บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. สาหร่าย

สาหร่ายเป็นพืชสีเขียวที่ไม่มีเนื้อเยื่อ รูปร่างยังไม่แบ่งออกเป็นราก ลำต้น ใบที่แท้จริง เรียกว่า ทัลลัส (Thallus) บางชนิดอาจมีทัลลัส คล้ายราก ลำต้น หรือใบของพืชชั้นสูงได้ หรือบางชนิดอาจมี Node และ Internode เป็นต้น สาหร่ายมีทั้งพวกเซลล์เดียว (Unicellular) ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมโครเมตร จนถึงพวกสาหร่ายทะเล (Sea weed) ซึ่งมีความยาวเป็นร้อยๆฟุต สาหร่ายมีรูปร่างได้หลายชนิด เช่นเป็นเซลล์เดี่ยวเพียงเซลล์เดียว (Unicellular) หรืออาจประกอบด้วยหลายๆเซลล์ (Multicellular)โดยอาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (Colony) หรืออาจยาวเป็นสาย (Filament) ซึ่งแตกกิ่งก้านสาขาออกไป หรืออาจไม่มีสาขาก็ได้ มีทั้งแบบเคลื่อนที่ได้ และเคลื่อนที่ไม่ได้หรืออาจมีลักษณะเป็นพุ่ม (Bushy) หรือเป็นแผ่นมีเซลล์ซ้อนกันหลายๆชั้น เป็นต้น (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2530)

ในปัจจุบันสาหร่ายถูกจัดไว้ใน 2 อาณาจักรคือ อาณาจักรโมเนอรา (Monera) และอาณาจักรโปรตีสตา (Bold and Wynne, 1985) จำแนกออกได้เป็น 9 ดิวิชั่นดังนี้

1. Division Cyanophyta ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae)
2. Division Chlorophyta ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว (green algae)
3. Division Charophyta ได้แก่ สาหร่ายไฟ (stonewort)
4. Division Euglenophyta ได้แก่ สาหร่าย (euglenoid)
5. Division Phaeophyta ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae)
6. Division Chrysophyta ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง (golden algae) สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง (yellow green algae) และไดอะตอม (diatom)
7. Division Pyrrhophyta ได้แก่ สาหร่าย (dinoflagellate)
8. Division Cryptophyta ได้แก่ สาหร่าย (cryptomonad)
9. Division Rhodophyta ได้แก่ สาหร่ายสีแดง (red algae)

2. การนำสาหร่ายมาประยุกต์ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้มีการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ และทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้าน เป็นปัญหาที่ทุกฝ่ายควรดำเนินแก้ไข การใช้เทคโนโลยีเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆโดยวิธีทางชีวภาพได้มุ่งเน้นเพื่อลดความเป็นพิษ (Detoxification) โดยนำสิ่งมีชีวิตเข้ามาช่วยในการกำจัดของเสีย (ดวงรัตน์ อินทร และสรัญญา พันธุ์พฤกษ์, 2550)

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิต มีบทบาทในห่วงโซ่อาหารและมีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติสามารถอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นได้ ปัจจุบันสาหร่ายเป็นที่น่าสนใจอย่างมากในเรื่องของการแก้ไขปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และประเทศไทยควรจะความสำคัญ เนื่องจากมีภูมิภาคและภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นอย่างดี จึงต้องมีการพัฒนาในเรื่องของการใช้สาหร่ายเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมให้มากขึ้น นอกจากนี้สาหร่ายยังเป็นผู้ผลิตขั้นต้นของระบบนิเวศแหล่งน้ำ อยู่อาศัยแบบซึ่งกันและกันกับแบคทีเรีย โดยสาหร่ายให้สารอินทรีย์และออกซิเจนต่อแบคทีเรียส่วนแบคทีเรียจะให้สารอนินทรีย์และคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่เจริญอยู่ในน้ำ เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ แม้สาหร่ายจะมีการหายใจระดับเซลล์ที่เกิดขึ้นพร้อมกับการสังเคราะห์แสง แต่ปริมาณออกซิเจนที่ถูกปลดปล่อยออกจากกระบวนการสังเคราะห์แสง มีมากกว่าออกซิเจนที่สาหร่ายใช้ (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2547) ดังนั้นปริมาณสาหร่ายจึงใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของแหล่งน้ำ ในแหล่งน้ำธรรมชาติพบว่าปริมาณสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีไม่มาก หากแหล่งน้ำเกิดมลภาวะเป็นพิษ จำนวนชนิดของสาหร่ายจะลดลงเหลือเพียง 2 – 3 ชนิด หรืออาจเหลือเพียงชนิดเดียวแต่มีจำนวนมาก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544 อ้างจาก สิทธิศักดิ์ กองวิบูลศิริ, 2549) ซึ่งจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ “ยูโทรฟิเคชัน” (Eutrophication)

3. ปัญหาของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม

สาหร่ายต้องการธาตุอาหารหลายชนิด แต่ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับสาหร่าย ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย และในภาวะยูโทรฟิเคชัน จะถูกควบคุมได้จากไนโตรเจน และฟอสฟอรัสโดยขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของธาตุอาหาร (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544 ; Randall *et al.*, 1992 อ้างจาก สิทธิศักดิ์ กองวิบูลศิริ, 2549) จากการสำรวจและวิจัยถึงมลพิษทางน้ำของประเทศไทยเท่าที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันพบว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ แม่น้ำลำคลองเริ่มมีคุณภาพเสื่อมโทรมลง และมีแนวโน้มที่จะมีสภาพเป็นน้ำเสีย มีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณสูงซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน

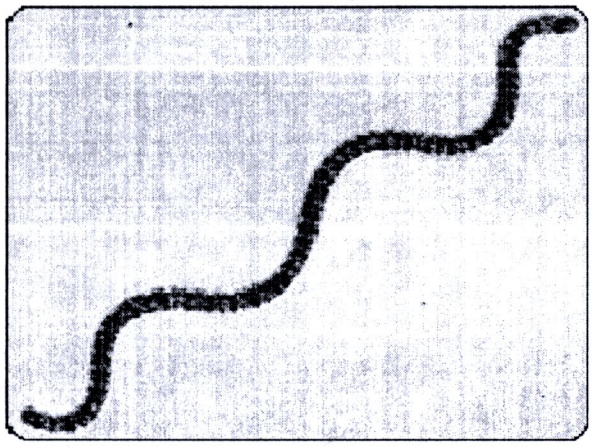
ระบบนิเวศแหล่งน้ำปิด ปริมาณฟอสฟอรัสเพียง 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ทำให้เกิด algae Bloom (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544 ; FWPCA, 1968 อ้างจาก สิทธิศักดิ์ กองวิบูลศิริ, 2549) ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอยู่มาก จะทำให้แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายใช้เป็นสารอาหาร ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจากการศึกษาของ Brian *et al.*, (2004) รายงานว่าธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำจะก่อให้เกิดมลภาวะ ทำให้สาหร่ายเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายเหล่านี้มีวงจรชีวิตสั้น เมื่อตายเน่าเปื่อยทับถมมากทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำถูกใช้อย่างรวดเร็วจนน้ำขาดออกซิเจน ทำให้น้ำกลิ่นเหม็น และเกิดสภาวะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและไม่อาจนำน้ำนั้นมาใช้ประโยชน์ได้

