การกำจัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม

Nitrogen elimination in zero waste aquaculture system

สุภาวดี โกยดุลย์[1*]

Supavadee Koydon[1*]

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขยายตัวเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณของเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำได้พัฒนาไปสู่ระบบปิดที่ไม่มีการทิ้งของเสียออกจากฟาร์มโดยหมุนเวียนและบำบัดน้ำภายในพื้นที่ฟาร์ม ซึ่งมีข้อดี ได้แก่ ประหยัดทรัพยากรน้ำ ป้องกันการระบาดของโรค และลดมลพิษลงสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น ของเสียประเภทสารประกอบไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนียที่ละลายในน้ำจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายตามกระบวนการไนตริฟิเคชันและได้ผลผลิตเป็นไนเตรท เทคนิคที่ใช้ในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำมีหลายรูปแบบ เช่น ระบบโปรยกรอง ตัวหมุนชีวภาพ ไบโอฟล๊อก บึงประดิษฐ์ ถ้าพื้นที่ฟาร์มขนาดใหญ่ (10 ไร่ขึ้นไป) การบำบัดไนโตรเจนควรใช้เทคนิคบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกผักที่กินได้ หรือผสมผสานร่วมกับระบบโปรยกรอง ถึงแม้ว่าระบบไบโอฟล๊อกจะเป็นเทคนิคที่ดีและประหยัดต้นทุนค่าอาหารที่เลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ก็มีต้นทุนค่าพลังงานที่จะหมุนเวียนน้ำและเติมออกซิเจนค่อนข้างสูง ส่วนในฟาร์มขนาดเล็กควรใช้เทคนิคบึงประดิษฐ์ร่วมกับการปลูกผักที่กินได้

คำสำคัญ: ไนโตรเจน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม การกำจัดไนโตรเจน

Abstract

As the result of an intensive development on aquaculture industry, environmental problems are therefore increased. Aquaculture systems trend to change toward the closed system such as zero waste system in which wastewater is circulated and treated inside a farm. There are many advantages, for examples: less volume of water, elimination of disease outbreak, no waste discharge into the surrounding water sources and others. Nitrogenous waste, especially dissolved ammonia-nitrogen is used by bacteria via nitrification process which produce nitrate-nitrogen as an end product. Many of nitrogenous waste treatment techniques have been applied such as trickling filter, rotating biological contractor, bioflocs technology and wetland. In a large farm with an area above 10 rais

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

[1] Fisheries Science Department, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala Technology University of Suvarnaphumi, Huntra, Ayutthaya, Thailand. 13000.

[*] Corresponding author. E-mail: s_koydon@yahoo.de

(16,000 m^2), the wetland technique integrated with vegetable cultivation and/or trickling filtration, would be the most appropriate technique. Although bioflocs technology might be the most effective method to reduce the feed cost. On the other hand, the energy cost for operating the system is relatively high. In a small scale farm with an area less than 10 rais, the wetland technique integrated with vegetable cultivation is recommended.

Keywords : nitrogen, zero waste aquaculture, nitrogen elimination

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นธุรกิจการเกษตรที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและขยายตัวอย่างก้าวกระโดดมากกว่าธุรกิจการเลี้ยงสัตว์อื่นๆ ในประเทศไทยผลผลิตหลักของการเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยได้แก่ กุ้งขาว (white shrimp) หอยแมลงภู่ (green mussel) และการเลี้ยงปลาทะเล ส่วนสัตว์น้ำจืดที่นิยมเลี้ยง ได้แก่ ปลานิล (nile tilapia) ปลาดุก (walking catfish) และปลาสลิด (snakeskin gourami) (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2556) ปัจจุบันสัตว์น้ำที่จับได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยเสื่อมโทรมลง สวนทางกับข้อมูลปริมาณประชากรโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความต้องการอาหารย่อมเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับแนวโน้มความนิยมในการบริโภคสัตว์น้ำของผู้บริโภคเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี เนื่องจากเป็นที่ยอมรับแล้วว่า เนื้อปลาเป็นแหล่งโปรตีนและไขมันที่ดีต่อสุขภาพและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับการผลิตสัตว์อื่นๆ ในปี 2010 อัตราการบริโภคปลาของคนไทยเฉลี่ยที่ 26 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ในขณะที่อัตราเฉลี่ยของประชากรโลกอยู่ที่18.9 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และจากสถิติพบว่า คนไทยนิยมบริโภคปลามากกว่าเนื้อสัตว์อื่นสูงถึง 34.5 เท่า (FAO, 2012) ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีบทบาทที่สำคัญยิ่งในฐานะเป็นแหล่งอาหารของประชากรโลกทั้งการผลิตระบบครัวเรือนหรือเชิงพาณิชย์

ปัจจุบันรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้พัฒนาจากระบบการผลิตแบบดั้งเดิม (extensive aquaculture system) ไปสู่ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น (intensive aquaculture system) หรือแบบเข้มข้น (super-intensive aquaculture system) สามารถผลิตสัตว์น้ำปริมาณมากๆ ในพื้นที่ที่จำกัดได้โดยต้องใช้องค์ความรู้ในการจัดการด้านอาหาร คุณภาพน้ำและโรคอย่างเหมาะสมเพื่อให้น้ำมีคุณภาพที่ดีเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ เช่น ใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำนั้นๆ (25-32%) การเติมออกซิเจนลงไปในน้ำ หรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำ หรือการเตรียมบ่อเพื่อจัดการเลนที่เป็นของเสียที่สะสมออกจากบ่อเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงในแต่ละรุ่น โดยปกติน้ำเสียหรือเลนก้นบ่อที่มีปริมาณสารอินทรีย์หรือเชื้อโรคสะสมอยู่สูงถูกปล่อยทิ้งออกจากฟาร์มลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยมิได้ผ่านการบำบัด จะส่งผลซ้ำเติมให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติแย่ลงไปกว่าเดิมและเป็นสาเหตุของการแพร่ระบาดของโรคต่างๆ ดังตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนในการเกิดโรคระบาดของอุตสาหกรรมกุ้งทะเลของไทยในช่วง 10-15 ปีที่ผ่านมา โรคจะระบาดจากฟาร์มหนึ่งไปสู่อีกฟาร์มหนึ่งผ่านน้ำ

