บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาหร่าย

สาหร่าย (Algae) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่มี ต้น ราก และใบ มีลักษณะง่าย ๆ เป็นท่อน หรือทัลลัส (Thallus) มีตั้งแต่เซลล์เดียว (Unicellular) จนถึงเชิงซ้อนขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเซลล์เป็นจำนวนมาก สาหร่ายมีการสืบพันธุ์ที่แตกต่างกันแล้วแต่ละชนิด และสามารถสร้างอาหารเองได้โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชชั้นสูงทั่วไป (วันเพ็ญ ภูติจันทร์, 2549) สาหร่ายดำรงชีวิตได้หลายรูปแบบ เช่น แพลงก์ตอน (Plankton) แขวนลอยอยู่ในมวลน้ำเรียกว่า แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) ดำรงชีวิตแบบยึดติดกับพื้นทะเล หรือบนวัสดุอื่น ๆ เช่น กลุ่มของสาหร่ายหลายเซลล์ ที่เรียกรวมว่าสาหร่ายทะเล (Seaweeds) นอกจากนี้ ยังสามารถพบสาหร่ายในสภาพแวดล้อม อื่น ๆ เช่น ดิน หิมะ น้ำพุร้อน และสาหร่ายที่ใช้ชีวิตอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในลักษณะความสัมพันธ์แบบพึ่งพา ได้แก่ ไลเคน (Lichen) ซึ่งเป็นสาหร่ายที่ดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับรา และสาหร่าย Zooxanthellae ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการังและหอยมือเสือ เป็นต้น (สรวิศ เผ่าทองสุข, 2543)

ลักษณะของสาหร่ายที่แตกต่างจากพืช

ยุวดี พีรพรพิศาล (2549) ได้กล่าวว่า ลักษณะของสาหร่ายที่แตกต่างจากพืชทั่วไป มีดังนี้

1. สาหร่ายประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว หรือรวมกันเป็นกลุ่ม (Colony) ไม่มี ต้น ราก และใบ แม้สาหร่ายหลายเซลล์บางชนิดมีส่วนคล้ายต้น (Strip) คล้ายราก (Holdfast) และคล้ายใบ (Blade) แต่เซลล์ดังกล่าว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อ (Tissue) หรืออวัยวะ (Organ)

2. สาหร่ายไม่มีระบบท่อลำเลียง (Vascular System) แต่ทัลลัสของสาหร่ายบางชนิดจะมีเซลล์ ที่คล้ายกับเนื้อเยื่อ (Tissue) หรือ อวัยวะ (Organ) แต่ยังไม่ไซเล็ม (Xylem)

3. สาหร่ายมีเซลล์ทำหน้าที่เพื่อการยังชีพ และเพื่อการสืบพันธุ์อยู่ในเซลล์เดียวกัน แต่เมื่อรวมตัวกันเป็นไซโกต (Zygate) จะไม่มีการพัฒนาไปเป็นเอ็มบริโอ (Embryo)

4. เซลล์สืบพันธุ์ของสาหร่ายบางชนิดจะมีอวัยวะสืบพันธุ์ที่ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ (Multicelluar Gametangia) อวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ไม่มีเซลล์อื่นห่อหุ้ม ยกเว้นสาหร่ายไฟ (Stonewart) ที่มีเซลล์ที่เป็นหมัน (Sterile Cells) ห่อหุ้ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย

สาหร่ายเป็นผู้ผลิต (Producer) ของระบบนิเวศในน้ำ ความสามารถในการเจริญทวีหรือจำนวนของสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางฟิสิกส์และทางเคมีหลายประการ โดย ลัดดา วงศ์รัตน์ (2541) กล่าวไว้ ดังนี้

1. ปัจจัยทางฟิสิกส์

1.1 แสง (light) การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะใช้พลังงานจากแสงในช่วงคลื่นแสงที่เรียกว่า Photosynthetically Active Radiation (PAR) ซึ่งมีความยาวคลื่นแสงระหว่าง 400-700 nm อัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มสูงขึ้น จนถึงความเข้มที่ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นสูงอีก เรียกว่าอยู่ในระดับที่อิ่มตัว (Saturation) โดยปกติ การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่เจริญอยู่ในน้ำจะเพิ่มปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ ถึงแม้ว่า สาหร่ายจะมีการหายใจระดับเซลล์ที่ต้องบริโภคออกซิเจนที่เกิดขึ้นพร้อมกันกับการสังเคราะห์แสงก็ตาม แต่ปริมาณออกซิเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงมีมากกว่าออกซิเจนที่สาหร่ายใช้ในการหายใจ อย่างไรก็ตามในแหล่งน้ำที่มีความหนาแน่นของสาหร่ายมาก ๆ จะเป็นปัญหาในเวลากลางคืนเพราะเป็นช่วงเวลาที่สาหร่ายไม่สังเคราะห์แสง แต่สาหร่ายบริโภคออกซิเจนจนทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลง จนเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้

1.2 อุณหภูมิ (Temperature) สาหร่ายน้ำจืดเกือบทุกชนิดเจริญได้ดีที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 15-25 °C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 30 °C สาหร่ายก็จะตาย สาหร่ายน้ำเค็มชอบอุณหภูมิระหว่าง 5-15 °C ถ้าสูงกว่า 20 °C สาหร่ายก็จะตาย

1.3 ความเค็ม (Salinity) มีความสำคัญอย่างมากต่อการเลี้ยงสาหร่ายน้ำเค็ม สาหร่ายแต่ละชนิดชอบอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็มประมาณ 28-30 ppt

1.4 ปัจจัยชนิดอื่น ที่มีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเจริญของสาหร่ายอีก เช่น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความกระด้างของน้ำ เป็นต้น ซึ่งมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสาหร่าย ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อระดับ pH ของน้ำ หากพืชสังเคราะห์แสงมาก ค่า pH จะสูงขึ้น และหากสูงถึง 9-11 จะทำให้สาหร่ายไม่เจริญหรือตายได้

2. ปัจจัยทางเคมี

การเจริญของสาหร่ายขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยง ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่าย ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายมี ดังนี้

2.1 คาร์บอน พืชนำไปใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อนินทรีย์และอินทรีย์คาร์บอน สาหร่ายใช้คาร์บอนประเภทอนินทรีย์คาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่

ละลายในน้ำ หรือในรูปของเกลือคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต คาร์บอนจะอยู่ในรูปใดขึ้นอยู่กับระดับ pH ของน้ำ คาร์บอนอยู่ในรูปของเกลือไบคาร์บอเนต เมื่อ pH ของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 7-9 แต่คาร์บอนอยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนต เมื่อ pH มีค่าสูงกว่า 9.5 ขึ้นไป และอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำเมื่อ pH มีค่าประมาณ 5 นอกจากนั้น สาหร่ายสามารถใช้คาร์บอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำตาลชนิดต่าง ๆ (ซูโครส กลูโคส และกาแลคโตส) โดยทั่วไป สาหร่ายต้องการอินทรีย์คาร์บอนในสภาพไร้อากาศ (Anaerobic Condition) หรือในสถานที่ไม่มีแสงสว่าง

2.2 ไนโตรเจน สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ อีกทั้ง สามารถใช้ในรูปก๊าซได้อีกด้วย แต่มีสาหร่ายบางชนิดเท่านั้นที่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ ได้แก่ เกลือ 3 ชนิด คือ ไนไตรต ไนไตรท์ และแอมโมเนียไนโตรเจน ถ้าแหล่งไนโตรเจนอยู่ในรูปเกลือแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ระดับ pH ของอาหารลดลงต่ำอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อสาหร่าย ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนก็จะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุหรือสารสี (Pigment) ของเซลล์ รวมทั้งทำให้กิจกรรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย

2.3 ฟอสฟอรัส มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค พืชมีความต้องการใช้ฟอสฟอรัสในรูปของสารอนินทรีย์มากกว่าสารอินทรีย์ ดังนั้นสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสจึงจัดว่าเป็นแหล่งเบื้องต้นของฟอสฟอรัสที่สามารถแตกตัวเป็นสารอนินทรีย์ ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะทำให้ปริมาณโปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์-เอ RNA และ DNA จะลดลงได้

2.4 ซัลเฟอร์ เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อสาหร่ายทุกชนิด ซัลเฟอร์ที่สาหร่ายส่วนใหญ่ใช้ในรูปของสารอนินทรีย์ได้แก่ เกลือของโลหะ คือ ซัลเฟต ซัลไฟท์ และซัลไฟด์

2.5 แคลเซียม มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างเกล็ด (Scale) และโครงสร้างของสาหร่ายโดยเฉพาะสาหร่ายน้ำเค็ม หรือมีบทบาทสำคัญในการสร้างผนังของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้

2.6 โซเดียม เป็นธาตุอาหารที่สาหร่ายบางชนิดต้องการ โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการโซเดียมในปริมาณมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่นที่อยู่ในน้ำจืด โซเดียมมีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด

2.7 โปแตสเซียม เป็นธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด อัตราส่วนของโซเดียมและโปแตสเซียมจะมีผลต่อการใช้คลอรีนของสาหร่าย

