# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**การใช้ประโยชน์จากสาหร่าย**

สาหร่ายเป็นทรัพยากรชีวภาพที่มีความสำคัญ สาหร่ายกลุ่ม eukaryotes และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน cyanobacteria หรือ blue-green algae ซึ่งเป็น prokaryotes ได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสาหร่ายในกลุ่มนี้สามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง เช่น ใช้เป็นอาหารและอาหารเสริม ใช้เลี้ยงสัตว์ หรือสกัดสารเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น (สรวิช เผ่าทองศุข, 2543) ซึ่งสาหร่ายในกลุ่มนี้ยังมีความได้เปรียบเรื่องต้นทุนการผลิต ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงสาหร่ายกับการปลูกพืช สามารถสรุปได้ ดังนี้ (Vonshak, 1990 อ้างถึงใน สรวิช เผ่าทองศุข, 2543)

1. สาหร่ายสามารถใช้พลังงานแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก แสงอาทิตย์จะถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการผลิตสารอินทรีย์โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ผลผลิตมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าการปลูกพืชโดยทั่วไป

2. สาหร่ายเป็นพืชที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ไปเป็นระบบท่อลำเลียง และมักจะไม่มีอวัยวะสืบพันธุ์ที่ซับซ้อน มวลชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

3. สาหร่ายหลายชนิดสามารถนำมากระตุ้นให้ผลิตสารบางอย่างที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน รงวัตถุ หรือสารเคมีอื่น ๆ ตามที่ต้องการ

4. สาหร่ายส่วนใหญ่เจริญและแพร่พันธุ์โดยการแบ่งเซลล์ แบบไม่อาศัยเพศ และมีระยะรอบของการแบ่งเซลล์ cell cycle สั้นนับเป็นชั่วโมง สามารถนำมาทำการคัดเลือก และจำแนกพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การพัฒนาและคัดเลือกสายพันธุ์เร็วกว่าพืชอื่น ๆ

5. ระบบการผลิตสาหร่ายสามารถปรับเปลี่ยนได้หลายรูปแบบ ขึ้นกับขนาดการผลิตและระดับเทคโนโลยีที่ใช้ สาหร่ายหลายชนิดสามารถเลี้ยงได้ในระบบเปิดที่สัมผัสกับอากาศโดยตรง

ไม่จำเป็นต้องรักษาสภาพปลอดเชื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงจุลชีพอื่น ๆ เกษตรกรสามารถเลี้ยงได้โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีพิเศษ ไปจนถึงระบบบ่อผลิตที่ควบคุมอัตโนมัติในระดับอุตสาหกรรม

ในประเทศไทยมีการนำสาหร่ายหลายชนิดมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนได้มีการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจนถึงระดับอุตสาหกรรม อาจสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การใช้เป็นอาหารคน

5.1.2 การใช้เป็นอาหารสัตว์

5.1.3 อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

5.1.3.1 สาหร่าย *Spirulina* spp.

5.1.3.2 สาหร่าย *Chlorella* spp.

5.1.3.3 สาหร่าย *Dunaliella* spp.

คนไทยเองก็ได้มีการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเช่นเดียวกัน เช่น ตามชนบทบางพื้นที่ได้มีความนิยมที่จะนำสาหร่ายมาประกอบอาหาร ทั้งสาหร่ายน้ำเค็มและสาหร่ายน้ำจืด เช่น สาหร่ายผมนาง *Gracilaria* spp., เตาหรือเทาน้ำ *Spirogyra* spp., ไก *Cladophora* spp., ดอกลอนหรือไข่หิน *Nostochopsis* spp.

**ความรู้เกี่ยวกับสาหร่ายไข่หิน**

<u>การจัดลำดับทางอนุกรมวิธาน</u>

สาหร่ายไข่หิน ดอกหิน หรือลอนน้ำ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527) เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำพวกโปรคาริโอท (prokaryotes) ถูกจัดไว้ในหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธาน ดังนี้ (Desikachary, 1959)