4. สาหร่ายสไปรูไลน่า

สาหร่ายสไปรูไลน่าเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจัดอยู่ใน Division Cyanophyta (Bold and Wynne, 1985) ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับแบคทีเรียทั่วๆไป ทั้งนี้เพราะสาหร่ายชนิดนี้มีโครงสร้างของนิวเคลียสคล้ายคลึงกับนิวเคลียสของแบคทีเรีย นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติทางชีวเคมีคล้ายแบคทีเรีย แต่ต่างจากแบคทีเรียที่สาหร่ายมีคลอโรฟิลล์เอ และมีการปล่อยออกซิเจนสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการสังเคราะห์แสง (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

สาหร่ายสไปรูไลน่าเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จัดอยู่ในอนุกรมวิธานตามหลักของ Bold and Wynne (1978) และ Venkataraman (1983) ซึ่งจัดไว้ดังนี้

Kingdom	:	Monera
Phylum	:	Cyanophyta
Class	:	Cyanophyceae
Order	:	Oscillatoriales
Family	:	Oscillatoriaceae
Genus	:	*Spirulina*



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสไปรูไลน่า
(สุดาพร ตงศิริ, 2552)

4.1 ลักษณะทั่วไป

เซลล์ของสาหร่ายสไปรูไลน่า มีลักษณะอยู่รวมกันหลายเซลล์ (Multicellular) มีลักษณะรูปร่างทรงยาวคล้ายทรงกระบอก ไม่แตกแขนง (Unbranched) แต่ขดเป็นเกลียวที่เรียกว่า "เฮริคอยดอล์ ทรัยโคม" (Helicoidal trichomes) หรือเป็นเส้นตรง โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียวตั้งแต่ 35-50 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างเกลียว 60 ไมโครเมตร ความกว้างของไตรโคมประมาณ 4-8 ไมโครเมตร(Ciferri, 1983 ; Boney, 1969 ; Venkataraman, 1983 ; Desikachary, 1959 ; สุชาติ อิงธรรมจิตต์, 2530 อ้างจาก วิรัตน์ พลศรี, 2533) ไม่มีนิวเคลียสเมมเบรน สารพันธุกรรมกระจายทั่วไปในเซลล์ ผนังเซลล์มีสาร Mucopolymer pectic และ Polysaccharide ไม่พบสารประกอบพวกเซลลูโลส ไม่มีเมือก (Mucous) เยื่อหุ้มผนังเซลล์จึงไม่มีจุลินทรีย์ชนิดอื่นมาเกาะ นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุ (Pigment) อยู่ใน Thylacoid ซึ่งประกอบด้วย Chlorophyll a, Phycocyanin และ β-carotene (สุมนทิพย์ บุนนาค, 2529) และมี Pseudovacuole อยู่ภายในเซลล์ทำให้ลอยได้ มีการเคลื่อนที่แบบควงสว่าน (Spiral movement) ซึ่งจะบิดรอบไตรโคม ทำให้ไตรโคมเคลื่อนที่ได้ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

4.2 การสืบพันธุ์

สไปรูไลน่ามีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ไม่มีการสร้างเฮทเทอโรซีสต์ การสืบพันธุ์อาศัยการสร้างฮอร์โมโกเนีย โดยเริ่มจากไตรโคมของสาหร่ายมีการขาดเป็นท่อนๆ แยกจากกันเป็นอิสระแต่ละท่อน เรียกว่า ฮอร์โมโกเนีย ซึ่งจะมีการเจริญเติบโตเป็นสายหรือไตรโคมใหม่ (Bold and Wynne, 1985; Chapman and Chapman, 1977) การสืบพันธุ์โดยวิธีนี้ เรียกว่าแฟรกเมนเตชัน (fragmentation) (Ciferri, 1983)

4.3 แหล่งที่พบ

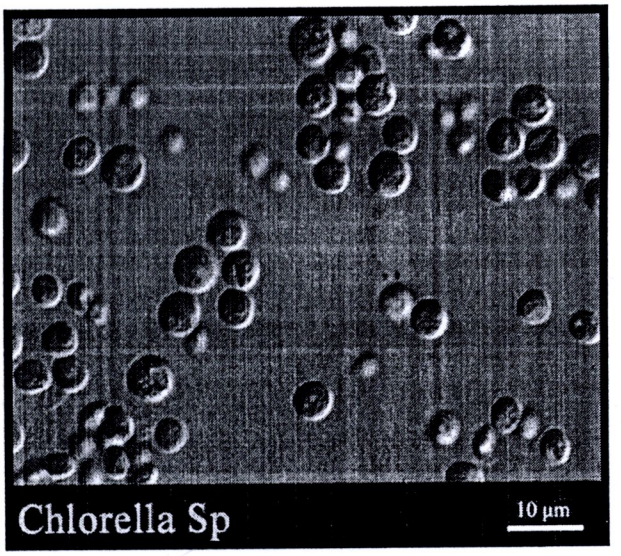
สไปรูไลน่าเป็นสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำทั่วไปกระจายอยู่ทั่วไปในดิน ป่าชายเลน น้ำเค็ม น้ำพุ น้ำกร่อย น้ำจืด น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย เจริญได้ดีที่มีความเป็นกรดเบส (pH >9.0) ความเค็มสูง และอุณหภูมิสูง (Thermopile) ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

5. สาหร่ายคลอเรลลา

สาหร่ายคลอเรลลาจัดเป็นสาหร่ายสีเขียว อยู่ในกลุ่ม Division Chlorophyta (Bold and Wynne, 1985) สาหร่ายในดิวิชันนี้ ส่วนใหญ่มีสีเขียว ทั้งนี้เพราะภายในคลอโรพลาสต์มีรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์ทั้ง เอ และบี จำนวนมาก ซึ่งจะบดบังรงควัตถุสีอื่นไว้ นอกจากนั้นก็มีรงควัตถุพวกแคโรทีน และแซนโทฟิลล์อีกหลายชนิด รงควัตถุทั้งหมดอยู่ในคลอโรพลาสต์ มีไพรีนอยด์ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นศูนย์กลางของการสร้างแป้งในเซลล์ของสาหร่าย (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

คลอเรลลามาจากคำในภาษากรีกว่า คลอโรส (Chlorose) แปลว่า เขียว กับคำในภาษาลาตินต่อท้ายว่า เอลล่า (Ella) แปลว่า เล็ก จัดอยู่ใน *Chlorella* spp. (Bold and Wynne, 1985) และ Venkataraman, 1983)

Division : Chlorophyta
Class : Chlorophyceae
Order : Chlorellales
Family : Chlorellaceae
Genus : *Chlorella*



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะทั่วไปของสาหร่ายคลอเรลลา

(Ron, 2008)

5.1 ลักษณะทั่วไป

สาหร่ายคลอเรลลา เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวมีขนาดเล็กประมาณ 2-12 ไมโครเมตร อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ หรือรวมกันเป็นกลุ่ม ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างหลายแบบ เช่น ทรงกลม รูปไข่ หรือรูปรีเป็นต้น คลอโรพลาสต์มีรูปร่างคล้ายถ้วยอยู่ด้านข้างมีไพรีนอย เซลล์ไม่มีเจลาตินัสชีส (Gelatinous sheath) ห่อหุ้ม ผนังเซลล์บาง Bold and Wynne (1985) ได้ศึกษาผนังเซลล์พบว่าประกอบด้วยสารพวก Sporopllenenin ไม่มี Spines และ Setae เซลล์ไม่มีอวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และมีการสืบพันธุ์แบบ ไม่อาศัยเพศ โดยสร้าง Autospore โดยแบ่งเซลล์เป็น 2 4 8 และ 16 เซลล์ภายในเซลล์มีแป้ง หรือพาราไมรอน (Paramylon) เป็นอาหารสะสมในธรรมชาติ

5.2 การสืบพันธุ์

มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้างออโตสปอร์ ซึ่งปกติจะมีจำนวน 4 ถึง 8 เซลล์ บางครั้งอาจพบถึง 16 เซลล์ ซึ่งพบได้น้อยมาก (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