ในคลองที่ใช้ร่วมกันและลุกลามแพร่กระจายไปในวงกว้าง ด้วยสาเหตุนี้ระบบการเลี้ยงกุ้งของไทยเริ่มพัฒนาจากระบบเปิดเข้าไปสู่ระบบปิดมากขึ้น ฟาร์มกุ้งขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่มากพอเพื่อใช้บำบัดน้ำ นิยมเลี้ยงกุ้งขาวในระบบปิด คือน้ำที่ใช้ในตลอดการเลี้ยงกุ้ง 2-4 เดือน จะไม่นำน้ำใหม่เข้ามาในฟาร์มเลย แต่จะใช้น้ำที่เตรียมตั้งแต่ การเตรียมบ่อที่มีการเติมสารเคมีเพื่อกำจัดพาหนะของโรคและแบคทีเรีย เช่น คลอรีน บีเคซี กลูตารัลดีไฮด์ เป็นต้น ระหว่างการเลี้ยงกุ้งเมื่อต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำจะใช้น้ำในบ่อพักน้ำมาเปลี่ยนถ่าย น้ำเสียจะส่งไปพักไว้ในคลองภายในฟาร์มหรือลงสู่บ่อพักน้ำของฟาร์มและนำหมุนเวียนมาใช้ใหม่ แต่เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงจะนิยมปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสุดท้ายยังคงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เสื่อมโทรมลงดังนั้นเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและเพื่อให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นธุรกิจ ที่สามารถประกอบอาชีพได้อย่างยั่งยืน ประกอบกับประเทศที่รับซื้อสินค้าสัตว์น้ำ เช่น ประเทศกลุ่มยุโรป หรือ อเมริกา หรือญี่ปุ่น กำหนดว่าสินค้าสัตว์น้ำ ที่นำเข้าไปจำหน่ายต้องผ่านกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ ที่ใช้แนวทางปฏิบัติต่างๆ เข้ามากำกับ และต้องติดฉลากเพื่อแสดงมาตรฐานสินค้าเหล่านั้นเปิดโอกาสให้ผู้บริโภคสามารถตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้มาตรฐานสินค้าที่ใช้ควบคุมได้แก่การเพาะเลี้ยงที่สัตว์น้ำเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม(eco-labeling) มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี (good aquaculture practice) การเพาะเลี้ยงแบบอินทรีย์ (organic aquaculture) หรือการเพาะเลี้ยงแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม (zero waste aquaculture) แต่ละมาตรฐานจะมีรายละเอียดข้อควรปฏิบัติ-ข้อห้ามแตกต่างกันไป มาตรฐานเหล่านี้เป็นแนวทางในการผลิตสินค้าเพื่อให้ผู้ซื้อสินค้าสามารถมั่นใจได้ถึงคุณภาพของสินค้าสัตว์น้ำแต่อย่างไรก็ตามทุกมาตรฐานจะมีข้อบังคับที่คล้ายกัน เช่น สินค้าที่ผลิตต้องไม่มีสารต้องห้ามตกค้างอยู่ที่จะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ใช้แรงงานเด็กเป็นต้น ปัจจุบันประเทศไทยนิยมใช้มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี (good aquaculture practice) เพื่อควบคุมสินค้าส่งออกประเภทสัตว์น้ำ และในปี 2557 กรมประมงได้ประกาศใช้นโยบายเกษตรสีเขียว (green agriculture city) โดยจะผลักดันให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จังหวัดนำร่องผลิตสัตว์น้ำภายใต้รูปแบบที่ไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม (zero waste aquaculture system) เป็นมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เน้นการไม่ทิ้งของเสียที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำออกนอกฟาร์มเลย เช่น น้ำทิ้งหรือเลนก้นบ่อ แต่จะนำของเสียหรือน้ำเสียเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรรูปแบบอื่น ๆ ที่สามารถสร้างมูลค่าได้ หรือนำมาบำบัด เช่น การปลูกพืชหรือการเลี้ยงสัตว์อื่นๆ เช่น การเลี้ยงไรแดง การเลี้ยงอาร์ทีเมีย การเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งหลักการจะคล้ายๆ กับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสาน เพียงแต่ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบนี้เป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่น ดังนั้นในบทความนี้จึงจะกล่าวเน้นระบบการเพาะเลี้ยงแบบผสมผสานที่หนาแน่นที่ไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม (integrated intensive zero-waste aquaculture system) ซึ่งเป็นระบบปิดและต้องมีระบบบำบัดน้ำ เนื่องจากต้องการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดนั้นหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ การเลือกใช้

เทคนิคในการบำบัดควรตระหนักถึงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อและประสิทธิภาพการย่อยสลายของเสียในแต่ละเทคนิค ปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำต้องมีเพียงพอ วัฏจักรไนโตรเจนภายในบ่อต้องสมดุลกัน รวมทั้งค่าใช้จ่าย และต้นทุนการผลิตในแต่ละเทคนิค (Bosma and Verdegem, 2011) การผลิตสัตว์น้ำสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า กระบวนการผลิตสัตว์น้ำต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงน้ำในฟาร์มขนาดใหญ่ สามารถปฏิบัติได้ภายใต้ระบบที่ไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม ยึดหลัก "สร้างสมดุลให้ธรรมชาติสู่ความยั่งยืน"

สารประกอบไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น ได้มาจากแหล่งหลัก 4 แหล่งคือ 1) ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่าย 2) อาหารที่สัตว์น้ำไม่ได้กินและ 3) อาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้ (Reed and Fernandes, 2003) และ 4) ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตาย เช่น แพลงค์ตอน สัตว์น้ำ เป็นต้น อาจจะกล่าวได้ว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณของเสียในบ่อ จากการศึกษาของพุทธ (มปป.) พบว่าอาหารที่ให้กุ้งเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้ง มีปริมาณสูงถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ของเสียที่มาจากอาหารสัตว์น้ำพบได้หลายรูปแบบ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน และอื่นๆ ส่งผลให้วัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์น้ำต้องเป็นวัสดุที่สัตว์น้ำสามารถย่อยได้ง่าย มีกลิ่นดึงดูด อาหารสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดมีโปรตีนค่อนข้างสูง 25-35% ถ้าเหลือตกค้างอยู่ในน้ำเยอะย่อมเป็นแหล่งกำเนิดของของเสียประเภทสารประกอบไนโตรเจนเช่น แอมโมเนียซึ่งที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแย่งใช้ออกซิเจนจากสัตว์น้ำโดยปกติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นที่เป็นระบบเปิด ถึงแม้ว่าจะมีการจัดการที่ดีอย่างไรก็ตามยังคงพบการสะสมของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาเลี้ยง ส่งผลให้แอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนเป็นค่าคุณภาพน้ำที่ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำให้ความสนใจมากเท่ากับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) และมีผลต่อความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผู้เลี้ยงต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำ (ไนโตรเจน) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณภาพและต้นทุนการจัดการที่ไม่สูงมากเกินไป

สารประกอบไนโตรเจนที่พบในบ่อเลี้ยงเพาะสัตว์น้ำจะพบอยู่ในรูปแอมโมเนีย (ammonia, NH_3) แอมโมเนียมอิออน (ammonium ion, NH_4^+) ไนไตรท์ (nitrite, NO_2^-) ไนเตรท(nitrate, NO_3^-) และก๊าซไนโตรเจน (nitrogen gas, N_2) เมื่อเราวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำ แอมโมเนียหมายถึง วัดแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของค่าแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen, TAN) หมายถึงเราวัดค่าแอมโมเนียในน้ำทั้ง 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย (ammonia, NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (ammonium ion, NH_4^+) สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของยูรีน (urine/uric acid) เมื่อลงสู่แหล่งน้ำยูรีนจะแตกตัวให้แอมโมเนีย 2 โมเลกุล ส่วนอาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนสูงที่สัตว์น้ำไม่ได้กิน หรือกินเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้ เมื่อแตกตัวในน้ำจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ และแบคทีเรียที่มีในน้ำจะย่อยโปรตีนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โปรตีนที่ถูกย่อยจะเปลี่ยนไปเป็นเป็นกรดอะมิโนและแอมโมเนีย ดังนั้นถ้าจัดการเรื่องอาหารไม่ดี ย่อมส่งผลให้แบคทีเรียแย่ง