Phylum Cyanophyta

Class Cyanophyceae

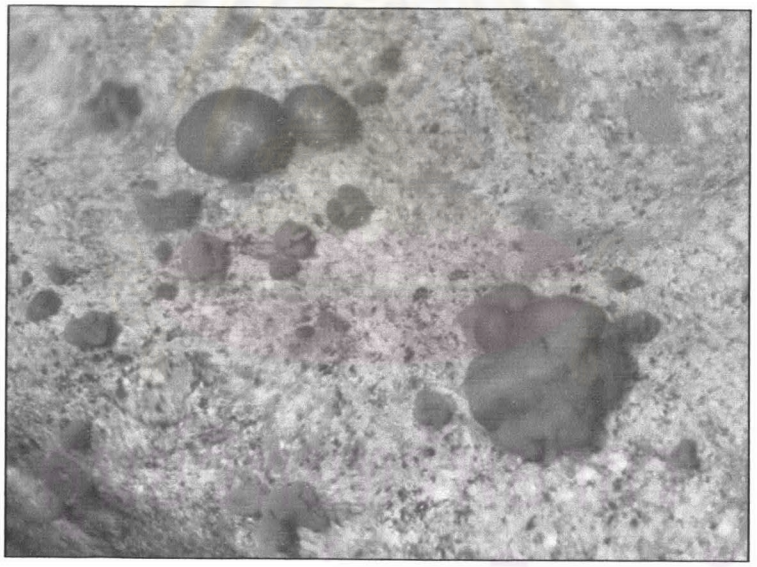
Order Stigonematales

Family Nostochopsidaceae

Genus *Nostochopsis*

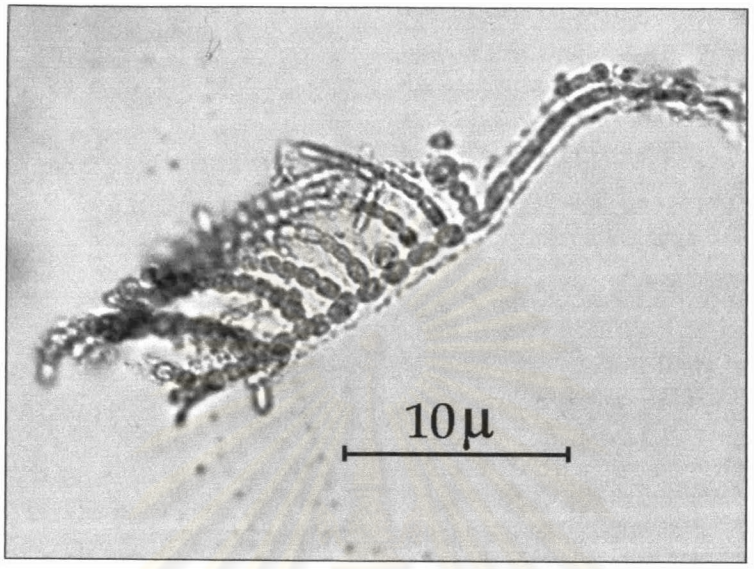
สาหร่ายไข่หินในบริเวณที่ทำการศึกษา ในอำเภอเขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี เป็นชนิด "*Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler"

โคโลนีก้อนกลม หรือเกือบกลม มีสีเขียวแกมน้ำเงิน สีเขียวมะกอก และสีเขียวออกเหลือง โคโลนีมีส่วนใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 เซนติเมตร แต่อาจใหญ่ถึง 6 เซนติเมตรก็ได้ เมื่อยังอ่อนโคโลนีจะเป็นก้อนตันผิวเรียบ แต่โคโลนีที่มีขนาดตั้งแต่ 3 เซนติเมตรขึ้นไป ตรงกลางมักเป็นช่องกลวงและมีการพับหย่อนบนผิว ถ้าศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเซลล์เรียงต่อกันเป็น filament มีการแตกแขนงที่แท้จริง การแตกแขนงจะเกิดบริเวณปลายของ filament ซึ่งจะแตกออกไปได้โดยรอบ โดย filament ที่แตกใกล้ส่วนยอดสั้นที่สุด และความยาวของแขนงจะเพิ่มขึ้นในตำแหน่งที่ห่างปลายของ filament ลงมา พบ heterocyst ที่ปลายของแขนงสั้นซึ่งมี จำนวนเซลล์เพียง 2 -3 เซลล์ เรียกว่า Pedicellate heterocyst และเกิดแนบกับเซลล์ในเส้นสายนั้น เรียกว่า Lateral heterocyst มีเมือกหุ้มโคโลนีเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด

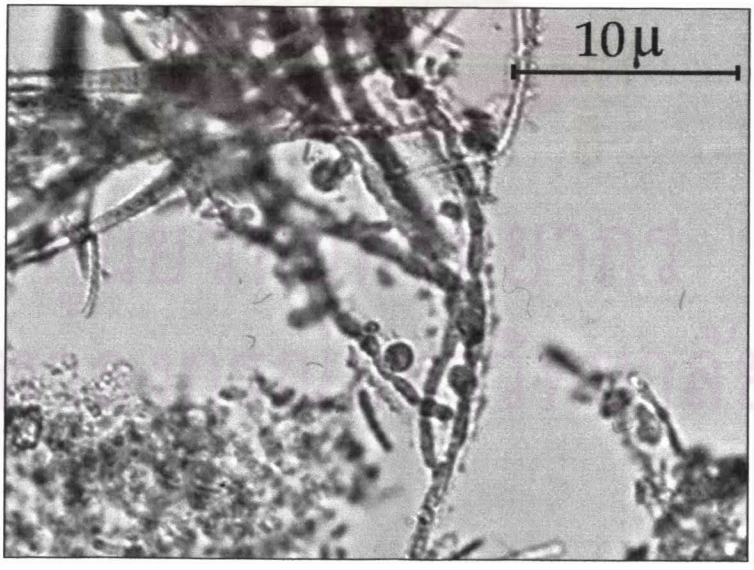


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

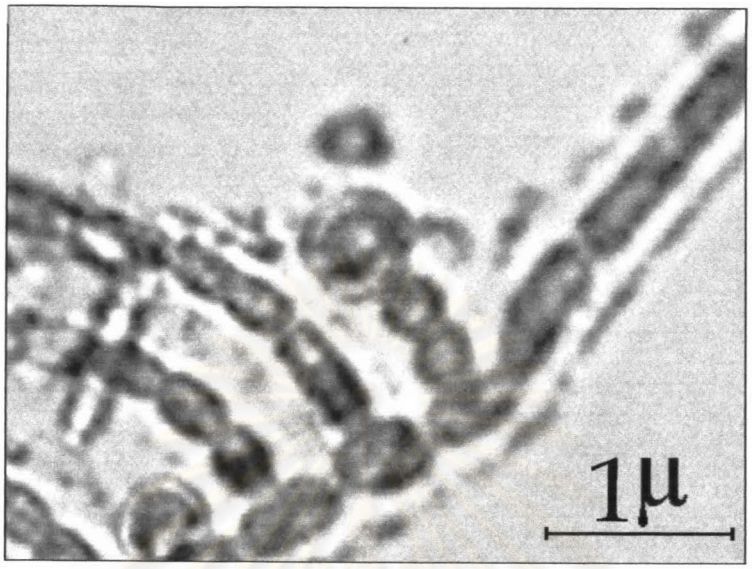
รูปที่ 1 ลักษณะโคโลนีสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler



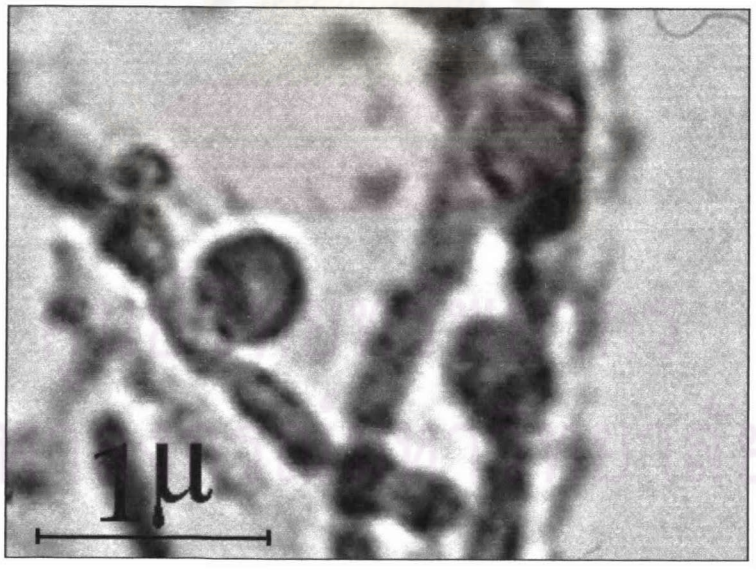

<u>รูปที่ 2</u> เซลล์เรียงต่อกันเป็น filament และมีการแตกแขนงที่แท้จริงในสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler



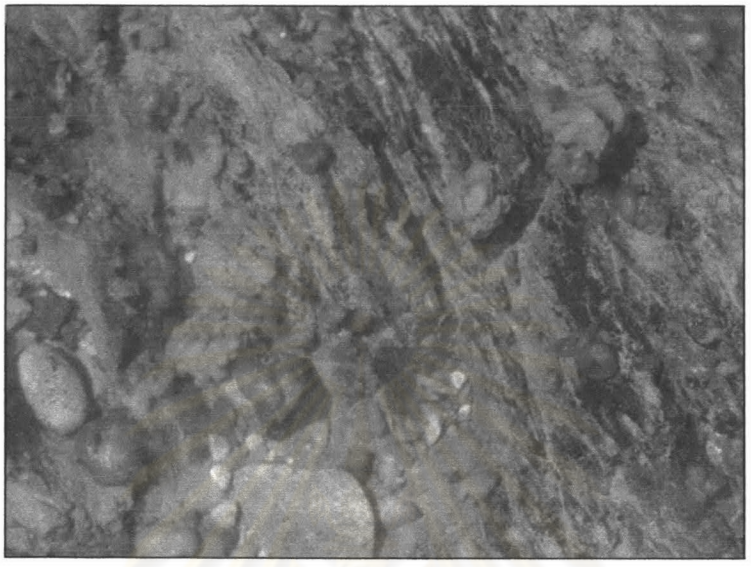

<u>รูปที่ 3</u> ตำแหน่งของ heterocyst ในสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler




รูปที่ 4 Lateral heterocyst ในสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler




รูปที่ 5 Pedicellate heterocyst ในสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler



รูปที่ 6 โคโลนีสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler ในแหล่งน้ำที่ศึกษา