5.3 แหล่งที่พบ

สาหร่ายคลอเรลลาเป็นสาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป อาศัยอยู่ร่วมกันแบบซิมไบโอซีสกับสัตว์ เช่น พารามีเซียม ไฮดรา ฟองน้ำ เป็นต้น และยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549) ในสารอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนประมาณร้อยละ 49.5-70.17% (Prescott, 1975; Chapman, 1977; Round, 1977; กาญจนภาชน์, 1984 อ้างจาก จรูญ ลีไตรรงค์, 2531) Chapman และ Chapman (1977) กล่าวว่า การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ในที่มืดมีผลทำให้เซลล์มีรูปร่างและลักษณะของเซลล์แตกต่างจากเซลล์ที่เจริญเติบโตในที่มีแสงสว่างโดยเซลล์ของสาหร่ายคลอเรลลาในที่มืด ที่ไม่มีการให้อากาศในอาหารเพาะเลี้ยง จะส่งผลทำให้เซลล์มีขนาดเล็ก และมีอัตราส่วน O_2 ต่อ CO_2 เท่ากับ 1 ซึ่งถ้าเรานำเซลล์คลอเรลลาที่อยู่ในระยะแบ่งตัวที่เลี้ยงในที่มืดมาให้แสงสว่าง เซลล์คลอเรลลาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่จะมีปริมาณคลอโรพลาสต์น้อย ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดน้อยลงเมื่อเทียบกับเซลล์คลอเรลลาที่ได้รับแสงสว่างปกติแต่ยังมีการสังเคราะห์แสงที่มากกว่าเซลล์คลอเรลลาที่เลี้ยงในที่มืดโดยมีอัตราส่วน O_2 ต่อ CO_2 เท่ากับ 3

6. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในหลอดทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียว กลุ่มเซลล์ หรือชนิดเส้นสาย ควรศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้เข้าใจ เรื่องที่ควรคำนึงในการเลี้ยงสาหร่ายมีดังนี้

6.1 ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแบ่งเป็น 2 ประเภท

6.1.1 การเลี้ยงระยะยาว (Long term culture) วัตถุประสงค์ของการเลี้ยงประเภทนี้ เพื่อเก็บหัวเชื้อสาหร่าย (Stock culture) ต้องเป็นการเลี้ยงแบบปลอดเชื้อ (Axenic culture) โดยอุณหภูมิในห้องเพาะเลี้ยงควรลดต่ำลงจากปกติ 5-8 องศาเซลเซียส และลดความเข้มแสงจากปกติครึ่งหนึ่ง เพื่อลดการเจริญเติบโตของสาหร่าย (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

6.1.2 การเลี้ยงระยะสั้น (Short term culture) นิยมใช้อาหารแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม เช่น ถ้าต้องการศึกษารูปร่างลักษณะ(Morphology)ของสาหร่ายควรเลือกใช้สูตรอาหารสารละลายจากดิน (Soil-water medium) และสูตรอาหารปลาป่น (Fish meal medium) เป็นต้น (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

6.2 รูปแบบการเพาะเลี้ยง

6.2.1 Unialgal culture เป็นการเลี้ยงสาหร่ายเพียงชนิดเดียว โดยไม่มีสาหร่ายชนิดอื่นปนแต่มีสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นปนได้ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว เป็นต้น

6.2.2 Axenic culture เป็นการเลี้ยงสาหร่ายชนิดเดียว หรือหลายชนิดก็ได้แต่ต้องไม่มีแบคทีเรียปนอยู่ ฉะนั้นจึงเรียกการเลี้ยงแบบนี้อีกชื่อหนึ่งว่า Bacteria free culture

6.2.3 Pure culture เป็นการเลี้ยงสาหร่ายชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น โดยที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นปน

6.3 อาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย

6.3.1 อาหารเหลว (Liquid media) สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายประกอบด้วยธาตุอาหาร 2 ประเภทได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) ประกอบด้วย คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โปแตสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ส่วนธาตุอาหารรอง (Micronutrients) ประกอบด้วยธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ปริมาณค่อนข้างน้อย ซึ่งเมื่อเติมลงในอาหารจะช่วยให้สาหร่ายเจริญเติบโตขึ้น

6.3.2 อาหารแข็งหรืออาหารวุ้น (Solid or Agar media) ทำโดยการเตรียมอาหารเหลวที่ใช้เพาะเลี้ยงก่อนแล้วเติมวุ้นลงไป 1.5 %

6.4 เทคนิคการแยกเชื้อ (Isolation Techniques)

เทคนิคการแยกเชื้อ (Stein, 1973 and Vonshak, 1986 อ้างจาก ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543) เนื่องจากสาหร่ายมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน และต้องการสภาพการเลี้ยงแตกต่างกันตามชนิด ฉะนั้นจึงต้องเลือกเทคนิคการแยกเชื้อให้ถูกต้อง การแยกเชื้อเป็นเทคนิคเพื่อให้ได้สาหร่ายเป็นชนิดเดียวกันทั้งหมดหรือเป็นการเลี้ยงสาหร่ายเพียงชนิดเดียวควรตั้งต้นจากสาหร่าย 1 เส้น เพียง 1 เซลล์ หรือ 2-3 เซลล์

6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

6.5.1 ปัจจัยทางฟิสิกส์

6.5.1.1 แสง (Light) เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งจะเปลี่ยนสารต่างๆให้อยู่ในรูปของอินทรีย์สาร แต่ถ้าความเข้มแสงมีมากเกินไป จะมีผลต่ออัตราการ

เจริญเติบโต ยับยั้งอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายได้ เพราะความต้องการแสงของพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไป เมื่อเลี้ยงสาหร่ายในที่มีความเข้มแสงคงที่ตลอดเวลา พบว่าเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของเซลล์มาก เซลล์จะมีการบังแสงกันเอง (Mutual shading) ทำให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับแสงเป็นช่วงๆ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527)

6.5.1.2 อุณหภูมิ (Temperature) สาหร่ายตอบสนองต่ออุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมตลอดเวลาอุณหภูมิภายในเซลล์ของสาหร่ายจะเท่ากับอุณหภูมิของน้ำหรือสารละลายอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งมีผลต่อกระบวนการที่ควบคุมเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยเฉพาะเอ็นไซม์ที่ควบคุมสารเข้าออกของเซลล์ และส่วนประกอบของเซลล์ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

6.5.1.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งเพราะสาหร่ายแต่ละชนิด ต้องการpH ในระดับที่แตกต่างกัน เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นกลางจนเป็นด่างหรือมีค่า pH ประมาณ 6.5-7.5 สาหร่ายสีเขียวบางกลุ่ม เช่น เดสมิด เจริญได้ดี ในน้ำที่สภาพเป็นกรดอ่อน หรือเป็นกรดซึ่งมีค่า pH ระหว่าง 5.5-6.5 โดยทั่วไปสาหร่ายส่วนมากจะเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นด่าง (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

6.5.1.4 ความเค็ม (Salinity) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเลี้ยงสาหร่ายน้ำเค็ม สาหร่ายบางชนิดชอบอยู่ในน้ำกร่อยที่มีความเค็มประมาณ 28-30 ppt บางชนิดทนต่อความเค็มสูงได้ดี เช่น สาหร่ายสีเขียวสกุล *Dunaliella* เป็นต้น (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

