

การประยุกต์ใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และเทคนิคการเพาะเลี้ยง : บทความปริทัศน์*

Applied of seaweed *Gracilaria* to improve water quality and farming techniques: Review

นิสรารณ์ เพ็ชรสุทธิ์ (Nidsaraporn Petsut)**

สิทธิ กุลลาบทอง (Sittithi Kulabthong)***

บทคัดย่อ

สาหร่ายพมนางสกุล *Gracilaria* เป็นสาหร่ายทะเลสีแดงที่มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในพื้นที่ชายฝั่งทะเลเขตร้อน และเขตหนาว สาหร่ายสกุลนี้มีความสำคัญในทางเศรษฐกิจ ทั้งด้านการเกษตร การอาหาร การแพทย์ ไบโอเทคโนโลยี และสามารถนำไปสกัดวัน เพื่อนำใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยสามารถลดปริมาณแร่ธาตุและอินทรีย์สารต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ทั้งในแหล่งน้ำเปิด (open water farming) การเพาะเลี้ยงในบ่อ (pond farming) และสามารถเพาะเลี้ยงได้ในถัง (tank farming) ซึ่งปริมาณผลผลิตของสาหร่ายที่ได้ขึ้นกับเทคนิคในการเพาะเลี้ยง คุณภาพน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญเติบโตอยู่

คำสำคัญ : สาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* การปรับปรุงคุณภาพน้ำ และการเพาะเลี้ยง

* การศึกษาครั้งนี้ เป็นการจัดทำฐานข้อมูลการประยุกต์ใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และเทคนิคการเพาะเลี้ยง เพื่อประโยชน์ด้านการจัดการทรัพยากรน้ำ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240;
Tel. and Fax. (66)-2310-8382, e-mail: nidsaraporn@ru.ac.th

*** คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี กิ่งอำเภอ เขาคิชฌกูฏ
จ.จันทบุรี 22210 Tel.(66)-2720-8335 E-mail kulabthong2011@hotmail.com

Abstract

The red seaweed, *Gracilaria* is widely distributed in coastal area of temperate and tropical zone. This genus is economy impact, agronomy, nutrition, medical, biotechnology and due to being material for agar extraction and using in various industries. Additional, it can also be used to improve water quality by reduce the amount of mineral organic substances and heavy metals in the water. It also increases the amount of oxygen dissolved in the water as well. For seaweed, *Gracilaria* can be cultured in open water (open water farming), ponds (pond farming) and tank (tank farming). The productivity of seaweed was different based on the techniques of cultivation, water quality and environmental factors.

Keywords : The seaweed, *Gracilaria*, water quality and aquaculture

1.บทนำ

การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นกระบวนการบำบัด หรือลดปริมาณการสะสมของสารพิษต่างๆในระบบนิเวศ โดยใช้สิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น จุลินทรีย์ พืช และสัตว์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ปลอดภัย และใช้ต้นทุนค่อนข้างต่ำ อาจกล่าวได้ว่าการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่กระตุ้นการสลายตัวของสารพิษ หรือเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ช่วยให้เกิดการฟื้นฟูระบบนิเวศ ในต่างประเทศการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นที่นิยมแพร่หลายมานานแล้ว โดยแนวคิดแรกเริ่มเกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีทางชีวภาพด้านการกำจัดสารพิษจำพวกน้ำมันที่รั่วไหลในสิ่งแวดล้อมทางทะเลโดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลาย และลดปริมาณการสะสมของสารพิษในระบบนิเวศลง ต่อมาได้มีการประยุกต์มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักโดยเฉพาะการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การใช้สัตว์ในกลุ่มหอยสองฝา และฟองน้ำ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับ และสะสมโลหะเข้ามาไว้ในตัวเองในระดับสูง และเริ่มพัฒนามาสู่การบำบัดน้ำทิ้งทางการเกษตร และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (สาวิกา และคณะ, 2557; สาวิกา และสิทธิ, 2556)

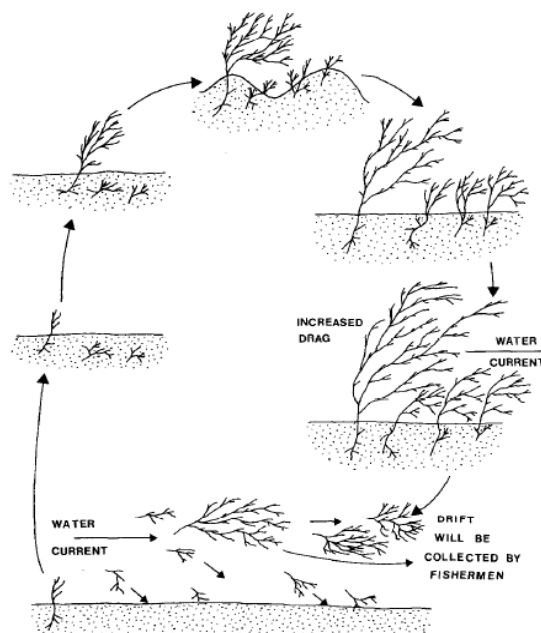
แต่ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีการศึกษาอยู่ในวงจำกัด จากการรวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องพบว่า การบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพส่วนใหญ่เน้นไปที่การบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นหลัก และทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ แต่การศึกษายังมีอยู่ค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะในประเทศไทยยังมีการให้ความสำคัญกับการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพค่อนข้างน้อย

ดังนั้นการรวบรวมและเรียบเรียงเอกสารทางวิชาการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพโดยการประยุกต์ใช้สาหร่ายในสกุล *Gracilaria* ในครั้งนี้ จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

2. ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* เป็นสาหร่ายทะเลที่มีรงควัตถุสีแดง ส่วนของลำต้น (thallus) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร และมีความยาวของลำต้นยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ลักษณะคล้ายกิ่งก้านของพุ่มไม้ ขึ้นส่วนต่างๆ ของสาหร่ายเปราะแตกหักง่าย ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านั้นส่วนใหญ่สามารถงอกเป็นต้นใหม่ได้ (Mayer, 1981; Doty and Santos, 1983) แต่สาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถสืบพันธุ์ได้ด้วยสปอร์เช่นกัน โดยสปอร์ของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* จะไปเกาะติดกับวัสดุใต้น้ำ เช่น หิน หรือซากปะการังที่ตายแล้วเพื่อเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ (Santelices and Doty, 1989) (ภาพที่ 1)