ปริมาณออกซิเจนจากสัตว์น้ำก่อให้เกิดการขาดออกซิเจนได้ เกิดการสะสมของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และสิ้นเปลืองต้นทุนค่าอาหารซึ่งเป็นต้นทุนหลักของการเลี้ยงสัตว์น้ำ (30-50%) (สุภาวดี, 2549)

แอมโมเนียที่พบในน้ำทั้งสองรูปแบบมีพิษต่อสัตว์น้ำ คือ รูปแอมโมเนีย (ammonia, NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (ammonium ion, NH_4^+) แต่แอมโมเนียในรูปที่ไม่มีอิออน (ammonia, NH_3) เป็นรูปที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่า เนื่องจากมีขนาดเล็กสามารถเข้าสู่เซลร่างกายสัตว์ได้ดีและนอกจากนี้ยังเป็นพวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้สามารถละลายได้ดีในไขมัน (Körner *et al.,* 2001; สุภาวดี, 2549) แอมโมเนียที่มีในน้ำสามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้ตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงแอมโมเนียในน้ำส่วนใหญ่จะเปลี่ยนอยู่ในรูปแอมโมเนียที่ไม่มีอิออน (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่เมื่อค่าความเป็นด่างในน้ำลดลงแอมโมเนียในน้ำจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งเป็นพิษน้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีค่าคุณภาพน้ำอื่นๆที่ส่งผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียคือ อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำคือ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าวัดในรูปแอมโมเนีย (NH_3) ระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำคือ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร (Neori *et al.,* 2004; Chen *et al.,* 2006) แต่อย่างไรก็ตามระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับค่าคุณภาพน้ำที่กล่าวมายังขึ้นอยู่กับ ชนิด ขนาดสัตว์น้ำ ปริมาณโลหะหนักและไนเตรท (Colt, 2006; Crab *et al*., 2007)

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดได้ 3 กระบวนการ คือ

1) แอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) เป็นกระบวนการที่เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่มีในน้ำจะย่อยสลายอาหารที่มีในน้ำให้ได้พลังงานในการเจริญเติบโต โดยการย่อยโปรตีนที่มีในอาหาร แบคทีเรียจะปล่อยจะแอมโมเนียออกมา ผลคือมีการสะสมของแอมโมเนีย ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง แอมโมเนียเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ยกเว้นแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนียเป็นอาหาร

2) กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียสกุล *Nitrosomonas* จะออกซิไดซ์แอมโมเนียที่ในน้ำและปล่อยไนไตรท์ออกมา และแบคทีเรียสกุล *Nitrobactor* จะย่อยไนไตรท์ที่ในน้ำ และปล่อยไนเตรทออกมา กระบวนการนี้ทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง แต่มีการใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลงเช่นกัน และได้ไนเตรทเป็นผลผลิต (by product)

3) กระบวนการดิไนตริฟิเคชัน(denitrification) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจะพบที่พื้นก้นบ่อ หรือเลนก้นบ่อระยะ 0-5 เซนติเมตรแรกที่มีการสะสมของตะกอนอาหาร ขี้ปลาและสารอินทรีย์ต่างๆ ส่งผลให้ชั้นดินบริเวณนี้แบคทีเรียใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายจนหมดแล้ว ก่อให้เกิดสภาวะการขาดออกซิเจนจุลินทรีย์สกุล *Pseudomonas* ที่จะเจริญได้ดีจะเปลี่ยนไนเตรท (NO_3^-) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) ไปเป็นไนโตรปรัสไซด์ (N_2O_2) และไนโตรเจนแก๊ส (N_2) ตามลำดับ (สุภาวดี, 2549)

แอมโมเนียที่มีไม่ได้ถูกนำไปใช้ ส่งผลให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในน้ำ

สรุปได้ว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น และไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้แอมโมเนียและปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง รวมทั้งเกิดการสะสมของไนเตรทในน้ำ ไนเตรทเป็นสารที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ถ้าได้รับระยะเวลานานและความเข้มข้นสูงๆ ไนเตรทที่สะสมในน้ำไม่ควรเกิน 10-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดของสัตว์น้ำ และปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำ (สุภาวดี, 2549) กิจกรรมของแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนคือกระบวนการดิไนตริฟิเคชัน กระบวนการนี้จะทำให้ปริมาณไนเตรทลดลงและกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำคืนสู่อากาศ แต่ตลอดกระบวนการจะไม่มีการใช้แอมโมเนีย ส่งผลให้แอมโมเนียสะสมในน้ำเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำในบ่อมีการหมุนเวียนของออกซิเจนไม่ดี ออกซิเจนไม่ถึงพื้นก้นบ่อ ถ้าขาดออกซิเจนต่อเนื่องนานๆ จะเกิดแบคทีเรียกลุ่มอื่นเข้ามาแทนที่ เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ริดิวซ์ซัลเฟต (sulfate reducing bacteria, SRB) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนซัลเฟตที่มีในน้ำเพื่อให้ได้พลังงานและปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า, H_2S) ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณน้อยๆ เพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถฆ่าสัตว์น้ำได้

