ่งมีความสามารถในการสะสมสารพิษเข้ามาอยู่ในตัวสัตว์นั้นๆ ออกนอกระบบเพื่อเป็นการฟื้นฟูระบบนิเวศโดยการนำเอาสารมลพิษออกนอกระบบ

2. Zoodegradation โดยการใส่สัตว์ที่ไม่มีอยู่เดิมเข้าไปในแหล่งมลพิษ โดยสัตว์เหล่านั้นต้องที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด หรือลดความเป็นพิษของสารมลพิษลง เช่น หอยบางชนิดสามารถดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนเข้ามาในเนื้อเยื่อ แล้วสามารถหลั่งสารบางอย่างเพื่อลดความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นลงได้ เป็นต้น และสัตว์เหล่านั้นต้องสามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดี ทนทานต่อสารมลพิษ และต้องมีคุณสมบัติเป็น Bioremediator

2. สัตว์หน้าดินในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.1 ชนิดสัตว์หน้าดินที่พบระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สัตว์หน้าดิน หมายถึง สัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บนผิวดินตะกอน หรือฝังตัวอยู่ในเนื้อดินตะกอนพื้นท้องน้ำ มีขนาดใหญ่กว่าขนาดตาของตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 3 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.589 มม.) เช่น ไส้เดือนน้ำ หอย ตัวอ่อนแมลง และครัสตาเซียน เป็นต้น (เสาวภา และคูวาบารา, 2537)

จากการศึกษาความหลากหลายและปริมาณของสัตว์หน้าดินในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลที่ จังหวดสกลนคร ของ นิตยา (มปป.) โดยเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในบ่อพักน้ำ บ่ออนุบาล บ่อพ่อแม่พันธุ์ และบ่อเลี้ยงในระหว่างปี 2550 - 2551 พบสัตว์หน้าดินทั้งสิ้น 3 ไฟลัม 10 ชนิด ได้แก่ Mollusca 4 ชนิด Arthropoda 5 ชนิด และ Annelida 1 ชนิด โดยสัตว์หน้าดินที่ชุกชุมที่สุดคือ หอยเจดีย์ (*Melanaides tuberculata*) มีปริมาณเฉลี่ย 70 ตัว/ตารางเมตร และสัตว์หน้าดินที่พบน้อยที่สุดคือ ปูนา (*Esanthelphusa* spp.) มีปริมาณเฉลี่ย 2 ตัว/ตารางเมตร บ่อพ่อแม่พันธุ์ปลานิลมีความหลากชนิดของสัตว์หน้าดินสูงสุด พบทั้งสิ้น 3 ไฟลัม 9 ชนิด ได้แก่ Mollusca 3 ชนิด Arthropoda 5 ชนิด และ Annelida 1 ชนิด ปริมาณเฉลี่ย 29 ตัว/ตารางเมตร บ่ออนุบาลลูกปลานิลมีความหลากชนิดของสัตว์หน้าดินรองลงมา พบทั้งสิ้น 3 ไฟลัม 8 ชนิด ได้แก่ Mollusca 3 ชนิด Arthropoda 4 ชนิด และ Annelida 1 ชนิด ปริมาณเฉลี่ย 52 ตัว/ตารางเมตร ส่วนในบ่อเลี้ยงพบสัตว์หน้าดินทั้งสิ้น 3 ไฟลัม 7 ชนิด ได้แก่ Mollusca 3 ชนิด Arthropoda 3 ชนิด และ Annelida 1 ชนิด ปริมาณเฉลี่ย 31 ตัว/ตารางเมตร และบ่อพักน้ำพบสัตว์หน้าดินเพียง 4 ชนิด ได้แก่ Mollusca 2 ชนิด Arthropoda 1 ชนิด และ Annelida 1 ชนิด ปริมาณเฉลี่ย 36 ตัว/ตารางเมตร

Riise and Roos (1996) ศึกษาสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงปลานิลในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า Oligochaet เป็นกลุ่มเด่นทั้งในด้านปริมาณความหนาแน่นและมวลชีวภาพ อีกทั้งพบว่า Oligochaetes ที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นบ่อเลี้ยงสามารถช่วยเพิ่มช่องว่างให้กับดินตะกอนทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่ลงไปในชั้นดินตะกอนได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยให้เกิดการหมุนเวียนแร่ธาตุจากดินตะกอนขึ้นไปสู่ชั้นน้ำ