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* เป็นสาหร่ายทะเลที่มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง สามารถพบได้บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทั่วโลกทั้งเขตร้อน กึ่งร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว ยกเว้นเขตแอนตาร์กติก ซึ่งยังไม่มีรายงานการพบสาหร่ายสกุล *Gracilaria* อยู่เลย (Kim, 1970) มีความหลากหลายทางพันธุกรรม และสามารถปรับตัวเข้ากับลักษณะแหล่งอาศัยได้หลากหลายรูปแบบ หลายระบบนิเวศน์ (Santelices and Doty, 1989) ในปัจจุบันทั่วโลกพบสาหร่าย สกุล *Gracilaria* มีมากกว่า 100 ชนิด ส่วนในประเทศไทย มีสาหร่ายที่จำแนกชนิดได้แล้ว 19 ชนิด (ระพีพร, 2552) สาหร่ายในสกุล *Gracilaria* มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากสามารถนำไปสกัดวุ้น (Agar) นอกจากนี้ยังสามารถนำสาหร่ายผมนางไปสกัดสารอื่นๆ ที่มีฤทธิ์ในการต้านทานจุลินทรีย์ (Beth et al., 2013; Mazumder et al., 2002) และยังใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์อีกด้วย (Valente et al., 2006)



ภาพที่ 1 ส่วนของลำต้น (thallus) ของสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* สามารถงอกเป็นต้นใหม่ได้
ที่มา: Santelices and Doty (1989)

3. แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

โดยปกติสาหร่ายในสกุล *Gracilaria* มักจะพบมากในพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง (Intertidal) พื้นที่น้ำตื้นบริเวณชายฝั่ง (Shallow subtidal) ส่วนใหญ่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำกร่อยที่มีความเค็มไม่สูงมากนัก และพื้นที่ชายฝั่งที่มีคลื่นลมไม่แรง เช่น บริเวณแนวกันคลื่น เนื่องจากลำต้นของสาหร่ายในสกุล *Gracilaria* จะเปราะบางแตกหักง่ายจึงไม่สามารถเจริญเติบโตในบริเวณที่มีคลื่นลมแรงได้ สาหร่ายมักจะเจริญเติบโตบนพื้นที่เป็นดินโคลนเลนเนื้อละเอียด และดินโคลนปนทราย หรือบริเวณโคลนเลนปากแม่น้ำ ที่ค่อนข้างลาด หรือราบ แต่นอกจากพื้นที่ดังกล่าวแล้ว ยังสามารถพบสาหร่ายได้ในบริเวณที่มีความเค็มสูงเช่น บริเวณรอบนอกของเกาะต่างๆ หรืออาจพบตามแหล่งน้ำปิด หรือบ่อน้ำเค็มได้อีกด้วย (Kim, 1970; Schiel and Nelson, 1990) สำหรับประเทศที่มีผลผลิตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในแหล่งน้ำธรรมชาติมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ได้แก่ ชิลี นิวซีแลนด์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ จีน และประเทศไทย (Santelices and Doty, 1989)

4. ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

1. ปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ

โดยปกติแล้วสาหร่ายสกุล *Gracilaria* จะมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยร้อยละ 10-12 ของน้ำหนักสด ซึ่งน้ำหนักแห้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณเถ้า (Ash) ที่ไม่เท่ากัน และปริมาณเถ้านี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสะสมสารอินทรีย์เข้าไปในส่วนลำต้นของสาหร่าย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการสะสมสารอินทรีย์ของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถเป็นดัชนีชี้วัดอัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตในภาพรวมได้ (Mclachlan and Bird, 1986)

การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria* ในแหล่งน้ำต่างๆ มักจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ต่างๆ โดยเฉพาะแร่ธาตุสารอาหาร โดยเฉพาะแร่ธาตุในกลุ่มไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งสาหร่ายสกุล *Gracilaria* มีความสามารถในการสะสมสารอาหารต่างๆ จากแหล่งน้ำเข้ามาสะสมในเนื้อเยื่อของลำต้นได้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน หากพบว่าแหล่งน้ำมีปริมาณของสารอาหารกลุ่มไนโตรเจนละลายอยู่ในปริมาณมาก สาหร่าย *Gracilaria* ก็จะสามารถดูดซับสารไนโตรเจนเหล่านั้นเข้ามาสะสมในเนื้อเยื่อได้ในปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะช่วงเวลากลางคืน (Mclachlan and Bird, 1986) คาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของเนื้อเยื่อสาหร่ายทุกชนิด เพราะสาหร่ายต้องใช้แร่ธาตุเหล่านี้ในการสังเคราะห์โปรตีน และโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย มีค่าเท่ากับ 20 โดยสาหร่ายอาจมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงกว่าปกติในกรณีที่แหล่งน้ำมีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 10 อีกทั้งการมีปริมาณคาร์บอนในแหล่งน้ำน้อยเกินไปก็อาจกระทบต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยเช่นกัน (Atkinson and Smith, 1983)

2. อุณหภูมิ

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งเขตร้อน และเขตอบอุ่น อุณหภูมิที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีคือมากกว่า 20 - 28 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดสี และไฟโคบิลิ

โปรตีน (Phycobiliprotein) รวมถึงการสร้างเซลล์สีของสาหร่ายด้วย แต่จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าสาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิของแหล่งน้ำสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* จะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของสาหร่าย และกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (Santelices and Doty, 1989)

3. ความเข้มแสง

ความเข้มแสงมีความสำคัญมากต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทุกชนิด ซึ่งการสังเคราะห์แสงจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการสร้างเซลล์สีของสาหร่าย สำหรับสาหร่ายสกุลนี้จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นโดยส่วนใหญ่สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ที่เติบโตในแหล่งน้ำใส เช่น บริเวณเกาะหรือบริเวณหาดหิน จะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าสาหร่ายที่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำที่มีลักษณะขุ่น เช่น บริเวณปากแม่น้ำ หรืออ่าว และสาหร่ายที่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำตื้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าสาหร่ายที่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำลึกเนื่องจากปริมาณแสงที่ส่องลงไปถึงจะน้อยกว่าแหล่งน้ำตื้น และการควบคุมปริมาณสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในแหล่งน้ำต่างๆ สามารถทำได้โดยการลดปริมาณแสงที่ส่องมาถึงสาหร่าย เช่น การเพิ่มความขุ่นของแหล่งน้ำ หรือการใช้วัสดุบังแสงต่างๆ เป็นต้น (Moseley et al., 1896)