ในการเลี้ยงปลาด้วยอัตราการแลกเนื้อ 1 ต่อ 1-3 (feed conversion ratio, FCR = 1:1-3) แสดงว่าการเลี้ยงปลาให้เจริญเติบโตมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต้องใช้อาหารปลาสำเร็จรูป 1 จนถึง 3 กิโลกรัม จากข้อมูลจะสรุปได้ว่าถ้าปลากินอาหาร 1 กิโลกรัมและสามารถเปลี่ยนไปเป็นเนื้อปลาหรือปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม หมายถึง อาหารที่ปลากินเข้าไป ตัวปลาสามารถดึงธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ (100%) แสดงถึงวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารเหมาะสมต่อสัตว์น้ำชนิดนั้น จึงสามารถย่อยได้สมบูรณ์ แต่ในความเป็นจริงพบว่าอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไป ไม่สามารถย่อยได้อย่างสมบูรณ์มีเพียงบางส่วนที่ย่อยได้ (Table 1) นอกจากนี้การใช้น้ำหนักปลาซึ่งเป็นน้ำหนักสดมาคิด แต่น้ำหนักอาหารเป็นน้ำหนักแห้งย่อมเห็นได้ว่า ในความเป็นจริงแล้วอาหารปลา 1 กิโลกรัม สามารถเปลี่ยนเป็นเนื้อปลาได้เพียง 0.2 กิโลกรัม (FCR = 1; ความชื้น 80%) แสดงว่า อาหารที่ปลากินเข้าไปปลาสามารถย่อยได้น้อยมากสอดคล้องกับการศึกษาของ Helfman (2013) กล่าวว่า ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตปลานิลจำนวน 3 ตัน จะมีปริมาณเท่ากับของเสียที่ได้จากชุมชนที่มีจำนวนประชากร 50 คน หรือ มีคำกล่าวว่าของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น จะมีปริมาณของเสียเท่ากับชุมชนที่มีประชากร 240 คน (Aziz and Tebbutt, 1980) จากรายงานดังกล่าวจึงอาจจะสรุปได้ว่า ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำมีมากกว่าของเสียจากชุมชน (ประชากร) ถึง 5 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาหารที่ปลากินเข้าไปมีปริมาณน้อยที่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้แต่ส่วนมากจะย่อยไม่ได้ (Crab *et al*., 2007) ลำไส้ของปลามีขนาดสั้นมาก เมื่อเทียบกับสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือมนุษย์ (Table 2) ด้วยเหตุนี้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำต้องเป็นวัตถุดิบที่สามารถย่อยได้ง่าย นอกจากปล่อยของเสียปริมาณมากลงสู่แหล่งน้ำแล้วอุตสาหกรรมสัตว์น้ำยังเป็นสาเหตุของการลดจำนวน

ทรัพยากรปลาที่มีในธรรมชาติ เนื่องจากการขยายตัวของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่งผลให้ธุรกิจอาหารสัตว์น้ำขยายตัว ปริมาณความต้องการปลาป่นเพิ่มขึ้น โดยปริมาณปลาป่น 1 ใน 3 ของปลาป่นทั้งหมดถูกนำไปใช้ผลิตเป็นอาหารสัตว์น้ำ (Delgado *et al*., 2003) และควรตระหนักเช่นกันว่า ถึงแม้ว่าการเพาะเลี้ยงจะเป็นการเพิ่มแหล่งอาหาร แต่ก็ส่งผลทำลายทรัพยากรสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรผลิตสัตว์น้ำ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบอินทรีย์ ตามด้วยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ แต่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิด (ทิ้งน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ) นับว่าเป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

Table 1 Percentage of utilized and unutilized nutrient in feed by different kinds of aquatic animal.

% Utilized feed	% Unutilized feed	Type of animal	References
36.0	64.0	tilapia	Brune *et al*. (2003)
75.0	35.0	trout	Piedrahita (2003)
			Gutierrez-Wing and Malone (2006)
21.8	78.2	shrimp	Puth, no date (in Thai)
16.0	84.0	cobia	Thirawat and Jutharat, no date (in Thai)

Table 2 Ratio of gut length to body length.

Ratio Gut : Body length	Animal	References
2-2.5	carp	Crab *et al*. (2007)
20-30	cattle & sheep	Crab *et al*. (2007)
3-4	human	Crab *et al*. (2007)

เทคนิคการกำจัดไนโตรเจน

เทคนิคการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีหลายรูปแบบ แตกต่างกันไป เช่น การกรอง (filtration) การตกตะกอน (sedimentation) ความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่ใช้ และความยุ่งยากในการจัดการระบบ แต่ในบทความนี้จะไปเน้นระบบการบำบัดแบบกายภาพและชีวภาพ เนื่องจากการใช้ที่สุด กระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สารเคมีส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศน์ จึงนำเสนอเทคนิคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะกล่าวถึง 2 ระบบคือ 1) การบำบัดทางกายภาพ และ 2) การบำบัดทางชีวภาพซึ่งมีเทคนิคย่อยต่างๆ ดังนี้ คือ

- การตกตะกอน (sedimentation) เป็นวิธีการบำบัดแบบกายภาพ โดยนำน้ำเสียมาพักทิ้งไว้ใน

คลองส่งน้ำหรือบ่อพักน้ำในฟาร์มพักทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น 3 - 7 วัน เป็นต้น ของเสียที่มีในน้ำจะตกตะกอนตามระยะเวลาที่พัก (hydraulic retention time) ของเสียก็จะไปสะสมที่พื้นก้นบ่อ กระบวนการบำบัดของวิธีนี้จะเป็นไปตามธรรมชาติ แต่จะมีข้อเสียคือ ต้องใช้ระยะเวลานานต้องการพื้นที่ในการบำบัดมาก ดินที่ก้นบ่ออาจจะเกิดการเน่าได้เนื่องจากตะกอนที่ไปทับถม และเกิดการย่อยของแบคทีเรีย และเกิดการบลูม (bloom) ของสาหร่ายส่งผลให้เกิดการตายและขาดออกซิเจนตามมาได้ ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและสามารถใช้พื้นที่พักน้ำผลิตสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่นเลี้ยงหอย หรือปลากินพืช จำพวกปลาทับทิม ปลายี่สก เพื่อกินแพลงค์ตอนพืชที่บลูมในบ่อบำบัดดังนั้นอาจจะพูดได้ว่าโดยทฤษฎีเป็นการบำบัดทางกายภาพเนื่องจากของเสียที่มีในน้ำที่ตกลงสู่ก้นบ่อตามแรงโน้มถ่วงของโลก แต่ระหว่างที่น้ำพักอยู่ในบ่อเป็นวันๆ ส่งผลให้กลไกการทำงานของจุลินทรีย์เริ่มทำงาน จึงถือว่ามีการบำบัดแบบชีวภาพเข้ามาร่วมด้วย

- การกรองแบบชีวภาพ (biofiltration) การบำบัดวิธีนี้จะอาศัยกระบวนการแบคทีเรีย นำสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปในเซลล์และเปลี่ยนเป็นสารอื่น เช่นแอมโมเนีย เพื่อให้ได้พลังงานในการเจริญเติบโต เน้นหนักที่กลไกของการใช้แบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชันเป็นหลัก โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดไหลหมุนเวียนคืนสู่บ่ออย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ดีต้องไปยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ (attached-growth) เช่น ไบโอบอล หรือ เปลือกหอย หรืออาจจะเจริญเติบโตอย่างอิสระในน้ำโดยไม่ต้องการยึดเกาะก็ได้ ซึ่งเทคนิคที่นิยมใช้ในการบำบัดได้แก่