Arias *et al*. (nd.) ศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินในบ่อเพาะเลี้ยงปลาน้ำเค็มที่ระบบการเลี้ยงแตกต่างกันบริเวณแนวชายฝั่งแอตแลนติกตอนใต้เป็นเวลา 2 ปี พบว่าสัตว์ในกลุ่ม Annelida และ Nematoda เป็นกลุ่มเด่นในด้านปริมาณ รองลงมาเป็นกลุ่มหอย กลุ่มครัสตราเชียน และกลุ่มแมลง ตามลำดับ ส่วนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในกลุ่มอื่นๆพบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยโพลิคีตเป็นสัตว์ชนิดเด่นที่มีความชุกชุมและมีความหลากชนิดสูงสุดในกลุ่ม Annelida รองลงมาเป็น Oligochaete และหนอนแดง (*Chironomus* sp.) เป็นตัวอ่อนแมลงชนิดเดียวที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงปลา และจากการศึกษาเปรียบเทียบประชากรสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในบ่อเลี้ยงปลาบริเวณชายฝั่งแบบ polyculture และ monoculture ของ Drake and Ariar (1997) พบว่า บ่อเลี้ยงปลาแบบ polyculture จะมีความหลากหลายและปริมาณของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในบ่อเลี้ยงมากกว่าระบบการเลี้ยงแบบ monoculture ซึ่งการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่ารูปแบบการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างของประชากรสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และ Michael (1968) ศึกษาสัตว์หน้าดินในบ่อเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดในเขตร้อน พบว่าบ่อเลี้ยงปลาในบริเวณ littoral zone มีประชากรกลุ่มหอย และกลุ่ม Oligochaetes เป็นสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ซึ่งช่วงเวลาที่พบสัตว์หน้าดินสูงสุด (peak) คือช่วงระหว่างเดือนมกราคม – เดือนเมษายน ปริมาณของสัตว์หน้าดินมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ค่าความเป็นด่าง และปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งปริมาณของสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาของรอบการเลี้ยง

จากการศึกษาของ Capone *et al*. (1996) พบว่าการใช้ยาในการป้องกัน หรือรักษาโรคสัตว์น้ำในบ่อเลี้ยงส่งผลโดยตรงต่อการตกค้างของสารเคมีเหล่านั้นในดินตะกอน และสัตว์หน้าดิน โดยสารเคมีที่ใช้ในการป้องกัน และกำจัดแบคทีเรียที่ก่อโรคในสัตว์น้ำ ได้แก่ Oxytetracycline, Amoxycillin และ Remet 30 สามารถสะสมอยู่ที่ดินตะกอนพื้นบ่อทั้งที่บริเวณผิวดิน และบริเวณเนื้อดิน โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชังพบว่ามีการสะสมของสารเคมีดังกล่าวบริเวณดินตะกอนใต้กระชัง และบริเวณรอบๆกระชังอีกอย่างน้อยกว่า 30 เมตร ในสัตว์หน้าดินพบว่าเริ่มมีการปนเปื้อนของสารเคมีที่ใช้ในการควบคุมโรคสัตว์น้ำดังที่กล่าวมาแล้วหลังจากที่มีการใช้สารเคมีไปแล้วประมาณ 2 วัน

2.2 ผลของการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปต่อปริมาณสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยง

Matute *et al*. (2012) ศึกษาผลกระทบของการให้อาหารปลาต่อปริมาณสัตว์หน้าดินในบ่อเพาะเลี้ยงปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) โดยเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงที่มีการให้อาหาร และไม่มีการให้อาหาร พบว่าบ่อที่ไม่มีการให้อาหารมีจำนวนชนิด และความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินสูงกว่าบ่อที่มีการให้อาหารอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องมาจากการให้อาหารปลาจะส่งผลต่อสภาพทางนิเวศวิทยาของสัตว์หน้าดินโดยเฉพาะค่า pH ของดิน พบว่าบ่อที่มีการให้อาหารดินจะมีค่า pH เฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำคือ 6.38 ดินมีสภาพเป็นกรดอ่อน (acidic) ซึ่งสภาพความเป็นกรดของดินจะส่งผลต่อการลดลงของประชากรสัตว์หน้าดิน ส่วนบ่อเลี้ยงที่ไม่มีการให้อาหารดินจะมีค่า pH เฉลี่ยคือ 7.59 ดินมีสภาพเป็นด่าง (alkaline) การศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ได้ว่า การให้อาหารสำเร็จรูปในบ่อเลี้ยงปลามีผลกระทบต่อระบบนิเวศของประชาคมสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน แต่จากการศึกษาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในบ่อเลี้ยงกุ้งน้ำจืดของ Tidwell *et al*. (1996) โดยการเปรียบเทียบอัตราการรอด ผลผลิตของกุ้งน้ำจืด และปริมาณสัตว์หน้าดิน ในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน 2 ระบบ คือ บ่อเลี้ยงที่ไม่ให้อาหารกุ้งแต่มีการใส่ปุ๋ย และ บ่อเลี้ยงที่มีการให้อาหารกุ้งปกติ พบว่าอัตราการรอดของกุ้งทั้ง 2 ระบบไม่แตกต่างกัน และผลผลิตกุ้งในบ่อที่มีการให้อาหาร และบ่อที่ใส่ปุ๋ยมีผลผลิตที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณสัตว์หน้าดินพบว่าในบ่อที่มีการให้อาหาร และบ่อที่เติมปุ๋ยมีปริมาณสัตว์หน้าดินไม่แตกต่างกัน Tidwell *et al*. (1995) พบว่าการลดปริมาณ หรือการงดให้อาหารเสริม เช่น วิตามิน หรือแร่ธาตุอาหารเสริมต่างๆในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีผลทำให้ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินลดลง สอดคล้องกับการรายงานของ Weidenbach (1980) ที่พบว่าการงดให้อาหาร หรืองดให้วิตามินเสริมในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจะส่งผลให้มีพฤติกรรมการล่าเหยื่อที่เป็นอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยง เช่น สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน มากยิ่งขึ้น หรือบางครั้งกุ้งอาจเปลี่ยนพฤติกรรมมากินพืชเสริมด้วย แต่การเติมปุ๋ยลงในบ่อเลี้ยงจะช่วยให้ปริมาณของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเพิ่มมากขึ้น แตกต่างกันทางสถิติ

3. ปัจจัยแวดล้อมด้านคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีผลต่อสัตว์หน้าดิน

นิตยา (มปป.) ได้อธิบายปัจจัยแวดล้อมด้านคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิด และปริมาณของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเด็นหลักๆ ได้ดังนี้

1. สารอินทรีย์

สารอินทรีย์เกิดจากการสะสมของตะกอนแขวนลอยที่จมลงมาในบ่อ รวมทั้งอาหารที่เหลือก็เป็นสาเหตุหลักของการสะสมสารอินทรีย์ภายในบ่อ การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดที่บริเวณพื้นบ่อ และจะอยู่ใน

สภาวะที่ค่าออกซิเจนละลายและค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าต่ำ ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเป็นสารพิษ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการหายใจของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ซึ่งหากในบ่อเลี้ยงมีปริมาณสารอินทรีย์มากอาจส่งผลให้ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินลดจำนวนลง

2. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อสัตว์หน้าดินคือ 6.5 – 8.5

3. ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO)

ปริมาณออกซิเจนละลาย มีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการหายใจของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ในช่วงเริ่มเลี้ยงสัตว์น้ำอาจยังไม่มีปัญหาดังกล่าว แต่เมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นจะมีการสะสมของของเสียเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนบริเวณพื้นบ่อได้ และอาจส่งผลให้ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินลดจำนวนลง

4. ธาตุอาหารในน้ำ

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินภายในบ่อเลี้ยง ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส บอริก และซิลิสิกแอซิด แม้ในน้ำจะมีธาตุอาหารเหล่านี้อยู่แล้ว แต่การเลี้ยงแบบพัฒนาที่มีอัตราการปล่อยปลาหนาแน่นมาก ทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำต่างๆในบ่อทั้งปลา และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต และทำให้ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินลดจำนวนลง

5. แก๊สพิษ และสารพิษ

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน เป็นสิ่งมีชีวิตที่ค่อนข้างจะตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมทางเคมีได้ค่อนข้างเร็ว ดังนั้นหากในน้ำมีปริมาณสารพิษ หรือสารเคมีต่างๆ เช่น สารฆ่าเชื้อ หรือสารปรับสภาพน้ำ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินบางกลุ่มอาจไม่สามารถทนอยู่ได้ และแก๊สพิษต่างๆที่เกิดจากการย่อยสารอินทรีย์ เช่น แก๊สแอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น เหล่านี้ล้วนมีผลให้ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินลดจำนวนลง

6. ฤดูกาล

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินบางชนิดจะมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะกลุ่มที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมต่ำ เนื่องจากในฤดูฝนจะเกิดการชะล้างตะกอนต่างๆลงมาในบ่อเลี้ยง ทำให้สภาพทางเคมีของน้ำในบ่อเปลี่ยนแปลงไปด้วย อีกทั้งน้ำที่ไหลเข้ามาใหม่อาจส่งผลต่อระบบการหายใจของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน อาจมีผลให้ปริมาณสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินบางกลุ่มลดจำนวนลง

4. การใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพมีการศึกษาวิจัยไว้หลายด้าน เช่น การบำบัดน้ำทิ้งต่างๆ เป็นต้น โดยการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพด้านคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเด็นหลักๆ (Gifford *et al*., 2006; Stabili *et al.*, 2010; Musig and Musig, 2013; กนกวรรณ, 2547; ยนต์, 2556) ดังนี้

4.1 การลดปริมาณธาตุอาหาร (nutrients) ในบ่อเลี้ยง

ในการกำจัดธาตุอาหารในแหล่งน้ำและดินตะกอนส่วนใหญ่จะนิยมใช้รูปแบบของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สามารถใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารต่างๆเหล่านั้นได้ หรือในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยนำสัตว์น้ำที่มีคุณสมบัติในการกรอง (biofilter) มาเพาะเลี้ยงในระบบที่เราต้องการบำบัดฟื้นฟู ซึ่งวัตถุประสงค์หลักอาจเป็นทั้งการลดต้นทุนการผลิต และการฟื้นฟูระบบนิเวศ เช่น การเลี้ยงหอยแมลงภู่ร่วมกับหอยนางรมในการเพาะเลี้ยงกุ้งขาว โดยหอยนางรม และหอยแมลงภู่สามารถลดปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ความขุ่น และ Chlorophyll a ได้ถึง 72 %, 86 %, 68 % และ 79 % ตามลำดับ (ยนต์, 2556) การเลี้ยงและเก็บเกี่ยวหอยมุกในทวีปยุโรปปีละ 500 ตัน สามารถช่วยลดปริมาณไนโตรเจนจากแหล่งน้ำทิ้งบริเวณชายฝั่งได้มากกว่า 3,700 กิโลกรัมต่อปี (Gifford *et al*., 2006) และหอยสองฝาน้ำจืดในสกุล *Pilsbryoconcha* สามารถบำบัดแหล่งน้ำในสภาพ eutrophic ได้โดยสามารถลดปริมาณตะกอนอินทรีย์สาร (particulate organic matter), ตะกอนไนโตรเจน (particulate nitrogen), ตะกอนฟอสฟอรัส (particulate phosphorus) และ Chlorophyll a ได้ถึง 19.7 %, 34.3 %, 25.5 % และ 21.0 % ตามลำดับ (Musig and Musig, 2013)

4.2 การกำจัดแบคทีเรียจากน้ำทิ้งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Stabili *et al*, (2010) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์ชายฝั่ง พบว่าโพลิคีตชนิด *Sabella spallanzanii* มีความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียในน้ำ และดินตะกอนที่เกิดจากการสะสมของเสียในกระบวนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จากการศึกษาน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงชายฝั่งซึ่งมีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยเท่ากับ $6.6 \pm 0.7 \times 10^4$ CFU/mL แต่หลังจากที่ใส่โพลิคีตชนิด *Sabella spallanzanii* ลงไปแล้ว พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียในน้ำทิ้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยเหลือปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยเท่ากับ $2.1 \pm 0.18 \times 10^4$ CFU/mL โดยโพลิคีตชนิด *Sabella spallanzanii* มีความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียในกลุ่ม *Vibrio* spp. ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่ม faecal coliforms และกลุ่ม faecal streptococci ตามลำดับ