4. ความเค็ม

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* เป็นสาหร่ายที่สามารถปรับตัวได้ดีในช่วงความเค็มกว้าง ในธรรมชาติจึงมักพบสาหร่ายสกุลนี้ในแหล่งน้ำกร่อย หรือบริเวณที่น้ำทะเลและน้ำจืดไหลมาบรรจบกัน (ระพีพร, 2552)

5. หลักการของการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ

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

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

6. แนวคิดในการประยุกต์ใช้พืชในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ

การใช้พืชในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ (Phytoremediation) ซึ่งการใช้พืชนั้นสามารถบำบัดได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่อยู่ในตัวกลางดิน น้ำ หรืออากาศ ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบของการบำบัดทางชีวภาพได้เป็น 4 รูปแบบใหญ่ๆ (Gifford et al., 2006) ได้แก่

1. Phytoextraction คือการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช หรือการนำเอาพืชที่มีความสามารถในการสะสมสารมลพิษเข้ามาอยู่ในตัวพืชนั้นๆ ที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วออกนอกระบบ เพื่อเป็นการฟื้นฟูระบบนิเวศโดยการนำเอาสารมลพิษออกนอกระบบ
2. Phytotransformation คือการใช้พืชเพื่อย่อยสลายสารมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์ให้เป็นสารที่มีความเป็นพิษต่ำลง
3. Phytostabilization คือการใช้พืชจำกัดหรือลดการเคลื่อนย้ายของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน และนำไปยังพื้นที่อื่นๆ
4. Phytohyperaccumulation คือเป็นการใช้พืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักในระดับสูง ดูดซับ และเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินหรือน้ำโดยรากพืช และเคลื่อนย้ายไปสะสมยังส่วนของต้นและใบ

7. คุณสมบัติของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการบำบัดคุณภาพน้ำ

ศิริเพ็ญ (ม.ป.ป.) และยนต์ (2556) ได้รวบรวมคุณสมบัติของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการบำบัดคุณภาพน้ำ โดยแบ่งออกเป็น 5 ด้านใหญ่ คือ

1. มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยเฉพาะในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของมลพิษสูง
2. มีอัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) สูง โดยเฉพาะในอุณหภูมิ และความเค็ม ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการมีชีวิตของสาหร่าย
3. มีผลผลิตของมวลชีวภาพ (Biomass) สูง
4. สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ง่าย และมวลชีวภาพนั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
5. มีความสามารถในการควบคุม กำจัด หรือลดความเป็นพิษของสารมลพิษในระบบลง

8. การประยุกต์ใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

1. การลดปริมาณแร่ธาตุและอินทรีย์สารในแหล่งน้ำ

การศึกษาการประยุกต์ใช้สาหร่ายในการบำบัดฟื้นฟูทางชีวภาพ โดยเฉพาะการกำจัดแร่ธาตุอาหารและอินทรีย์สารในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง Troell et al. (1997) ได้ศึกษาการเลี้ยงปลาแซลมอนร่วมกับสาหร่ายสกุล *Gracilaria* พบว่า *Gracilaria* สามารถช่วยลดของเสียของปลาในรูปของธาตุไนโตรเจนได้มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ร่วมกับสัตว์กลุ่มกุ้งและหอย ก็พบว่าสามารถลดแร่ธาตุอาหารต่างๆ ซึ่งส่งผลเสียต่อระบบการเลี้ยงลงได้ ซึ่งเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยง (Qian et al., 1996) ส่วนในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง การเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในกระชังในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พบว่าสาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถช่วยลดระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียลงได้ร้อยละ 68 สามารถลดระดับความเข้มข้นของไนไตรท์ได้ร้อยละ 13

สามารถลดระดับความเข้มข้นของไนเตรทได้ร้อยละ 23 และสามารถลดระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตลงได้ร้อยละ 65 (Yang, 2011)

2. การลดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ

การประยุกต์ใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ซึ่งเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักในระดับสูง (Hyperaccumulator) มาใช้ในการดูดซับ และเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากแหล่งน้ำ และเคลื่อนย้ายไปสะสมยังส่วนต่างๆของลำต้น (Thallus) หลังจากนั้นก็เก็บเกี่ยวสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ออกจากแหล่งน้ำเพื่อเป็นการลดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ (Gifford et al., 2006; Oloquin et al., 2009) ในธรรมชาติมีกลุ่มของสาหร่ายทะเลหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก (Hyperaccumulator) ได้แก่ สาหร่ายทะเลสกุล *Ulva* และ *Caulerpa* เป็นต้น (Msuya and Neori, 2002) ซึ่งคุณสมบัติการเป็น Hyperaccumulator นี้หมายถึง กลุ่มพืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ในปริมาณที่มาก หรือสะสมได้สูงกว่ากลุ่มพืชทั่วไป ถึง 10–500 เท่า โดยสามารถดูดซับโลหะหนักในกลุ่ม Cd, Cr, Co และ Pb ได้มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถดูดซับโลหะหนักในกลุ่ม Ni, Cu, Se, As และ Al ได้มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสามารถดูดซับโลหะหนักในกลุ่ม Zn และ Mn ได้มากกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Gifford et al., 2006)

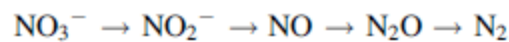
3. การลดความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ

เริ่มแรกแนวคิดนี้พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้กับพืชชั้นสูง และภายหลังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกลุ่มสาหร่ายทะเล โดยพบว่าสาหร่ายทะเลหลายชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ที่สามารถลดความเป็นพิษของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ โดยเฉพาะสาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถผลิตเอนไซม์ Oxidation enzymes cytochrom โดยกระบวนการลดความเป็นพิษจะเริ่มจากการที่สาหร่ายดูดซับสารพิษต่างๆ โดยเฉพาะสารประกอบวงแหวนคาร์บอนในแหล่งน้ำเข้ามาในเนื้อเยื่อ จากนั้นภายในเซลล์สาหร่ายจะผลิตเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการลดความเป็นพิษของสิ่งแปลกปลอมนั้น เช่น Glutathione-S transferases, O-glucosyltransferases หรือ N-glucosyltransferases เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้ส่วนใหญ่จะพบมากในเฉพาะสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (macro algae) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อของสาหร่าย โดยวิธีการนำไปประยุกต์ใช้ในการลดมลพิษของแหล่งน้ำต่างๆ สามารถประยุกต์ทั้งนำสาหร่าย *Gracilaria* ไปเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำที่มีมลพิษ หรือสามารถเพิ่มศักยภาพในการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria* ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำเดิม เช่น การเพิ่มแร่ธาตุอาหารเข้าไปในระบบ เป็นต้น (Cruz-Urbe, 2007)

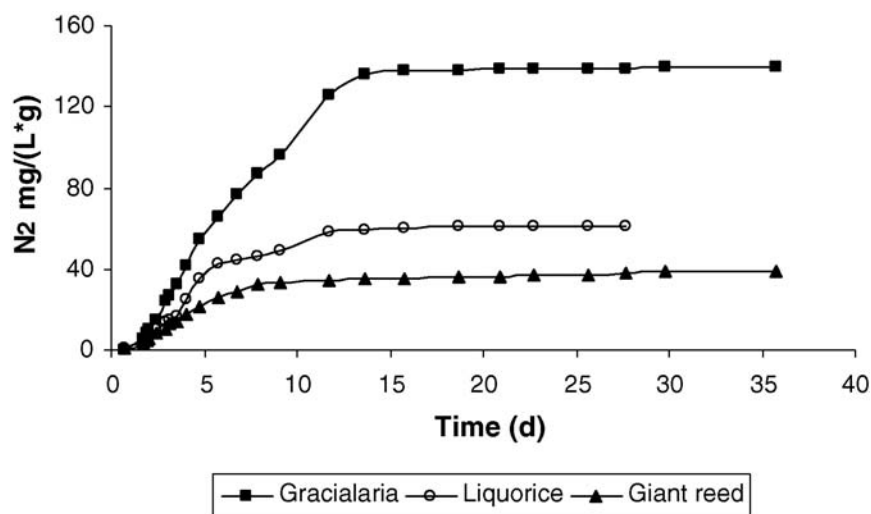
4. แหล่งคาร์บอนในระบบ biological denitrification

องค์การอนามัยโลกกำหนดให้ปริมาณไนเตรทในน้ำดื่มต่างๆ มีค่าได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปกติแล้วปริมาณน้ำดื่มจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำดื่มจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบางประเภทจะมีปริมาณไนเตรทตกค้างในน้ำดื่มปริมาณมาก ซึ่งปัญหาดังกล่าวนำไปสู่การพัฒนากระบวนการบำบัด biological denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดที่มีแนวคิดในการเปลี่ยนไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำดื่มปริมาณมากให้แปรสภาพไปเป็นก๊าซ

ไนโตรเจนกลับขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโดยใช้แบคทีเรียทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนกระบวนการ (Ovez, 2006) ดังสมการ



โดยกระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แหล่งคาร์บอนมาเป็นตัวออกซิไดซ์ Electron donor ซึ่งได้มีการศึกษาประยุกต์ใช้แหล่งคาร์บอนหลากหลายรูปแบบ เช่น เอทานอล กรดอะซิติก สาลี กระดาษหนังสือพิมพ์ กากน้ำตาล เป็นต้น แต่สำหรับการประยุกต์ใช้การกำจัดไนเตรตสำหรับแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจำเป็นต้องใช้แหล่งคาร์บอนที่มีความสะอาดปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจากการทดสอบสาหร่ายทะเลหลายชนิดพบว่าสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* มีประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งคาร์บอนในระบบบำบัด biological denitrification หากพิจารณาจากภาพที่ 2 จะพบว่า แหล่งคาร์บอนจากสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* สามารถเปลี่ยนไนเตรตที่ตกค้างในน้ำทิ้งไปเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ในปริมาณมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการนำสาหร่าย *Gracilaria* มาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนจะนำมาใช้ในรูปของสารสกัดที่เป็นของเหลว



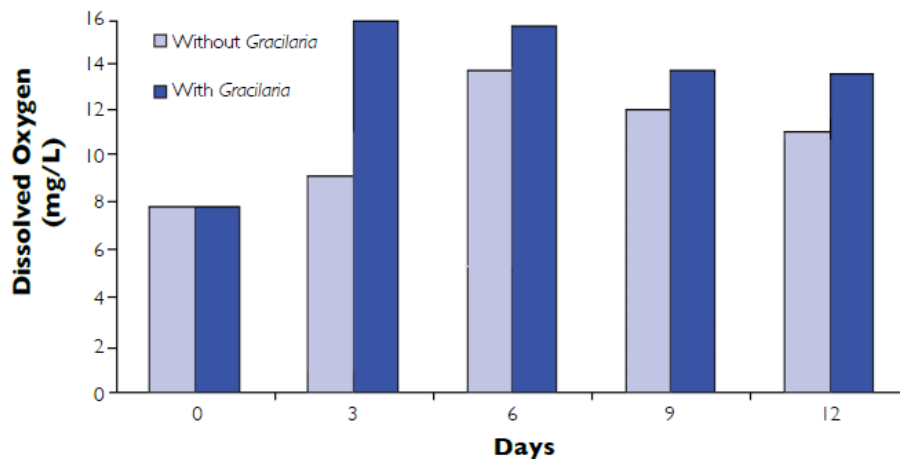
ภาพที่ 2 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาจากระบบ biological denitrification จากแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน

ที่มา: Ovez (2006)

5. เพิ่มระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำ

Yang (2011) ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในกระชังในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งในประเทศจีน พบว่าจากการทดลอง 12 วัน บริเวณที่มีการเลี้ยงสาหร่ายมีระดับความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนละลายสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีการเลี้ยงสาหร่ายอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 3) โดยผลการศึกษาในครั้งนี้

สามารถสรุปได้ว่าการเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสามารถช่วยเพิ่มระดับของปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำได้