ก. ระบบโปรยกรอง (trickling filter, TF) เป็นระบบบำบัดที่แยกส่วนบำบัดออกจากส่วนเลี้ยงอย่างชัดเจนหรือแบ่งพื้นที่เลี้ยงเป็นระบบบำบัดเลย ในส่วนที่บำบัดน้ำจะบรรจุวัสดุที่จะให้แบคทีเรียไปเกาะยึด เช่น ไบโอบอล น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงจะสูบขึ้นไปเพื่อพ่นกระจายผ่านวัสดุกรองที่มีแบคทีเรียเกาะอยู่ แบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยสารประกอบไนโตรเจนพวกแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามกระบวนการไนตริฟิเคชัน น้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกเติมเข้าไปในระบบเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง ระหว่างที่น้ำเสียไหลผ่านวัสดุกรองที่มีพื้นที่ผิว (ชั้นแบคทีเรียเกาะอยู่) อย่างช้าๆ ออกซิเจนที่มีในอากาศจะแพร่จากชั้นอากาศลงสู่ผิวน้ำ ทำให้เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำไปในตัว ระบบไนตริฟิเคชันต้องการออกซิเจนในระดับเดียวกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ประมาณตั้งแต่ 3-4 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เป็นกลาง (pH 7-8.5) ในขณะเดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชันจะถูกแพร่คืนสู่อากาศ ผ่านการไหลผ่านวัสดุกรอง เป็นระบบที่นิยมใช้กันมากสุดสำหรับการเลี้ยงปลาตู้ในประเทศไทย วัสดุกรองสามารถใช้วัสดุชนิดต่างๆ ได้มากมาย ในต่างประเทศนิยมใช้วัสดุที่ผลิตขึ้นมาอย่างจำเพาะเช่น ไบโอบอล เซรามิคริง สามารถทราบพื้นที่ผิวต่อตารางเมตรที่แน่นอน แต่ในประเทศไทยนิยมลดต้นทุน โดยใช้วัสดุเหลือใช้ต่างๆ มาดัดเป็นวัสดุให้แบคทีเรียเกาะเน้นที่มีพื้นที่ผิวมากและคงรูป เช่น เปลือกหอยนางรม เศษอวนเก่า เมล็ดพลาสติกเทคนิคนี้สามารถบำบัด

ปริมาณแอมโมเนียจากน้ำทั้งหมด (total ammonia nitrogen, TAN) ได้วันละ 0.24-0.64 กรัม-TAN ต่อตารางเมตร (Kamstra *et al*., 1998; Lyssenko and Wheaton, 2006)

ข. ระบบตัวหมุนชีวภาพ (rotating biological contactor, RBC) โดยทั่วไปส่วนแกนหมุนเป็นรูปทรงกลม หรือเป็นทรงเหลี่ยม 5 เหลี่ยม ที่หมุนรอบแกน ในการติดตั้งควรให้หน้าตัดครึ่งหนึ่งของตัวหมุนจะต้องจุ่มลงในน้ำ วัสดุที่ใช้ทำตัวแกนมักจะทำจากพลาสติกหรือสแตนเลส ส่วนวัสดุที่ให้แบคทีเรียเกาะมักจะทำจากใยสังเคราะห์ อัตราการหมุนของตัวหมุนแบบนี้ค่อนข้างต่ำ ประมาณ 2-5 รอบต่อนาที ให้โอกาสแบคทีเรียที่เกาะที่ตัวหมุนมีเวลาที่จะรับแอมโมเนียเข้าเซลและการที่ตัวหมุนหมุนขึ้นมาสัมผัสอากาศและจมตัวลง ส่งผลให้โมเลกุลน้ำสามารถรับออกซิเจนจากอากาศเข้าไปได้ข้อดีของวิธีการนี้คือ แทบจะไม่พบการอุดตันของระบบชีวภาพเลยเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมมากในการบำบัดน้ำเสียจากเมืองและได้พัฒนามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ นิยมใช้ทั้งในยุโรปและอเมริกา มีชุดสำเร็จรูปขายทั้งระบบกรองและระบบเลี้ยง แต่จะมีราคาสูงมาก ข้อดีของเทคนิคนี้คือ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ใช้ระยะเวลาในการบำบัดสั้น (low hydraulic retention time) มีพื้นที่ผิวของวัสดุให้แบคทีเรียไปยึดเกาะสูงมาก ไม่พบการอุดตันของระบบ ใช้พลังงานต่ำและ การทำงานใช้งานได้ง่าย (Mook *et al*., 2012) เทคนิคนี้สามารถบำบัดปริมาณแอมโมเนียจากน้ำทั้งหมด (total ammonia nitrogen, TAN) ได้วันละ 0.19-0.42 กรัม-TAN ต่อตารางเมตร (Brazil, 2006; Miller and Libey, 1985)

ค. ระบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidize bed bioreactor) การทำงานของระบบจะคล้ายกับระบบโปรยกรองแบบชีวภาพนั้นคือ กระตุ้นให้แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเจริญเติบโต แบคทีเรียจะเติบโตบนผิวของทรายที่บรรจุในระบบกรองที่เป็นถังปิด น้ำเสียจะถูกหมุนเวียนอยู่ในถังที่บรรจุทรายที่มีอัตราการไหลค่อนข้างสูงเพื่อให้การหมุนเวียนของน้ำตลอดเวลากวนให้ทรายไม่ตกตะกอนสู่ก้นถัง เป็นระบบที่เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหาการอุดตันของระบบโปรยกรอง ทรายที่ใช้ในระบบมักเป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นมาจำเพาะมีพื้นที่ผิวสูงมาก 4,000-20,000 ตารางเมตรต่อปริมาตรบรรจุ 1 ลูกบาศก์เมตร (Summerfelt, 2006) ข้อเสียของระบบนี้คือ ต้องติดตั้งระบบการให้อากาศเพิ่ม หมายถึงต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการหมุนเวียนน้ำเสียกับเม็ดทราย เทคนิคนี้สามารถบำบัดปริมาณแอมโมเนียจากน้ำทั้งหมด (total ammonia nitrogen, TAN) ได้วันละ 0.24 กรัม-TAN ต่อตารางเมตร (Miller and Libey, 1985)

ง. ระบบไบโอฟล๊อก (bio – flocs technology) หลักการของวิธีนี้คือ การกระตุ้นให้แบคทีเรียกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิคเจริญเติบโตขึ้นในน้ำภายในบ่อเลี้ยง แบคทีเรียเหล่านี้มีประสิทธิภาพดีมากในการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท แต่จะต้องมีปัจจัยสำคัญ 3 สามประการคือ 1) ปริมาณออกซิเจนที่มีน้ำต้องมีค่ามากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดเวลา 2) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในน้ำมากกว่า 10:4 น้ำเสียที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนมากมีอัตราส่วน 3-5:1 ดังนั้นต้องเติมแหล่งคาร์บอนลงไปเพิ่ม เช่น แป้ง กากน้ำตาล แอลกอฮอล์ เป็นต้น และ 3) กระแสน้ำต้องมีอัตรา