6.5.2 ปัจจัยทางเคมี

6.5.2.1 คาร์บอน สาหร่ายใช้คาร์บอนประเภทอนินทรีย์ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งละลายได้ในน้ำ หรือในรูปของเกลือคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต เมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรด หรือ pH มีค่าประมาณ 5 ส่งผลช่วยในการเจริญเติบโต เช่น น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ซูโครส กลูโคส กาแลคโตส สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการปริมาณสารประกอบคาร์บอนแตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสาหร่ายต้องการอินทรีย์คาร์บอนในสภาพไร้อากาศ (Anaerobic condition) หรือในสถานที่ไม่มีแสง (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

6.5.2.2 ไนโตรเจน มีความสำคัญรองจากสารประกอบคาร์บอน และพบว่าหากสาหร่ายขาดสารประกอบไนโตรเจน จะมีการสร้างสารประกอบคาร์บอน เช่น น้ำมัน หรือแป้งขึ้นมามาทดแทน สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนทั้งในรูปอนินทรีย์ และอินทรีย์ อีกทั้งยังสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของแก๊สได้ แต่มีสาหร่ายบางชนิดเท่านั้น ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ตรึง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ไนโตรเจนจากอากาศได้ ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ ได้แก่ เกลือ 3 ชนิด คือไนเตรท แอมโมเนีย และในรูปไนไตรท์ (ซึ่งสาหร่ายใช้ได้น้อยมาก) ส่วนในน้ำที่มีมลพิษสูงๆสารประกอบไนโตรเจนจะเป็นแหล่งที่สำคัญมากในการเจริญเติบโตของสาหร่ายและในกรณีที่ไม่มีไนโตรเจนละลายในอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย พบว่าสาหร่ายบางชนิดจะไม่สามารถใช้ไนเตรทได้ (Round, 1977)

6.5.2.3 ฟอสฟอรัส อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต และในรูปของสารอินทรีย์ ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณน้อยมาก ยกเว้นในน้ำที่มีมลพิษสูงๆ สาหร่ายบางชนิดสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าไปในเซลล์ได้ในปริมาณที่มากประมาณร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักแห้ง เช่น *Chlorella Ankistrodesmos* และ *Hydrodictyon* สามารถดูดซึมสารประกอบเมตาฟอสเฟต และโพลีฟอสเฟต ได้มากเมื่อได้รับแสง และพบว่าความสามารถในการดูดซึมสารประกอบทั้ง 2 ตัว จะลดลงเมื่ออยู่ในที่มืดแต่จะสามารถดูดซึมสารประกอบออร์โธฟอสเฟต ได้มากขึ้น (Round, 1977)

7. การเจริญเติบโตของสาหร่าย

ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิด ซึ่งเรียกว่า Batch culture คือการนำเชื้อสาหร่ายมาใส่ในอาหารใหม่ สาหร่ายจะมีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อัตราการเจริญเติบโตจะลดลง กลายเป็นศูนย์ในที่สุด เนื่องจากสาหร่ายไม่สามารถทนต่อสารที่สาหร่ายปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก หรืออาจเนื่องจากมีธาตุอาหารและแสงสว่างไม่พอเพียง การเจริญเติบโตในการเลี้ยงแบบ Batch culture มี 6 ช่วง ดังนี้ (Richmond, 1983)

7.1 Lag phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ระยะนี้จะไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ (ทิฆัมพร กุยยานนท์ และคณะ, 2527)

7.2 Acceleration phase ระยะนี้มวลสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับดังนี้ RNA เป็นองค์ประกอบแรกที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ ต่อมาโปรตีนมีปริมาณเพิ่มขึ้น แล้วน้ำหนักแห้งมีการเพิ่มขึ้น และในที่สุดมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์

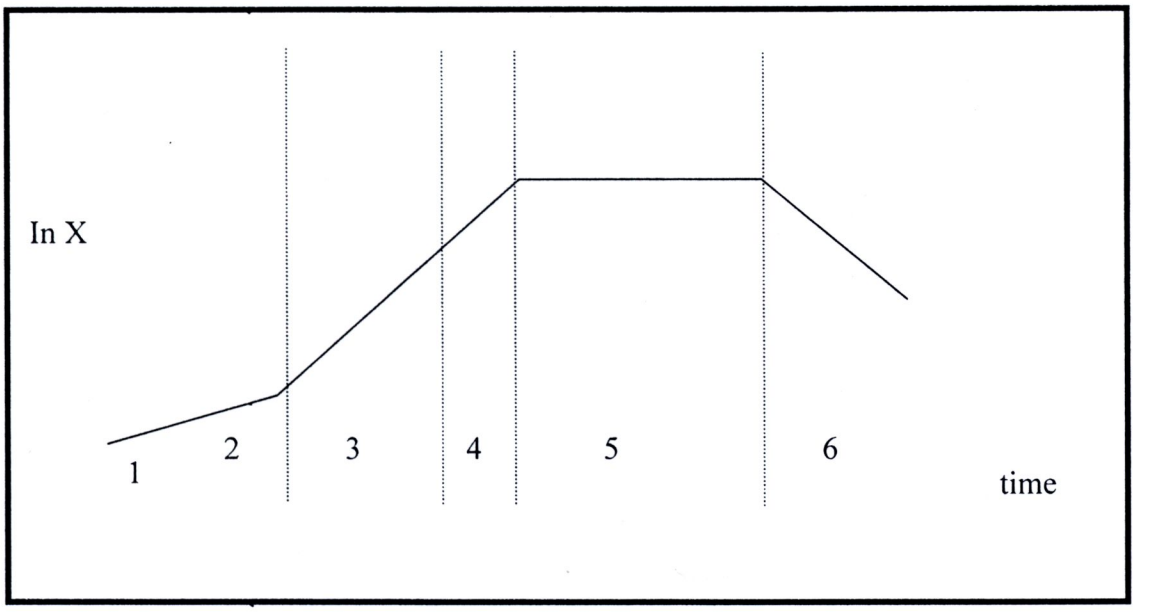
7.3 Logarithmic phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีการแบ่งเซลล์ และเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (ทิฆัมพร กุยยานนท์ และคณะ, 2527; Vonshak Aand Maske, 1953)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 26 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 203348
เลขเรียกหนังสือ

7.4 Deceleration phase เป็นช่วงที่การเจริญเติบโตของสาหร่ายช้าลง เนื่องจากมวลสาหร่ายมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้เกิดการบังแสงกันเอง แต่ละเซลล์ได้รับแสงน้อยลง อัตราการสังเคราะห์แสงจึงลดลง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงด้วย (Richmond, 1983)

7.5. Stationary phase เป็นช่วงที่มวลหรือจำนวนสาหร่ายคงที่ แต่องค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์บางอย่างอาจมีปริมาณเพิ่มขึ้น บางอย่างอาจมีปริมาณลดลง ช่วงการเจริญนี้เกิดจากการขาดแคลนแร่ธาตุอาหารที่สำคัญ การขาดแคลนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยสารที่สาหร่ายปล่อยออกมาเอง การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในอาหาร ตลอดจนการได้รับแสงไม่พอเพียงเนื่องจากความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายที่มากเกินไป ในช่วงนี้จะเริ่มมีการใช้สารอาหารที่สะสมไว้ภายในเซลล์ (Vonshak and Maske, 1953)

7.6 Death phase มวลสาหร่ายเริ่มลดลงเนื่องจากอัตราส่วนของการหายใจต่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น จนมีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากมีการตายของเซลล์สาหร่ายเพิ่มมากขึ้น (Vonshak and Maske, 1953)



ภาพที่ 3 แสดงช่วงการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Vonshak and Maske,1953)

8. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า และคลอเรลลา

สไปรูไลน่าสามารถเจริญได้ดีในบ่อตื้นๆที่มีความเข้มแสง 30-35 กิโลลักซ์ (Venkataraman, 1983) แสงที่จำเป็นสำหรับการเจริญของสไปรูไลน่าในห้องปฏิบัติการอยู่ในช่วง 2,000-5,000 ลักซ์ (Kosaric *et al.*, 1974) อุณหภูมิที่สาหร่ายชนิดนี้อยู่ได้จะอยู่ในช่วง 15 – 50 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีที่ 32-42 องศาเซลเซียส (Nakamura, 1982) Ven Eykelenburg (1979) ได้อธิบายถึงอุณหภูมิและแสงสว่าง มีผลต่อลักษณะโครงสร้างของสไปรูไลน่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกลียวของสไปรูไลน่าแน่นสำหรับค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสไปรูไลน่าอยู่ในช่วง 9-11 (Venkataraman, 1983) สาหร่ายจะลดการเจริญเติบโตเมื่อค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่า 11 (Nakamura, 1982) นอกจาก แสง อุณหภูมิ และ pH จะมีส่วนสำคัญต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าแล้วนั้น ธาตุอาหารที่สำคัญคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก็มีผลต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน คือปริมาณไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย ควรมีไนเตรท-ไนโตรเจน 42-1250 mg/l (Becker and Venkataraman, 1982) และฟอสฟอรัส 0.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (เจียมจิตต์ บุญสม, 2531; Kosaric *et al.*, 2000; Xiaoyang *et al.*, 2000 อ้างจาก วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง, 2541) สำหรับคลอเรลลาความเข้มแสงก็มีผลต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่มีแสงสว่างประมาณ 3,000 ลักซ์ และอุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส (ชาญชัย อมรรัตนานุเคราะห์, 2543) ส่วนความเป็นกรดด่างที่เหมาะอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (Ostwald and Gotaas, 1955) สำหรับธาตุอาหารหลักอย่างไนโตรเจน พบว่าสาหร่ายคลอเรลลามีความต้องการใช้เพื่อการเจริญเติบโตประมาณ 6.5-8.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง แต่ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่านี้ จะทำให้สาหร่ายเกิดขาดไนโตรเจนและทำให้ผลผลิตลดลง (Ostwald and Gotaas, 1955) ส่วนฟอสฟอรัสที่เหมาะจะมีประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Ketchum and Redfield, 1949) นอกจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้ด้วยสารเคมีแล้วนั้น ยังมีผลงานที่เกี่ยวข้องอีกมากมายที่ใช้อาหารสูตรต่างๆเป็นแหล่งสารอาหาร ประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย เพื่อต้องการเพิ่มผลผลิต และลดต้นทุน อีกทั้งยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น (วุฒิชัย พิชัยยุทธ์, 2536) โดยมีผู้ทำการวิจัยไว้ดังนี้

8.1. การเพาะเลี้ยงโดยใช้มูลสัตว์ Stanley and Jone (1976) ได้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าโดยใช้สูตรอาหารซึ่งประกอบด้วย NaCl ร้อยละ 1 $NaHCO_3$ ร้อยละ 0.5 ปุ๋ยเคมีสูตร 12-12-12 มูลวัว เพื่อใช้เป็นอาหารของปลา จากนั้นให้ความเข้มแสง 400 วัตต์ ปรากฏว่า *S. platensis* สามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ เจียมจิตต์ บุญสม และคณะ (2528) ที่ทำการทดลองใช้กากมูลสัตว์หมัก มาเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าจากนั้นเติม $NaHCO_3$ 16.80 18.40 และ 4.20 กรัมต่อลิตร และ $NaNO_3$ 2.50 1.25 และ 0.62 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าการ

เจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เติม $NaNO_3$ 16.80 และ 18.40 กรัมต่อลิตร เจริญได้ดี ถ้ามี $NaHCO_3$ มากกว่า $NaNO_3$ ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในขณะเดียวกันเป็นตัวป้องกันไม่ให้ระดับความเป็นกรดเบสเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้วิรัตน์ พลศรี (2533) ได้ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในอาหารจากมูลสัตว์ต่างชนิดกันโดยเติม $NaHCO_3$ 8.4 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 2.5 กรัมต่อลิตรโดยใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน ปรากฏว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าเจริญได้ดีที่สุดในสูตรอาหารน้ำสกัดจากมูลหมูผสมมูลไก่ อัตราส่วน 1 : 1 ระดับความเข้มข้น $NaHCO_3$ 12 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ชื่นจิตร์ ชื่นกระมล (2530) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร 10 สูตร ความเป็นกรดเบสเริ่มต้นต่างกัน 4 ระดับในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 10 วัน ปรากฏว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าเจริญเติบโตสูงที่สุดในสูตรอาหารมูลไก่ผสมปุ๋ยเคมี ที่ระดับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6

8.2 การเพาะเลี้ยงในน้ำที่เตรียมจากดินโดย อำนาจ ศิริเพชร และคณะ (2531) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในอาหารที่เตรียมจากดินพบว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าสามารถเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 เมื่อวัดค่า OD เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1.092 คิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 505 มิลลิกรัมต่อลิตร

8.3 การเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนโดย สุวิมล จีรอำไพรัตน์ (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งแตกต่างกัน พบว่า อาหาร Zarrouk ผสมกับน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน ในอัตราส่วน 1 : 0 สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากที่สุด ร้อยละ 67.15 เช่นเดียวกับเสกสรร ถารัตน์ (2536) ที่ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในน้ำทิ้งผลิตขนมจีนผสมกับอาหาร Zarrouk ดัดแปลง พบว่า สาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกันมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน และสาหร่ายสไปรูไลน่ามีการเจริญเติบโตสูงสุดร้อยละ 61.53 ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของปิยสิทธิ์ ศาสตรพันธุ์ (2536) ที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าโดยใช้น้ำทิ้งจากการโรงงานขนมจีนในระดับความเข้มข้นต่างๆกัน พบว่า สาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1098.85 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ อุณฤทธิ์ ตอพล (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสไปรูไลน่าในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก พบว่า สาหร่ายสไปรูไลน่าที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อพักรวมน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 50 มีการเจริญเติบโต และปริมาณโปรตีนสูงสุด นอกจากมีการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนแล้วนั้นยังศึกษาเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำทิ้งจากโรงงานอื่นอีกจำนวนมาก เช่น Govindan (1983) ได้ทดลองนำน้ำเสียจากโรงงานทอผ้ามาเพาะเลี้ยง *C. pyrenoidosa* ร่วมกับแบคทีเรียในอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำ 1 : 5 ในเวลา 8-12 วัน พบว่า *C. pyrenoidosa* สามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งคล้ายกับงานวิจัย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ของ Worg (1978) ที่ได้ทำการทดลองนำน้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการย่อยสลายแล้วมาเลี้ยง *C. pyrenoidosa* และ *Chlorella salina* พบว่า สาหร่ายทั้งน้ำจืดและน้ำเค็มทั้ง 2 ชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเลี้ยงใน Conventional medium kuhl medium และ MAV enrichment medium ในขณะเดียวกัน หยกแก้ว และคณะ (2525) ก็ได้ทำการทดลองกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลืองโดยนำมาเพาะเลี้ยง *Scenedesmus acutus Chlamydomonas* sp. และ *Chlorella* sp. เปรียบเทียบกับที่เติมอาหารสังเคราะห์สูตรต่างๆ พบว่า *Chlorella* sp. สามารถเจริญได้ดีในน้ำแช่เมล็ดถั่วเหลือง

9. น้ำเสีย (wastewater)

น้ำเสียตาม พ.ร.บ ส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

น้ำเสียหมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่างๆมาแล้ว จึงทำให้น้ำมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา กลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งทางอินทรีย์ และอนินทรีย์เจือปนอยู่ในน้ำ ซึ่งมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันตามแหล่งการใช้น้ำ (สุธีลา ตุลยะเสถียร และคณะ, 2544)

10. การวัดคุณภาพน้ำเสีย

แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ได้ดังนี้ (สุธีลา ตุลยะเสถียร์ และคณะ, 2544)

10.1 ดัชนีที่แสดงคุณภาพน้ำด้านกายภาพ (Physical quality) เช่น อุณหภูมิ สี กลิ่น ความขุ่นและสารแขวนลอย เป็นต้น

10.2 ดัชนีที่แสดงคุณภาพน้ำด้านเคมี (Chemical quality) เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ (DO) ความเป็นกรดเป็นด่าง ธาตุ และสารประกอบที่ละลายอยู่ในน้ำ เป็นต้น

10.3 ดัชนีที่แสดงคุณภาพน้ำด้านชีววิทยา(Biological quality) เช่น จุลินทรีย์ประเภทต่างๆที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ เป็นต้น

11. เกณฑ์การวัดคุณภาพน้ำเสีย

กฎหมายได้กำหนดคุณภาพน้ำเสียที่เป็นตัวชี้วัด (Parameter) สำคัญมีดังนี้

11.1 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ บอกถึงความสกปรกของน้ำเสีย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของออกซิเจนต่อน้ำ 1 ลิตร หากค่า BOD สูงแสดงว่าความต้องการออกซิเจนสูง นั่นคือมีความสกปรก

มาก องค์การอนามัยโลกกำหนดมาตรฐานแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีควรมีค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน ควรมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า BOD ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ค่า BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
ไม่เกิน 4	แหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดี
ไม่เกิน 20	น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน
ไม่เกิน 1.5	แหล่งน้ำทิ้งประเภท 2 สามารถใช้ประโยชน์ (อุปโภค อนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การกีฬา การว่ายน้ำ)
ไม่เกิน 2	แหล่งน้ำทิ้งประเภท 3 สามารถใช้ประโยชน์ได้ (อุปโภค การเกษตร)

(มงคล ต๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

11.2 สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) สภาพนำไฟฟ้าเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ โดยจะบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายชนิด เช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำขณะตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุ และความเข้มข้นของสารมีประจุแต่ละชนิดซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์นอกจากนี้จำนวนประจุสารที่มีประจุ มีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วย (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข, 2539) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (mS/cm)	การประเมิน (Assessment)
น้อยกว่า 2 mS/cm	ไม่เค็ม
2-4	เค็มเล็กน้อย
4-8	เค็มปานกลาง
8-16	เค็มมาก
150-300 μs/cm	ค่าปกติในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ
น้อยกว่า 750 μs/cm	น้ำชลประทานที่เหมาะสม
มากกว่า 3000 μs/cm หรือ 3 mS/cm	น้ำชลประทานมีปัญหาสูง/มาก

(มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

11.3 ค่าพีเอช (pH) เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย ถ้ามี pH สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ระบบนิเวศน์ของน้ำนั้นเสียสมดุล น้ำทิ้งควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5-9 เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพีเอช (pH) ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ค่าพีเอชของน้ำ	การประเมิน (Assessment)
5-9	ระดับปกติของน้ำทิ้งที่สามารถใช้ประโยชน์ได้
น้อยกว่า 5	เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม
มากกว่า 9	เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม
น้อยกว่า 4	จะมีผลทำให้เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของปลาได้
ระหว่าง 4-6	ปลาบางชนิดอาจไม่ตาย แต่ผลผลิตต่ำลง เจริญเติบโตช้า และการสืบพันธุ์หยุดชะงัก
ระหว่าง 6.5-9.0	เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

(มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

11.4 ความขุ่น (Turbidity) การที่น้ำมีพวกสารแขวนลอยอยู่ในน้ำมาก จะส่งผลทำให้มีการบดบังแสง ได้แก่ ดินละเอียด อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร สิ่งมีชีวิตเล็กๆ สารพวกนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจาย (Scattered) และดูดซึม (Absorbed) ของแสงแทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านเป็นเส้นตรง สารพวกนี้อาจมีบางพวกกระจายแสงบางพวกดูดซึมแสง การที่น้ำมีความขุ่นมากทำให้แสงส่องผ่านได้น้อยทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตจำกัด (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความขุ่นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ค่าความขุ่น (Turbidity) หน่วย	การประเมิน (Assessment)
น้อยกว่า 25 หน่วย	น้ำใส/ปกติธรรมชาติ
25-100 หน่วย	น้ำที่มีความขุ่นปานกลาง
มากกว่า 100 หน่วย	น้ำที่มีความขุ่นมาก
มากว่า 20,000 หน่วย	มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำและอาจเป็นอันตรายจนถึงชีวิตได้
น้อยกว่า 5 หน่วย	ยอมให้มีในน้ำดื่มได้
20 หน่วย	เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ

(มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

11.5 ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลาย ในน้ำ สามารถบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำ ถ้าออกซิเจนมากน้ำคุณภาพดี ถ้า DO น้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าน้ำเน่าเสีย และถ้าค่า DO น้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์น้ำและพืชน้ำจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ สำหรับน้ำทั่วไปควรมีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำอย่างน้อย 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาจึงจะมีชีวิตอยู่ได้อย่างเป็นปกติ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

DO มิลลิกรัมต่อลิตร	การประเมิน (Assessment)
5-7 mg/l	คุณภาพน้ำดี/คุณภาพน้ำปกติโดยทั่วไป
3-5 mg/l	การเจริญของสัตว์น้ำปกติ
2-3 mg/l	น้ำเน่าเสียและสัตว์น้ำมีจำนวนลดลง
0.3-1 mg/l	ปลาส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้เมื่อระยะนานขึ้น
น้อยกว่า 0.3 mg/l	ปลาไม่สามารถทนอยู่ในน้ำได้เวลานาน

(มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

11.6 ไนโตรเจน เป็นธาตุที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน เมื่อสารประกอบอินทรีย์ถูกย่อยสลาย ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม น้ำที่คุณภาพดีจะมีสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ , 2540) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำกับความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

ปริมาณธาตุไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
ไนเตรท - ไนโตรเจน	
ไม่เกิน1.5	น้ำดื่มน้ำใช้ทั่วไป
ไม่เกิน 5	คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ยอมรับได้
แอมโมเนียม-ไนโตรเจน	
ไม่เกิน 0.2	น้ำดื่มน้ำใช้ทั่วไป
ไม่เกิน 0.5	คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ยอมรับได้

(มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

11.7 ฟอสฟอรัส ในน้ำธรรมชาติมีค่าสูงเกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมลิตรลิตร จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป ในการควบคุมป้องกันปัญหาการเกิดมลภาวะของแหล่งน้ำ จึงกำหนดไว้ไม่ควรมีปริมาณของฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประเทือง เชาว์วันกลาง, 2537) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณของสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำกับความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

ปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การประเมิน (Assessment)
ต่ำกว่า 0.01mg/l	คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ
ไม่เกิน 0.03 mg/l	ในการควบคุมและป้องกันปัญหาการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ
สูงกว่า 0.6 mg/l	แหล่งน้ำที่มีปัญหาด้านมลภาวะ
0.01 mg/l	เหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

(มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า, 2546)

12. น้ำเสียจากโรงงานขนมจีน

ขนมจีนทำจากแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการต้มหรือนึ่ง มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้โปรตีน 5.7– 6-6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 0.04-0.09 ปริมาณแป้งร้อยละ70.4-78.5 ปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 25.3-27.3 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.16-0.41 พีเอช 3.8-5.1 ความชื้นร้อยละ 69.8-76.4 ต่อขนมจีน 100 กรัม น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตมีหลายขั้นตอน ได้แก่ การหมักข้าว การโม่ การตกตะกอนน้ำแป้ง การทับน้ำแป้ง การนึ่งแป้ง การนวดแป้ง การกรองแป้ง การโรยเส้นขนมจีน ทุกๆขั้นตอนในการผลิตการใช้น้ำ ซึ่งหลังจากการผลิตจึงต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2528)

จากการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้แป้งจากข้าวในการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร น้ำเสียซึ่งเกิดจากกระบวนการแช่ข้าว การปรังและการล้างเมื่อนำมาวิเคราะห์ปรากฏผลดังแสดงตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์จากข้าว

ลักษณะ	ปริมาณ
พีเอช	4.2-7.0
ตะกอนของแข็ง (มก./ล.)	1460
เถ้าของแข็ง (%)	20.5
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	610
เถ้าของแข็งแขวนลอย (%)	10.8
ไนโตรเจน (มก./ล.)	30
ฟอสเฟต (มก./ล)	30
บีโอดี (มก./ล)	1065
แป้ง (มก./ล)	1200

(Nemerow, 1971)

13. การบำบัดน้ำเสียด้วยสาหร่าย

สาหร่ายสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำได้ ว่าแหล่งน้ำนั้นกระด้างหรืออ่อน หรือมีแร่ธาตุใดบ้าง เนื่องจากมีสาหร่ายหลายชนิดที่สามารถใช้แร่ธาตุ และสารอินทรีย์ต่างๆจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสารอาหารเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นจึงช่วยลดระดับของแร่ธาตุต่างๆในแหล่งน้ำได้ ทำให้น้ำสะอาดขึ้น เช่นในการกำจัดน้ำโสโครกในขั้นตติยภูมิโดยใช้สาหร่ายกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำที่ปล่อยออกมาได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสที่ออกจากขั้นทุตยภูมิ

ในระบบกำจัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง (Oxidation pond) สาหร่ายและแบคทีเรียจะอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน สาหร่ายที่พบมากก็ได้แก่ *Chlorella* และ *Scenedesmus* นอกจากนี้ก็มี *Euglena Phagus Oscillatoria Anabaena* และ *Nitzschia* เป็นต้น สาหร่ายเหล่านี้มีความต้องการพลังงานสูงและจะสังเคราะห์อาหารโดยใช้สารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายของแบคทีเรียซึ่งจะย่อยสลาย

สารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสาหร่ายเพื่อใช้สังเคราะห์แสง ปล่อยออกซิเจนออกมา เพื่อใช้ในการหายใจของแบคทีเรียและสาหร่ายเอง ระบบบ่อผึ่งได้มีการนำมาใช้ในการกำจัดของเสียจากมูลสัตว์และของเสียการเกษตรมานานแล้วทั้งในประเทศจีน อินเดีย อินโดนีเซีย ทั้งที่นำมาใช้ในการเลี้ยงปลาโดยการนำของเสียมาทิ้งในบ่อปลา (Phung, 1995) ระบบบ่อผึ่งที่กำจัดของเสียโดยจุลชีพนี้พบว่าเป็นวิธีที่มีความคุ้มทุนในการกำจัดของเสียจากบ้านเรือน การเกษตรกรรมและเกษตรอุตสาหกรรม

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียนำมาใช้เป็นครั้งแรกที่ เทกซัสในปี 1901 และมีการพัฒนาระบบนี้ในระหว่างปี 1940-1950 (Gloyna, 1971) ระบบสมัยแรกๆเรียกว่าระบบบึงเสถียร (Waste stabilization ponds) ซึ่งรวมทั้งระบบไร้อากาศ (Anaerobic pond) และระบบให้อากาศ (Aerobic pond) โดยขั้นแรกเป็นระบบไร้อากาศรับน้ำเสีย และขั้นที่สอง บ่อออกซิเดชั่น ซึ่งจะเกิดขบวนการออกซิเดชั่นและระบบบ่อ เทอรเชียรี่ (Maturation) จะทำให้เกิดการฆ่าเชื้อก่อนที่จะปล่อยน้ำที่บำบัดแล้วออกสู่สิ่งแวดล้อม

High Rate Algae Pond (HRAP) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยทำในคลองที่มีใบพัดหมุน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลชีพโดยเพิ่มจำนวนเพื่อการบำบัดของเสีย ต่อจากนั้นมีการนำระบบ Advance Integrated Pond System (AIPS) มาใช้ร่วมกันระหว่างระบบแอนนาโรบิค และ HRAP เป็นระบบเดียวกัน (Oswald, 1998) ระบบนี้ทำให้เกิดการหมักได้ก๊าซมีเทน ของ Suspended solid ของเหลวแขวนลอย การออกซิเดชั่นของสารออร์แกนิคที่ละลายน้ำ การกำจัดแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต การตกตะกอนของแคลเซียม แมกนีเซียม โลหะ และกำจัดเชื้อก่อโรค ในขณะเดียวกันเซลล์ของสาหร่ายที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยและแหล่งของสารเคมีที่มีอยู่ในสาหร่าย (Oswald and Gotaas, 1957)

หลังจากการบำบัดขั้นต้นแล้วนั้นในขั้นต่อไปจะมีค่าใช้จ่ายสูงถึงสองเท่าตัว ซึ่งในการกำจัดแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 4 เท่าของการบำบัดขั้นต้น (Oswald, 1998) การกำจัดสารออร์แกนิคจากโรงงานอุตสาหกรรม สารพิษต่างๆเช่นโลหะหนักและแร่ธาตุอื่นๆจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 16 เท่าของการบำบัดขั้นแรก ซึ่งจะทำให้สามารถนำไปปฏิบัติจริงได้ยาก ดังนั้นการนำสาหร่ายมาใช้ในการกำจัดจึงเป็นทางเลือกที่มีราคาถูกกว่าและมีความเป็นไปได้หลังการบำบัดขั้นต้นแล้ว ซึ่ง Laliberte และคณะได้ทำรายงานสรุปการนำสาหร่ายเกลียวทองมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย บึงออกซิเดชั่นจะมีความลึกโดยเฉลี่ย 2 เมตรและใช้ประโยชน์ระหว่างสาหร่ายและแบคทีเรีย เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบซิมไบโอติค สาหร่ายจะมีบทบาทในส่วนบน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

และผลิตออกซิเจนให้แก่แอโรบิคแบคทีเรีย เพื่อที่จะทำให้โมเลกุลของสารออร์แกนนิคที่ซับซ้อนแตกออกเป็นสารประกอบที่ไม่ซับซ้อน สาหร่ายจึงจะสามารถนำไปใช้ได้

สาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถในการเจริญเติบโตในแหล่งน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารหรือสารเคมีปนเปื้อนได้แตกต่างกัน ดังนั้นการตรวจพบสาหร่ายเหล่านี้ในแหล่งน้ำได้จึงเป็นการบ่งชี้ให้ทราบถึงคุณภาพน้ำในแหล่งนั้น ดังแสดงในตาราง 9

ตารางที่ 9 แสดงชนิดของสาหร่ายที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ

สาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำสะอาด	สาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำเสีย
Agmenellum quadriduplicatum	*Agmenellum quadriduplicatum*
Calothrix parietina	*Anabaena constricta*
Chromulina rosanoffi	*Anacytis montana*
Chrysococcus refescens	*Carteria multifillis*
Cladophora glomerata	*Chlamydomonas reinhardi*
Coccochloris stagnina	*Chlorella vulgaris*
Cocconeis placentula	*Chlorogoinium euchlorum*
Cyclotella bodanica	*Euglena virdis*
Entophysalis lemaniae	*Gomphonema parvulum*
Lemanea annulata	*Lepocinclis texta*
Meridion circulare	*Lyngbya digueti*
Micrasterias truncate	*Nitzschia palea*
Microcoleus subtorulosus	*Oscillatoria chlorina*

(อาภารัตน์ มหาขันธ์ และณัฐพร พันธุมนาวิน, 2539 อ้างจาก วริชย์ วีระวัฒนพงศ์, 2541)

การกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมมีการนำสาหร่ายมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบแบบบูรณาการ และพบว่า *Oscillatoria pseudogeminata var unigranulata* สามารถกำจัดไนเตรท ฟอสฟอรัส แอมโมเนียม คลอไรด์ และซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ (Manoharan and Subramannian, 1992 อ้างจาก ดวงรัตน์ อินทร และสรัญญา พันธุ์พฤกษ์, 2550) สาหร่ายสามารถเปลี่ยนแปลงฟอร์มของสารให้เป็นพิษน้อยลง และทำให้เกิดการสะสมทางชีวภาพ

เช่น ไซยาโนแบคทีเรีย *Microsystis aeruginosa* และ *Selanastrum capricornatum* สามารถสะสม (Bioaccumalate) เบนซีน โทลูอีน แนพทาลีน ฟีแนฟทรีน และไพรีน (Kobayashi and Rittmann, 1982) และ *Phormidium valderianum* ยังสามารถย่อยสลาย และลดความเป็นพิษของสารปฏิชีวนะ เช่น แอมพิซิลิน และ เพนนิซิลินที่พบในของเสียโดยสามารถนำสารปฏิชีวนะเหล่านี้ไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ (Prabaharan *et al.*, 1994) นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลาย อัลคิลซัลเฟต ในผงซักฟอก (Ulka, 1997) กำจัดสีจากโมลาส (molasses) ซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากโรงงานสุรา โดย โพลิแซคคาไรด์ที่ผลิตจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในทะเล *Nostoc calcicola* สามารถกำจัด melanoidin ในน้ำทิ้งจากโรงงานสุราได้ 25 % (Thangeswaran, 1991) และสาหร่าย *C. saccarohila* และ *Chlorella vulgaris* สามารถกำจัดสีได้ 21 และ 17 ตามลำดับ (Inthorn *et al.*, 2002)

กาญจนวดี คงขึม (2546) ได้ศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายเซลล์เดียว พบว่าอัตราจำเพาะของการใช้แอมโมเนียขนาด 50 มิลลิลิตร 240 ลิตร และขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม L/D ratio สูงขึ้นแต่จะลดลงถ้า L/D ratio มีค่าสูงเกินไปมีค่าเท่ากับ 0.707 0.980 และ 0.060 mg-N/mg-chl a /hr ตามลำดับ ในขณะที่กนกกาญจน์ วรวุฒิ (2547) ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูไลน่าในการลดค่า BOD ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล พบว่าที่ความหนาแน่น 10 มิลลิลิตร มีค่า OD_{560} ที่ 0.023±0.020 ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ อัจฉรียา แก้วมีศรี (2544) ได้ทำการศึกษาเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้สาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* ศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ออร์โธฟอสเฟต และค่าบีโอดีของการทดลองที่เลี้ยง และไม่เลี้ยงสาหร่ายผมนาง ผลการศึกษาพบว่า การเลี้ยงสาหร่ายผมนางในบ่อรับน้ำเสียสามารถลดปริมาณสารต่างๆ ได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ (2550) ทำการศึกษาการใช้ไซยาโนแบคทีเรียชนิด *Calothrix marchica* สายพันธุ์ TISTR 8109 บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำเป็นเวลา 14 วันพบว่า เมื่อใช้สาหร่าย *Ca. marchica* บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า *Ca. marchica* ปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด โดยสามารถลดแอมโมเนีย ไนเตรท-ไนโตรเจน และ ออร์โธฟอสเฟต ลงได้ 59.1 72.6 และ 98.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการทดลองของสุรวุธ พุ่มอิ่ม (2547) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม พบว่าโลหะตะกั่วลดลงได้มากที่สุด รองลงมาคือแคดเมียมและโครเมียมตามลำดับ เท่ากับ 38.7 3.6 และ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ วริชย์ วีระวัฒนพงศ์ (2541) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณสารอาหารในน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ปีกโดยใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp. พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้สาหร่าย *Chlorella* sp. มีประสิทธิภาพในการลดค่า

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี ค่อนข้างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tam และ Wong (1989) ที่รายงานว่า *C. pyrenoidosa* มีการเจริญได้ดีที่ Settled sewage สามารถลดปริมาณสารอาหารจากน้ำเสียได้ดีในช่วงสัปดาห์แรกของการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากนั้นยังมีงานวิจัยของ Govindin (1983) ที่ได้นำน้ำเสียจากโรงงานทอผ้ามาใช้เลี้ยง *C. pyrenoidosa* สามารถเจริญเติบโตได้ดี และค่า BOD ลดลงร้อยละ 98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่งานวิจัยของ หยกแก้ว ยามาลี และคณะ (2525) ที่ได้ทำการทดลองเลี้ยง *Chlorella* sp. K3 ร่วมกับแบคทีเรียในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง พบว่าสาหร่ายและแบคทีเรียสามารถอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัย (Symbiosis) และสาหร่าย *Chlorella* sp. K3 ยังสามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 95 เปอร์เซ็นต์ คือค่าเริ่มต้น 4,144 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงร้อยละ 97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากที่ได้มีการนำเอาสาหร่ายน้ำจืดมาทดลองเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้ง จากโรงงานต่างๆ เพื่อบำบัดน้ำทิ้งขั้นต้นแล้วนั้น ก็ยังมีผู้ทำการวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายน้ำทะเล ในการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากโรงงานต่างๆด้วยเช่นกัน ซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาไว้โดยประมัยพร ทองคณารักษ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2551) ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล 4 ชนิด ในการลดปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปะกะรังดอกแดง พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเล สาหร่ายไส้ไก่ สาหร่ายผมนาง และสาหร่ายพวงองุ่นมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนียรวม 99.5 87.3 99.6 และ 99.2 % ตามลำดับ สาหร่ายผมนางมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียรวม ไนเตรท และฟอสเฟตดีที่สุดโดยบำบัดได้ 99.6 70.9 และ 98.4 % ตามลำดับ สาหร่ายพวงองุ่นมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรทดีที่สุด โดยบำบัดได้ 92.0 % โดยมีงานวิจัยสนับสนุนของ ธวัช ศรีวีระชัย และสุริยะ แพงดี (2548) ที่สนับสนุนประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในการบำบัดคุณภาพน้ำทะเล และน้ำทิ้งจากโรงเพาะอนุบาลสัตว์น้ำของสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยใช้สาหร่ายในปริมาณ 0.1 0.5 และ1.0 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 0.1 กรัม ต่อลิตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งในน้ำทิ้งและน้ำทะเลได้ดีกว่าความหนาแน่น 0.5 และ 1.0 กรัมต่อลิตร สอดคล้องกับ อรกัญญา เม่งหยู และอำไพ ล่องลอย (2551) ที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล *Caulerpa racemosa* var. *corynephora*, *Cau. lentillifera* และ *Cau. sertularioides* พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพ ในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต และตะกอนแขวนลอยได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)