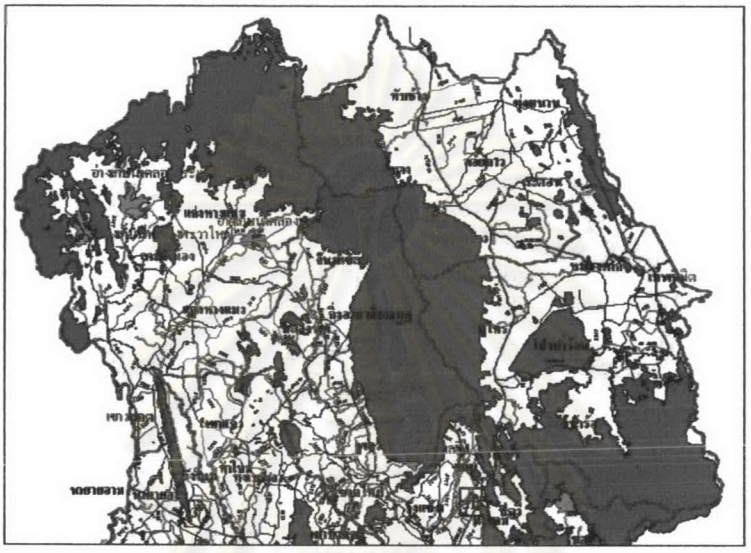
แหล่งที่อยู่

สาหร่ายชนิดนี้ขึ้นอยู่บนก้อนหินที่มีน้ำค่อนข้างเย็นไหลผ่านตลอดเวลา จากการสำรวจพบสาหร่ายไข่หินทางภาคเหนือและภาคตะวันออก (Smith, 1950) เช่น ในจังหวัดเชียงใหม่และจันทบุรี (สรวิช เผ่าทองสุข, 2543) และสำรวจพบสาหร่ายไข่หิน *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler บริเวณลำน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ (พิษณุ วรรณธง และคณะ, 2544) นอกจากนี้ชาวบ้านที่อาศัยในบริเวณแม่น้ำน่านและแม่น้ำโขงยังมีการนำไข่หิน มารับประทานและผสมเป็นยาแก้ร้อนใน (ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ, 2545)

**สถานที่ทำการศึกษา**

บริเวณคลองที่ทำการศึกษาอยู่ในเขตอำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี ซึ่งมีเทือกเขาสอยดาวเป็นแหล่งต้นน้ำ จัดเป็นระบบนิเวศแบบน้ำไหล (lotic ecosystem) ทิศทางของน้ำจะไหลในทิศทาง

เดียวกันตลอดเวลา ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำในรอบปีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแหล่งน้ำ (Winterbourn and Townstead, 1991 อ้างถึงใน ณภัทร น้อยน้ำใส, 2543)



รูปที่ 7 แผนที่แหล่งน้ำที่ทำการศึกษาในเขตอำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

สภาพภูมิอากาศของจังหวัดจันทบุรีตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย ในฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่ประมาณเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมหนาวและอากาศแห้ง และมีอุณหภูมิต่ำสุด สำหรับฤดูร้อนตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม มีอุณหภูมิประจำปีสูงสุดในเดือนเมษายนและอาจมีฝนตกบ้างเป็นครั้งคราว พื้นที่ที่เลือกศึกษามีความสูง 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล

ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2543 (อุตุนิยมวิทยา (กรม), 2544ก, 2544ข, 2444ค) ใช้ในการแบ่งรอบการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

1. ฤดูร้อน

เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยทั่วไปจะมีอากาศร้อน ความชื้นในอากาศต่ำอาจมีฝนตกเป็นครั้งคราว และมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณเดือนเมษายน

2. ฤดูฝน

เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม เนื่องจากได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีลักษณะเป็นลมร้อน มีความชื้นสูงจากมหาสมุทรอินเดีย เมื่อพัดผ่านพื้นดินจึงทำให้มีเมฆมากและเกิดฝนตก ในระยะนี้อาจมีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยและมีอิทธิพลให้ฝนตกชุกมากในเดือนกันยายน

3. ฤดูหนาว

เริ่มตั้งแต่ประมาณเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะเป็นลมหนาว อากาศแห้งจากประเทศจีน ในช่วงนี้ท้องฟ้าโปร่งเป็นส่วนมาก มีฝนตกน้อยเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำสุดของปี

**การเติบโตของสาหร่าย**

การเจริญเติบโตของสาหร่าย หมายถึง การแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของโคโลนีสาหร่าย การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลว ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นจนกระทั่งเซลล์มีการเจริญเติบโตสูงสุด และเริ่มลดลง สามารถแบ่งได้เป็นช่วงดังนี้ (Brooks et al., 1991)

1. Lag phase เป็นช่วงที่สาหร่ายเริ่มปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ธาตุอาหาร ความเป็นกรดด่าง เป็นต้น ระยะนี้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์ ดังนั้นสาหร่ายจึงยังไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์

2. Acceleration phase เป็นช่วงที่สาหร่ายเริ่มแบ่งเซลล์ จำนวนเซลล์หรือ Biomass จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการสังเคราะห์ DNA RNA และโปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่

3. Exponential growth phase เป็นระยะที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโต โดยแบ่งเซลล์และเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว มีเมทาบอลิซึมสูงสุด และอัตราการเจริญสูง

4. Deceleration phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตช้าลง เพราะขาดแคลนอาหาร เนื่องจากปริมาณสาหร่ายที่หนาแน่นเกินไป การเสียสมดุลของความเป็นกรดด่าง หรือแสงที่เซลล์ได้รับลดลง เนื่องจากเซลล์บังกันเอง

5. Stationary growth phase เป็นระยะที่การเพิ่มของมวลสาหร่ายไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากธาตุอาหารลดน้อยลง และเกิดสารพิษจากขบวนการเมตาบอลิซึม หรือการสลายตัวของเซลล์เพิ่มขึ้นจนเท่ากับการเจริญ

6. Death phase เป็นช่วงที่มวลสาหร่ายลดลง อัตราส่วนของการหายใจต่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น เซลล์สาหร่ายมีการตายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

**ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย**

แม่น้ำหรือลำธารเป็นระบบนิเวศแบบน้ำไหล ( lotic ecosystem ) ทิศทางของน้ำจะไหลในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำและลักษณะของสัณฐานวิทยาของแหล่งน้ำ (Winterbourn and Townstead, 1991 อ้างถึงใน ณภัทร น้อยน้ำใส, 2543)ในบริเวณที่ภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง ลำน้ำจะแคบและคดเคี้ยว ไหลเชี่ยว รุนแรง ตะลิ่งหรือพื้นน้ำประกอบด้วยก้อนหิน ก้อนกรวด ขนาดของลำน้ำจะขยายออกและความเร็วลดลงตามระดับความลาดชันที่ลดลง ลำน้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้รับน้ำจากน้ำฝน ปริมาณสารอาหารที่ถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำนั้นขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยาและสภาพแวดล้อม รวมไปถึงกิจกรรมบริเวณริมฝั่งเป็นสำคัญ ซึ่งล้วนมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์และคุณภาพแหล่งน้ำ (หรรษา จันทร์แสง, 2532) ในระบบนิเวศแบบน้ำไหล มีความแตกต่างไปตามลักษณะแวดล้อมทางกายภาพและเคมี ที่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการอาศัยของสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้น (สุรินทร์ มัจฉาชีพ และสมสุข มัจฉาชีพ, 2539) ลักษณะการไหลของกระแสน้ำและปริมาณของน้ำ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายและปริมาณของสาหร่าย (Chapman and Chapman, 1973) ลักษณะพื้นผิวก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดการกระจายของ benthic algae (สมสุข มัจฉาชีพ, 2538)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา สรีระวิทยา และสารประกอบชีวเคมี (Tandeau and Houmard, 1993) ปัจจัยที่มีผลต่อความหลากหลายของสาหร่าย ยากที่จะจัดจำแนกออกได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแต่ละปัจจัยในสภาพแวดล้อม (Goldman and Home, 1983) ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยกายภาพ ปัจจัยเคมี และปัจจัยชีวภาพ ซึ่งปัจจัยทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์กันแปรผันกันออกไปตามสภาวะแวดล้อม (Bobbin and Recknagel, 2001) อาจสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมไปถึงปริมาณของโมลิบดีนัม และเหล็ก ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของไนโตรจีเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกระบวนการตรึงไนโตรเจน (ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร, 2537) ดังนั้นจึงมีผลต่อการแพร่กระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

1. <u>ปัจจัยกายภาพ</u>

1.1 แสง : ความเข้มแสง และระยะเวลาที่รับแสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย ความเข้มแสงในน้ำขึ้นอยู่กับสถานที่ ฤดูกาล เวลาในรอบวัน ระดับความลึกของน้ำ สี ความขุ่น และปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่น้ำ(Trainor, 1978 ; Fankhauser and Chory, 1997) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีรงควัตถุใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ คลอโรฟิลด์ เอ chlorophyll a แคโรทีนอยด์ carotenoid และไฟโคบิลิโปรตีน phycobiliproteins ซึ่งประกอบด้วย แอลโลไฟโคไซยานิน allophycocyanin ไฟโคไซยานิน phycocyanin และไฟโคอิริธริน phycoerythrine (อ้างถึงใน ยุวดี พีรพรพิศาล, 2542) ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงสีเขียวมีความยาวช่วงคลื่น 521 นาโนเมตร แสงสีเหลืองซึ่งมีความยาวช่วงคลื่น 580 นาโนเมตร และแสงสีส้มซึ่งมีความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ทำให้สาหร่ายในกลุ่มนี้สามารถอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีแสงน้อยได้ (Lee, 1999) เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้แสงได้ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่กว้าง โดยเฉพาะในน้ำลึกซึ่งมีเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 560-570 นาโนเมตร เพราะมีไฟโคอิริธริน ที่สามารถดูดกลืนแสงช่วงดังกล่าวได้ (Heldt, H.F., 1997)

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการความเข้มแสงประมาณ 1,000 – 2,000 ลักซ์ เป็นช่วงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโตได้ดี ถ้าสาหร่ายได้รับความเข้มแสงสูงกว่านี้อาจทำให้การเติบโตของสาหร่ายลดลงได้ (Patrick, 1977) เนื่องจากการสะสมของปริมาณคลอโรฟิลด์ในเซลล์น้อยกว่าปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของกลูตามีนต่อกลูตาเมต มีผลทำให้การสังเคราะห์แสง ATP ลดลง (Falkowski, 1980) ความเข้มแสงจะไปส่งผลต่อความแตกต่างของ photoaclimate depends ทำให้เกิดความแตกต่างของจำนวน pigment และลักษณะของไทลาคอยด์ในส่วนของ attena ในขบวนการ PSII ( Viering and Albart, 1980) เป็นผลมาจากการแสดงออกของ genome ตอบสนองต่อความเข้มของแสง และระยะเวลาที่สาหร่ายได้รับแสง (Tandeau and Houmard, 1993)