4.3 การบำบัดฟื้นฟูสารอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

กนกวรรณ (2547) ศึกษาการนำไส้เดือนทะเล (โพลีคีต) ในสกุล *Capitella* มาใช้ในการบำบัดฟื้นฟูสารอินทรีย์ และซัลไฟด์ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาว โดยเน้นที่การศึกษาประสิทธิภาพของการย่อยสลายและการเพิ่มประชากรของไส้เดือนทะเล พบว่าไส้เดือนทะเลในสกุล *Capitella* สามารถปรับตัวได้ดีในสภาวะที่มีการสะสมของสารอินทรีย์และสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษสูง และจากการศึกษาในแบบจำลองการบำบัดดินตะกอนในระหว่างการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการพบว่า ดินตะกอนที่มีการใส่ไส้เดือนทะเลลงไปมีปริมาณสารอินทรีย์และมีความเข้มข้นของสารอาหารของน้ำในดิน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดดินตะกอนที่ไม่มีการใส่ไส้เดือนทะเลลงไป และมีปริมาณซัลไฟด์ในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การศึกษาแบบจำลองการบำบัดดินตะกอนในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าความหนาแน่นของไส้เดือนทะเลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ และความเข้มข้นของสารอาหารของน้ำในดิน แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ในดินตะกอนอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในกลุ่มโพลิคีตสามารถนำมาใช้บำบัดฟื้นฟูดินตะกอนพื้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้

4.4 การควบคุมแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยง

สัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินหลายชนิดที่มีความสามารถในการกรอง (biofilter) สามารถช่วยลด และควบคุมปริมาณของแพลงก์ตอน และสาหร่ายประเภทเกาะติดหน้าดินได้ จากการศึกษาองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของหอยสองฝาหลายชนิดในระบบเพาะเลี้ยง พบแพลงก์ตอน และสาหร่ายเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแพลงก์ตอนและสาหร่ายในบ่อเลี้ยงที่ลดลง ดังนั้นสัตว์หน้าดินในกลุ่มที่มีความสามารถในการกรองจึงสามารถใช้ในการควบคุมแพลงก์ตอนได้ (Santelices and Martinez, 1988; Holland, 1993; สาวิกา และสิทธิ, 2556)

5. การใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งมลพิษอื่นๆ

ส่วนในการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพในด้านอื่นๆมีการศึกษาวิจัยไว้หลายด้าน อาทิเช่น การบำบัดน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม การกำจัดสารโลหะหนัก และการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น (Gifford *et al*., 2006; ยนต์, 2556)

5.1 การกำจัดโลหะหนักในน้ำ และดินตะกอน

ปัญหาด้านน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือมลพิษอื่นๆ ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของสารโลหะหนัก เช่น Pb, Zn และ Mn เป็นต้น อาจมีผลต่อการตกค้างของสารดังกล่าวในดินตะกอนบริเวณดังกล่าวได้ ซึ่งสัตว์หน้าดินหลายชนิดมีความสามารถในการเป็น metal-hyperaccumulator คือมีความสามารถในการดูดซับและสะสมโลหะเข้ามาไว้ในตัวเองในระดับสูง โดยสามารถสะสม Cd, Cr, Co และ Pb ได้มากกว่า 100 มก./กก. สามารถสะสม Ni, Cu, Se, As และ Al ได้มากกว่า 1,000 มก./กก. และสามารถสะสม Zn และ Mn ได้มากกว่า 10,000 มก./กก. โดยเฉพาะสัตว์ในกลุ่มหอยสองฝา ฟองน้ำ ไบโอซัว โพลิคีต และปลิงทะเล เป็นต้น โดยการกำจัดโลหะหนักในแหล่งน้ำและดินตะกอนสามารถทำได้โดยการเก็บเกี่ยวสัตว์หน้าดินที่มีอยู่เดิมในแหล่งมลพิษมาทำลาย หรือการปล่อยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่มีคุณสมบัติเป็น Bioremediator และ metal-hyperaccumulator เสริมลงไปในแหล่งมลพิษจากนั้นปล่อยให้สัตว์เหล่านั้นสะสมโลหะหนังเข้ามาไว้ในตัวแล้วจึงเก็บเกี่ยวสัตว์เหล่านั้นขึ้นมาทำลาย (Gifford *et al*, 2006; ยนต์, 2556)

