

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

ลักษณะทางชีววิทยาของ *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler

S. platensis หรือสาหร่ายเกลียวทอง (ภาพ 1) เป็นสาหร่ายสีเขียวก้อนน้ำเงิน จำแนกหมวดหมู่ตามหลักอนุกรมวิธานดังนี้

Kingdom	Monera
Division	Cyanophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Oscillatoriales
Family	Oscillatoriaceae
Genus	<i>Spirulina</i>
Species	<i>Spirulina platensis</i> (Nordstedt) Geiteler

ลักษณะที่สำคัญของ *S. platensis* คือเป็นเส้นสายประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกเรียงต่อกัน ไม่แตกแขนง เรียกเส้นสายนี้ว่า trichome เส้นสายของสาหร่ายจะบิดเป็นเกลียว ลักษณะการบิดจะแตกต่างกันไปตามชนิด (species) แม้แต่สาหร่ายชนิดเดียวกันเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกันขนาดรูปร่างและลักษณะเกลียวจะแตกต่างกันไป ลักษณะที่บิดเป็นเกลียว บางครั้งก็กลายเป็นเส้นตรงภายใต้สภาวะบางอย่าง เส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์มีขนาด 1 - 3 μm ในชนิดที่มีขนาดเล็ก และ 3 - 12 μm ในชนิดที่มีขนาดใหญ่ เช่น *S. platensis* มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ 6 - 8 μm เส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว (helix) ตั้งแต่ 35 - 50 μm ระยะห่างระหว่างเกลียว (pitch) 60 μm ความยาวของเส้นสาย 300 - 500 μm เคลื่อนไหวได้แบบควงสว่างและเป็นคลื่น ลักษณะที่บิดเป็นเกลียวเท่านั้นที่ทำให้ *S. platensis* แตกต่างไปจาก *Oscillatoria* sp. *S. platensis* เป็นพวกไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (prokaryotes) กรดนิวคลีอิกกระจายอยู่ทั่วไปในเซลล์ไม่มีพลาสติกหรือโครมาโตฟอร์ทำให้รงควัตถุกระจายอยู่ทั่วไปในไซโทพลาสซึม ผนังเซลล์เป็นผนังหลายชั้นประกอบด้วยสาร mucoprotein และสารประกอบ pectin ผนังชั้นนอกเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) ไม่พบสารประกอบพวกเซลลูโลส (กาญจนภาชน์, 2527 ; สุชาติ, 2529 ; ลัดดา, 2542 ; Prescott, 1964 ; Venkataraman, 1983)

S. platensis มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงมาก มีก๊าซแวนเดอเวทท์ที่ทำให้สาหร่ายสามารถลอยตัวได้ดีภายในเซลล์พบว่ามีคลอโรฟิลล์เอ ไฟโคไซยานิน ซึ่งมีสีน้ำเงินในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ยังมีไฟโคเออร์ทรินซึ่งมีสีแดง สามารถต้านทานจุลินทรีย์ตัวอื่น ๆ ได้ดี มีการสืบพันธุ์เฉพาะแบบไม่อาศัยเพศ ไม่สร้างเยื่อหุ้มโรซีสต์ (heterocyst) และสปอร์ (spore) สืบพันธุ์โดยวิธีขาดตอน (fragmentation) และแบ่งเซลล์ทำให้ trichome ยืดยาวออก (กาญจนภาชน์, 2527)

S. platensis สามารถพบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็มและ แม้กระทั่งน้ำเสียก็สามารถอยู่ได้ โดยเฉพาะในเขตร้อนบริเวณที่เหมาะสมสำหรับ *S. platensis* อยู่ระหว่างละติจูดที่ 35 °C เหนือ และได้ ที่ซึ่งมีแสงแดดจ้าและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่มากนัก มักพบอยู่ร่วมกับ *Oscillatoria* sp. โดยจะเจริญอย่างหนาแน่นในน้ำที่มีค่าความเป็นด่าง (alkalinity) สูงได้แก่ ทะเลสาบหลายแห่งในทวีปแอฟริกาที่พบ *S. platensis* และทะเลสาบที่กซ์โคโค (Lake Texcoco) ในประเทศเม็กซิโก สำหรับประเทศไทยพบ *S. platensis* มีการแพร่กระจายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มากกว่าภาคอื่น ๆ (จิระพรรณ, 2532 ; Prescott, 1964 ; Faucher *et al.*, 1979 ; Nakamura, 1982)

การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. และการบำบัดน้ำเสีย

มีรายงานการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ทั้งในน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือนและน้ำจากแหล่งต่าง ๆ รวมทั้งใช้อาหารอินทรีย์เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กันดังนี้

การเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรมีอัตราการเจริญดีกว่าที่เพาะเลี้ยงโดยสูตรอาหาร Zarrouk's medium (Hong, 1979) การเพาะเลี้ยง *S. maxima* ในสภาวะที่มีการเจริญแบบอิสระและสภาวะที่เซลล์ยึดเกาะกับ Kappa - carrageenan ใช้เวลาเลี้ยง 18 วัน โดยเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่ความเข้มข้น 25 % และ 50 % สาหร่ายที่เลี้ยงในสภาพที่ยึดเกาะสามารถดูดซึม Total - P 53 % , NH₃ - N ได้มากกว่า 90 % ทั้ง 2 ความเข้มข้น สาหร่ายที่เลี้ยงแบบอิสระที่ความเข้มข้น 50 % มีการเจริญได้ดีกว่าสูตรอาหาร Zarrouk's medium ถึง 5 เท่า ใช้เวลาเลี้ยง 144 ชั่วโมง และสาหร่ายดูดซึม NH₃ - N 75 % , Total - P 53 % และ Orthophosphate 98 % (Chung, 1978) การเพาะเลี้ยง *S. maxima* ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยเพาะเลี้ยงในความเข้มข้นต่างกันและให้อากาศตลอดการทดลอง ผลปรากฏว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเสีย 25 % และ 50 % สามารถลดค่า NH₃ - N ได้มากถึง 90 % ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 50 % ได้ผลผลิตสาหร่ายมากถึง 2 g/l (Camizares, 1993)

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในสภาพกลางแจ้ง ใช้ น้ำกากส่าเหลือความเข้มข้น 0.5 % ซึ่งเติม NaHCO₃ 8.5 g/l , NaNO₃ 1.5 g/l , K₂HPO₄ 0.5 g/l และปุ๋ย NPK (16 : 16 : 16) 0.6 g/l ปรับ pH ให้เป็น 10 ± 1 เพาะเลี้ยงจนกระทั่งวัดค่า optical density (OD) ของสาหร่ายในน้ำเลี้ยงได้ประมาณ 1.0 แล้วเก็บเกี่ยวในรูปแบบสาหร่ายแห้ง พบว่าการเพาะเลี้ยงจะใช้เวลา 17 - 19 วัน อุณหภูมิของการเพาะเลี้ยงอยู่ในช่วง 25.5 - 28.5 °C pH 9.7 - 10.1 (สุพิศตรา, 2533) การเพาะเลี้ยงในน้ำที่มาจากโรงงาน พบว่าน้ำที่มาจากโรงงานขงที่ไม่ได้เจือจาง *Spirulina* sp. มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อเติมธาตุอาหารหลักบางตัวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันลงในน้ำที่มาจากโรงงานขง เช่นเมื่อเติม NaNO₃ ความเข้มข้น 2.5 g/l ซึ่งสูงกว่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk's การเติม NaHPO₃ และ K₂SO₄ พบว่าอัตราการเจริญของ *Spirulina* sp. จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ K₂HPO₄ และ K₂SO₄ เพิ่มขึ้น (พิมพ์พรรณ, 2532)

การทดลองเบื้องต้นในการใช้น้ำเสียจากการหมักกองปลาสดจากโรงงานผลิตปลาป่น ในการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. พบว่าสามารถใช้น้ำจากกองปลาสดทดแทนธาตุไนโตรเจนได้ทั้งหมดและทดแทนธาตุคาร์บอนบางส่วน ทำให้ลดต้นทุนส่วนที่เป็นสารเคมีหลักในสูตรอาหารได้มากกว่า 50 % COD และ NH₃ - N

ลดลง 32.50 % และ 96.42 % ถึงแม้ว่าอัตราการเจริญของ *Spirulina* sp. ยังคงค่อนข้างต่ำก็ตาม แต่ก็เชื่อว่าหากได้มาการพัฒนาวิธีการเลี้ยงต่อไปจะสามารถเพิ่มอัตราการเจริญให้สูงขึ้นได้ (สุชาติ, 2529)