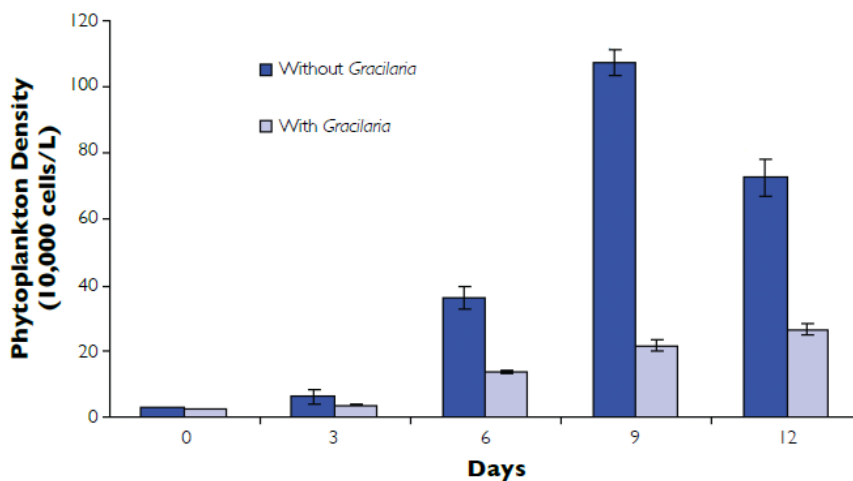


ภาพที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลายในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงชายฝั่งที่มีการเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* และไม่มีการเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria*

ที่มา: Yang (2011)

6. การช่วยลดปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ

Yang (2011) ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในกระชังในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งในประเทศจีน พบว่าจากการทดลอง 12 วัน บริเวณที่มีการเลี้ยงสาหร่ายสามารถจำกัดการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชลงได้มากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบริเวณที่ไม่ได้มีการเลี้ยงสาหร่าย โดยใช้การวัดปริมาณแพลงก์ตอนด้วยวิธีนับจำนวนเป็นเซลล์ต่อลิตร โดยในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ไม่มีการเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* เมื่อเวลาผ่านไป 12 วัน พบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชจากเดิมมีปริมาณ 3×10^4 เซลล์ต่อลิตร เพิ่มขึ้นเป็น 1.05×10^6 เซลล์ต่อลิตร แต่ในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีการเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* ร่วมด้วยเมื่อเวลาผ่านไป 12 วัน พบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชจากเดิมมีปริมาณ 2.4×10^4 เซลล์ต่อลิตร เพิ่มขึ้นเพียง 2.65×10^5 เซลล์ต่อลิตร (ภาพที่ 4) และยังพบอีกว่าการเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* ในบริเวณที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสามารถควบคุมการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม *Prorocentrum* และ *Chaetoceros* ได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสามารถป้องกันปัญหาการสะสมของแพลงก์ตอนพืช (Plankton bloom) ได้



ภาพที่ 4 ปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* และไม่มีการเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria*

ที่มา: Yang (2011)

9. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

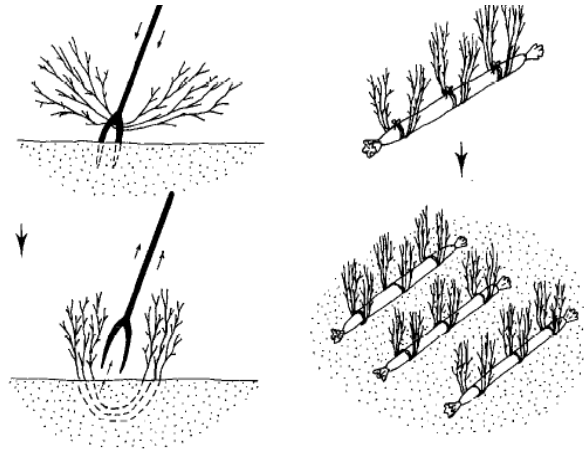
1. การเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำเปิด (Open water farming)

โดยทั่วไปแล้วการเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำเปิดจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่ การเลี้ยงบริเวณพื้นที่ตื้นน้ำ การเลี้ยงบนราวเชือก และการเลี้ยงในกระชังแขวนลอย ซึ่งการเลี้ยงแต่ละลักษณะจะมีรูปแบบแตกต่างกันดังนี้

1.1 การเพาะเลี้ยงที่บริเวณพื้นที่ตื้นน้ำ (Bottom planting)

โดยทั่วไปการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* ที่บริเวณพื้นที่ตื้นน้ำอาจทำได้ 2 วิธี คือการนำส่วนของสาหร่ายจากต้นสาหร่ายมาติดกับวัสดุ หรือใช้วัสดุในการยึดติดกับพื้นที่ตื้นน้ำ และการใช้สปอร์ของสาหร่าย *Gracilaria* หว่านลงบนวัสดุยึดเกาะ (Santelices and Doty, 1989)

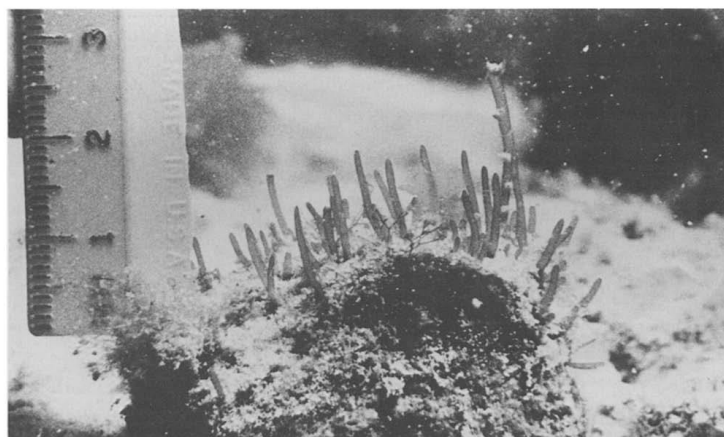
สำหรับการใช้วัสดุช่วยในการยึดเกาะกับพื้นที่ตื้นน้ำวิธีที่ง่ายที่สุดคือ การนำชิ้นส่วนของสาหร่าย *Gracilaria* ยึดเกาะกับวัสดุที่สาหร่ายสามารถยึดเกาะได้ดี เช่น ก้อนหิน ท่อนเหล็ก ท่อพลาสติก แท่งปูน เป็นต้น โดยยึดสาหร่ายให้ห่างกันเป็นระยะ หรืออาจใช้ส้อมช่วยปักกิ่งก้านของสาหร่ายลงที่พื้นที่ตื้นน้ำ (ภาพที่ 5) แต่การเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการนี้มักจะประสบปัญหาหลัก 2 ด้านคือ ส่วนของสาหร่ายที่นำมาเกาะกับวัสดุอาจหลุดออกได้ง่ายถ้ามีกระแสน้ำไหลแรง และเวลาเก็บเกี่ยวต้องใช้แรงงานจำนวนมาก (Santelices and Doty, 1989)