5.2 การกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นมลพิษ

ในกรณีการเกิดปัญหาสารปนเปื้อนในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่เป็นมลพิษ เช่น การเกิดอุบัติเหตุน้ำมันรั่ว การใช้สัตว์หน้าดินในการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นมลพิษสามารถทำได้ 2 กรณี ได้แก่ 1. Zooextraction คือการเก็บเกี่ยวสัตว์ที่มีคุณสมบัติในการเป็น hyperaccumulator ของสารไฮโดรคาร์บอนออกไปนอกระบบ จากการรายงานของ Gifford *et al.* (2006) พบว่าฟองน้ำเป็นสัตว์หน้าดินที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนในกลุ่ม polychlorinated biphenols ได้ในปริมาณที่สูงกว่าหอยสองฝาถึง 10^5 เท่า รวมทั้งสัตว์หน้าดินกลุ่มอื่นๆก็สามารถดูดซับสารเคมีทางการเกษตร สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และสารเคมีในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อีกด้วย 2. Zoodegradation คือการปล่อยสัตว์หน้าดินที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นมลพิษ เช่น การปล่อยหอยสองฝาในสกุล *Mytilus* ในแหล่งน้ำมันรั่ว สามารถเร่งการสลายตัวของน้ำมันได้ถึง 10-20 เท่า อีกทั้งสัตว์ในกลุ่มฟองน้ำยังสามารถย่อยสลายสารในกลุ่ม surfactant เร็วกว่าแบคทีเรีย 10 เท่า และสัตว์ในกลุ่มหอยฝาเดียวก็มีความสามารถในการดูดซับและสะสมสารในกลุ่ม

aliphatic hydrocarbons ไว้ในส่วนของเนื้อและเปลือก เป็นต้น จากนั้นจึงทำการเก็บเกี่ยวสัตว์เหล่านั้นออกนอกระบบ (Gifford *et al*., 2006)

สรุป

การบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำโดยการประยุกต์ใช้สัตว์มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ 1. Zooextraction โดยการเก็บเกี่ยวผลผลิตสัตว์ หรือการนำสัตว์ที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วซึ่งมีความสามารถในการสะสมสารพิษเข้ามาอยู่ในตัวสัตว์นั้นๆ ออกนอกระบบ 2. Zoodegradation โดยการใส่สัตว์ที่ไม่มีอยู่เดิมเข้าไปในแหล่งมลพิษ โดยสัตว์เหล่านั้นต้องที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด หรือลดความเป็นพิษของสารมลพิษลง โดยในกรณีของการประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถประยุกต์ใช้ได้ 4 กรณี ได้แก่ 1. การลดปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยง 2. การกำจัดแบคทีเรียจากน้ำทิ้งในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3. การบำบัดฟื้นฟูสารอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และ 4. การควบคุมแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยง

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกวรรณ ประมงอุดมรัตน์. “ประสิทธิภาพของไส้เดือนทะเลสกุล *Capitella* ในการปรับปรุงดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

นิตยา พิลาวรรณ. การศึกษาความหลากหลายและปริมาณของสัตว์หน้าดินในระบบบ่อเลี้ยงปลานิลที่ ศูนย์วิจัยประมงน้ำจืด จังหวดสกลนคร. ปัญญาพิเศษ สาขาวิชาทรัพยากรเกษตรชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร, มปป.

ยนต์ มุสิก. วิชาการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556.

สาวิกา กัลปพฤกษ์ และสิทธิ กุหลาบทอง. “การประยุกต์ใช้หอยสองฝาในการจัดการคุณภาพน้ำ.” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal 6, 3 (กันยายน – ธันวาคม 2556): 846-859.