ระยะเวลาที่สาหร่ายได้รับแสง มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วในการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการมักจะให้แสงประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน (Fulks and Main , 1991 ) การเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella ellipsoidea* ในห้องปฏิบัติการโดยให้ช่วงแสงสว่างและมืดสลับกัน ด้วยอัตราส่วนเท่ากับ 2:1 (Morimura, 1996) การมีช่วงสว่างสลับกับช่วงมืดเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากในช่วงสว่างจะเกิดขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการตรึงไนโตรเจน ในช่วงมืดเกิดขบวนการสร้างพลังงานเพื่อใช้ในการเติบโต ทำให้เกิดสมดุลและมีการเติบโตตามปกติ การที่ให้แสงตลอดเวลา จะบังคับให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงตลอดเวลาเกินความจำเป็น (Eppley et al., 1971) เช่น อัตราการเติบโตของสาหร่าย *Chlorella ellipsoidea* ซึ่งเป็นสัดส่วนกับระยะเวลาที่ให้แสง แต่ *Hydrodictylon seems* จะไม่สามารถเติบโตได้ถ้าไม่มีช่วงมืด และ *Coccolithus huxleyv* ที่ดูดซึมไนเตรทและแอมโมเนียมได้ทั้งในช่วงที่มีแสงและไม่มีแสง แต่เอนไซม์มีประสิทธิภาพสูงในช่วงที่ไม่มีแสง (Fogg, 1966)

1.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีผลต่อการเติบโต การสืบพันธุ์ และการละลายของออกซิเจนในน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดจากการที่มีแสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำ และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่ได้รับแสง สภาพภูมิอากาศ และฤดูกาล (Taiz and

Zeiger, 1998) สาหร่ายน้ำจืดในเขตร้อนเติบโตได้ดีที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 15-25 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะเติบโตอยู่ไม่ได้ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2535) หรืออุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีอัตราการเจริญช้ากว่าสาหร่ายชนิดอื่น(Reynolds, 1984) จากการศึกษา *Microcystis* spp. ในตอนล่างของแม่น้ำ Nakdong ในประเทศเกาหลีใต้ ช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ.1997 พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์ไนเตรทที่ละลายน้ำและฟอสฟอรัสมีค่าสูงมีความสัมพันธ์กับปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาบริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสำรวจพบสาหร่ายไข่หินนั้น มีอุณหภูมิน้ำในช่วง 22.0 – 24.4 องศาเซลเซียส (พิษณุ วรรณธง และคณะ, 2544)

2. ปัจจัยเคมี

2.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ และความกดอากาศ (เปี่ยม ศักดิ์ เมนะเศวต, 2545) โดยค่าการละลายของออกซิเจนจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำ และแปรตามความกดอากาศ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพน้ำ ปริมาณที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าค่าออกซิเจนละลายมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ในแหล่งน้ำที่มีน้ำไหล ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการแพร่ของอากาศจากการไหลของน้ำ แตกต่างกับในแหล่งน้ำนิ่ง ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและพืชน้ำ (ประมาณ พรหมสุทธิลักษณ์, 2531) การศึกษาบริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสำรวจพบสาหร่ายไข่หินนั้น มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดทั้งปีอยู่ในช่วง 6.8 – 9.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (พิษณุ วรรณธง และคณะ, 2544)

2.2 ความเป็นกรดด่าง

เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ ค่าความเป็นกรดด่างมีความสัมพันธ์กับการเติบโต เมตาบอลิซึม และอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่างมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ แต่จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ

ปริมาณไบคาร์บอเนต (Reid and Wood, 1976) ค่าความเป็นกรดด่างในน้ำตามธรรมชาติจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.0 – 9.0 แต่ช่วงที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ 6.0 – 8.0 มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดค่าความเป็นกรดด่างของน้ำทิ้งต้องอยู่ในช่วง 5.0 – 9.0 (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525)

สาหร่ายแต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรดด่างต่างกัน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินส่วนใหญ่จะเติบโตได้ดีที่สภาพเป็นกลางจนถึงสภาพเป็นด่าง ประมาณ 6.5-7.5 (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2538) แต่ *Dunaliella tertiolecta* มีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเติบโตเท่ากับ 6 (Borowitzka and Borowitzka, 1988) ส่วน *Dunaliella salina* เติบโตได้ดีที่สุดที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.36 (สรวิช เผ่าทองศุข และคณะ, 2538)

2.3 ปริมาณแร่ธาตุ

สาหร่ายมีความต้องการธาตุอาหารกลุ่ม essential element แตกต่างกันออกไป ทั้งชนิดและปริมาณของธาตุอาหารนั้นด้วย โดยแบ่งออกเป็นธาตุกลุ่ม macronutrient ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุกลุ่ม micronutrient ได้แก่ โบรอน เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี โมลิบดีนัม คลอรีน เป็นต้น สาหร่ายบางชนิดอาจต้องการธาตุบางอย่างโดยเฉพาะในการเติบโต เรียกธาตุเหล่านี้ว่า beneficial element ( Taiz and Zeiger, 1998)

ธาตุอาหารในแหล่งน้ำธรรมชาติหลายชนิด เกิดจากน้ำฝนชะล้างแร่ธาตุในดินไหลลงสู่แหล่งน้ำ เช่น ไนเตรท และฟอสเฟต (Foged, 1971) สุคนธ์ คล่องดี ในปี 2534 รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ฟอสฟอรัสรวม ออร์โธฟอสฟอรัส และไนโตรเจนทั้งหมด ในอ่างเก็บน้ำ มีความสัมพันธ์กับปริมาณสาหร่าย และ ชลินดา อริยเดช ในปี 2539 รายงานว่า สาหร่ายในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวง จังหวัดเชียงใหม่ มีความสัมพันธ์กับไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส มีรายงานว่า สาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ในอ่างเก็บน้ำ Paranoa ในประเทศบราซิล จะมีปริมาณมากขึ้น เมื่อปริมาณของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มสูงกว่าปรกติ (Bronco and Senna, 1994) เช่นเดียวกับสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวง จังหวัดเชียงใหม่ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัส (ธีรศักดิ์ สมดี, 2541) ธาตุ