ภาพที่ 5 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* โดยใช้วัสดุช่วยในการยึดเกาะกับพื้นท้องน้ำ

ที่มา: Santelices and Doty (1989)

สำหรับการเพาะเลี้ยงบริเวณพื้นท้องน้ำโดยใช้สปอร์ วิธีการนี้จะสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* ได้จำนวนมากโดยใช้ต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ อีกทั้งสามารถใช้เทคนิคทางพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงสปอร์ได้อีกด้วย การเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการนี้จะนำสปอร์มาเกาะติดกับวัสดุยึดเกาะที่มีลักษณะรูพรุน เช่น หินปะการัง เปลือกหอยกาบทะเล เปลือกหอยนางรม เป็นต้น (ภาพที่ 6) *Gracilaria* เป็นสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความขุ่นต่ำ และอุณหภูมิสูง ดังนั้นอัตราการรอด และการเจริญเติบโตจะแตกต่างกันในแต่ละฤดู เพราะมีปัจจัยด้านอุณหภูมิ และความขุ่นใสของน้ำทะเลชายฝั่งไม่เท่ากัน (Doty and Fisher, 1987) วิธีการนี้เริ่มด้วยการนำสปอร์มายึดเกาะกับวัสดุที่มีรูพรุน จากนั้นนำวัสดุเหล่านั้นมาใส่ในตะแกรงขนาดใหญ่ ตะแกรงควรมีฝาปิดเพื่อป้องกันศัตรูทางธรรมชาติ เช่น สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่างๆ เข้ามากินต้นอ่อน และนำไปวางในพื้นที่บริเวณชายฝั่งที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสม แต่ในระยะต้นอ่อนสาหร่ายจะมีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมค่อนข้างสูง ดังนั้นสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนสูงอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการรอด และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนได้



ภาพที่ 6 การเจริญเติบโตของสปอร์สาหร่าย *Gracilaria* บนวัสดุยึดเกาะ

ที่มา: Zablackis อ้างอิงตาม Santelices and Doty, 1989

1.2 การเพาะเลี้ยงบนราวเชือก (Line farming)

การเพาะเลี้ยงด้วยวิธีนี้จะดัดแปลงมาจากวิธีการที่ใช้สปอร์ยึดติดกับวัสดุบริเวณพื้นท้องน้ำ ซึ่งมีปัจจัยความแปรปรวนสูงด้านดินตะกอนสูง จึงดัดแปลงโดยการนำสปอร์มายึดติดกับวัสดุบนราวเชือก แล้วนำไปแขวนลอยไว้บริเวณกลางน้ำ เพื่อลดปัญหาด้านปัจจัยความแปรปรวนบริเวณพื้นท้องน้ำ อีกทั้งยังทำให้การเก็บเกี่ยวสามารถทำได้ง่ายขึ้น (Doty, 1986) วิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับควบคุมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งได้ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่งจะส่งผลให้น้ำทั้งจากเศษอาหารเหลือจำนวนมาก ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* บริเวณพื้นท้องน้ำอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากปริมาณแร่ธาตุอาหารที่สะสมอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำอาจมากเกินไปจนส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของต้นอ่อนได้ แต่การเพาะเลี้ยงบนราวเชือก (ภาพที่ 7) จะช่วยลดปริมาณแร่ธาตุอาหารจากน้ำทั้งของระบบการเพาะเลี้ยงได้ดีกว่าทำให้สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