การไหลวนที่มากพอมิให้ฟล๊อกจมตัวลง มิฉะนั้นจะทับถมกันขาดออกซิเจนตายได้

ฟล๊อก คือกลุ่มของแบคทีเรียที่เจริญเกาะกันเป็นก้อน แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียเซลเดี่ยว แต่ผนังเซลด้านหนึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารเหนียวเกาะติดคล้ายกับลักษณะไข่ติดในปลาดุกหรือสวาย เมื่อผนังเซลด้านนี้ไปสัมผัสกับอะไรก็ตามจะเกาะติดทันที เมื่อไปเจอกับอนุภาคเศษอาหาร หรือเซลแบคทีเรียจะเกาะติดเป็นก้อนที่เราเรียกว่า ฟล๊อก (floc)หรือไบโอฟิล์ม (biofilm) ขนาดเล็กใหญ่ขึ้นกับประสิทธิภาพการหมุนเวียนของน้ำ ถ้าแบคทีเรียได้รับออกซิเจนและอาหารเพียงพอ ฟล๊อกจะเกาะชั้นหนาขึ้น แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนซึมเข้าไปไม่ถึง แบคทีเรียด้านในจะตายและลอกออกมาสู่ชั้นน้ำหมุนเวียนไปมา เทคนิคนี้ไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่แต่เป็นเทคนิคที่ใช้มากในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน ในบ่อที่เราเรียกว่า แอคติเวทเตทสลัดจ์ (activated sludge) ตัวสลัดจ์คือฟล๊อก ช่วง 2 ปีที่ผ่านมาฟาร์มกุ้งนิยมใช้เทคนิคนี้กันมากขึ้น โดยเฉพาะการอนุบาลลูกกุ้ง (ชำกุ้ง) จากระยะ P18 ต่อไปอีก 1-1.5 เดือน โดยจะสร้างบ่อไร้ดินโดยการปูด้วยพาสติกพีอี (polyethylene, PE) ขนาดบ่อที่นิยมใช้ 0.5-1 ไร่ เติมออกซิเจนและธาตุอาหาร กระตุ้นให้เกิดฟล๊อกปล่อยกุ้งลงอนุบาลเพื่อกระตุ้นให้กุ้งมีตับที่สมบูรณ์ แข็งแรง ด้านโรคและทนต่อสิ่งแวดล้อม ค่อยย้ายลงสู่บ่อดินที่มีขนาดใหญ่ต่อไป (4-5 ไร่) พบว่าประสพความสำเร็จที่น่าพึงพอใจระดับหนึ่งในการลดความสูญเสียของกุ้งจากโรคอีเอ็มเอส (EMS) เนื่องจากระบบไบโอฟล๊อกมีข้อดีคือ น้ำต้องมีปริมาณออกซิเจนสูง 4 มิลลิกรัมต่อลิตรตลอด 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กุ้งมีออกซิเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตแข็งแรง ไม่เครียด แต่ข้อเสีย ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่ไปหมุนระบบการให้อากาศ และต้องระวังการขาดออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงของพีเอช และ ปริมาณธาตุอาหารต้องเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อัตราการเกิดและอัตราการตายของแบคทีเรียต้องใกล้เคียงกัน จึงจะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียที่เป็นไบโอฟล๊อกจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ไว มีประสิทธิภาพในการใช้แอมโมเนียได้สูงกว่าแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชันถึง 10 เท่า นอกจากนี้ไบโอฟล๊อกจัดเป็นแหล่งอาหารธรรมชาติสำรองให้แก่สัตว์น้ำ จากการศึกษาของ Avnimelech *et al.* (1994) พบว่าปลานิลที่เลี้ยงแบบหนาแน่นในระบบไบโอฟล๊อก สามารถดึงโปรตีนไปใช้ได้ดีกว่าถึง 2 เท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่เลี้ยงในระบบหนาแน่นปกติ หรือการทดลองศึกษาในกุ้งทะเลของ Hari *et al.* (2006) พบว่าการเลี้ยงกุ้งด้วยระบบไบโอฟล๊อก จะลดปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในบ่อ แอมโมเนียรวม (TAN) และไนไตรท์ในน้ำ ส่งผลให้พิษของสารประกอบเหล่านี้ลดลง นอกจากนี้ยังลดปริมาณโปรตีนในอาหารลงเนื่องจากกุ้งได้รับจากฟล๊อก

จ. บึงประดิษฐ์ (wetland) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่สร้างบ่อบำบัดให้มีลักษณะเลียนแบบในธรรมชาติ เป็นการบำบัดโดยวิธีธรรมชาติ จึงมักเรียกว่า บึงประดิษฐ์ จะคล้ายกับการบำบัดแบบกายภาพ (ตกตะกอน) เพียงแต่ในระบบประเภทนี้จะเพิ่มพรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำลงไปปลูกในบ่อบำบัดที่จุดแรกที่น้ำเสียไหลลงมักจะเป็นจุดที่เน้นการตกตะกอนจึงมักใช้พืชน้ำขนาดใหญ่เช่น กก สันตะวา ใบพาย พุทธรักษา ขวางกั้นทางเดินน้ำเพื่อให้อัตรา

การไหลช้าลง การตกตะกอนเกิดได้สมบูรณ์ขึ้น จากนั้นน้ำเสียจะไหลผ่านเข้าสู่บ่อบำบัดเพื่อกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการของแบคทีเรียได้ไนเตรท และพืชน้ำดึงไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโต เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในประเทศไทยในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเทคนิคไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ ปลอดภัยเพราะใช้หลักบำบัดด้วยธรรมชาติ ปัจจุบันได้ปรับมาใช้ในฟาร์มสัตว์น้ำและเป็นวิธีที่กรมประมงส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ในการบำบัดน้ำภายในฟาร์มที่ร่วมโครงการกรีนซิตี้ที่เน้นการเลี้ยงเป็นแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม ปริมาณไนเตรทที่บำบัดด้วยวิธีการนี้สามารถลดลง 82-99% (Lin *et al*., 2002) หรือจากการศึกษาของ Naylor *et al*. (2003) พบว่าปริมาณไนเตรทในน้ำเสียลดลง 44.1-69.7 % แต่วิธีนี้เหมือนการตกตะกอนต้องใช้เวลานานถึง 1-3 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับชนิดสัตว์น้ำ อาหารที่กินและพื้นที่น้ำ ปริมาณพืชน้ำที่บำบัด จากข้อมูลการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและ โรงงานอุตสาหกรรมที่ผ่านมา พืชน้ำที่นิยมใช้มักเป็น ผักตบชวา กก หรือหญ้าต่างๆ เนื่องจากเป็นน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีการปนเปื้อนของสารพิษโลหะหนัก ยาปฏิชีวนะหรือ เชื้อโรค แต่น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำสารพิษมีส่วนน้อย ควรใช้พรรณไม้น้ำหรือผักที่สามารถนำมาจำหน่ายหรือบริโภคได้ และอาจจะใช้การเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นเข้าร่วม เช่น การเลี้ยงหอย เนื่องจากเป็นสัตว์ที่กินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร สามารถนำผลผลิตไปจำหน่ายได้ น่าจะเป็นรูปแบบเกษตรกรที่สนใจสามารถนำไปปฏิบัติได้ดีกว่า

ฉ. อะควาโปนิก (aquaponic) เป็นระบบการเลี้ยงปลาแบบผสมผสาน โดยน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาแล้วนำไปเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของผักเหมือนระบบไฮโดรโปรนิคที่ใส่ปุ๋ยเคมีผสมในน้ำเพื่อให้พืชเจริญเติบโต แต่กรณีนี้พืชจะได้อาหารจากน้ำเสีย โดยแบคทีเรียในน้ำเปลี่ยนของเสียของปลาเป็นไนเตรท พืชก็นำไปใช้ น้ำที่ผ่านระบบปลูกพืชมีคุณสมบัติดีขึ้นเหมาะต่อการเจริญเติบโต ของปลาจะไหลลงระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนตลอดเวลา ไม่สูญเสียน้ำไปในกระบวนไหลซึมลงดิน เป็นระบบที่สามารถประหยัดน้ำ(80-90 %) และบำบัดน้ำได้ดี สามารถผลิตผักที่ไม่ต้องใช้สารเคมีหรือยาฆ่าแมลง ประหยัดพื้นที่ ดูแลรักษาง่าย สามารถนำมาใช้บริโภคในครัวเรือนหรือจำหน่ายในรูปแบบของผักปลอดสารได้ แต่ระบบนี้ยังไม่ได้รับความนิยมมากในประเทศไทย เนื่องจากยังไม่สามารถผลิตผักที่เจริญเติบโตดีเหมือนกับระบบไฮโดรโปรนิก เนื่องจากขาดธาตุอาหารรองบางตัวส่งผลให้การดึงธาตุอาหารหลักไปใช้ลดลง และผักจะเจริญเติบโตดีในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เป็นกรดอ่อนซึ่งอาจจะส่งผลต่อสัตว์น้ำ แต่ระบบนี้ได้รับความนิยมมากในอเมริกา

ฟาร์มมีนเกษตร: ฟาร์มสัตว์น้ำแห่งแรกของไทยผลิตด้วยระบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม

โครงการฟาร์ม ทดสอบสาธิตมีนเกษตร "สองน้ำ" ตั้งที่ ตำบลท่าไข่ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นหนึ่งในโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระราชทานที่ดิน 25 ไร่ 1 งาน 65 ตารางวา อันเป็นพื้นที่สองน้ำคือ ในช่วงฤดูฝนถึงกลางฤดูหนาวจะเป็นพื้นที่น้ำจืด และกร่อย จากนั้น ในฤดูแล้งก็จะเป็นน้ำกร่อยและเค็ม ให้กับมูลนิธิชัยพัฒนาเพื่อทำฟาร์มทดสอบและสาธิตเกษตร

ผสมผสาน มูลนิธิชัยพัฒนาจึงมอบหมายให้ กรมประมง จัดทำฟาร์มทดลองเพื่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและปลูกพืชที่สามารถอาศัยอยู่ได้ตามธรรมชาติ โดยไม่ต้องพึ่งพา ยา สารเคมี จุลินทรีย์ เป็นการเสริมกระบวนการผลิตสินค้าปลอดภัยที่มีคุณภาพสูง ตั้งแต่ปี 2545 จนถึงปัจจุบัน (ไทยรัฐ, 2550) บุคคลของกรมประมงท่านที่เป็นกำลังหลักในดูแลบริหารจัดการโครงการนี้ คือ คุณอนันต์ ตันสุตะพานิช ซึ่งปัจจุบันเป็นข้าราชการบำนาญ แต่ท่านยังช่วยทำงานในโครงการพระราชดำริ

รูปแบบของฟาร์มประกอบด้วยเขตร่องสวนบ่อน้ำจืดและบ่อน้ำเค็ม ที่สามารถกักเก็บน้ำเพื่อเลี้ยงสัตว์น้ำ คือกุ้งขาว กุ้งกุลาดำและปลานิล แหล่งน้ำที่สร้างขึ้นมาก็ปลูกพรรณไม้น้ำต่างๆ รวมถึงสาหร่าย บำบัดน้ำให้สู่ความสมดุลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และเลี้ยงสัตว์น้ำไว้หลายชนิด เช่น พ่อแม่พันธุ์ปลาทู ปลากระบอกเทา อาร์ทีเมีย เป็นต้น ซึ่งสัตว์เหล่านี้จะกินแพลงค์ตอนหรือสาหร่ายที่เป็นอาหาร ส่วนสัตว์น้ำที่ตายในฟาร์มจะนำไปหมักและเอาน้ำหมักดังกล่าวไปเลี้ยงอาร์ทีเมีย ฟาร์มได้ทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่ที่ไม่สามารถเลี้ยงกุ้งได้ โดยไม่ได้สารเคมี พบว่าสามารถเลี้ยงกุ้งได้จนจับจำหน่ายและได้กำไร แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงกุ้งหนาแน่นแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์มสามารถทำได้ในเชิงพาณิชย์ บนคันระหว่างร่องสวนได้ปลูกพืชพวกกินได้ ไม้ยืนต้น ทนเค็มไม่ผลัดใบ เช่น มะพร้าว ทุเรียนเทศ ละมุดสีดา มะม่วงหาว มะนาวโห่ สาเก ผักหวานบ้าน อินทผาลัม โกงกาง ฯลฯ และปลูกผักเบี้ยคลุมดิน เพื่อรักษาผิวหน้าดินป้องกันการพังทลายโดยเฉพาะ ยังป้องกันไม่ให้แสงแดดกระทบกับหน้าดินเดิมโดยตรงซึ่งจะทำให้เกลือดูดความร้อนสะสมเป็นการลดปัญหาโลกร้อนด้วย

ระบบการบำบัดน้ำรีไซเคิลในฟาร์มสาธิตแห่งนี้ทำให้เกิดผลพลอยได้ในห่วงโซ่อาหารตามธรรมชาติเป็นการเสริมรายได้ เนื่องจากสัตว์น้ำแต่ละชนิดตามช่วงวัยต่างๆ จะกินอาหารในธรรมชาติ ที่แตกต่างกัน หากอยู่ในช่วงที่สัตว์น้ำที่เลี้ยงกินปริมาณจะลดน้อยลง หากสัตว์น้ำที่เลี่ยง ไม่กินหรือพ้นวัยที่จะกินแล้วปริมาณก็มักจะมาเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกินสมดุล อาหารธรรมชาติส่วนเกินก็สามารถเก็บเกี่ยวเป็นผลผลิตที่พลอยได้ และเป็นรายได้เสริมอย่างต่อเนื่องและ ฟาร์มแห่งนี้จะเป็นแบบอย่างให้ดำเนินการเกษตรผสมผสานที่ลงตัว สามารถผลิตได้จริงในรูปแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม (ไทยรัฐ, 2550) และใช้เทคนิคอย่างง่าย ต้นทุนต่ำสอดคล้องกับประเทศไทย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตที่ใช้เทคนิคต่างๆ เช่น ระบบโปรยกรอง หรือ ระบบจานหมุนชีวภาพ แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าเมื่อเทียบต่อพื้นที่ดังนั้นเราควรขยายพื้นที่บำบัดให้มากขึ้นและเพิ่มความหลายของสิ่งมีชีวิตในการบำบัด