โมลิบดีนัม และเหล็กเป็นธาตุที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Borowitzka, 1988 ; ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร, 2537)

2.3.1 ไนโตรเจน

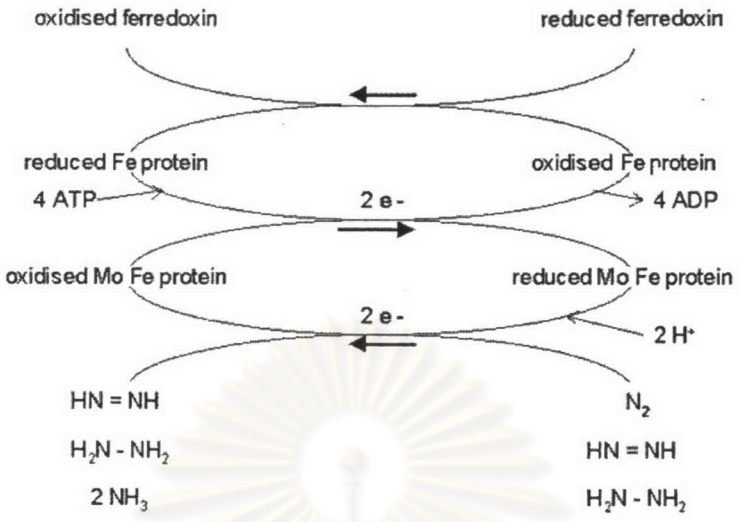
ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบร้อยละ 7–10 ของน้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่าย ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของสาหร่าย เพราะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ เอนไซม์ อัลคาลอยด์ เป็นต้น สาหร่ายใช้ไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปเกลือไนเตรท $NO_3^-$ และแอมโมเนียม $NH_4^+$ (ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร, 2537) ไนเตรทถูกนำสู่เซลล์จะเกิดควบคู่ไปกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำ ดังนั้นการนำไนเตรทเข้าสู่เซลล์จะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างในน้ำสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับการนำเข้าในรูปแอมโมเนียม จะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำลดลง(Grant, 1968) สาหร่ายนำไนโตรเจนไปใช้ในการสร้าง ยูเรีย เอไมด์ กลูทามีน แอสพาราจีน กรดอะมิโน ได้แก่ ไกลซีน ซีรีน อะลานีน เป็นต้น ในสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณของไนโตรเจนที่สูง ภายในเซลล์ของสาหร่ายจะมีโปรตีนมากกว่าคาร์โบไฮเดรต ส่วนสาหร่ายที่เจริญในบริเวณที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำจะมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าโปรตีน (Uriarte et al., 1993)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศได้ คือ เปลี่ยนรูปของก๊าซไนโตรเจนให้เป็นรูปแอมโมเนียม โดยอาศัยเอนไซม์ไนโตรจีเนส (De and Preston , 1980) )

$$N_2 + 8H+ + 8e^- + 16\ ATP = 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16\ Pi$$

การตรึงก๊าซไนโตรเจนให้เป็นรูปแอมโมเนีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




<u>รูปที่ 8</u> การตรึงไนโตรเจนโดยกลุ่มเอนไซม์ไนโตรจีเนส ( Heldt, 1997)

ซึ่งแอมโมเนียมที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ อีกหลายชนิด (Richmond, 1986)

สาหร่ายหลายชนิดมีการเติบโตได้ดีในแหล่งธรรมชาติที่มีไนเตรทค่อนข้างสูง เช่น *Melosira varians* , *Synedra ulna* และ *Navicula viridula* ประมาณ 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Patrick, 1977) ในทะเลสาบ Suwa ในประเทศญี่ปุ่นมีระดับความเข้มข้นของ ไนเตรทสูงสุด 1.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเดือนมิถุนายน และจะลดลงเหลือ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเดือนกันยายน เมื่อระดับความเข้มข้นของไนเตรทลดลงจะพบ *Microcystis aeruginosa* มีปริมาณลดลงด้วย แต่ *Microcystis viridis* มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น(Amemiya et al., 1990) การศึกษาคุณภาพน้ำในทะเลสาบ Little Mere ในประเทศอังกฤษ มีปริมาณไนเตรทสูงสุดเท่ากับ 1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงฤดูหนาว ต่ำสุด 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรในฤดูร้อน ซึ่งในช่วงที่มีปริมาณไนเตรทสูงจะพบสาหร่ายในปริมาณมาก (Calvalho, 1994) การศึกษาคุณภาพน้ำในเขื่อน Hartbessport ทางตอนใต้ของแอฟริกาซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจนเท่ากับ 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* หนาแน่นมาก (Zohary and Robert, 1990) แต่ก็สามารถเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่มีไนโตรเจนต่ำ เช่น การศึกษาในทะเลสาบ Shoe ของประเทศจีน พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำ ที่มีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนเพียง 84 ไมโครกรัมต่อลิตร