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำกากส่าแห้ง ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 % ซึ่งเติม NaHCO_3 1.5 g/l K_2HPO_4 0.5 g/l และปุ๋ย NPK (16:16:16) 0.6 g/l ใส่สารฆ่าสลดลงไป 0.6 g/l ปรับ pH 10 ± 1 ปริมาตรของสารอาหาร 500 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 24 วัน ในสภาพห้องปฏิบัติการ และ ในสภาพกลางแจ้ง พบว่าทั้งสองสภาพนี้ *S. platensis* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำกากส่าแห้ง 0.5 % และจากการทดลองเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำกากส่าแห้งทั้งในห้องปฏิบัติการและในสภาพกลางแจ้ง ยังมีผลพลอยได้คือ สามารถลดค่า BOD₅ ได้ 44.00 และ 46.43 % ความเข้มข้นของสีน้ำกากส่าแห้งลดลง 51.13 และ 58.69 % ตามลำดับ (ยุวดีและคณะ, 2535)

การเพาะเลี้ยง *Chlorella* sp. และ *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากบ่อ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ที่ความเข้มข้น 1:1 และ 1:3 เปรียบเทียบกับที่ไม่มีสารฆ่าทั้ง 2 ชนิด การทดลองทุกชุดมีการเติมอากาศตลอดการทดลอง และเก็บผลการทดลองทุก 3 วัน จำนวน 10 ครั้ง พบว่า *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากบ่อ UASB ที่ความเข้มข้น 1:1 และ 1:3 มีผลทำให้น้ำดีขึ้นในระดับหนึ่งดังนี้ pH 5.50 - 10.80, BOD₅ 6.66 - 35.00 mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.81 - 1.80 mg/l, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0 - 80.00 mg/l, $\text{PO}_4\text{-P}$ 2.15 - 4.80 mg/l และได้ Biomass 0.14 - 25.00 g/l (ธีรารักษ์, 2539)

การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. และ *Chlorella* sp. ในน้ำเสียจากโรงงานปุ๋ยเคมีในเมือง Nigeria ประเทศอังกฤษ คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานปุ๋ยมี $\text{PO}_4\text{-P}$ 107 - 187 mg/l, $\text{NO}_2\text{-N}$ 3 mg/l, SO_2 146 mg/l, pH 7.4 - 8.5 และ Conductivity 700 - 2,457 $\mu\text{S/cm}$ เพาะเลี้ยงในอัตราน้ำเสียต่อน้ำกลั่น 50:50 ทำการเพาะเลี้ยง 21 วัน ได้ผลดังนี้ *Chlorella* sp. และ *Spirulina* sp. เจริญได้ดีที่ pH 7.4, pH 8.3 ได้ผลผลิต 6.1 mg/ml, 2.7 mg/ml ตามลำดับ ได้เปอร์เซ็นต์ของ Nitrogen 8.5 % และ 11 % ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Anaga and Abu, 1996)

การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งสาธู เมื่อวิเคราะห์น้ำได้ค่าเฉลี่ย C:N:P เท่ากับ 24.00:0.14:1.00 มีอัตราการเจริญโดยเฉลี่ย 0.51 $\mu\text{g/day}$ เมื่อเติมอาหารพวก inorganic kosaric medium ได้ค่าอัตราการเจริญเท่ากับ 0.54 $\mu\text{g/day}$ เมื่อเก็บผลผลิตได้ค่า Biomass 0.02 g/l เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis* ได้ค่า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เฉลี่ย 68, 23 และ 11 % ตามลำดับ สามารถลดค่า COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ ได้ 98.00, 99.90 และ 99.40 % ตามลำดับ (Phang et al., 2000)

วัด Primary production โดยการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในบ่อเพาะเลี้ยง *S. platensis* *Chlorella* sp. พบว่า *S. platensis* มี Primary production มากกว่า *Chlorella* sp. (Hosaka et al., 1995) ค่า DO ที่ความเข้มข้น 0.063 mg/l จะทำให้อัตราการเจริญของ *S. platensis* ลดลงถึง 36 % ถ้าค่า DO สูงจะทำให้ activity ต่าง ๆ คิขึ้น (Marquez et al., 1995) การศึกษาอัตราการเร็วของเครื่องตีน้ำในบ่อเพาะ *S. platensis* พบว่าอัตราความเร็ว 0.18 m/s - 0.97 m/s จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 29 - 39 % และได้ผลผลิตสารแห้งแห้ง 10 g/l (Cariozzi and Torzillo, 1996) การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในกลางแจ้ง ณ เมือง Florence ของอิตาลี สารแห้งมีการเจริญเติบโตดีที่สุดในทุกอุณหภูมิ 35 °C ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสารแห้งที่

อุณหภูมิ 25 °C มีอัตราการสูญเสียมวลชีวภาพในเวลากลางคืนมีค่าสูง (ค่าเฉลี่ย 7.6 %) โดยสูงกว่าที่เพาะเลี้ยงในอุณหภูมิ 35 °C (ค่าเฉลี่ย 5 %) การสูญเสียมวลชีวภาพในเวลากลางคืนเกิดจากอุณหภูมิและแสง (Torzillo *et al.*, 1991)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และ ชีวภาพ

อุณหภูมิ (water temperature) มีความสำคัญในการศึกษาทางระบบนิเวศในแหล่งน้ำจืด เพราะอุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ในแหล่งน้ำจืด ทั้งในเชิงกายภาพ เคมี และ ชีวภาพ มีผลต่อการกระจายของสิ่งมีชีวิตและความหนาแน่นของน้ำและการละลายของธาตุและก๊าซในน้ำ อุณหภูมิมีความสำคัญต่อการเพิ่มหรือลดลงของสิ่งมีชีวิต เช่น ที่อุณหภูมิ 20 - 28 °C จะมีโคละตอมมากที่สุด ที่ 30 - 35 °C จะมีสาหร่ายสีเขียวมากที่สุด (นันทนา, 2536 ; สิริเพ็ญ, 2537 ; Smith, 1950)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen ; DO) ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจืด มาจากบรรยากาศ หรือ ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์แสง ที่เกิดขึ้นจาก กิจกรรมของพืชน้ำต่าง ๆ รวมทั้งแหล่งกักตุนพืชด้วย โดยถูกใช้ในกระบวนการหายใจ ปฏิริยาเคมีของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และ ความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ ในน้ำ (เปี่ยมศักดิ์, 2536 ; มั่นสิน และ ไพพรรณ, 2539)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) เป็นความต้องการออกซิเจนที่ใช้โดยแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 20 °C ในเวลา 5 วัน เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2530)

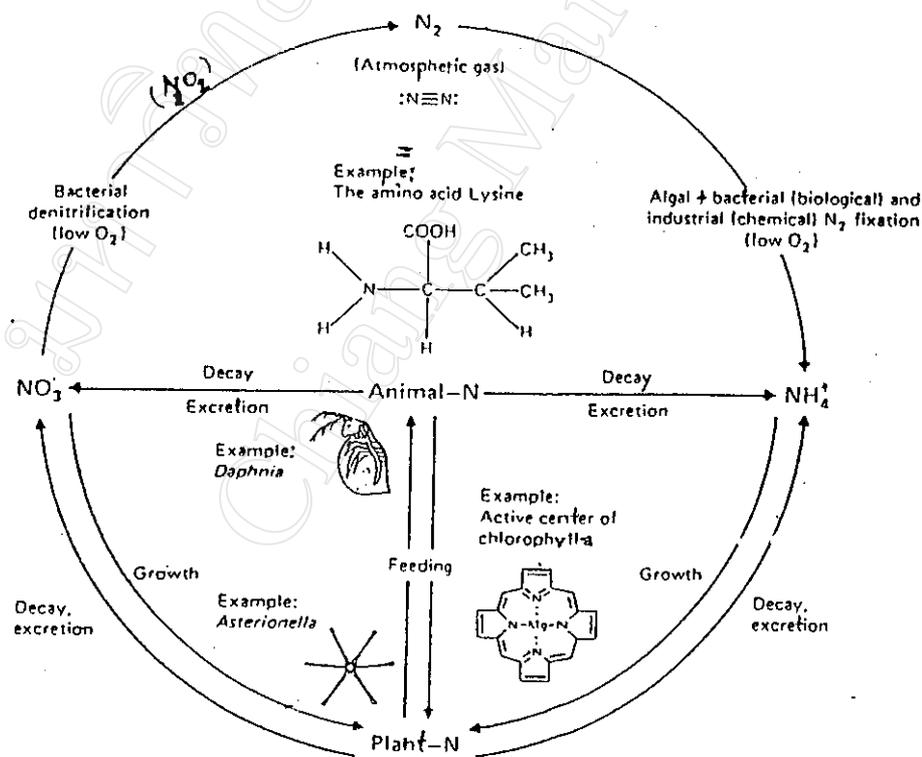
ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand : COD) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นสารอนินทรีย์ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถถูกออกซิไดซ์ โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้ภาวะที่เป็นกรด (สวัสดี, 2528)

ความเป็นกรด - ค่าง (pH) แสดงให้เราทราบว่าน้ำ หรือ สารละลายนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือค่าง pH ของแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าอยู่ระหว่าง 5 - 9 ในระบบ anaerobic digestion ระดับ pH โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 6.5 - 7 จะมีการผลิตก๊าซ methane , Alkalinity มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH น้ำที่มีแหล่งกักตุนพืชเป็นปริมาณหนาแน่น จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หกไปก็จะดึงเอา CO₂ จากกระบวนการ buffer system มาใช้ดังสมการ



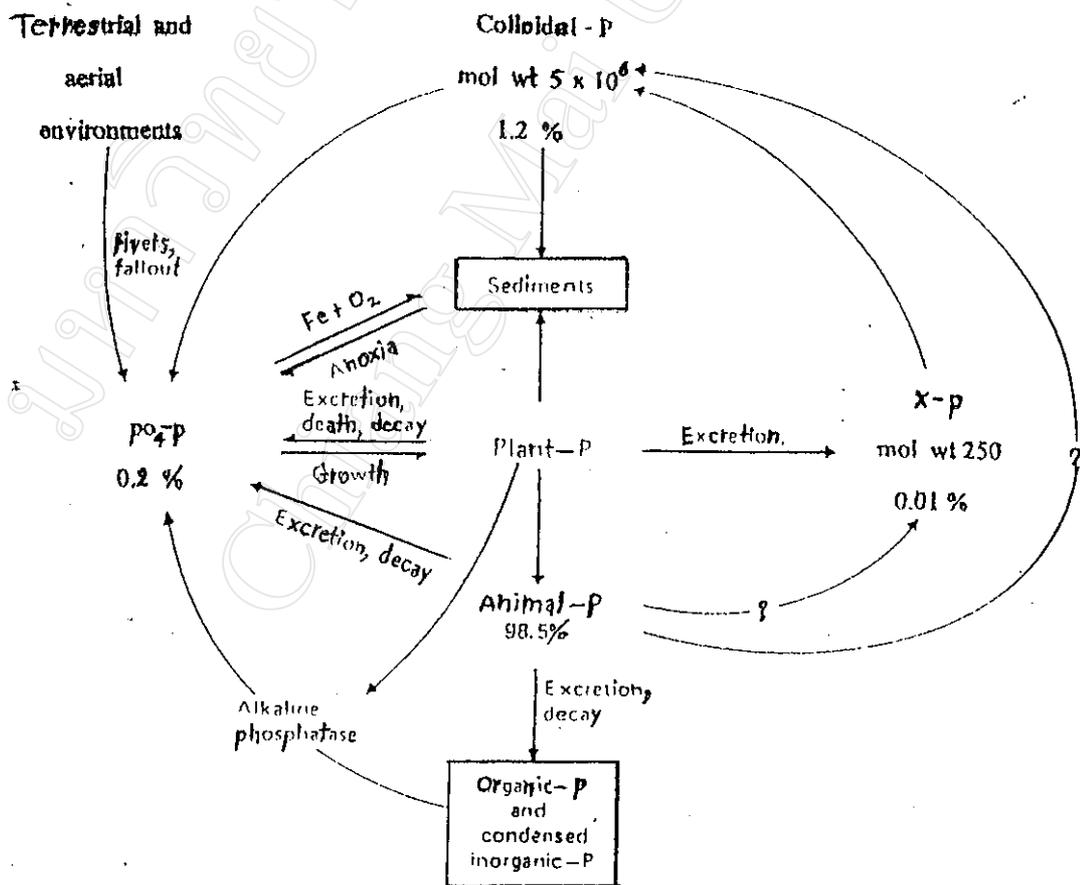
จะเห็นได้ว่าการดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากขบวนการ buffer system ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความเป็นต่างจากไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) มาเป็นคาร์บอเนต CO_3^{2-} และ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ตามลำดับ ซึ่งทำให้ค่าของ pH สูงขึ้นระหว่าง 10 หรือ 11 ก็ได้ (Higel, 1996)

ไนโตรเจน (Nitrogen) ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำมาก เพราะเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen Cycle) ดังภาพ 3 - ไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำทั้งทางอากาศและอาจถูกพัดพามาโดยน้ำบนผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน สารประกอบไนโตรเจนเข้ามาอยู่ในระบบนิเวศแล้ว จะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ และจากสาร อนินทรีย์ไปเป็นสารอินทรีย์ กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นได้ทั้งปฏิกิริยาทางเคมีที่มีและไม่มีสิ่งมีชีวิตเป็นผู้ดำเนินการ ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีอยู่ในหลายรูป เช่น $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ซึ่งหาได้จากวัฏจักรของไนโตรเจน สารที่ใช้ใน ไนโตรเจนในรูปสารประกอบ $\text{NH}_3\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในกรณีทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายส่วนใหญ่ชอบใช้ในรูปของ $\text{NH}_3\text{-N}$ มากกว่า $\text{NO}_3\text{-N}$ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีค่าระหว่าง 1.3 - 6.5 mg/l (เปี่ยมศักดิ์, 2536 ; ศิริพิชญ, 2543 ; Jerald, 1996)



ภาพ 3 วัฏจักรไนโตรเจน (ที่มา : Goldman and Home, 1983)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นอย่างมากในกระบวนการ metabolism ในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ วัฏจักรของฟอสฟอรัส (ภาพ 4) มีความซับซ้อน ฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารประกอบฟอสฟอรัสที่สำคัญทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มจะอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่เป็นไอออน (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) หรืออยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารประกอบ ที่มีขนาดใหญ่ (นันทมา, 2536) ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้เป็นสารพิษที่ทำอันตรายต่อสัตว์น้ำ เพียงแต่เป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่าย โดยทั่วไปไม่ควรจะมีปริมาณฟอสฟอรัสเกิน 0.03 mg/l (ไมตรีและจารุวรรณ, 2530) สารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำ เกิดปรากฏการณ์ eutrophication ทำให้มีการ bloom ของ algal (Jerald, 1996) ปริมาณ $\text{PO}_4\text{-P}$ เพิ่มขึ้นอาจมาจากการตายของสิ่งมีชีวิตและทำให้มีการสลายตัวของเซลล์ และการย่อยของสารประกอบอินทรีย์และปลดปล่อย $\text{PO}_4\text{-P}$ ออกสู่แหล่งน้ำที่เลี้ยงสาหร่าย (นิตยา, 2526)



ภาพ 4 วัฏจักรฟอสฟอรัส (ที่มา: Goldman and Horne, 1983)

มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ ดังตาราง 1

ตาราง 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538

คุณลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
อุณหภูมิของน้ำ	"C	ไม่เกิน 40	จากโรงงานอุตสาหกรรม
pH	units	6.5- 8.5	เพื่อการบริโภค
DO	mg/l	ไม่น้อยกว่า 2	แหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 4
BOD ₅	mg/l	ไม่เกิน 20	ทิ้งลงสู่คลองชลประทาน
CO _D	mg/l	ไม่ควรเกิน 200	จากโรงงานอุตสาหกรรม
NH ₃ -N	mg/l	ไม่เกิน 0.5	แหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 2 - 4
NO ₃ -N	mg/l	ไม่เกิน 5	แหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 2 - 4
PO ₄ -P	mg/l	ไม่เกิน 0.03	คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง

คุณภาพน้ำทางชีวภาพ

คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll - a) สำหรับทุกชนิดจะประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์เอ ในการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ จึงสามารถหาความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายในเชิงคุณภาพได้สาหร่ายหลายชนิดมีคลอโรฟิลล์บีและซีเป็นองค์ประกอบเสริม ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์จะแปรผันตามสภาพแวดล้อมและปัจจัยทางด้านสารอาหารในแหล่งน้ำนั้น ๆ คลอโรฟิลล์เอเป็นรงควัตถุหลัก ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงขั้นต้น ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์เช่น แอลกอฮอล์ร้อนหรือเย็น คาซีโตน บีโตะเลียมสปีริต หรือ ส่วนผสมของเมทานอลและปิโตรเลียมอีเธอร์ คลอโรฟิลล์เอพบในแพลงก์ตอนพืชทุกชนิด จึงนิยมใช้คลอโรฟิลล์เอเป็นตัววัดมาตรฐานที่ให้เห็นถึงกำลังผลิตของแหล่งน้ำ (เพกาวรรณ, 2534 : นันทนา, 2536 : ศิริเพ็ญ, 2537 : ลัดดา, 2538) ในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารค่อนข้างสูง (Eutrophic) มี Chlorophyll - a ปริมาณ 10 - 50 mg/m³ (Lorraine and vollenweider, 1981) การวิจัยความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่จันทสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีค่า Chlorophyll - a 4.93 - 20.72 (x 10³ µg/l) (Tularak et al.,2000)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของ *S. platensis*

ปัจจัยทางด้านกายภาพและเคมี

S. platensis สามารถเจริญอยู่ได้ในอุณหภูมิ 15 - 50 °C แต่เจริญได้ดีที่ 32 - 42 °C (ดีที่สุดที่ 35 °C) การเจริญจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 44 °C และตายถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50 °C (จิระพรรณ, 2532 ; Nakamura, 1982 ; Torzillo *et al.*, 1991) pH ที่เหมาะสมสำหรับ *S. platensis* คือ 8.5 - 10 ที่ pH 11 ขึ้นไป สาหร่ายจะมีการเจริญลดลง ถ้าสภาพของแหล่งน้ำที่มีความเค็มและสภาพค่อนข้างเป็นด่าง คือ pH ประมาณ 9 - 11 *S. platensis* จะเจริญได้ดี *S. platensis* มีอัตราการเจริญต่ำสุดที่ความเข้มแสง 2,500 Lux ถ้าความเข้มแสง 5,000 , 7,000 และ 10,000 Lux อัตราการเจริญของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มแสงที่เหมาะสม คือ 4,000 - 5,000 Lux สาหร่ายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อได้รับความเข้มแสงมากกว่า 8,000 Lux เป็นเวลานาน (จิระพรรณ, 2532 ; เขียวลักษณ์, 2534 ; Nakamura, 1982)

ปัจจัยทางด้านสารอาหาร

S. platensis ต้องการธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตประมาณ 20 ชนิด เช่นเดียวกับพืชอื่น ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการปริมาณมาก (macronutrients) มี 11 ธาตุ คือ C H O N P K S Mg Ca Na และ Cl แต่ละธาตุพบในขี้เถ้าของสาหร่าย (ash-free dry weight) ได้ > 0.1 % ส่วนธาตุที่เหลืออีก 9 ธาตุ ซึ่งสาหร่ายต้องการในปริมาณน้อย (micronutrients) แต่มีความสำคัญต่อสาหร่ายไม่น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก ได้แก่ Fe Mn Cu Zn B Si Mo V และ Co ซึ่งมีพบในขี้เถ้า < 0.1 % โดยน้ำหนักแห่งไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุที่สำคัญของสาหร่าย เพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน ซึ่งมีอยู่ 1/8 หรือ 1/6 ของน้ำหนักสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ สาหร่ายใช้ไนโตรเจนหลายรูปแบบ เช่น NH₃-N , NO₃-N , NO₂-N รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ ปริมาณต่ำสุดพบในเซลล์สาหร่าย 3 - 4 % ของน้ำหนักแห้ง แพลงก์ตอนพืชจะเลือกดูด NH₃ - N ไปใช้ก่อน เมื่อปริมาณ NH₃ - N ลดลงจึงจะใช้ไนเตรทและไนไตรท์ โดยจะทำการลดออกซิเจนให้เป็นแอมโมเนียก่อน โดยใช้เอนไซม์ nitrate - nitrite reductase ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีค่าระหว่าง 1.3 - 6.5 mg/l (ศิริเพ็ญ, 2537)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารประกอบฟอสฟอรัสที่สำคัญในน้ำจืดและทะเลคือ ออร์โธฟอสเฟต (PO₄ - P) หรือ Soluble reactive phosphorus (SRP) เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถสะสม PO₄ - P ไปได้มากเมื่อระดับของฟอสฟอรัสในน้ำสูง จึงเป็นธาตุอาหารที่ช่วยให้เซลล์เติบโตได้โดยไม่ต้องขาดอนินทรีย์ (ถักดา, 2538) สาหร่ายสามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสได้ โดยการผลิตเอนไซม์ alkaline phosphatase ช่วยในการดึงเอา SRP ออกมาใช้ มันจะสร้างเอนไซม์นี้ขึ้นมาในสภาวะที่มีความเข้มข้นของ PO₄ - P น้อย ในขณะที่เดียวกันถ้ามี pH สูงหรือในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้ฟอสเฟตยึดกับอนุภาคของดินและโดยเฉพาะเมื่อดินมีธาตุเหล็กและอลูมิเนียมสูง จะทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเกลือและสาหร่ายไม่สามารถนำไปใช้ได้ (ศิริเพ็ญ, 2537)

อย่างไรก็ตามสาหร่ายแต่ละชนิดขณะเพาะเลี้ยงจะมีความต้องการ $PO_4 - P$ ในปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะแวดล้อม ปริมาณเออร์โทฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย 0.1 - 2 mg/l (Traichaiyaporn, 1985) (Chu, 1942)

สูตรอาหารที่นิยมใช้เลี้ยง *S. platensis* ทั่วไปในห้องปฏิบัติการคือ Zarrouk's medium (Faucher *et al.*, 1979) ซึ่งมีองค์ประกอบ ดังตาราง 19 (ภาคผนวก ก)

ในสูตรอาหาร Zarrouk's ได้โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในปริมาณมากถึง 16 g/l เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับ *S. platensis* ได้โดยตรง แต่มีขีดจำกัดคือ CO_2 มีผลทำให้น้ำเลี้ยงสาหร่ายเน่า จึงต้องคอยระวังให้ pH อยู่ระหว่าง 8.5 - 10.0 (Nakamura, 1982 ; Venkataraman, 1983) การกวนน้ำเป็นกรทำให้น้ำหมุนเวียน ช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ระดับน้ำต่าง ๆ มีโอกาสสลับเปลี่ยนกันรับแสงอย่างสม่ำเสมอ สาหร่ายจะแพร่กระจายไปทั่วทุกมวลน้ำจึงสัมผัสกับธาตุอาหารอย่างทั่วถึง ทำให้เซลล์สาหร่ายสามารถดูดซึมธาตุอาหารต่าง ๆ ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับ *S. platensis* เป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเริ่มต้นด้วยความเข้มข้นต่ำไปอาจทำให้สาหร่ายชนิดอื่นขึ้นมาทดแทน หรือ เซลล์แตก เนื่องจากเกิดโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ถ้าเริ่มต้นด้วยความเข้มข้นสูงเกินไปจะเกิดการบังแสงกัน ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับ *S. maxima* เมื่อวัดค่า Optical Density (OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 nm มีค่าเท่ากับ 0.35 (Venkataraman, 1983 ; Faucher *et al.*, 1979 ; Leduy and Therien, 1977)

คุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis* เมื่อเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในสารอินทรีย์ต่าง ๆ กัน (ตาราง 2)

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการบางประการของ *S. platensis* จากการเพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

แหล่งสารอาหาร	% โดยน้ำหนักแห้ง						อ้างอิง
	Moisture	Ash	Fiber	Protein	Fat	Carbohydrate	
-ภาคส่วนแห้งความเข้มข้น 0.5 %	-	-	7.38 ± 0.02	68.63 ± 0.75	6.75 ± 0.28	12.99	สุทธิตรา, 2533
-ภาคส่วนแห้งผสมกับน้ำหมักผักตบชวา	-	-	-	38.17 - 56.66	-	-	ณรงค์, 2535
-ยูกโคแห้ง 0.1 %	-	-	-	42 - 63	-	-	Tomayo <i>et al.</i> , 1987
-ใช้สารเคมีเพาะเลี้ยงของสถานีประมงน้ำจืดแห่งชาติ (2530)	5 - 10	5 - 12	1 - 4	55.65	2 - 6	10 - 15	สมศักดิ์, 2530
-น้ำเสียจากฟาร์มสุกรใช้เพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i>	-	-	-	36	6	44	Canizares <i>et al.</i> , 1995
-น้ำเสียจากฟาร์มสุกรใช้เพาะเลี้ยง <i>Phormidium</i> sp.	-	-	-	62	11	16	Canizares <i>et al.</i> , 1995