สรุป

การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นในระบบที่ไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์มมีได้หลายเทคนิค ซึ่งทุกเทคนิคเป็นระบบปิด ส่วนมากอาศัยการทำงานของแบคทีเรียภายใต้กระบวนการไนตริฟิเคชันและดิไนตริฟิเคชันในการบำบัดอาจจะใช้เพียงเทคนิคเดียวหรือหลายเทคนิคร่วมกันผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำย่อมต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนแต่ละระบบ การดูแลรักษา

ผลตอบแทนที่ได้คืนมา ในรูปน้ำหนักของสัตว์น้ำ ลดต้นทุนสารเคมีที่ใช้ สุขภาพของตัวเกษตรกรเอง ในประเทศไทยปลาตู้สวยงาม และโรงเพาะฟัก ควรใช้ระบบโปรยกรองเหมาะสมเนื่องจากต้องการพื้นที่บำบัดเล็กการจัดการง่าย ต้นทุนไม่สูงมากเกินไป ฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำควรใช้ลักษณะระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพรรณไม้น้ำที่กินได้ เช่น ผักบุ้ง หน่อไม้น้ำ สาหร่าย เป็นต้น เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ ไม่ต้องเปลืองค่าพลังงานมาก สามารถจัดการได้ง่าย ในการเลี้ยงกุ้งระบบบึงประดิษฐ์อาจจะไม่เพียงพอ เนื่องจากน้ำเสียมีสารอินทรีย์มากกว่าน้ำจืด ย่อมต้องการพื้นที่บำบัดน้ำมากกว่าหรือระยะเวลาการบำบัดนานกว่า ดังนั้นอาจจะใช้ร่วมกับระบบโปรยกรอง หรือเติมอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดียิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าระบบไบโอฟล๊อกเป็นระบบที่มีประสิทธิในการบำบัดสูงและประหยัดค่าอาหารของสัตว์น้ำ แต่การใช้ระบบไบโอฟล๊อก ในบ่อที่มีขนาด 5 ไร่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศลงไปสูง และเทคนิคการป้องกันโรคอีเอ็มเอส ยังไม่ประสพความสำเร็จร้อยเปอร์เซ็นต์ จึงไม่ควรลงทุนสูงในระบบบำบัด แต่ใช้ระบบนี้ในการชำลูกกุ้งระยะสั้นๆ ในบ่อขนาดเล็ก นับว่าสามารถจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกษตรกรจึงยอมรับและใช้เทคนิคนี้อย่างแพร่หลาย การตัดสินใจใช้ระบบในการบำบัดต้องคำนึงถึงต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้รับกลับมาคู่กับการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2556. หนังสือสถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2554. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง เอกสารฉบับที่ 11/2556 ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง.

ธีรวัฒน์ จริตงาม และจุฑารัตน์ กิตติวานิช. มปป. ดุลไนโตรเจนฟอสฟอรัส การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและตะกอนดินบริเวณพื้นที่เลี้ยงปลาช่อนทะเล.ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งภูเก็ต สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, กรมประมง.

ไทยรัฐ. 2550. มีนเกษตรสองน้ำ. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ ฉบับวันที่ 26 พ.ย. 2550.

พุทธ ส่องแสงจินดา. มปป. การจัดการสารประกอบไนโตรเจนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมการเพาะเลี้ยงและสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทยม กรมประมง.

สุภาวดี โกยดุลย์. 2549. เอกสารประกอบการสอน คุณภาพน้ำทางการประมง ภาคทฤษฎี. สาขาวิชาประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

Avnimelech, Y., M. Kochva. And S. Diab. 1994. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. *Israel J. Aquaculture Bamidgeh* 46: 119-131.

Aziz, J. A. and T. H. Y. Tebbutt. 1980. Significance of COD, BOD and TOC correlations in kinetic models of biologica loxidation. *Water Res.* 14: 319-324.

Bosma, R. H. and C. J. Verdegem. 2011. Sustainable aquaculture in ponds: principles, practices and limits. *Livest Sci.* 139: 58–68.

Brazil, B. L. 2006. Performance and operation of a rotating biological contactor in a tilapia recirculating aquaculture system. *Aquacult. Eng.* 34: 261-274.

Brune, D. E., G. Schwartz, A. G. Eversole, J. A. Collier and T. E. Schwedler. 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacult. Eng*. 28: 65-86.

Chen, S., J. Ling and J. P. Blancheton. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacult. Eng*. 34: 179-197

Colt, John. 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacult. Eng. 34*: 143-156.

Crab, R., Y. Avnimelech, T. Defoirdt, P. Bossier and W. Verstraete. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*. 270: 1-14.

Delgado, C. L., N. Wanda, M. W. Rosegrant, S. Meijer and A. Mahfuzuddin. 2003. Outlook for fish to 2020. International Food Policy Research Institute, Washington, USA.

FAO. 2012. Yearbook Aquaculture production Statistics. (online). Available: hftp://ftp.fao.orgFI/STAT/summary/default.htm (28 April 2014).

Gutierrez - Wing, M. T. and R. F. Malone. 2006. Biological filters in aquaculture: trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacult. Eng.* 34: 163-171.

Hari, B., B. M. Kurup, J.T. Varghese, J. W. Schrama and M. C. J Verdegem. 2006. The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*. 252: 248-263.

Helfman, G. S. 2013. Biodiversity of fishes: encyclopedia of biodiversity 2nd ed. 456-476.

Kamstra, A., J. W. van der Heul and M. Nijhof. 1998. Performance and optimization of trickling filters on eel farms. *Aquacult. Eng*. 17: 175-192.

Körner, S., S. K. Das, S. Veenstra and J. E. Vermaat. 2001. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemnagibba*. *Aquatic Botany*. 71: 71-78.

Lin, Ying-Feng, S. R. Jing, D. Y. Lee and T. W. Wang. 2002. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture*. 209: 169-184.

Lyssenko, C. and F. Wheaton. 2006. Impact of rapid impulse operating disturbances on ammonia removal by trickling and submerged-upflow biofilters for intensive recirculating aquaculture. *Aquacult. Eng*. 35: 38-50.

Miller, G. E. and G. S. Libey. 1985. Evaluation of three biological filters suitable for aquaculture applications. *Journal of the World Mariculture Society*. 16: 158-168.

Mook, W. T., M. H. Chakrabarti, M. K. Aroua, G. M. A. Khan, B. S. Ali, M.S. Islam and M. A. Abu Hassan. 2012. Removal of ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: a review. *Desalination*. 285: 1-13.

Naylor, S., J. Brisson, M. A. Labelle, A. Drizo and Y. Comeau. 2003. Treatment of freshwater fish farm effluent using constructed wetlands: the role of plants and substrate. *Water Science & Technology*. 48: 215–222.

Neori, A., T. Chopin, M. Troell, A. H. Buschmann, G. P. Kraemer, C. Halling, M. Shpigel and C. Yarish. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture.* 231: 361-391.

Piedrahita, R. H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226: 35-44.

Reed, P. and T. Fernandes. 2003. Management of environmental impacts of marine aquaculture in europe. *Aquaculture*. 226: 35-44

Summerfelt, S. T. 2006. Design and management of conventional fluidized - sand biofilters. *Aquacult. Eng.* 34: 275-302.