เสาวภา อังสุภานิช และเรน คูวาบารา. พลวัติของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาตอนนอก ประเทศไทยทางใต้. รายงานการวิจัยเสนอสำนักวิจัยแห่งชาติ, 2537.

ภาษาต่างประเทศ

Allard, A. S. and A. H. Neilson. “Bioremediation of organic waste sites: a critical review of microbiological aspects.” International Biodeterioration and Biodegradation, 39, 4 (1997): 253-285.

Arias, A.M., Ramos-García, E. and M., Yúfera. “Benthic macrofauna communities in coastal earthen ponds used for fish farming in the South Atlantic coast of the Iberian Peninsula.” In International workshop on sustainable extensive and semi-intensive coastal aquaculture in Southern Europe. nd.

Capone, D. G., Weston, D. P., Miller, V. and C. Shoemaker. "Antibacterial residues in marine sediments and invertebrates following chemotherapy in aquaculture." Aquaculture, 14, 5 (1996): 55-75.

Drake, P. and A. M. Ariar. "The effect of aquaculture practices on the benthic macroinvertebrate community of a lagoon system Bay of Cadiz (Southwestern Spain)." Estuaries, 20, 4 (1997): 677-688.

Gifford S., Hugh Dunstan, R., O'Connor, W., Koller, C. E. and G. R. MacFarlane. "Aquatic zooremediation: deploying animals to remediate contaminated aquatic environments." TRENDS in Biotechnology, 25, 2 (2006): 60 – 65.

Holland, R. E. "Changes in planktonic diatom and water transparency in Hatchery Bay, Bass Island Area, Western Lake Erie since the establishment of the zebra mussel." Journal of Great Lakes Research, 19, 3 (1993): 617 – 624

Matute, M. M., Manning, Y. A. and M. I. Kaleem. "The effect of feeding by the channel catfish (*Ictalurus punctatus*) on the benthic invertebrate community in the ponds." Journal of Agricultural Science, 4, 6 (2012): 267 – 271.

Michael, R G. "Studies on the bottom fauna in a tropical freshwater fish pond." Hydrobiologia, 31, 2 (1968): 203.

Musig, W. and Y. Musig. "Removal of total particulates matter, particulate organic matter, particulate nitrogen, particulate phosphorus and phytoplankton from eutrophic water by a freshwater bivalve mollusk, *Pilsbryoconcha exilis compressa*." Kasetsart University Fisheries Research Bulletin, 37, 1 (2013): 12 – 18.

Perelo, L. W. "Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments." Journal of Hazardous Materials, 177 (2010): 81–89.

Riise, J. C. and N. Roos. "Benthic metabolism and the effects of bioturbation in a fertilised polyculture fish pond in northeast Thailand." Aquaculture, 150 (1996): 45-62.

Santelices, B. and E. Martinez. "Effects of filter-feeders and grazers on algal settlement and growth in mussel beds." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 118, 3 (1988): 281 - 306.

Stabili, L., Schirosi, R., Licciano, M., Mola, E. and A. Giangrande. "Bioremediation of bacteria in aquaculture waste using the polychaete *Sabella spallanzanii*." New Biotechnology, 27, 6 (2010): 774 – 781.

Tidwell, J. H., Webster, C. D., Sedlacek, J. D., Weston, P. A., Knight, W. L., Hill Jr., S. J., D'Abram, L. R., Daniels, W. H., Fuller, M. J. and L. Montafiez. "Effects of complete and supplemental diets and organic pond fertilization on production of *Macrobrachium rosenbergii* and associated benthic macroinvertebrate populations." Aquaculture, 138 (1995): 169-180.

Tidwell, J. H., Coyle, S. D., Webster, C. D., Sedlacek, J. D. , Weston, P. A., Knight, W. L., Hill Jr., S. J., D'Abramo, L. R., Daniels, W. H . and M. J. Fuller. "Relative prawn production and benthic macroinvertebrate densities in unfed, organically fertilized, and fed pond systems." Aquaculture, 149 (1996): 227-242.

Vidali, M. "Bioremediation: An overview." Pure Appl. Chem, 73, 7 (2001): 1163–1172.

Weidenbach, R.P. "Dietary components of prawns reared in Hawaiian ponds." In Proceedings of the Giant Prawn Conference, International Foundation for Science, Report 9. Bangkok, 1980.