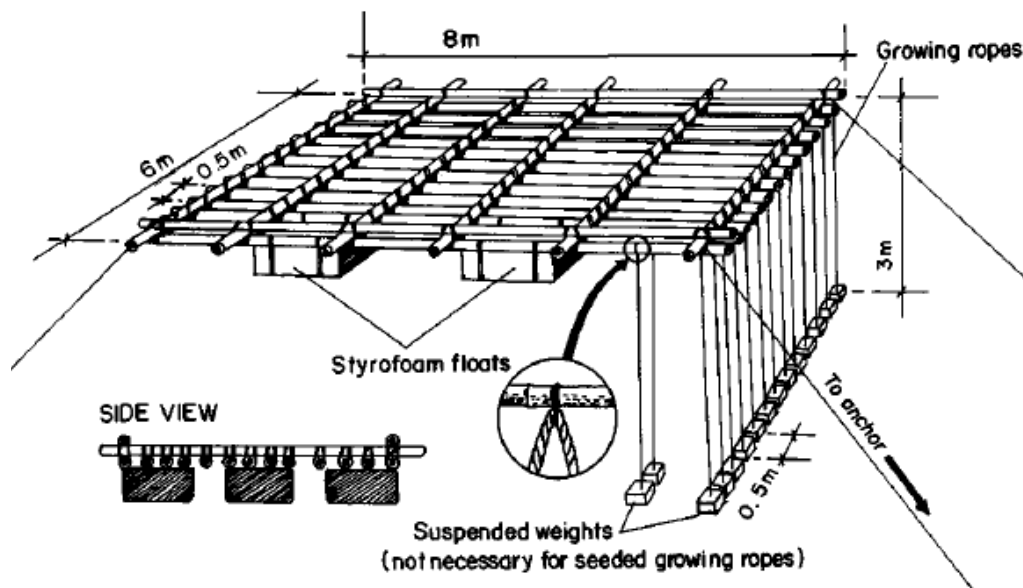


ภาพที่ 7 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* บนราวเชือก

ที่มา: Fisher อ้างอิงตาม Santelices and Doty, 1989

1.3 การเพาะเลี้ยงในกระชังแขวนลอย (Raft farming)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศจีน โดยการนำชิ้นส่วนของสาหร่าย หรือสปอร์ของสาหร่ายที่ยึดติดกับวัสดุมาใส่ในกระชัง แล้วนำไปแขวนกับแพไม้ไผ่ที่ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ (ภาพที่ 8) เพื่อให้สาหร่ายได้รับแสงอาทิตย์ทั่วถึง ลดปัญหาความแปรปรวนจากปัจจัยคุณภาพน้ำโดยเฉพาะปัญหาจากความขุ่นของดินตะกอน และยังสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ง่าย การเลี้ยงในลักษณะนี้ส่วนใหญ่จะนิยมเลี้ยงในบริเวณที่มีระดับความลึก 70 เซนติเมตรขึ้นไป และสามารถเพาะเลี้ยงในบริเวณที่ห่างจากฝั่งได้ เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาน้ำทิ้งต่างๆ แต่การเพาะเลี้ยงด้วยวิธีนี้จะต้องใช้ต้นทุนในการสร้างแพไม้ไผ่ ต้นทุนในการซ่อมแซม และการดูแลรักษา อีกทั้งการเลี้ยงสาหร่ายบริเวณผิวน้ำอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปในช่วงฤดูร้อน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของต้นอ่อนได้ (Ren et al., 1984; Ren and Wang, 1987)



ภาพที่ 8 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผมนางในแพแขวนลอย
ที่มา: Sitoy et al. (1983)

2. การเพาะเลี้ยงในบ่อ (Pond farming)

สาหร่าย *Gracilaria* เป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ที่สามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำที่มีระดับความเค็มที่แปรปรวน รวมทั้งแหล่งน้ำที่มีความเค็มต่ำ และสามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำนิ่ง ดังนั้นสาหร่าย *Gracilaria* จึงสามารถนำประยุกต์เลี้ยงในบ่อเลี้ยงได้เป็นอย่างดี สำหรับบ่อเลี้ยงควรมีระดับความลึกอยู่ที่ 60–80 เซนติเมตร แต่ระดับน้ำควรมีความลึกอยู่ระหว่าง 30–40 เซนติเมตร แต่ในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิของน้ำจะสูงมากซึ่งอาจเพิ่มระดับน้ำเป็น 50–60 เซนติเมตร เพื่อลดอุณหภูมิ น้ำ พื้นบ่อควรปูด้วยดินโคลน หรือโคลนปนทราย โดยปกติแล้วบ่อเลี้ยงสาหร่ายจะใช้บ่อขนาดใหญ่ประมาณ 5 ไร่ขึ้นไป ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำควรเป็นด่างอ่อนประมาณ 8 อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 20–30 องศาเซลเซียส การใส่ปุ๋ยควรใส่ปุ๋ยเสริมบ้างในบางเวลา โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย 0.5 กิโลกรัมต่อไร่ หรืออาจใช้ปุ๋ยคอก 25 กิโลกรัมต่อไร่ และควรเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* ในบ่อเลี้ยงสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ทุกๆ 30–45 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 1 ตันต่อไร่ (Chiang, 1981; Chueh and Chen, 1982; Santelices and Doty, 1989)

3. การเพาะเลี้ยงในถัง (Tank farming)

ระบบการเพาะเลี้ยงแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีกับระบบบำบัดน้ำเสีย Hanisak and Ryther (1986) ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria tikvahiae* ในระบบถังขนาดใหญ่ 29 ตารางเมตร ระดับความจุ 24,000 ลิตร ซึ่งเชื่อมต่อกับน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่า สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 35 กรัมของน้ำหนักแห้งต่อวันต่อตารางเมตร หรือประมาณ 20 ตันต่อไร่ต่อปี โดยที่สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีความหนาแน่นไม่เกิน 2–3 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อตารางเมตร จึงต้องทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายออกจาก

ระบบเมื่อพบว่ามียืดความหนาแน่นเกินกว่าระดับดังกล่าวแล้ว การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยระบบนี้สามารถป้องกันผลกระทบจากปัจจัยภายนอกได้ดี ใช้แรงงานคนน้อย และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ง่าย แต่จะมีผลผลิตน้อยกว่าการเพาะเลี้ยงในบ่อดิน และจำเป็นต้องมีการให้อากาศประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน (Hanisak and Ryther, 1984)

สรุป

จากการรวบรวมเอกสารทางวิชาการ พบว่ามีการประยุกต์ใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ในการบำบัดคุณภาพน้ำโดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ด้านใหญ่ๆ คือ 1. การลดปริมาณแร่ธาตุและอินทรีย์สารในแหล่งน้ำ 2. การลดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ 3. การลดความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ 4. การประยุกต์ใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* เป็นแหล่งคาร์บอนในระบบ biological denitrification 5. การเพิ่มระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำ และ 6. การช่วยลดปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ ส่วนเทคนิคในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Gracilaria* สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ การเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำเปิด การเลี้ยงในบ่อ และการเลี้ยงในถัง

แนวทางการวิจัยในอนาคต

การประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลต่างๆ และพรรณไม้น้ำ ในการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพน้ำในประเทศไทย จัดได้ว่ายังมีข้อมูลอยู่ค่อนข้างจำกัด และยังขาดการนำไปประยุกต์พัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ ทั้งที่จากการรวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องพบว่า สาหร่ายทะเลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำ รวมทั้งสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ได้หลากหลาย เช่น การกำจัด หรือลดความเป็นพิษของสารที่ก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ รวมทั้งการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพของสาหร่ายทะเล การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟื้นฟูของสาหร่ายทะเลชนิดต่างๆ อย่างละเอียด ประสิทธิภาพของการลดมลพิษในสถานะต่างๆ เทคนิคด้านการเพาะเลี้ยง รวมทั้งการประยุกต์ใช้จริงในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ยนต์ มุสิก. (2556). เอกสารประกอบการสอน วิชาการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ระพีพร เรื่องช่วย. (2552). สาหร่ายวุ้น กราซีลาเรีย: เทคนิคการเพาะเลี้ยงที่มีประสิทธิภาพ. ๒๒๓

พิมพ์ไมตรีบริการ.

ศิริเพ็ญ ตรีชัยยาพร. (ม.ป.ป). สื่อการสอนเรื่อง การบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่าย. คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

สาวิกา กัลปพฤกษ์ สิทธิ กุหลาบทอง และญาณันท์ สุนทรกิจ. 2557. การใช้สัตว์หน้าดินในการบำบัดฟื้นฟู
ทางชีวภาพของคุณภาพน้ำ และดินตะกอนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. Veridian E-Journal
Science and Technology Silpakorn University, 1 (5): 41 – 51.

ภาษาต่างประเทศ

Atkinson, M.J., and S.V. Smith. (1983). “C:N:P ratios of benthic marine plants.” **Limnol. Oceanogr**, 28(3): 568–574.

Beth, M., B. Maningas, P.G. Gonzalez, M. M. Obias, R.S. Pausanos, J. L. Y. Siapno, J. R. Alambra, and E. M. Abquina. (2013). “Immune response of *Macrobrachium rosenbergii* immersed in hot-water extract of *Gracilaria edulis*.” **Philippine Science Letters**, 6(2): 147–152.

Chiang, Y.M. (1981). “Cultivation of *Gracilaria* (Rhodo-phycomphyta, Gigartinales) in Taiwan.” **Proc. int. Seaweed Symp**, 10: 569–574.

Chueh, C.T., and C.C. Chen. (1982). “Seaweed economics.” **Proceedings of Republic of China-United States Cooperative Science Seminar on Cultivation and Utilization of Economic Algae**. Univ. of Guam Marine Laboratory, Mangilao, Guam.

Cruz-Uribe, O.T. (2007). **The Uptake, Transformation, and Physiological Response of the Marine Red Macroalga *Portieria hornemannii* to the Nitroaromatic Explosive 2,4,6-trinitrotoluene (TNT)**. Oregon State University.

Doty, M.S. (1986). “Estimating farmer returns from producing *Gracilaria* and *Eucheuma* on line farms.” **Monogr. Boil**, 4: 45–62.

Doty, M.S., and G.A. Santos. (1983). “Agar from *Gracilaria cylindrica*.” **Aquat. Bot**, 15: 299–306.

Doty, M.S., and J.R. Fisher. (1987). **Experimental Culture of Seaweeds (*Gracilaria* sp.) in Penang, Malaysia**. FAO.

Gifford, S., Dunstan R. H., W. O’Connor, C. E. Koller, and G. R. MacFarlane. (2006). “Aquatic zooremediation: deploying animals to remediate contaminated aquatic environments.” **Trends in Biotechnology**, 25(2): 60–65.

Hanisak, M.D., and J.H. Ryther. (1984). “Cultivation biology of *Gracilaria tikvahiae* in the USA.” **Hydrobiologia**, 116–117: 295–298.

- Hanisak, M.D., and J.H. Ryther. (1986). "The experimental cultivation of the red seaweed *Gracilaria tikvahiae* as an "energy crop": an overview." **J. Cramer, Berlin**, 83: 212–217.
- Kim, D.H. (1970). "Economically important seaweeds in Chile-I. *Gracilaria*." **Bot. Mar**, 13: 140–162.
- Mayer, A.M.S. (1981). "Studies on *Gracilaria* sp. in Bahia Arredondo, Chubut Province, Argentina." **Proc. Int. Seaweed Symp**, 10: 705–710.
- Mazumder, S., P.K. Ghosal, C. A. Pujol, M. J. Maria, E. B. Damonte, and B. Ray. (2002). "Isolation, chemical investigation and antiviral activity of polysaccharides from *Gracilaria corticata* (Gracilariaceae, Rhodophyta)." **International Journal of Biological Macromolecules**, 31(1-3): 87–95.
- McLachlan, J., and C.J. Bird. (1983). "*Gracilaria* in the seaweed market: a prospectus. **Symposium Internacional de Acuicultura, Coquimbo, Chile, Sept,**" 133–157.
- McLachlan, J., and C.J. Bird. (1986). "*Gracilaria* (Gigartinales, Rhodophyta) and productivity." **Aquat. Bot**, 26: 27–49.
- Moseley, M., McLachlan, J.L., R.G.S. Bidwell and R.G. Smith. (1986). "Cultivation strategies for seaweeds." **Actas II, Congr. Nacional sobre Algas Marinas Chilenas**. Ed. Westermeier, R. Valdivia: Univ. Austral de Chile. 7–62.
- Msuya, F. E., and A. Neori. (2002). "*Ulva reticulata* and *Gracilaria crassa*: Macroalgae That Can Biofilter Effluent from Tidal Fishponds in Tanzania." **Western Indian Ocean J. Mar. Sci**, 1(2): 117–126.
- Ologuin, M. M., E. C. Roa, and W. H. Uy. (2009). "In vitro lead accumulation in *Gracilaria coronopifolia* and *Gracilaria eucheumoides*." **Journal of Environment and Aquatic Resources**, 1(1): 87–98.
- Ovez, B. (2006). Batch biological denitrification using *Arundo donax*, *Glycyrrhiza glabra*, and *Gracilaria verrucosa* as carbon source. "**Process Biochemistry**," 41: 1289–1295
- Qian, P., C.Y. Wu, M. Wu, and Y.K. Xie. (1996). "Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*." **Aquaculture**, 147: 21–35.

- Ren, G.Z., and J.C. Wang. (1987). "Overwinter cultivation of *Gracilaria asiatica* fragments on artificial raft." **Oceanol. Limnol. Sin**, 18: 111–117.
- Ren, G.Z., J.C. Wang, and M.Q. Chen. (1984). "Cultivation of *Gracilaria* by means of low rafts." **Hydrobiologia**, 116-117: 72–76.
- Santelices, B., and M.S. Doty. (1989). "A Review of *Gracilaria* Farming." **Aquaculture**, 78: 95–133.
- Schiel, D.R., and Nelson, W.A. (1990). "The harvesting of macroalgae in New Zealand." **Hydrobiologia**, 204/205: 25–33.
- Sitoy, H. S., A. L. Young, and M. Y., Tabbu. (1983). **Raft culture of mussels**. Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquatic department, SEAFDEC.
- Troell, M., C. Halling, A. Nilsson, A.H. Buschmann, N. Kautsky, and L. Kautsky. (1997). "Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Bangiophyceae) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output." **Aquaculture**, 156: 45–61.
- Valente, L.M.P., A. Gouveia, P. Rema, J. Matos, E.F. Gomes, and I.S. Pinto. (2006). "Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles." **Aquaculture**, 252: 85–91.
- Vidali, M. (2001). "Bioremediation: An overview." **Pure Appl. Chem**, 73(7): 1163–1172.
- Yang, Y. (2011). "*Gracilaria* Cultivation can provide bioremediation in Chinese Mariculture." **Global aquaculture advocate**, 50-51.