2.8 แมกนีเซียม เป็นธาตุอาหารที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์

2.9 เหล็ก เป็นธาตุอาหารที่ช่วยการดูดซึมไนโตรเจนและขบวนการสังเคราะห์แสง คือช่วยสร้างสารสีเขียวชนิดคลอโรฟิลล์-เอ และสารสีน้ำเงินชนิด ซี ไฟโคไซยา ถ้าสาหร่ายขาดธาตุเหล็กจะมีผลต่อสรีระของเซลล์

2.10 โบรอน เป็นธาตุอาหารที่สาหร่ายบางชนิดต้องการใช้ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

2.11 แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย รวมทั้งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์อีกหลายชนิด ถ้าขาดจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงและการหายใจเพิ่มขึ้น ถ้าธาตุทั้งสามชนิดนี้มีมากเกินไป สาหร่ายก็จะตาย

2.12 โมลิบดินัม เป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจน ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง

2.13 วาราเดียม เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายบางชนิด เช่น *Spirulina* และสามารถใช้แทนโมลิบดินัมในการตรึงไนโตรเจน

2.14 โคบอลท์ เป็นธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของไวตามินบี 12 ซึ่งสำคัญมากต่อการเจริญของสาหร่ายหลายชนิด

2.15 นิคเกิล เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ยูเรียของสาหร่ายบางชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียว

2.16 ซิลิกา เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นที่สุดของไดอะตอมเพื่อสร้างผนังเซลล์ ส่วนสาหร่ายชนิดอื่นไม่จำเป็นต้องใช้

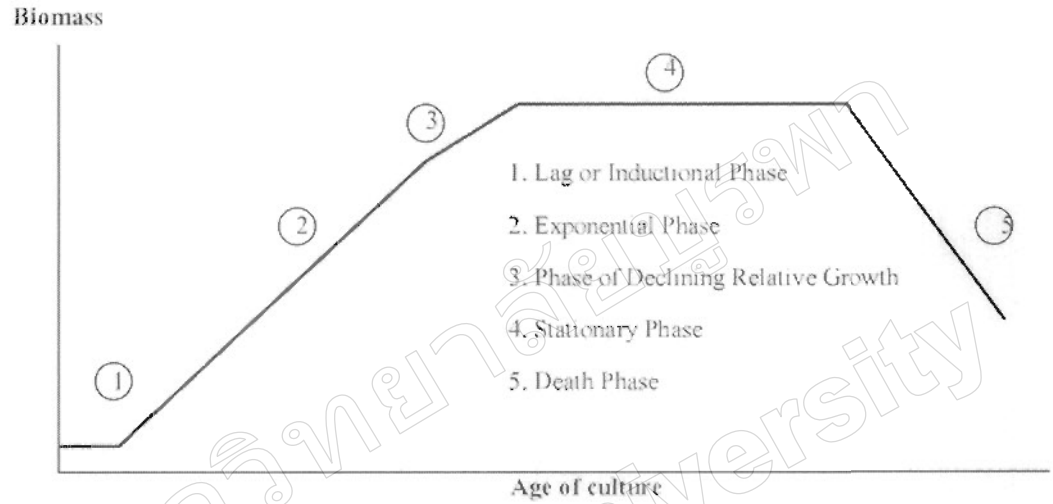
2.17 คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่าง ๆ

2.18 อาหารเสริม ได้แก่ อาหารที่ช่วยการเจริญของสาหร่าย เช่น อะเดนิน (Adenine) ไคเนติน (Kinetin)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รูปแบบการเจริญของสาหร่าย

การเจริญของสาหร่ายสามารถศึกษาได้จากกราฟการเติบโต (Growth Curve) ทั้งนี้ ลัดดา วงรัตน์ (2541) ได้แบ่งการเจริญของสาหร่ายไว้ 5 ระยะ ดังภาพที่ 2-1 รายละเอียดของแต่ละระยะมีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2-1 การเจริญของสาหร่าย
ที่มา : ลัดดา วงศ์รัตน์ (2541)

1. ระยะปรับตัว (Lag Phase or Inductional Phase) เป็นระยะที่เซลล์ปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่น แสง อุณหภูมิ และธาตุอาหารต่าง ๆ ระยะนี้สาหร่ายไม่มีการแบ่งตัว ถ้าเซลล์ไม่สามารถปรับตัวได้ก็จะตายลง สาหร่ายจะผ่านระยะปรับตัวนี้ช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซลล์ และความอุดมสมบูรณ์ของอาหารที่เลี้ยง ถ้าสภาวะทั้งสองอย่างเหมาะสมจะเข้าสู่ระยะที่ 2 เร็วขึ้น

2. ระยะเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Phase or Log Phase) เป็นระยะที่สาหร่ายเจริญและแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ระยะนี้จะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารและคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของสิ่งแวดล้อม เช่นอุณหภูมิ ความเข้มแสง ช่วงแสงสว่าง ผลผลิตนอกเซลล์ของสาหร่าย และสภาวะรวมของสิ่งแวดล้อม ลักษณะการเจริญในระยะนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ช้าลงตามลำดับ ในช่วงระยะนี้ จำนวนของสาหร่ายมีการเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณและสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\frac{dN}{dt} = \mu \cdot N \text{ หรือ } \frac{1}{N}\frac{dN}{dt} = \mu \quad 2.1$$

$$N = N_0 \text{ หรือ } t = t_0 \quad 2.2$$

เมื่อ N และ N_0 คือ ความเข้มข้นของสาหร่ายที่เวลา t และ t_0 ตามลำดับ โดยที่ t_0 เป็นเวลาเริ่มต้นของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายและ μ คือ อัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่าย

3. ระยะคงที่ (Stationary Phase) เป็นระยะที่การเจริญของสาหร่ายหยุดนิ่ง เนื่องจากธาตุอาหารลดน้อยลงและเกิดสารพิษจากกระบวนการเมตาบอลิซึม หรือการสลายตัวของเซลล์เพิ่มมากขึ้น

4. ระยะตาย (Death Phase) เป็นระยะที่เซลล์หยุดการเจริญ เนื่องจากธาตุอาหารหมดลง เซลล์จะเริ่มตายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และรวดเร็วขึ้น

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างสาหร่ายกับสิ่งแวดล้อม

สาหร่ายมีกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนกับสิ่งแวดล้อมโดย Vymazal (1995) ได้กล่าวไว้ดังต่อไปนี้

1. การดูดซับติดที่ผนังเซลล์ (Adsorption)

เป็นกระบวนการที่ไอออนบางประเภท โดยเฉพาะไอออนบวก (Cation) ไม่สามารถผ่านเข้าสู่ผนังเซลล์ของสาหร่ายได้ โดยถูกดูดซับไว้ที่ผนังเซลล์เนื่องจากผนังเซลล์ของสาหร่ายมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

2. การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มโดยไม่ใช้พลังงาน (Passive Transport)

เป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้พลังงานจาก ATP ในการลำเลียงสารเข้าและออกเซลล์ได้แก่ การแพร่ (Diffusion) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง ไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของอนุภาคต่ำกว่า จนอยู่ในสภาวะสมดุล แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ การแพร่แบบธรรมดา (Simple Diffusion) เกิดจากอนุภาคของสารที่มีพลังงานจลน์อยู่ทำให้อนุภาคไม่หยุดนิ่งและชนกันตลอดเวลา อนุภาคเกิดการแพร่ได้ดีในสถานะก๊าซหรือของเหลวที่มีพลังงานจลน์มาก ขณะที่อนุภาคของสารแพร่ออกไปทำให้เกิดแรงดันหนึ่งเรียกว่าแรงดัน ในการแพร่ (Diffusion Pressure) บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากจะมีแรงดันในการแพร่มาก ดังนั้นการแพร่จึงเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคสาร จากที่มีแรงดันในการแพร่สูงไปสู่บริเวณที่มีแรงดันใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การแพร่ต่ำ การแพร่แบบมีตัวพา (Facilitated Diffusion) เป็นการลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมาก ไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อย แต่เป็นกระบวนการแพร่ที่ต้องอาศัยตัวพา (Carrier) ซึ่งเป็นสารกลุ่มโปรตีนที่แทรกอยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ สามารถลำเลียงสารได้เร็วกว่าการแพร่แบบธรรมดามาก และถึงจุดลำเลียงเมื่อถึงจุดสมดุล เช่นการลำเลียงคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปคาร์บอเนตไอออน (HCO^-_3)

3. การลำเลียงสารแบบใช้พลังงาน (Active Transport)

เป็นกระบวนการลำเลียงสาร โดยใช้พลังงานจากไมโทคอนเดียภายในเซลล์ และเป็นการลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่า โดยอาศัยโปรตีนเป็นตัวพา (Protein Carrier) เช่น การลำเลียงแร่ธาตุเข้าสู่รากขนอ่อนของพืช

ประโยชน์ของสาหร่าย

สาหร่ายจัดเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิของแหล่งน้ำ ช่วยผลิตก๊าซออกซิเจนและสารอินทรีย์ ช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อมนุษย์ โดย อาภารัตน์ มหาขันธ์ (2548) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของสาหร่าย ดังต่อไปนี้

1. เป็นอาหารของมนุษย์

สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Chlorella* และ *Spirulina* มีโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็น โดย *Spirulina* มีโปรตีนสูงสุดและมีรงควัตถุที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) อีกด้วย

2. ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์

สาหร่ายขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เช่น *Chlorella*, *Scenedesmus* และ *Spirulina* มีโปรตีนสูงทำให้สัตว์มีภูมิคุ้มกันสูงขึ้น เป็นอาหารเสริมของสัตว์ปีก ปลาสวยงาม สัตว์

3. ใช้เป็นปุ๋ยในการเกษตร

สาหร่ายพวกสีเขียวแกมน้ำเงิน สามารถตรึง N_2 ได้ดี สามารถนำไปผสมกับปุ๋ยพื้นฐานอื่น ๆ ได้

4. ใช้ทำยารักษาโรค

สาหร่ายบางประเภทสามารถสกัดสารปฏิชีวนะฆ่าแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5. ลดอุณหภูมิโลก

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิด Green House Effect โดยสาหร่ายสามารถใช้ก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ขณะเดียวกันก็ให้ก๊าซออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสง

6. เป็นแหล่งสารเคมี ได้แก่ ฮอร์โมนพืชที่ใช้ในการเกษตร เช่นไซโตคิน กรดแอบซิสสิค (Abscisic Acid) ออกซิน (Auxins) จิบเบอเรลเรลลิน (Gibberlins) และเอทิลิน (Ethylene)

7. ใช้บำบัดน้ำเสีย

ของเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุจจาระ ปัสสาวะ เศษเนื้อ เป็นต้น แบคทีเรียสามารถย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ คือ ไนเตรท แอมโมเนีย และฟอสเฟต ซึ่งสารอนินทรีย์ดังกล่าวสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกระบวนการ Metabolism ต่าง ๆ ทำให้สาหร่ายเจริญ สารอินทรีย์และอนินทรีย์ลดลง ค่า BOD ลดลง น้ำคุณภาพดีขึ้น

8. ใช้เป็นดัชนีชีวภาพบ่งบอกคุณภาพน้ำ

แหล่งน้ำบางแห่งซึ่งเคยเป็นน้ำเสียมาก่อน เมื่อมีฝนตกปริมาณมาก การตรวจวัดทางเคมีและทางกายภาพ พบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลาง แต่หากเก็บตัวอย่างน้ำขึ้นมาตรวจสอบและพบว่ามีสาหร่ายสกุล *Euglena* ก็สามารถวิเคราะห์ได้ว่าแหล่งน้ำนั้นเป็นแหล่งน้ำที่เสียมาก่อน ซึ่งในระบบน้ำนิ่งนิยมใช้พวกแพลงก์ตอนเป็นดัชนีทางชีวภาพ ส่วนระบบน้ำไหลจะใช้สาหร่ายขนาดใหญ่และไดอะตอมพื้นท้องน้ำเป็นดัชนีชี้วัด

สาหร่าย *Chroococcus turgidus*

ดังภาพที่ 2-2 *C. turgidus* เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปจะอยู่เป็นเซลล์เดียว แต่มักจะพบเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2-16 เซลล์ ส่วนมากจะพบ 24 เซลล์ เนื่องจากเซลล์แบ่งตัวแล้วไม่แยกออกจากกัน เพราะมีสารเมือกหุ้มอยู่ เซลล์มีลักษณะกลมรีหรือเป็นครึ่งวงกลม จัดอนุกรมวิธานดังนี้ (Hoek et al., 1995)

Division: Cyanophyta

Class: Chroococcales

Order: Cyanophyceae

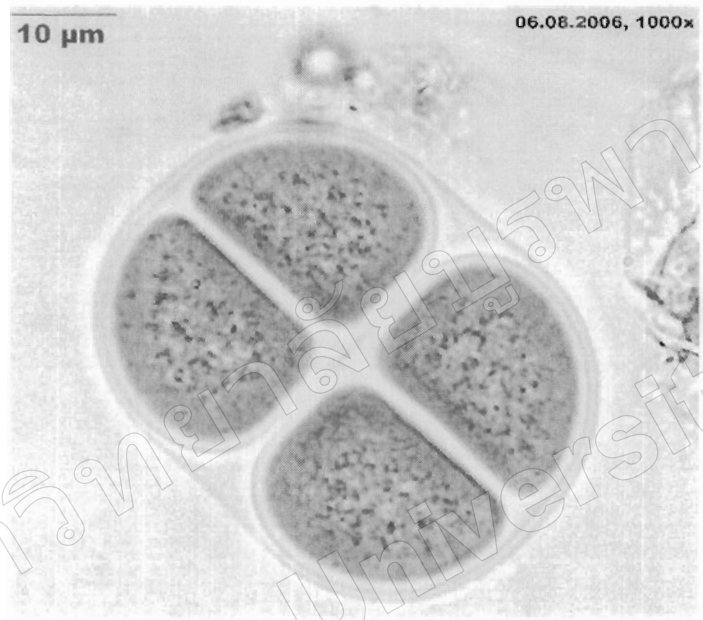
Family: Chroococcaceae

Genus: Chroococcus

Species: turgidus

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Sivasubramanian et al. (2009) ทดลองใช้ *C. turgidus* บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสกัด Alginate ที่ความเข้มแสง 2000 luk อุณหภูมิ 24± 1 °C ให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมงต่อวัน พบว่า *C. turgidus* ทำให้น้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 6.5 เพิ่มเป็น 8.2 ในระยะเวลา 4 วัน และสามารถลด TDS ได้ 88%



ภาพที่ 2-2 สาหร่าย *C. turgidus*

ที่มา : http://www.dr-ralf-wagner.de/Blaualgen-englisch.htmL

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สาหร่าย *Chlorella* sp.

สาหร่าย *Chlorella* sp. ดังภาพที่ 2-3 เป็นสาหร่ายสีเขียวพบตามแหล่งน้ำจืด เซลล์มีลักษณะเป็นรูปกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ประมาณ 2-12 μm มีรงควัตถุคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

Domain: Eukaryota

Kingdom: Protista

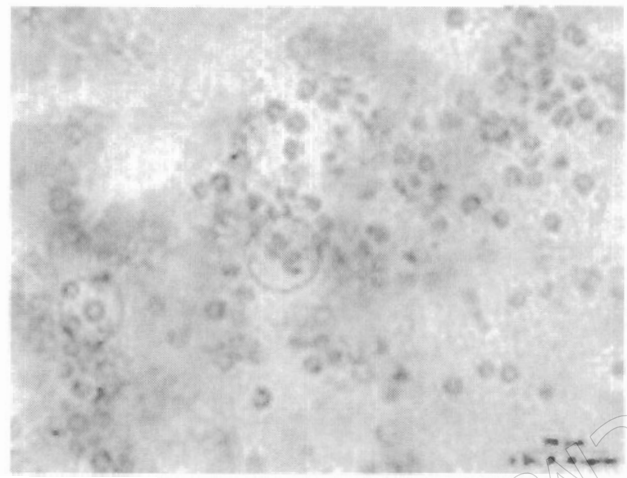
Division: Chlorophyta

Class: Trebouxiophyceae

Order: Chlorellales

Family: Chlorellaceae

Genus: Chlorella



ภาพที่ 2-3 สาหร่าย *Chlorella* sp.
ที่มา : http://meddic.jp/Chlorella_vulgaris

สาหร่าย *Scenedesmus sp.*

สาหร่าย *Scenedesmus* sp. ดังภาพที่ 2-4 เป็นโคโลนีที่ประกอบด้วยเซลล์ 4 หรือ 8 หรือ 16 เซลล์ มาเรียงต่อกันด้านข้างตามความยาวของเซลล์ เซลล์มีลักษณะเป็นรูปไข่ หรือทรงกระบอก หรือพระจันทร์ครึ่งซีก เซลล์ที่อยู่ด้านริมสุดทั้งสองอาจมีหนาม (spine) ยื่นออกมา บางชนิดไม่มี คลอโรพลาสต์เป็นแผ่นเต็ม เซลล์มีไพรีนอยด์และนิวเคลียสเซลล์ละ 1 อัน สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้างออโตสปอร์ ซึ่งในแต่ละเซลล์จะสร้างออโตสปอร์เท่ากับจำนวนเซลล์ปกติของ *Scendesmus* sp. ชนิดนั้น เมื่อแก่ก็จะหลุดออกมาจากผนังเซลล์ของแม่ จับกันเป็นโคโลนีใหม่ ส่วนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้างแกมีทที่มีแฟลกเจลลัม 2 เส้น แล้วมีการรวมกันแบบไอโซแกมมี (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

Domain: Eukaryota

Kingdom: Plantae

Phylum: Chlorophyta

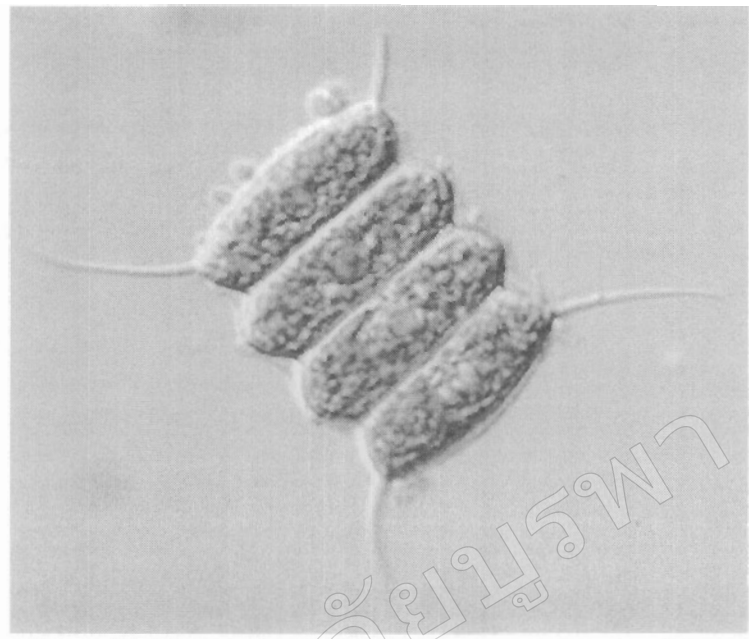
Class: Chlorophyceae

Order: Chlorococcales

Family: Scenedesmaceae

Genus: Scenedesmus

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-4 สาหร่าย *Scenedesmus* sp.

ที่มา : http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus

น้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การอุปโภคบริโภค ประกอบอาหาร ทำความสะอาดร่างกาย ใช้ในอุตสาหกรรม ใช้ในการเกษตรกรรม เป็นต้น ทำให้น้ำดังกล่าวมีลักษณะที่ต่างไปจากเดิม ซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก โดยสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากน้ำนั้น นอกจากนี้สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียมีลักษณะแตกต่างกันออกไป สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549) ได้แบ่งประเภทของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย (Impurity) ออกเป็นดังต่อไปนี้

1. จุลินทรีย์ (Microorganism) จุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสียมีทั้งชนิดที่เป็นสาเหตุของโรค (Pathogen) และชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (Nonpathogen) หรือเรียกว่า (Normal Flora) น้ำเสียที่มักพบจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากคือ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียโรงพยาบาล น้ำเสียจากโรงแรม ร้านอาหาร เพราะน้ำเสียดังกล่าวเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งอาจจะมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ต่าง ๆ มากมาย

2. สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ (Biodegradable Organic Matters) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารได้ เช่น แป้ง น้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีน เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก (Hardly Biodegradable Organic Matters) ได้แก่ สารอินทรีย์ในกลุ่มจุลินทรีย์ทั่วไปใช้เป็นอาหารได้ยาก เช่น สีย้อมต่าง ๆ ซึ่งจุลินทรีย์ทั่วไปย่อยสลายได้ยาก ต้องหาจุลินทรีย์เฉพาะมาย่อยสลายสารเหล่านั้น

4. ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids) ได้แก่สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย เช่น ตะกอนดิน เซลล์สาหร่าย ซึ่งทำให้การส่งผ่านของแสงแดดลงสู่น้ำไม่ดี

5. สารอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อย (Traces Organic) ถึงแม้ว่ามีการปนเปื้อนในน้ำเสียปริมาณน้อย แต่ก็ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำ ทำให้กลิ่น รส สี ของน้ำเปลี่ยนไป เช่น สารประเภทฟีนอล จะส่งผลให้น้ำมีกลิ่นหรือรสเปลี่ยนไป รวมทั้งอาจมีสารอินทรีย์บางชนิดที่มีฤทธิ์ในการฆ่าหรือทำลายสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในน้ำเสียหรือแหล่งรองรับน้ำเสียนั้น

6. สารพิษ (Toxic Substances) มีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น

7. สีและความขุ่น (Color and Turbidity) แม้ว่าสีและความขุ่นส่วนใหญ่จะ ไม่เป็นสารพิษ แต่ก็จัดว่าเป็นมลพิษตัวหนึ่งที่ส่งผลต่อแหล่งน้ำ เช่น เป็นตัวกั้นการส่องผ่านรังสีดวงอาทิตย์ในแหล่งน้ำ และเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความน่ารังเกียจต่อแหล่งน้ำ

8. สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Nitrogenous and Phosphorus Compound) เป็นปุ๋ยอย่างดีสำหรับพืชน้ำและสาหร่าย ส่งผลให้เกิดน้ำมีสีเขียว หรือมีพืชน้ำเกิดขึ้น เป็นผลให้น้ำมีสีเขียวขุ่นได้

9. น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) สิ่งสกปรกชนิดนี้จะไม่ละลายน้ำ จะแยกตัวออกจากน้ำเสียและลอยอยู่บนผิวน้ำ แต่บางสถานะน้ำมันและไขมันอาจแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย โดยผลจากความร้อนหรือสารลดแรงตึงผิว (surfactant)

10. สิ่งสกปรกที่ลอยน้ำได้ (Floating Matters) อาจเป็นของเหลว หรือของแข็งก็ได้ ตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันและไขมัน ตัวทำละลายบางชนิด (Solvent) ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ ขยะมูลฝอย

11. สารระเหยได้ (Volatile Matters) สามารถระเหยออกจากน้ำได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ เช่น กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) สารอินทรีย์คาร์บอนระเหยง่าย (Volatile Organic Carbon) ก๊าซบางชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ซักล้าง

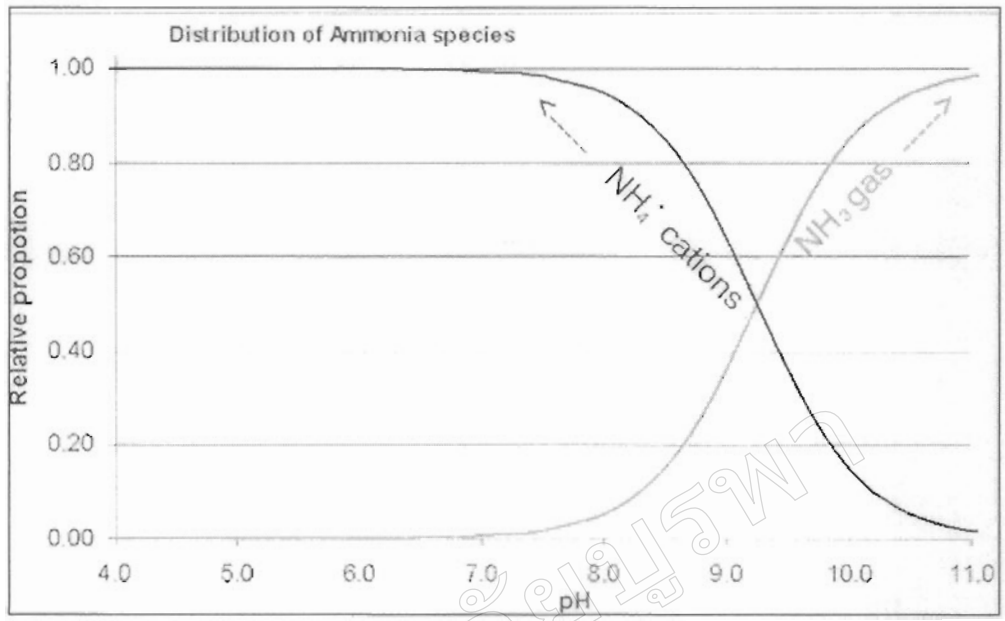
ผลิตภัณฑ์ซักล้างโดยทั่วไปมีองค์ประกอบสำคัญ เช่น สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ซึ่งทำหน้าที่จับตัวกับสิ่งสกปรก ลักษณะของโมเลกุลของสารประเภทนี้ปลายหนึ่งจะจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี ส่วนอีกปลายหนึ่งจะจับกับโมเลกุลของคราบไขมัน ทำให้คราบไขมันหลุดออก ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่ใช้กันมีอยู่หลายตัว หากไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ได้มาตรฐานก็จะส่งผลกระทบหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สารลดแรงตึงผิว เช่น Linear Alkybenzene Sulfonate (LAS) และ Branced Alkyl Sulfonate (BAS) จะมีอันตรายต่อสัตว์น้ำในปริมาณความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้สารจำพวกฟอสเฟตจะทำให้พวกพืชน้ำ เช่น แพลงก์ตอนและสาหร่ายเจริญอย่างรวดเร็ว มีผลต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น สารลดแรงตึงผิวทั้งชนิด LAS และ BAS จะไปล้อมจับพื้นผิวสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีในแหล่งน้ำเมื่อความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดการชะงักได้

ความเป็นกรด-เบส (pH)

pH เป็นหน่วยวัดความเป็นกรด-เบสของสารละลาย แสดงค่าของปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในสารละลายมีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 ถ้า pH เท่ากับ 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีสภาพเป็นกลางที่อุณหภูมิเท่ากับ 25 °C ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 แสดงว่าสารละลายน้ำมีสภาพเป็นกรด หรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายมีปริมาณสูง และค่า pH มากกว่า 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีสภาพเป็นเบส หรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีปริมาณน้อย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรัก ตัณฑุลเวศม์, 2545)

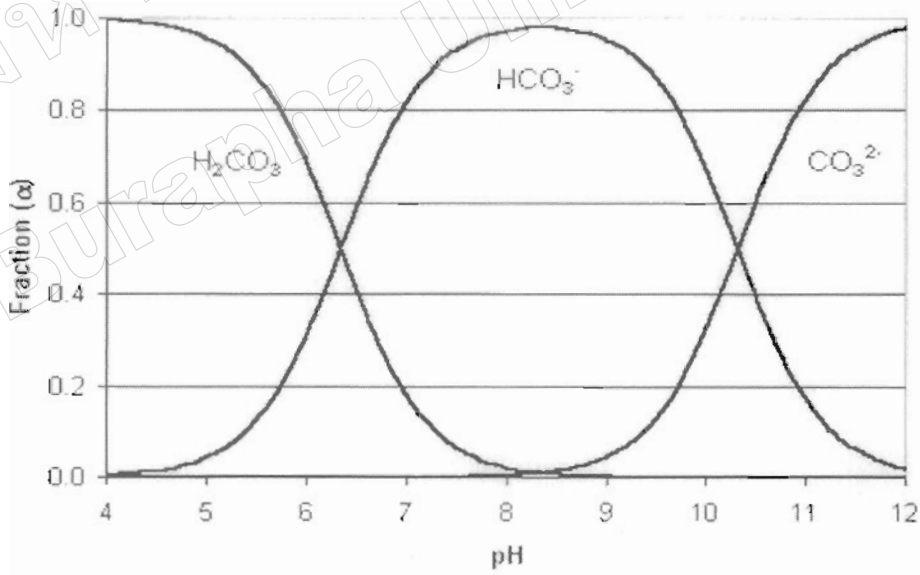
pH มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของแหล่งนี้ เช่น โลหะต่าง ๆ ละลายน้ำได้ดีเมื่อ pH มีค่าต่ำ Hydroxides และ Oxides จะตกผลึกเมื่อ pH มีค่าสูง นอกจากนี้ pH ยังมีอิทธิพลต่อความเป็นพิษของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น การเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไอออน เมื่อ pH มีค่าต่ำจะอยู่ในรูปของ Ammomium Ion (NH^+_4) ซึ่งมีพิษน้อย แต่ถ้าหาก pH มีค่าสูงขึ้น NH^+_4 จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Ammonia (NH_3) ซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นพิษสูง ดังภาพที่ 2-5 หรือ H_2S (Hydrogen Sulfide) และ Hydrogen Cyanide (HCN) จะอยู่ในรูป S^{2-} และ CN^- เมื่อ pH มีค่าสูงซึ่งเป็นรูปที่เป็นพิษน้อย นอกจากนี้ ดังภาพที่ 2-6 การได้รับหรือสูญเสีย CO_2 เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ pH มีการเปลี่ยนแปลง (Weiner, 2008)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ Ammonia Species

ที่มา : http://www.grdc.com.au



ภาพที่ 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ CO_2

ที่มา : http://ion.chem.usu.edu/~sbialkow/Classes/3650/Carbonate/Carbonic%20Acid.htmL

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS)

ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS) หมายถึง ของแข็งที่สามารถผ่านกระดาษกรองที่ความพรุน 0.45 ไมครอน เมื่อนำน้ำที่ผ่านกระดาษกรองไปทำการระเหยจนแห้ง TDS คือ ของแข็งที่เหลืออยู่ ซึ่งได้แก่ แร่ธาตุ เกลือ โลหะหนัก ไอออนประจุบวก ไอออนประจุลบ แต่สำหรับน้ำตามธรรมชาตินั้น TDS ส่วนมากเป็นพวก Carbonate, Bicarbonate, Chloride, Sulfate, Phosphate และ Nitrate โดย TDS ทำให้เกิดปัญหาเรื่องน้ำกระด้าง ทำให้น้ำมีรสเค็ม (Salinity) ดังตารางที่ 2-1 และยังเป็นปัญหาการอุดตันของตะกรันกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโรงงาน (Weiner, 2008)

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบค่าของแข็งละลายน้ำและระดับความเค็ม

TDS (mg/L)	Degree of Salinity
1,000-3,000	Slightly saline
3,000-10,000	Moderately saline
10,000-35,000	Very saline
>35,000	Briny

ที่มา : Weiner (2008)

วิธีกำจัดของแข็งละลายน้ำด้วยวิธีต่าง ๆ

การกำจัดของแข็งละลายน้ำนั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดย Wise, Lehr and McEachern (2009) ได้กล่าวไว้ดังต่อไปนี้

1. การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

การแลกเปลี่ยนประจุส่วนใหญ่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ กับ เรซิน (Resin) โดยไอออนแต่ละชนิดจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของเรซินได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติของเรซิน กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุแสดงดังภาพที่ 2-7 โดยสามารถแบ่งประเภทของเรซินตามคุณสมบัติของเรซินในการดูดซับไอออนต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.1 Strong Acid Cation Resin

เป็นเรซินที่สามารถจับไอออนบวก เรซินประเภทนี้มี Sulfonic Acid Functional Group ซึ่งข้อได้เปรียบคือ สามารถแตกตัวได้ดีกว่า Weak Acid Cation Resin จึงสามารถทำงานในช่วง pH ที่กว้างกว่าและสามารถจับไอออนบวกได้ทุกประเภท แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ไปนาน ๆ เรซินจะเสื่อมสภาพ ดังนั้น การนำเรซินที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่จะต้องนำเรซินไปล้างด้วยกรด

1.2 Weak Acid Cation Resin

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เป็นเรซินที่สามารถจับไอออนบวก เรซินประเภทนี้มี Carboxylic Acid Functional Group โดยเรซินประเภทนี้นิยมใช้ในการดูดซับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} การนำเรซินกลับมาใช้ใหม่จะต้องนำไปล้างด้วยกรด เช่นเดียวกับ Strong Acid Cation Resin แต่ใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า

1.3 Strong Base Anion Resin

เป็นเรซินที่สามารถจับไอออนลบ เรซินประเภทนี้มี Quaternary Ammonium Functional Group การนำเรซินกลับมาใช้ใหม่จะต้องล่างด้วยด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์

1.4 Weak Base Anion Resin

เป็นเรซินที่สามารถจับไอออนลบ เรซินประเภทนี้มี Amide Functional Group นิยมใช้จับไอออนที่สามารถเกิดเป็นกรดได้ เช่น Sulfate หรือ Chlorides

ภาพที่ 2-7 การแลกเปลี่ยนประจุ

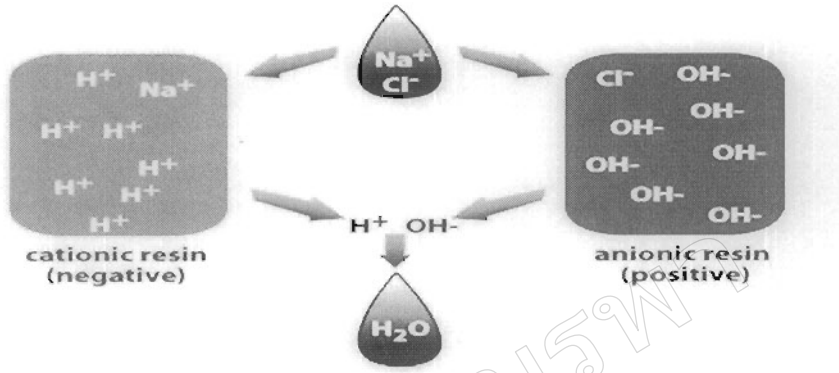
ที่มา : http://www.osmosistemi.it

2. Deionization or Demineralization

Deionnization หรือ Demineralization แสดงดังภาพที่ 2-8 เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะสามารถกำจัดไอออนในน้ำได้ทุกชนิด ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์สูง ระบบจะมีทั้ง Cation Resin ดูดซับไอออนประจุบวก เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} และ Na^{+} โดยให้ H^{+} ออกมาแทนที่ Anion Resin ดูดซับไอออนประจุลบ เช่น Cl^{-}, SO_4^{2-} และ HCO_3^{-} โดยให้ OH^{-} ออกมาแทนที่ และ $H^{+} + OH^{-} > H_2O$ อายุการใช้งานของเรซินขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผ่านการกรอง หากน้ำมีการปนเปื้อนมากอายุการใช้งานก็จะสั้น แก้ไขได้โดย Cation Resin จะนำมาล้างด้วยกรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอลิก (HCl) ส่วน Anion Resin นำมาล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในโรงงานอุตสาหกรรมนิยม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใช้ Tank บรรจุ Cation Resin แยกออกกับ Anion Resin ซึ่งจะสามารถทำความสะอาดเรซินได้ง่าย และได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง

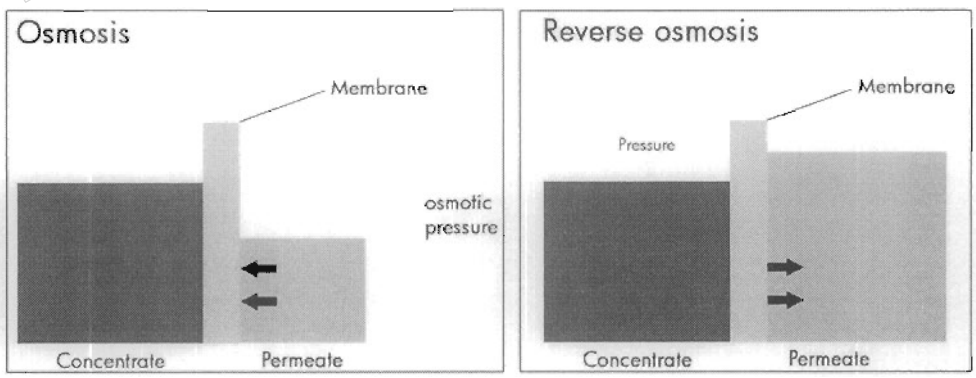


ภาพที่ 2-8 กระบวนการ Deionization

ที่มา : http://www.tdsmeter.com

3. Reverse Osmosis

Revers Osmosis เป็นกระบวนการดังภาพที่ 2-9 ที่ใช้แรงดันผลักน้ำให้ผ่านแผ่นกรอง โดยน้ำจะผ่านแผ่นกรอง ไอออนต่าง ๆ จะติดบนแผ่นกรอง สามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 0.0005 ไมครอน เช่น แร่ธาตุที่ละลายน้ำ Chloride, Sulfate, Sodium Potassium, Calcium และ Magnesium นอกจากนี้ยังสามารถกรองพวก Sediment Bacteria Pyrogens Organic Viruses โดยสิ่งเหล่านี้จะติดอยู่บนแผ่นกรองโดยจะมีเพียงน้ำเท่านั้นที่ผ่านได้



ภาพที่ 2-9 กระบวนการ Osmosis and Reverse Osmosis

ที่มา : http://www.hydrotec.co.uk

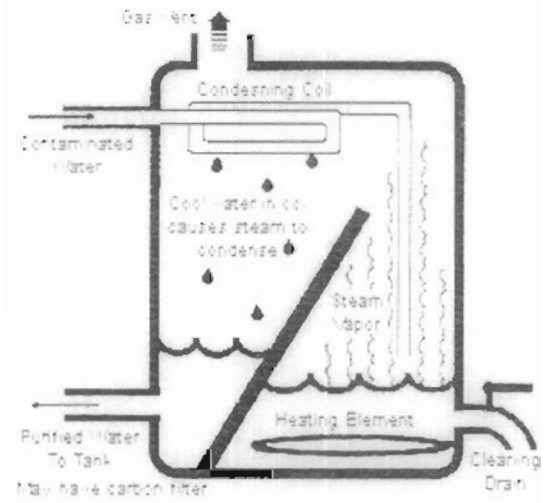
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. Distillation

Distillation ดังภาพที่ 2-10 คือ การกลั่นมีการใช้มาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมใช้แยกสารเคมีให้มีความบริสุทธิ์ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม ใช้กำจัดเกลือออกจากน้ำทะเลเพื่อให้น้ำสามารถใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ โดยมีหลักการคือ เมื่อมีการให้ความร้อนเข้าไปในสารละลาย โดยสารแต่ละตัวจะมีจุดเดือดต่างกัน ซึ่งเมื่อกลั่นแล้วสารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยเป็นไอออกมาก่อนเมื่อทำให้ไอของสารมีอุณหภูมิต่ำลงจะควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง ถ้าหากว่าน้ำมีความกระด้างมากควรทำให้น้ำอ่อนลงก่อนทำการกลั่น เพื่อประหยัดพลังงานที่ใช้และสามารถกำจัดของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำได้ง่ายขึ้น

5. Precipitation Water Softening

Preciprtation Water Softenning ดังภาพที่ 2-11 คือ กระบวนการที่เติมสารเคมีลงไปในน้ำแล้วทำให้ของแข็งที่ละลายน้ำเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนลงมา ทำให้น้ำกระด้างมีความกระด้างน้อยลง เช่น การเติมปูนขาว (Lime, CaO) ลงไปในน้ำ โดยจะไปทำให้ Calcium และ Maganesium ตกผลึกช่วยลดความกระด้างของน้ำ ข้อดีของปูนขาวคือมีประสิทธิภาพราคาถูก ใช้ง่าย โดยประสิทธิภาพของปูนขาวขึ้นอยู่กับ Bicarbonate ในแหล่งน้ำ เช่น เมื่อมีการใช้ปูนขาวแล้วมักมีการเติม Sodium Carbonate เข้าไปด้วย เพื่อให้มี Carbonate ละลายอยู่ในน้ำ เพื่อช่วยในการตกผลึกของ Calcium และ Magnesium แต่มักใช้ Sodium Carbonate ในกรณีที่ในน้ำมี Bicarbonate น้อย ๆ เนื่องจากมีราคาแพง อีกทั้งประสิทธิภาพน้อยกว่า ปูนขาว

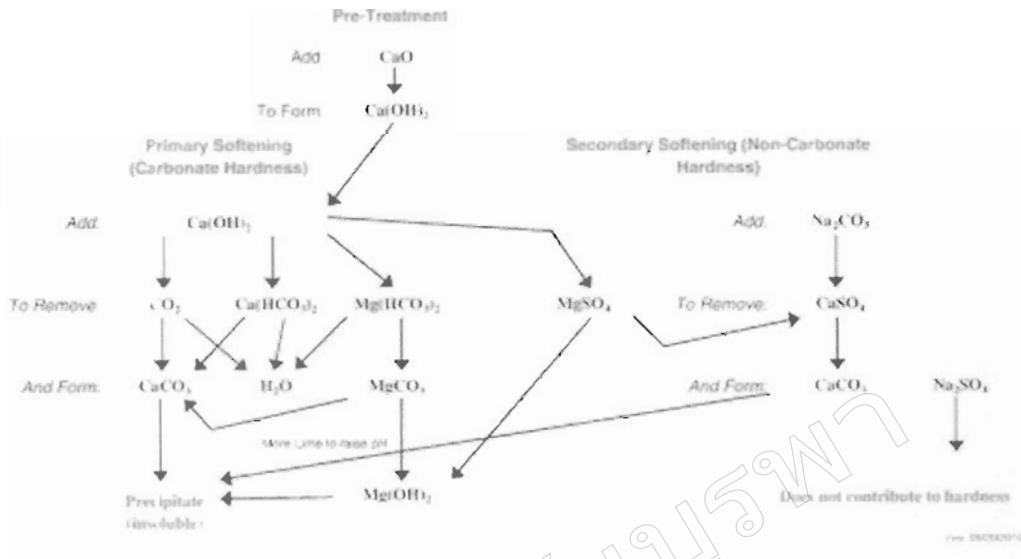


ภาพที่ 2-10 กระบวนการ Distillation

ที่มา : http://www.cyber_nock.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 2-11 กระบวนการ Precipitation Water Softenning
ที่มา : http://www.cwanamaker.hubpage.com)

6. Phytoremediation

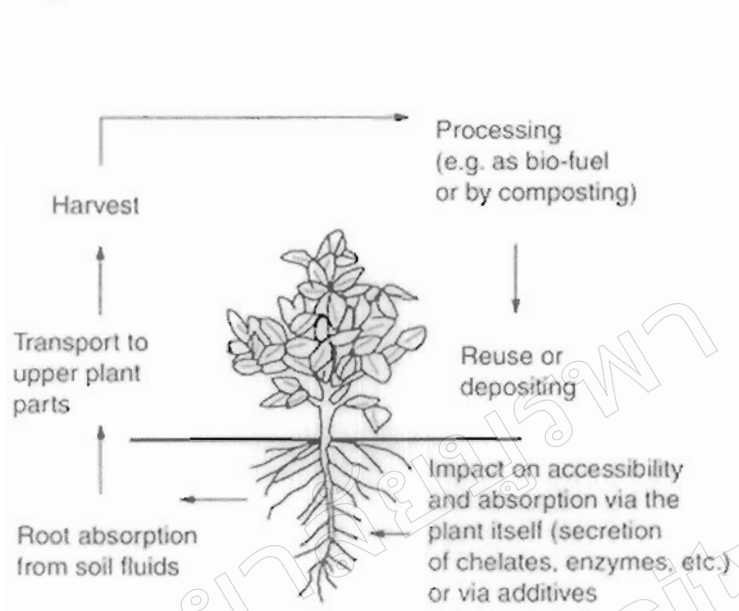
Phytoremediation ดังภาพที่ 2-12 คือ การใช้พืชกำจัดความเป็นพิษของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมทั้งโดยวิธีทางตรง ซึ่งหมายถึง การย่อยสลายสารมลพิษนั้น ๆ ในต้นพืช หรือโดยวิธีทางอ้อม ได้แก่ การดูดซึม การเคลื่อนย้ายสารมลพิษนั้นเข้าสู่พืชและสะสมสารนั้นในพืช เช่น กก ผักตบ ธูปฤาษี เป็นต้น ส่วน Phycoremediation คือ กระบวนการที่ใช้สาหร่าย (Algae) ในการกำจัดสารอาหารในแหล่งน้ำหรือกำจัดสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ กระบวนการ Phycoremediation ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อบำบัดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมด้วยกลไกการกำจัดความเป็นพิษของสาหร่าย นอกจากจะเป็นการดูดซับสารมลพิษเพื่อใช้เป็นอาหารแล้ว ยังมีการดูดซับมลพิษ (Biosorption) ได้ดีอีกด้วย (อริสา วังใน, 2553)

การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสีย

การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสีย (Phycoremediation) โดยทั่วไปเพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยสาหร่ายมีความสามารถย่อยสลาย (Biodegradation) และดูดซึม (Assimilation) สารประกอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์บางประเภทได้ (Vymazal, 1996) สาหร่ายได้รับสารอาหารจาก

343342

กระบวนการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วเกิดเป็นสารอนินทรีย์ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญได้ เมื่อสาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงจะให้ออกซิเจนแก่แหล่งน้ำนั้น



ภาพที่ 2-12 Phytoremediation

ที่มา : http://www.greenprophet.com

ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย ได้แก่ ส่วนประกอบของน้ำเสีย การผสมกันระหว่างสาหร่ายและน้ำเสีย ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ ความเข้มแสง ช่วงเวลาที่สาหร่ายได้รับแสง ความลึกของถังปฏิกิริยา และอุณหภูมิ (Evans & Furlong, 2003) Barsanti and Gealtieri (2006) ได้กล่าวถึงวิธีการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสีย ไว้ดังนี้

1. การเลี้ยงแบบต่อเนื่อง (Continuous Culture) เป็นวิธีการเลี้ยงเพื่อรักษาปริมาณสาหร่ายให้เท่ากับปริมาณที่ต้องการบำบัดน้ำเสีย คือ มีการเติมน้ำเสียเข้าไปในบ่อเลี้ยงสาหร่ายตลอดเวลา โดยอัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ดังนั้น ถ้าคำนวณถูกต้อง ทั้งปริมาณสาหร่ายและปริมาณน้ำเสีย จะทำใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสียได้เป็นเวลานาน โดยการเลี้ยงสาหร่ายแบบต่อเนื่อง แบ่งออกเป็น 2 วิธี

1.1 Turbidostat Culture อาหารจะถูกนำเข้าไปในระบบเมื่อความเข้มข้นของสาหร่ายถึงระยะที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยวัดจากการส่องผ่านของแสง โดยอาหารที่นำเข้าไปจะเท่ากับจำนวนที่ออกจากระบบ

1.2 Chemostat อาหารจะถูกเข้าไปในระบบ เมื่อเข้าใกล้ระยะ Steady Phase โดยจะต้องมีการกำหนดไว้ล่วงหน้า โดยทำการวัดอัตราการเจริญ และความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยต้องยังไม่ถึงระยะ Constant โดยอาหารจะถูกนำเข้าไปในระบบตามอัตราการเจริญและความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย

2. การเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semicontinuous Culture) เป็นวิธีการเลี้ยงสาหร่ายจนมีความหนาแน่นสูงสุดแล้วนำสาหร่ายบางส่วนออก ต่อจากนั้นเติมน้ำเสียลงไปในบ่อเลี้ยงสาหร่ายใหม่โดยให้มีอัตราส่วนของน้ำเสียต่อสาหร่ายเท่าเดิม เมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นก็ตักออกไปอีก ทำเช่นนี้จนกว่าบ่อเลี้ยงสาหร่ายจะมีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย

3. การเลี้ยงสาหร่ายแบบกะ (Batch Culture) เป็นวิธีการเลี้ยงสาหร่ายจนมีความหนาแน่นสูงสุดแล้วทำการเก็บเกี่ยวเพียงครั้งเดียว แล้วจึงเริ่มเลี้ยงสาหร่ายใหม่ โดยสาหร่ายจะมีระยะ Log Phase ยาว ก็ต่อเมื่อนำสาหร่ายมาจากอาหารแข็งแล้วลงมาเลี้ยงในอาหารเหลว แต่ถ้านำสาหร่ายจากระยะ Exponential phase มาเลี้ยงก็จะมีช่วง Log Phase สั้น แต่ข้อเสียเปรียบของการเลี้ยงด้วยวิธีนี้ คือ เนื่องจากสารอาหารมีความเข้มข้นสูงแต่ความเข้มข้นที่สาหร่ายเลี้ยงในระยะแรกต่ำ จึงอาจมีสิ่งมีชีวิตอื่นมาเจริญร่วมด้วยจึงต้องมีการระมัดระวังเป็นอย่างดี อาภารัตน์ มหาขันธ์ (2552) ได้กล่าวถึงวิธีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายไว้ดังนี้

1. การกรอง (Filtration) เป็นการเก็บเกี่ยวสาหร่ายโดยอาศัยแผ่นกรองหรือตัวกรอง ซึ่งอาจเป็นแผ่นกรองซึ่งเป็นใยสังเคราะห์ หรือถุงกรองที่มีขนาดความพรุนน้อยกว่าขนาดของชนิดสาหร่าย การเก็บเกี่ยววิธีนี้ค่อนข้างช้า เหมาะสำหรับสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์ (Colony) หรือเส้นสาย (Filament) ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ในระดับที่กรองได้

2. การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) วิธีการนี้ใช้หลักการให้สาหร่ายตกตะกอนโดยใช้แรงเหวี่ยงและแยกน้ำไว้ชั้นบน เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เพราะเครื่องปั่นเหวี่ยงต่อเนื่องมีราคาแพง รวมทั้งค่ากระแสไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องด้วย การปั่นเหวี่ยงเหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวสาหร่ายในกลุ่มไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวขนาดเล็ก สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ วิธีนี้อาจทำให้เซลล์สาหร่ายแตกเนื่องจากแรงเหวี่ยงได้

3. การตกตะกอน (Flocculation) การเก็บเกี่ยวสาหร่ายโดยวิธีการตกตะกอนนั้น ถ้าหากสาหร่ายมีขนาดใหญ่ เมื่อปิดเครื่องเติมอากาศและใบกวนแล้วปล่อยทิ้งไว้สามารถตกตะกอนเองได้ (Auto-flocculation) ถ้าหากเป็นสาหร่ายขนาดเล็กจำเป็นต้องใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (Flocculation-agent) เช่น สารส้ม ไคโตซาน สารพอลิเมอร์สังเคราะห์ หลักการคือ สารเคมีจะเข้าไปทำลายประจุของสาหร่ายให้เป็นกลาง เมื่อสาหร่ายมีประจุเป็นกลางแล้วก็จะไม่ผลักกัน และรวมตัวกันเป็นตะกอนใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนจากน้ำได้ ทั้งชนิดและปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้กับสาหร่ายจะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพแต่ละสายพันธุ์เป็นการเฉพาะ

4. การลอยตัว (Floatation) ทำได้โดยการปิดระบบกวนน้ำให้นิ่ง แล้วปล่อยให้ชีวมวลของสาหร่ายลอยตัวสู่หน้าผิวน้ำ เหมาะสำหรับสาหร่ายที่มีความหนาแน่นของเซลล์ต่ำ หรือสาหร่ายที่สร้างถุงแก๊ส (gas vesicle, gas vacuole) ที่ช่วยในการลอยตัวภายในเซลล์

5. การใช้วิธีผสมผสาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวอาจมีการพิจารณาใช้หลายวิธีร่วมกัน เช่น การกรองร่วมกับการปั่นเหวี่ยง การลอยตัวร่วมกับการปั่นเหวี่ยงเป็นต้น

การใช้ประโยชน์สาหร่ายหลังการบำบัดน้ำเสีย

สาหร่ายที่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย มีความเป็นไปได้ที่จะนำสาหร่ายมาใช้บำบัดน้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนั้น ยังสามารถนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีก เช่น การทำปุ๋ย การทำไบโอดีเซล เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในน้ำเสียซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าสาหร่ายหลังการบำบัดน้ำเสียเหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใด (Singh & Tripathi, 2007)

โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และซัลเฟอร์ (Sulfer)

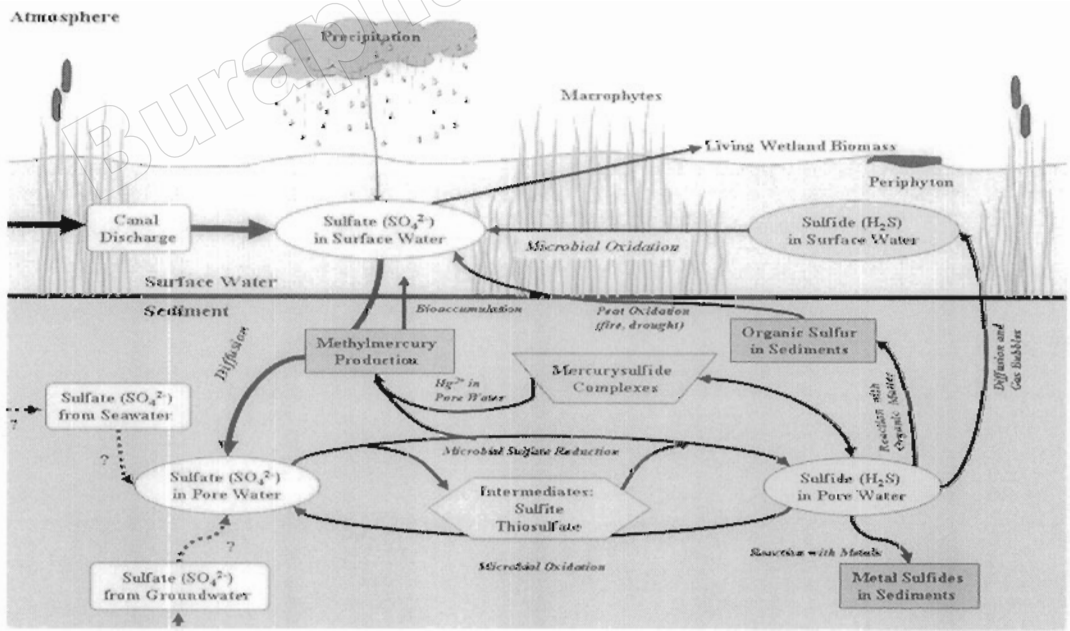
โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulfate, Na_2SO_4) เป็นเกลืออนินทรีย์ เมื่อปราศจากน้ำจะเป็นผลึกสีขาว ใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก แก้ว กระดาษ เป็นต้น โซเดียมซัลเฟตสามารถละลายได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีความเป็นพิษต่อปลาที่ต่ำมาก โดยมีค่า LC_{50} > 1,000 mg/l สาหร่ายจะได้รับผลกระทบจากโซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่ำที่สุดโดยพิจารณาจากค่า EC_{50} คือ 1900 mg/L สำหรับการศึกษาความเป็นพิษต่อมนุษย์นั้นต่ำมาก โดยพิจารณาจากค่า LD_{50} > 5,000 mg/kg (Human and Environmental Risk Assessment on ingredients of Household Cleaning Products, 2006)

ซัลเฟอร์หรือกำมะถัน เป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งในการสังเคราะห์โปรตีนหลายชนิด แหล่งกำมะถันส่วนใหญ่ได้จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ทับถมในดิน หรือตกตะกอนทับถมกันในดิน ในบรรยากาศพบกำมะถันเป็นจำนวนน้อย กำมะถันที่พบทั้งในน้ำ ดิน บรรยากาศ ล้วนอยู่ในรูปของสารประกอบ สารประกอบอินทรีย์ในพืชและสัตว์จะถูกย่อยสลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟต์ โดยแบคทีเรีย และถูกเปลี่ยนต่อจนกลายเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ กำมะถันในซากของพืชและสัตว์บางส่วนจะถูกสะสม และถูกตรึงไว้ในถ่านหิน และน้ำมันปิโตรเลียม เมื่อมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เมื่อก๊าซนี้อยู่ในบรรยากาศจะรวมตัวกับละอองน้ำตกลงมาเป็นฝนของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งจะทำให้สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ สึกกร่อน และเป็นอันตรายต่อการหายใจของคน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ซัลเฟอร์เป็นธาตุอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของโปรตีนโดยเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่สำคัญ (Cysteine, Cystine และMethionine) ซัลเฟอร์ พบใน Sulfolipids, Sulfate Ester และสารประกอบอีกหลายประเภท ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในสาหร่ายน้ำจืดประมาณ 0.15-1.96% โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งแล้วแต่ชนิดของสาหร่าย และสภาวะสิ่งแวดล้อมในแต่ละฤดู โดยสาหร่ายมีความสามารถในการดูดซึมซัลเฟตไปเป็นกรดอะมิโน และเปลี่ยนรูปซัลเฟตเป็นสารประกอบ Ester Sulfate (Barsanti & Gualtieri, 2006)

ซัลเฟตพบอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ นอกจากนั้นยังพบซัลเฟตจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากเหมืองต่าง ๆ ซัลเฟตเป็นตัวที่ทำให้เกิดตะกรันในหม้อน้ำ ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นและการกัดกร่อนในท่อน้ำเสีย ผู้บริโภคที่ดื่มน้ำที่มีซัลเฟตปริมาณมากจะก่อให้เกิดการระบายท้องขึ้นได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรัก ตัณฑุลเวศม์, 2545) ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วง 5-500 mg/L ตามลักษณะของแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามซัลเฟตเป็นส่วนหนึ่งของ TDS โดยซัลเฟตสามารถเข้าถึงน้ำได้หลายทาง เช่น 1.) การใช้สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ในกระบวนการ โคแอกกูเลชั่นของโรงงานผลิตน้ำประปา 2.) การใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) เพื่อปรับความเป็น กรด-เบส ของน้ำ 3.) การใช้เหล็กซัลเฟตเป็น โคแอกกูแลนท์สำหรับกำจัดซิลิกา ออกจากน้ำดิบ 4.) การออกซิเดชันซัลไฟล์ในหม้อไอน้ำและของ SO_2 ในระบบหล่อเย็นก็เป็นการเพิ่มปริมาณซัลเฟตให้กับน้ำด้วย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และคณะ, 2554)



ภาพที่ 2-13 วัฏจักรซัลเฟอร์

ที่มา : http://sofia.usgs.gov/publications/ofr/2007-1374/review.htm

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาหร่าย *chlorella* sp. กำจัดไนโตรเจน (NH_3-N) ได้ 83% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของ NH_3-N 33.4 ± 0.6 mg/L และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ 50.92% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสฟอรัส 5.6 ± 0.08 mg/L (Wang et al., 2009) และ *C.vulgaris* เมื่ออยู่ในสภาวะขาดไนโตรเจนจะสามารถกำจัดฟอสฟอรัส ได้ดียิ่งขึ้น (Chu, Chu, Cai, Li, Lam, & Zeng, 2013)

Voltolina, Cordero, Nieves and Solo (1999) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. แบบ Semi-continuous โดยพบว่า การเปลี่ยนน้ำที่ระดับ 50% ไนโตรเจนถูกกำจัดออกไป 66% ส่วน Nunez, Voltolina, Nieves, Pina and Guerruro (2001). ใช้สาหร่าย *Scenedesmus obliques* ทดลองเลี้ยงแบบ Semi-continuous พบว่าการเปลี่ยนน้ำที่ระดับ 70% สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ 8.3 mg/L/d และ Martiez, Sanchez, Jimenez, Yousfi and Munoz (2000) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. พบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C และมีการใช้แท่งแม่เหล็กกวนผสมน้ำ สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 100% ภายในเวลา 188.25 ชั่วโมง Xin et al. (2010) พบว่า *Scenesdesmus* sp. เจริญไม่ดีในสภาวะกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ pH < 6 โดยมีการเจริญที่น้อยกว่า pH > 6 ในขณะที่ Xin, Wang-ying, ke and Jia (2010) พบว่า อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีผลต่อการสะสมลิปิดในสาหร่าย

He, Mao, Shao, Lee and Chang (2013) มีการทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ร่วมกับแบคทีเรียเพื่อบำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถลด NH^+_4 ได้ 78% ลดฟอสฟอรัสได้ 98% และ ลด DOC (Dissolved Organic Carbon) ได้ 26% และพบว่าหากไม่ทำการ Sterilized น้ำเสียก่อนทำการทดลองร่วมกับสาหร่ายจะทำให้แบคทีเรียยับยั้งการเจริญของสาหร่าย Su, Mennerich and Urban (2012) พบว่าที่อัตราส่วน Algae/Sludge 5:1 (w/w) สามารถลดไนโตรเจนรวมทั้งหมดได้ 91.0 ± 7.0% ลดฟอสฟอรัสได้ 93.5 ± 2.5% ลด COD ได้มากกว่า 91.2% Liang, Liu, Ge, Tao, Nengguo, Peng and Wong (2013) ควบคุม pH ให้เท่ากับ 7 ตลอดการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ร่วมกับ *Bacillus licheniformis* สามารถกำจัด NH^+_4 ได้ถึง 86% และฟอสฟอรัส 93%

สาหร่ายมีความสามารถดูดซับโลหะหนักได้ ต่าง ๆ เช่น Cr, Zn, Pb, Cu และ Cd ได้ (Sekomo, Rousseav, Saleh, & Lens, 2012) โดย pH มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของสาหร่าย (Romera et al., 2007) และความเข้มข้นของสาหร่ายก็มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักเช่นกัน (Singh, Bansal, & Dey, 2012)