(Hough and Thomson, 1996) การศึกษาบริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งพบสำรวจพบสาหร่ายไข่หินนั้น มีปริมาณไนเตรทในช่วง 0.3-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนียมในช่วง 0–0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร (พิษณุ วรรณธง และคณะ, 2544)

2.3.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติจะอยู่ในรูปของออร์โธฟอสฟอรัส และอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสหรืออนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Round, 1975) ฟอสฟอรัสที่มีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ จากผงซักฟอก จะอยู่ในรูปของฟอสเฟตหรือโพลีฟอสเฟต ส่วนที่มาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรจะอยู่ในรูปของออร์โธฟอสฟอรัส (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525)

ฟอสฟอรัสมีผลต่อการเจริญของสาหร่าย โดยเป็นธาตุที่มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญ โดยเป็นธาตุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยเฉพาะขบวนการถ่ายทอดพลังงานและการสร้างกรดนิวคลีอิก (ลัดดา วงศ์รัตน์,2538) เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ โปรตีน พลังงานในรูป ATP , ADP , ฟอสโฟไลปิด กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอโปรตีน RNA DNA และโคเอนไซม์บางชนิด เช่น NADP และ FAD สาหร่ายใช้ฟอสฟอรัสในรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสหรืออนินทรีย์ฟอสฟอรัส และออร์โธฟอสฟอรัส ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต คือ ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลด์ เอ RNA DNA จะลดลง แต่กลับพบแป้งและน้ำตาลเพิ่มขึ้น ทำให้รูปร่างและขนาดของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนั้นเซลล์จะสะสม cyanophycin granule และชักนำให้เกิดการสร้างอะคีนีทและเฮทเทอโรซีสต์ โดยมีเอนไซม์ไนโตรจีเนสเป็นตัวกระตุ้น (Richmond, 1986) โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่าไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตในแหล่งน้ำโดยกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์มีผลให้สาหร่ายเติบโตและเพิ่มจำนวน (Marvan et al., 1979) ซึ่งอาจทำให้น้ำมีสี กลิ่น รสชาด เปลี่ยนไปจากเดิม และทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าลดลงจนเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ กรณีเช่นนี้มักเกิดในช่วงฤดูร้อน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบ เช่น *Microcysist aeruginos, Oscillatoria agardhii, Anabaena flosaqua* และ *Nodularia spumigena* (Elias, 1990)

การศึกษาคุณภาพน้ำในเขื่อน Hartbessport ทางตอนใต้ของแอฟริกาพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.4–0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Zohary and Robert, 1990) ทะเลสาบ Shoe ของประเทศจีน มีปริมาณฟอสฟอรัส 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเติบโตได้ดี (Hough and Thomson, 1996) การศึกษาบริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสำรวจพบสาหร่ายไข่หินนั้น มีปริมาณฟอสเฟตในช่วง 0.06 – 1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร (พิษณุ วรรณธง และคณะ, 2544)

ความต้องการธาตุฟอสฟอรัสของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น ถ้าระดับฟอสฟอรัสต่ำกว่า 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นตัวจำกัดการเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Batterton and Baalan, 1968) มีการนำสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ที่ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าระดับความเข้มข้นลดลงเหลือ 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้สาหร่ายลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว (Fay, 1976)

2.3.3 โมลิบดีนัม

สาหร่ายบางชนิดต้องการธาตุอาหารเฉพาะในการเติบโต ในแหล่งน้ำที่มีโมลิบดีนัมมากจะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาก สาหร่ายสามารถดูดโมลิบดีนัมไปใช้ในรูปของโมลิบเดตไอออน $MoO_4^-$ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540) มีบทบาทสำคัญสำหรับกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะบทบาทต่อเอนไซม์ไนโตรจีเนส เนื่องจากเอนไซม์ไนโตรจีเนสมีส่วนประกอบของโปรตีน 2 ชนิด คือ โปรตีนที่มีโมลิบดีนัมและเหล็ก(Mo-Fe Protein) เรียกว่า azofermo และส่วนโปรตีนที่มีเหล็ก( Fe Protein ) เรียกว่า azofer โดยมีโมลิบดีนัมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ การทำงานของเอนไซม์ไนโตรจีเนสต้องได้รับพลังงานจาก ATP-Mg-complex โดยโมลิบดีนัมเป็นตัวจับไนโตรเจนจากอากาศและส่งผ่านอิเลคตรอนจากเหล็กในกรณีที่ก๊าซไนโตรเจนถูกรีดิวซ์เป็นแอมโมเนียม (Heldt, 1997)

2.3.4 เหล็ก

สาหร่ายทุกชนิดต้องการธาตุเหล็กในการเติบโต โดยมีผลต่อการดูดซึมไนโตรเจนและกระบวนการสังเคราะห์แสง คือ ช่วยสร้างรงควัตถุชนิด คลอโรฟิลด์-เอ และรงควัตถุสีน้ำเงินชนิด ซี-ไฟโคไซยานิน ถ้าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินขาดธาตุเหล็กจะส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเติบโต (Muggli and Harrison, 1997; ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540 )

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย