หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันสาหร่ายสไปรูไลน่า (Spirulina sp.) หรือที่นักวิชาการบางท่านเรียกว่าสาหร่ายเกลียวทอง เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในแง่ของการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นอาหารเสริมของมนุษย์ เนื่องจากสาหร่ายสไปรูไลน่ามีปริมาณโปรตีนสูงถึง 50-70 % ของน้ำหนักแห้ง แล้วยังประกอบไปด้วย ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ในปริมาณปานกลาง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเกลือแร่ และวิตามินที่สำคัญหลายชนิดโดยเฉพาะวิตามินบี สาหร่ายสไปรูไลน่าถูกนำมาใช้เป็นอาหารเสริมบำรุงสุขภาพสำหรับคนทั่วไปและผู้ป่วย ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เลี้ยงชนิดต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรมสาหร่ายสไปรูไลน่าได้ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารอินทรีย์และเอนไซม์เช่น Chlorophyll-a, β-carotene, Ferredoxin, NADH, RuDP-carboxylase ฯลฯ (Ciferri, 1985) ในด้านที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม พบว่ามีการนำสาหร่ายสไปรูไลน่ามาใช้ในการกำจัดน้ำทิ้งและของเสียในทางอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม (Venkataraman, 1982)

การเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนสาหร่ายสไปรูไลน่าทำได้ไม่ยาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการคือ มีวงจรชีวิตที่สั้นประมาณ 1 วันเมื่อเลี้ยงภายใต้สภาวะที่ควบคุมในห้องปฏิบัติการ หรือใช้เวลาเจริญ 3 - 5 วันเพื่อให้ครบวงจรชีวิตภายใต้สภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ มีอัตราการเจริญจำเพาะ (specific growth rate) สูงคือ 0.3 ต่อวันภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ และ 0.2 ต่อวันในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการดูดพลังงานแสงมาใช้ 3 - 4.5 % นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูไลน่ามักจะลอยตัวขึ้นมาบริเวณผิวน้ำเนื่องจากภายในเซลล์มีแกสแวคคิวโอล ดังนั้นจึงง่ายต่อการเก็บเกี่ยว (Santilan, 1982)

เนื่องด้วยประโยชน์และคุณสมบัติที่ดีของสาหร่ายสไปรูไลน่าดังกล่าว ในหลายประเทศมีการศึกษา และมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า และพัฒนาเพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรม ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตและเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้ อย่างไรก็ตามสาหร่ายสไปรูไลน่าที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศขณะนี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ถึงแม้บางส่วนจะผลิตได้เองก็ยังมีราคาสูง ดังนั้นการใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในการนำมาเป็นอาหารเสริมสำหรับคนหรือเพื่อเพิ่มคุณภาพให้สัตว์เลี้ยงจึงมีขีดจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและทำวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายสไปรูไลน่า ในแง่ของการคัดเลือกสายพันธุ์ การเพาะเลี้ยงเพื่อลดต้นทุนการผลิตและการปรับปรุงคุณภาพสาหร่ายสไปรูไลน่า

เพื่อให้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายสไปรูไลน่าอย่างเต็มที่

วัตถุประสงค์

1. คัดเลือกและแยกสาหร่ายสไปรูไลน่าจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

2. ศึกษาปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ แสง ความเป็นกรด-ด่าง และ ความเค็ม ที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่คัดเลือกได้

3. ศึกษาปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่คัดเลือกได้

4. ศึกษาแหล่งและปริมาณของไนโตรเจน ที่เหมาะสมต่อการการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่คัดเลือกได้

ขอบเขตการศึกษา

เป็นการศึกษาเพื่อทราบสภาวะที่เหมาะสม ที่จะเพิ่มจำนวนสาหร่ายสไปรูไลน่า โดยมุ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่า โดยทำการศึกษาถึงปัจจัยทางกายภาพได้แก่ แสง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม ปริมาณของโซเดียมไบคาร์บอเนต แหล่งและปริมาณของไนโตรเจน ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่า 2 สายพันธุ์คือ สายพันธุ์ที่ได้มาจากโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดาซึ่งได้มาจากสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ และสายพันธุ์ที่แยกจากน้ำในบ่อเลี้ยงเต่า ในวัดเบญจมบพิตรดุสิตวนาราม การทดลองทำในห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ โดยใช้ห้องทดลองและอุปกรณ์ของภาควิชา จุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในห้องปฏิบัติการ

2. ได้แนวทางในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในทางอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาหร่ายสไปรูไลน่า (Spirulina sp.) เป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ชนิดหนึ่ง Bold และ Wynne (1985) ได้จัดอนุกรมวิธานสาหร่ายสไปรูไลน่า ไว้ดังนี้

Phylum	:	Cyanophyta
Class	:	Cyanophyceae
Order	:	Oscillatoriales
Family	:	Oscillatoriaceae
Genus	:	Spirulina

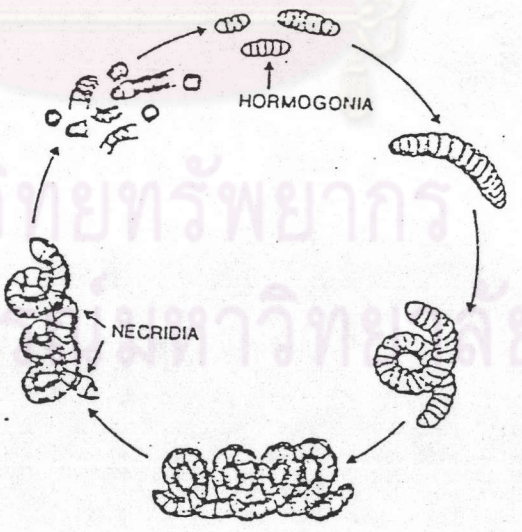
สาหร่ายสกุลนี้ถูกพบครั้งแรกโดย Turpin ในปี 1827 และตั้งชื่อ genus Spirulina ต่อมาในปี 1952 Stizenbergerได้แยก genus Spirulina ออกเป็น 2 genus คือ genus Spirulina ซึ่งมีลักษณะเป็นเซลล์เดียวตลอดสาย filament ไม่มีผนังเซลล์แบ่งตามขวาง และ genus Arthrospira ซึ่งมีลักษณะคล้าย Spirulina แต่มีผนังกั้นเซลล์ แต่ในปี 1958 Gobunova ศึกษา Spirulina major Kutz ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน พบว่ามีผนังกั้นระหว่างเซลล์ซึ่งมีลักษณะบางใสจึงแนะนำให้รวม genus Spirulina และ genus Arthrospira เข้าเป็นสกุลเดียวกัน โดยใช้ชื่อ genus Spirulina (สุชาติ อิงธรรมจิตร์, 2529)

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสไปรูไลน่า (Ciferri, 1983)

เมื่อศึกษาสาหร่ายสไปรูไลน่าภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าสาหร่ายนี้ประกอบด้วยเซลล์ทรงกระบอกหลายเซลล์เรียงต่อกันเป็นสาย โดยไม่มีการแตกสาขาเรียกเซลล์ที่เรียงต่อกันเป็นสายนี้ว่า Trichome มีลักษณะขดเป็นเกลียวหรือเป็นเส้นยาวที่หยักเป็นโค้ง ขนาดความกว้างและความยาวแตกต่างกันไปตามชนิด เช่น Spirulina platensis จากประเทศชาด (Chad) และ Spirulina maxima จากประเทศเม็กซิโกซึ่งนำมาเลี้ยงในห้องทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่า S. platensis มีความกว้างของเกลียว (helix) ตั้งแต่ 35-50 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างเกลียว (pitch) 60 ไมโครเมตร ในขณะที่ S. maxima มีความกว้างของเกลียว 50-60 ไมโครเมตร และระยะห่างระหว่างเกลียว 80 ไมโครเมตร แต่ขนาดเซลล์ของ S. platensis มีความกว้าง 6-8 ไมโครเมตร ใหญ่กว่า S. maxima ซึ่งมีความกว้าง 4-6 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามแม้แต่สาหร่ายสไปรูไลน่าชนิดเดียวกันเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกัน ขนาดและรูปร่างก็ต่างกันด้วย ลักษณะที่บิดเป็นเกลียวบางครั้งก็เปลี่ยนเป็นเส้น

สาหร่ายสไปรูไลน่าจัดเป็นจุลินทรีย์จำพวกโปรคาริโอท (Procaryote) มีสารพันธุกรรมกระจายอยู่ทั่วไปในเซลล์ ในสาหร่ายสไปรูไลน่าสายพันธุ์ที่มีขนาดเล็กสังเกตเห็นผนังกั้นเซลล์ได้ยากเนื่องจากไม่มีแกสแวคคิวโอล (gas vacuole) จึงทำให้เห็นไซโตพลาสซึมเป็นเนื้อเดียว สำหรับสายพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่จะพบว่ามีแกสแวคคิวโอลอยู่ในไซโตพลาสซึมจึงสามารถมองเห็นผนังกั้นเซลได้ชัดเจน นอกจากนี้แกสแวคคิวโอลยังทำให้เซลล์ของสาหร่ายชนิดนี้มีน้ำหนักเบาจึงมักพบสาหร่ายแขวนลอยอยู่ในน้ำ ในไซโตพลาสซึมของสาหร่ายสไปรูไลน่ายังประกอบไปด้วยไทลาคอยด์ (thylakoids) ซึ่งเป็นที่เกาะของคลอโรฟิลเอและรงควัตถุอื่น ๆ เช่น ซี-ไฟโคไซยานิน (C-phycocyanin), ซี-อัลโลไฟโคไซยานิน (C-allophycocyanin), ซี-ไฟโคอิริทริน (C-phycoerythrin) และเบตาแคโรทิน (β-carotene) สาหร่ายสไปรูไลน่าเคลื่อนที่โดยการหมุนรอบแกนของเกลียว ไม่มีเซลล์สืบพันธุ์ เจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลเท่านั้น

สำหรับวงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูไลน่าแสดงในรูปที่ 1 เริ่มจากการที่สายของสาหร่ายสร้างเซลล์พิเศษเรียกว่า nicridia ซึ่งจะสลายตัวไปทำให้สาหร่ายหักออกเป็นท่อน (2 - 4 เซลล์) เรียกว่า hormogonia หลังจากนั้นเซลล์ที่ติดกันกับ nicridia จะกลมขึ้นโดยผนังเซลล์อาจหนาขึ้นเพียงเล็กน้อย ไซโตพลาสซึมภายในเซลล์จะมี granule ลดลงและสีของเซลล์จะซีดลงแล้วแบ่งตัวแบบ fission ไปจนได้สายใหม่ (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูไลน่า (Spirulina sp.)

(Ciferri, 1983)

การใช้ประโยชน์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า

สาหร่ายสไปรูไลน่าเริ่มได้รับความสนใจศึกษาเมื่อปี 1940 โดยที่นักสาหร่ายวิทยาชาวฝรั่งเศสชื่อ Dangeard ได้พบว่าชาว Kanenbou ใช้ S. platensis ซึ่งพบอยู่ในทะเลสาบชาด (Chad) เป็นอาหารพื้นเมืองเรียกว่า Dihé อย่างไรก็ตาม ก่อนหน้านั้นในปี 1931 Rish ก็ได้ รายงานว่า ได้มีการพบสาหร่ายชนิดนี้อยู่เป็นจำนวนมากบริเวณทะเลสาบในหุบเขาริฟท์ (Rift) ซึ่งอยู่ทางตะวันออกของแอฟริกา และนกฟลามิงโก (Lesser Flamingoes) ได้กินสาหร่ายชนิดนี้เป็นอาหาร

ปี 1965 Jean Leonard พร้อมคณะสำรวจเดินทางข้ามทะเลทราย Sahara พบว่ามีการจำหน่ายสาหร่ายสไปรูไลน่าเป็นอาหารในตลาดที่ Fort Lamy และเขาได้ทำการวิเคราะห์และพบว่าเป็น S. platensis ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 50 % ของน้ำหนักแห้ง

ในช่วงเวลาเดียวกัน กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสก็ได้สำรวจพบสาหร่ายสไปรูไลน่า S. maxima ที่บริเวณทะเลสาบ Texcoco ใกล้กับ Mexico City และมีหลักฐานบ่งว่า สาหร่ายสไปรูไลน่าเคยถูกใช้เป็นอาหารของชาวพื้นเมืองในครั้งที่สเปนยึดครองดินแดนแถบนี้

จากปริมาณโปรตีนในสาหร่ายนี่เองที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์หันมาให้ความสนใจต่อสาหร่ายสไปรูไลน่าเป็นอันมาก ในระหว่างปี 1964 - 1979 ได้มีการสำรวจทะเลสาบและแหล่งน้ำธรรมชาติในประเทศแถบทวีปแอฟริกาอย่างกว้างขวาง และพบว่ามีสาหร่ายสไปรูไลน่าชนิดต่างๆกระจายกันอยู่ในแหล่งน้ำทั่วไป โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงในช่วงระหว่าง 9.4 - 11 หรือแหล่งน้ำที่มีปริมาณเกลือไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตค่อนข้างสูง จากการศึกษาของ Iltis ในปี 1975 ที่บริเวณทะเลสาบในอาณาเขตของประเทศชาด พบว่าสาหร่ายสไปรูไลน่ามักเจริญในบริเวณที่มีเกลือไบคาร์บอ-เนตและคาร์บอเนตมากกว่า 30 กรัมต่อลิตร โดยเฉพาะ S. platensis จะถูกพบในน้ำที่มีเกลือไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตอยู่ในช่วงระหว่าง 85 - 270 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ดีสาหร่ายสไปรูไลน่าสามารถเจริญได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นของเกลือไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตในช่วง 20 -70 กรัมต่อลิตร

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างจริงจังนั้นเกิดจากกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ของฝรั่งเศสที่สถาบัน Institute of Petroleum ซึ่งได้เริ่มทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าใน

บ่อขนาดเล็กโดยใช้อาหารสูตรที่คิดค้นขึ้นเอง ใช้กาซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน มีการกวนให้เกิดการไหลเวียนของอากาศและสารอาหาร นอกจากนี้ยังได้ร่วมมือกับบริษัท Sosa Texcoco ประเทศเม็กซิโก ได้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าในระดับอุตสาหกรรมที่ทะเลสาบ Texcoco โดยทำการเพาะเลี้ยงในรูปแบบกึ่งธรรมชาติ ใช้เกลือคาร์บอเนตจากแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นแหล่งคาร์บอน และมีการเติมแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าไปเพื่อเพิ่มผลผลิต (Clement, 1975) เมื่อสาหร่ายสไปรูไลน่าเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการตั้งโรงงานผลิตสาหร่ายสไปรูไลน่าเพิ่มขึ้นในอีกหลายประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น อิสราเอล ไต้หวัน และ ไทย

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า มีการพยายามที่จะนำเอาวัสดุเหลือใช้ในทางอุสาหกรรมและเกษตรกรรมมาใช้ในการผลิตเพื่อลดต้นทุน Venkataraman (1982) รายงานว่า สถาบัน Central Food Technology Research Institute ได้ทดลองนำคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ได้จากการหมักวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อันได้แก่ ฟางข้าว มูลวัว ไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า พบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายสูงกว่าที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต สำหรับประเทศไทยมีการผลิตสาหร่ายสกุลนี้ในระดับอุตสาหกรรมคือ บริษัท สยามแอลจี จำกัด ตั้งอยู่ที่ อำเภอบางพลี สมุทรปราการ โดยจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปสีผสมอาหารและเป็นอาหารเสริมสำหรับคน และใช้สำหรับผสมอาหารเลี้ยงปลาบางชนิด การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายสไปรูไลน่าในประเทศไทยเป็นไปอย่างกว้างขวาง งานวิจัยบางส่วนที่เผยแพร่ออกมามีดังนี้

นฤมล ศุภจรรยา และคณะ (2528) ได้ทำการสำรวจสาหร่ายสไปรูไลน่าในบ่อน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลังจำนวน 6 โรงที่ตั้งอยู่ในจังหวัด ระยอง ชลบุรี และราชบุรี ในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม 2528 พบว่ามี 2 โรงที่พบสาหร่ายสไปรูไลน่าในบ่อน้ำทิ้ง โดยที่บ่อทั้งสองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไบคาร์บอเนต ปริมาณโปตัสเซียม และโซเดียมสูง

มะลิ บุณยรัตน์ และ วุฒิพร พรหมขุนทอง (2529) ทำการศึกษาผลของรงควัตถุแคโรทินอยด์จากแหล่งต่างๆต่อการเปลี่ยนสีของปลาแฟนซีคาร์พ พบว่าปลาที่ได้กินอาหารเสริมจากสาหร่ายสไปรูไลน่า มีสีแดงเข้มกว่าปลาที่ไม่ได้กินสาหร่ายสไปรูไลน่า

พงชัย หาญยุทนาการ (2530) ศึกษาแหล่งและปริมาณของไนโตรเจนและคาร์บอนที่มีราคาถูกและเหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าพบว่าการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเกรดอุตสาหกรรมแทนเกรดห้องปฏิบัติการในสูตรอาหารของ Zarrouk พบ

ว่ามีการเจริญได้ดีเท่ากัน การใช้ยูเรียแทนโซเดียมไนเตรตที่ความเข้มข้น 1.76 กรัมต่อลิตรจะทำให้การเจริญสูงกว่าใช้ตามในสูตรอาหารของ Zarrouk และการใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตแทนไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟส ตามสูตรอาหารของ Zarrouk ให้ผลผลิตต่ำกว่า

มารศรี เรืองจิตชัชวาลย์ และคณะ (2531) ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการสร้างกรดไขมัน และรงควัตถุในสาหร่ายเกลียวทองหรือสไปรูไลน่า พบว่าในการแบบกึ่งต่อเนื่องในอาหารเหลวสูตรของ Zarrouk ที่อุณหภูมิ 29-30 °c ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ความเข้ม 2500 ลักซ์ ที่อัตราเจือจางต่าง ๆ เมื่ออัตราการเจือจางสูงขึ้น ความเข้มข้นของเซลล์ต่อปริมาตรของเหลวลดลง แม้ว่าอัตราการเจือจางไม่มีผลต่อกรดไขมัน แต่ที่อัตราการเจือจางสูงกว่า 0.4 ต่อวัน มีผลต่อองค์ประกอบของไขมัน นอกจากนี้ในการศึกษายังพบว่า ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในช่วงไม่เกินร้อยละ 3.0 ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ แต่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันที่อัตราเจือจาง 0.25 ต่อวัน ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในช่วงร้อยละ (น้ำหนักต่อปริมาตร) 1.5-3.0 มีผลทำให้ปริมาตรกรดไขมันลดลง

ใจทิพย์ พินิจค้า (2532) ทำการ ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (Spirulina sp.) โดยใช้น้ำเค็มจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าสาหร่ายเกลียวทองสายพันธุ์น้ำจืด TH-S-02 ที่ถูกปรับให้อยู่ในอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ 10, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร โดยปรับเพิ่มระดับโซเดียมคลอไรด์ขึ้นละ 10 กรัมต่อลิตรทุก 4 วัน มีอัตราการเจริญสูงสุดต่อวันไม่แตกต่างกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารสูตรควบคุมซึ่งมีโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าเลี้ยงไว้เป็นระยะเวลานานขึ้น พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญสูงสุดต่อวันของสาหร่ายที่เลี้ยงในโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 30 กรัมต่อลิตร ต่ำกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าขนาดของเซลล์สาหร่ายจะมีขนาดใหญ่และยาวเพิ่มขึ้นตามระดับโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่า</u>

1. <u>แสง</u>

แสงนับเป็นปัจจัยสำคัญมากตัวหนึ่งในการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์แสงเป็นการสร้างอินทรียสาร โดยพืชหรือสาหร่ายใช้พลังงานจากแสงเป็นเครื่องมือในการแบ่งแยก เชื่อม และจัดระเบียบของโมเลกุล อะตอม และอนุภาคเสียใหม่ พลังงาน

แสงจะถูกจับโดยรงควัตถุที่มีอยู่ในพืชหรือในสาหร่ายเช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทินอยด์ และไฟโคไซยานิน ฯลฯ รงควัตถุเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานของโฟตอน และส่งไปยังศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาบริเวณศูนย์กลางนี้พลังงานจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบที่สารสามารถใช้ประโยชน์เพื่อเปลี่ยนไปเป็นสารชนิดใหม่ได้ สมการรวมของการสังเคราะห์แสงคือ

$$H_2O + CO_2 \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสง}} CH_2O + O_2$$

สาหร่ายสไปรูไลน่าจัดเป็น photoautotrophic algae แม้ว่าจะสามารถเจริญแบบ heterotrophy ซึ่งเป็นการเจริญในความมืด สามารถใช้อินทรียสาร เช่น กลูโคส หรืออะซิติกแอซิกได้ พลังงานซึ่งช่วยในการสังเคราะห์แสงเป็นพลังงานซึ่งได้จากแสงในช่วงที่เราสามารถมองเห็นได้ (visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง400-700นาโนเมตร และแสงในช่วงที่เป็นรังสีความร้อน (infrared) ความยาวคลื่นของแสงมีความจำเพาะต่อรงควัตถุแต่ละชนิด สาหร่ายสไปรูไลน่าประกอบด้วยรงควัตถุหลายชนิดแต่ที่พบในปริมาณมากคือ คลอโรฟิลล์ เบตาแคโรทินอยด์ ไฟโคไซยานิน ไฟโคอิริทริน รงควัตถุเหล่านี้จะถูกกระตุ้นโดยแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน พลังงานแสงที่ได้รับทั้งหมดจากรงควัตถุต่าง ๆ จะถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ โดยที่คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียว ที่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีสีแดง (Fox, 1983) แม้ว่าแสงจะจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สาหร่ายก็ความสามารถในการทนทานต่อแสงได้จำกัด การได้รับแสงในปริมาณมากเกินไปจะทำให้รงควัตถุถูกทำลาย สาหร่ายมีลักษณะสีซีดจางและตายในที่สุดที่เกิดกระบวนการ photooxidation (หรือ photolysis) photooxidation จะเกิดขึ้นหลังจากการมีระยะ lag phase และมีการลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า photoinhibition ในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นพบว่าการเกิด photoinhibition เกิดขึ้นได้ในสองกรณี กรณีแรกเป็นการที่พวกไฟโตแพลงตอนมาเจริญอยู่บริเวณผิวน้ำในช่วงชั่วโมงกลางวัน ที่มีความเข้มแสงสูง กรณีที่สองคือสาหร่ายซึ่งอยู่ในน้ำบริเวณชั้นล่าง ลอยตัวขึ้นมารับแสงความเข้มสูงอย่างรวดเร็วในปริมาณที่มากเกินไป (Richmond, 1983)

Soeder และ Stengel ได้สรุปข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมาว่า ความเข้มแสงที่มากเกินไปจะยับยั้งการหายใจในเซลล์ซึ่งกำลังมีการสังเคราะห์แสง การศึกษาถึงการปรับตัวของสาหร่ายในกรณีที่มีการเปลี่ยนความเข้มแสงพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบภายในรงควัตถุซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการตอบสนองของการสังเคราะห์แสงและเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี (Soeder และ Stengel, 1974 อ้างถึงใน Richmond, 1986) ระยะเวลาของการปรับตัวต่อความเข้มแสงใหม่ที่ได้รับมีความแตกต่าง

กันมาก อาจใช้เวลาเพียงแค่เป็นชั่วโมง ไปจนถึงใช้เวลาหลาย ๆ วัน (Richmond, 1986)

Foy และ Gibson (1982) ได้พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมากในการเลี้ยงสาหร่ายในแสงแบบต่อเนื่อง และให้แสงเป็นช่วงสว่าง-มืด ทั้งนี้เนื่องจากการให้แสงตลอดเวลาจะทำให้สาหร่ายจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงช่วงการได้รับแสง หรือคุณภาพของแสงที่ได้รับ ต่างก็มีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมทั้งสิ้น

Owen และ Esaias พบว่าการผลิตโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเซลล์มีมากขึ้นเมื่อเลี้ยงสาหร่ายภายใต้แสงสีน้ำเงินและสีแดงตามลำดับ (Owen และ Esaias, 1976 อ้างถึงใน Richmond, 1986) สาหร่ายบางชนิดจะมีปริมาณรงควัตถุแคโรทินอยด์เพิ่มขึ้นเกือบ 2เท่าโดยเฉพาะเบตาแคโรทีน และ ซีแซนทิน (Zeaxanthin) เมื่อเลี้ยงสาหร่ายภายใต้แสงสีแดง (Fiksdahl et al., 1983)

แสงมีผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ของสาหร่าย สาหร่ายซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กันไม่ว่าจะเป็นแบบเซลล์เดียว โคโลนี หรือเป็นสายพบว่ามีการเคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของสาหร่ายจะส่งผลต่อของปริมาณสาหร่าย และความยากง่ายในการแยกสาหร่ายออกจากสารละลายอาหาร การเคลื่อนที่ของสาหร่ายขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น แสง อุณหภูมิ แรงโน้มถ่วง สารเคมีบางชนิดและอาจขึ้นกับกระแสไฟฟ้าหรือกลไกอื่นที่ใช้กระตุ้น แสงในช่วงคลื่นตั้งแต่อุลตราไวโอเลต (UV) ถึงแสงช่วงคลื่นรังสีความร้อน (Infrared) เป็นพวกที่มีความสำคัญต่อปัจจัยทางนิเวศวิทยา ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสาหร่าย ในสาหร่ายที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหลายนั้น มีปฏิกิริยาที่ตอบสนองต่อแสงอยู่ 2 แบบ คือ photophobotactic และ photopotactic แบบแรกเป็นปฏิกิริยาทั่วไปของสาหร่ายที่มีต่อแสง มีการตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แบบที่สอง photopotactic การตอบสนองจะเป็นแบบบวกเมื่อสาหร่ายเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดแสง และเป็นลบเมื่อสาหร่ายเคลื่อนที่หนีแสง ปกติปฏิกิริยาแบบบวกนี้จะพบเมื่อความเข้มแสงต่ำ ส่วนแบบลบเมื่อมีความเข้มแสงสูง (Nultsch, 1974 อ้างถึงใน Richmond, 1986)

แสงยังมีอิทธิพลต่อการลอยตัว (Buoyancy) ของสาหร่าย การมีแกสแวคคิวโอล (gas vacuoles)ในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลายชนิดทำให้สาหร่ายมีการลอยตัวอยู่ในบริเวณผิวน้ำ แกสแวคคิวโอลเกิดจากการรวมตัวของถุงเล็ก ๆ ซึ่งมีอากาศอยู่เต็ม อากาศจะสามารถซึมผ่านผนังซึ่งมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ การมีแกสแวคคิวโอลอยู่ในเซลล์ในปริมาณมากพอทำให้สาหร่ายลอยตัวอยู่ได้ (Walsby and Armstrong,

1979) การลอยตัวของสาหร่ายมีความสัมพันธ์กับการผลิตและเลี้ยงสาหร่ายในปริมาณมาก เพราะจะเป็นตัวกำหนดความต้องการพลังงาน ที่ใช้ในการกวนและการเก็บเกี่ยวเซลล์ของสาหร่าย สาหร่ายสไปรูไลน่านับว่ามีจุดเด่นและมีการลอยตัวที่สมบูรณ์แบบมาก เนื่องจากสาหร่ายสไปรูไลน่ามีแกสแวคคิวโอลในเซลล์เป็นจำนวนมากจึงมีการลอยตัวได้ดี ดังนั้นการเลี้ยงสาหร่ายในระดับใหญ่ ๆ จึงใช้พลังงานน้อยในการกวนและมีความสะดวกในการเก็บเกี่ยว การลอยตัวยังมีประโยชน์ในแง่ของการหลีกเลี่ยงการเกิด photooxidation หรือการได้รับแสงมากเกินไปด้วย (Richmond, 1986) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีกลไกการควบคุมการลอยตัว เพื่อตอบสนองต่อแสงโดยเมื่อความเข้มแสงสูงเซลล์หรือสายของสาหร่ายส่วนใหญ่จะจมตัวลง (Walsby and Booker, 1980) และเมื่อความเข้มแสงต่ำสาหร่ายจะลอยตัวขึ้นมา (Lehmawn and Wiencke, 1980)

Van Rijn และ Shilo (1983) ศึกษาการควบคุมการลอยตัวของประชากรสาหร่ายซึ่งอาศัยตามธรรมชาติของ Oscillatoria sp. ในบ่อเลี้ยงปลา และสรุปได้ว่า การลอยตัวของ Oscillatoria sp. ถูกควบคุมด้วยปัจจัยอย่างน้อย 3 อย่าง คือช่วงเวลาการได้รับแสง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหาร Klemer และคณะ (1982) พบว่าการขาดคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มการลอยให้ต้วมากขึ้น ในขณะที่การขาดไนโตรเจนจะลดการลอยตัว และเมื่อได้ศึกษาปัจจัยดังกล่าวพร้อม ๆ กัน พบว่าแสงเป็นปัจจัยเด่นที่มีอิทธิพลต่อการลอยตัวของสาหร่ายมากกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นในกรณีที่เลี้ยงสาหร่ายในที่มืด แต่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ จะพบว่ายังมีการลอยตัวอยู่

Hoffman และ Demoulin (1985) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว family Scytonemataceae ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มแสงสูง (40 - 70 $\mu E\ m^{-2}\ s-1$) สาหร่ายสามารถเจริญได้ดีกว่าที่ความเข้มแสงต่ำ (2 - 7 $\mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$) นอกจากนี้ความยาวของเซลล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อลดความเข้มแสง แต่ความกว้างของเซลล์จะค่อนข้างคงที่

ความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่า มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเลี้ยง Ciferri (1983) กล่าวว่าการเลี้ยงสาหร่าย S. platensis กลางแจ้งซึ่งมีอุณหภูมิสูงสาหร่ายจะเจริญได้ดีในช่วงที่มีความเข้มแสง 20000-30000 ลักซ์ สำหรับการเลี้ยงสาหร่าย เพื่อเป็นเชื้อเริ่มต้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าใช้ความเข้มแสงประมาณ 8000 - 10000 ลักซ์

2. ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอาหารมีผลทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของสาหร่าย ผลการศึกษาแหล่งน้ำในธรรมชาติซึ่งมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากเช่น ในบ่อที่มีการเจริญของสาหร่ายจำนวนมากหรือในบ่อเลี้ยงปลาจะมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 6.5 ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น (เนื่องจากการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) กลายเป็น 11 ในช่วงเวลาเย็น (เมื่อ CO_2 และ HCO_3 ถูกใช้ไปในการสังเคราะห์แสง) การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในน้ำจะมีความสัมพันธ์กันชนิดของแหล่งคาร์บอน เช่น คาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไบคาร์บอเนต (HCO_3) และ คาร์บอเนต (CO_3) ฯลฯ (Richmond, 1986) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปในหัวข้อของแหล่งคาร์บอน

ในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลายชนิด เช่น Coccochloris sp. อัตราการสังเคราะห์แสงถูกยับยั้งเมื่อความเป็นกรด-ด่างมีค่ามากกว่า 10 ทั้งนี้เพราะไบคาร์บอเนตอิออน (HCO_3^-) จะมีเป็นจำนวนมากในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 7-10 เช่นเดียวกันกับสาหร่าย Spirulina sp. สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่างช่วงดังกล่าวจึงเป็นการแสดงความสามารถในการใช้ไบคาร์บอเนตอิออนเป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์แสง (Coleman and Colman, 1981 อ้างถึงใน Richnond, 1986)

นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างยังมีบทบาทต่อการละลายของเกลือ และสารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ ในน้ำซึ่งอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษ หรือยับยั้งการเจริญของสิ่งมีชีวิตขณะเดียวกันค่าความเป็นกรด-ด่าง ยังส่งผลต่อการละลายของสารประกอบโลหะโดยการเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นสาเหตุให้สารประกอบโลหะที่จำเป็นบางชนิดตกตะกอน ดังนั้นสาหร่ายจึงอาจขาดธาตุโลหะที่จำเป็นบางตัวได้ (Richmond, 1986)

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า Ciferri (1983) รายงานว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าเจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 8.0 - 11 แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างลดลงใกล้เคียง 7 หรือ สูงถึง 11.3 ก็พบว่ามีการเจริญลดลง Fox (1983) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าอยู่ในช่วง 7.8 - 8.5 ขึ้นกับสารอาหารที่ใช้ สำหรับความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ในการเจริญอยู่ระหว่าง 8.5 - 9.5

3. ความเค็ม

เนื่องจากการตอบสนองต่อความเค็มในอาหาร ทำให้สามารถแยกสาหร่ายออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ สาหร่ายที่ทนต่อความเค็ม (halotolerent algae) และสาหร่ายที่ชอบความเค็ม (halophillic algae) สาหร่ายที่ทนต่อความเค็มจะมีกลไกการตอบสนอง (response mechanisms) ซึ่งทำให้มีการปรับตัวสามารถเจริญในอาหารที่มีความเค็มสูงได้ ในขณะที่สาหร่ายที่ชอบความเค็มต้องการเกลือในปริมาณพอเหมาะ เพื่อการเจริญเท่านั้น (Richmond, 1986)

Gimmler และคณะ ได้ศึกษาพบว่า สาหร่ายที่ทนความเค็มสูงนั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อเซลล์มากกว่าสาหร่ายที่ทนความเค็มต่ำ ดังนั้นสาหร่ายพวกนี้จึงสามารถเจริญได้ดีในที่มีความเข้มแสงที่สูงขึ้น (Gimmler et al., 1981 อ้างถึงใน Richmond, 1986)

ความเค็มมีผลต่อการปรับตัวต่อระดับ osmotic potential ของสารอาหารการปรับตัวดังกล่าวเป็นกระบวนการซึ่งมี 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกจะมีการลดกิจกรรมของการสังเคราะห์แสงโดยไม่มีผลต่อกิจกรรมการหายใจ ขั้นที่สองซึ่งต้องผ่านขั้นตอนแรกแล้วพบว่ากิจกรรมการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น พร้อมกับการเพิ่มของกิจกรรมการหายใจและมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการปรับสมดุลของโซเดียมอิออน (Na^+) และโปตัสเซียมอิออน (K^+) และอาจมีการสังเคราะห์โมเลกุลซึ่งมีความจำเป็นต่อการปรับสมดุลดังกล่าว (Richmond, 1986)

Chiu (1980) พบว่า S. platensis สามารถเจริญในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในช่วงกว้างซึ่งช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ 0-0.5 กรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตาม Tel-Or (1980) พบว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าสามารถเจริญในที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงถึง 20 - 30 กรัมต่อลิตร

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยมีผลต่อส่วนประกอบของโครงสร้างเซลล์ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกลไกการควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึม (metabolic requlatory mechanisms) ความจำเพาะของปฏิกิริยาของเอนไซม์ (specificity of enzyme reactions) และส่วนประกอบของเซลล์ (Cell composition) นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลต่ออัตราการทำปฏิกิริยาของเซลล์ โดยขึ้นกับการได้รับพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาของเซลล์นั่นเอง ดังนั้นการเลี้ยงสาหร่ายใน

ช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะจึงนับว่ามีความจำเป็นเพื่อทำให้ได้ผลผลิตของสาหร่ายมากขึ้น มีการศึกษาพบว่าเมื่อเลี้ยงสาหร่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะต่อการเจริญ 10-15 °C สาหร่ายจะไม่สามารถเจริญได้ (Pirt, 1975 อ้างถึงใน Richmond, 1986)

ในสาหร่ายที่พบในเขตอบอุ่น (warm-temperature algae) อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ โดยมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงส่วนที่เป็นปฏิกิริยามืด (dark reaction) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นน้ำตาล จากหลักที่ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงกลางคืน จะทำให้ปริมาณผลผลิตของจำนวนเซลล์สาหร่ายลดลง เนื่องจากสาหร่ายมีการหายใจเพิ่มมากขึ้น (Richmond, 1986)

Sorokin (1959) ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิที่พอเหมาะต่อการเจริญของสาหร่ายสีเขียว Chlorella พบว่าที่ปริมาณแสงที่มากเกินพอ ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์นั้น สาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิต่ำมีจำนวนเพิ่มเป็น 2 เท่าภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่สาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิสูงมีจำนวนเพิ่มถึง 9 เท่าในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนั้นเขาจึงสรุปว่าผลผลิตของเซลล์ที่สูงกว่าของพวกสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิสูงนั้นเป็นตัวบ่งบอกความสัมพันธ์ของความสามารถที่จะใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิ และปริมาณความเข้มแสงที่เหนือกว่าสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Sorokin, 1959 อ้างถึงใน Richmond, 1986)

การศึกษาในสาหร่าย S. platensis ซึ่งชอบอุณหภูมิแบบอบอุ่น พบว่าปริมาณการผลิตก๊าซออกซิเจนจะมีค่าสูงสุด นั่นคือทำให้มีปริมาณของจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราการรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิมีค่าสูงสุด (Vonshak, et al., 1982) ในการเลี้ยงสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรมซึ่งทำการเลี้ยงในบ่อกลางแจ้งต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในบ่อและอากาศบริเวณโดยรอบ เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวอาจมีความแตกต่างกันอย่างมาก เช่น ในเขตร้อนอย่างกรุงเทพฯ พบว่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า มีค่ามากกว่าอุณหภูมิของอากาศถึง 13 °C ในช่วงเดือน มค.-มิย. เฉพาะในวันที่มีเมฆมากอุณหภูมิทั้งสองจึงใกล้เคียงกัน (Payer et al., 1980)

Sato และ Marata (1980) ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อส่วนประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสรุปว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดต่อส่วนประกอบของกรดไขมันในเซลล์ Payer และคณะ (1980) รายงานว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายไม่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง ส่วนประกอบของเซลล์ของสาหร่ายสีเขียว Scenedesmus สายพันธุ์หนึ่ง แต่ขณะเดียวกันกลับพบว่าสาหร่าย

Scenedesmus อีกสายพันธุ์หนึ่งมีส่วนประกอบโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ในการศึกษาประชากรที่มีอยู่ตามธรรมชาติของพวกไฟโตแพลงตอนทะเล ที่นำมาเลี้ยงแบบต่อเนื่องโดยใช้ส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งและน้ำทะเล และทำการปรับอุณหภูมิของสภาวะที่ใช้ในการเลี้ยงต่างๆ กัน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อองค์ประกอบประชากรในแต่ละช่วงของอุณหภูมิ (Goldman, 1977 อ้างถึงใน Richmond, 1986) การเลี้ยงสาหร่ายในบ่อขนาดใหญ่เพื่อการค้า ซึ่งต้องควบคุมให้สาหร่ายเป็นสาหร่ายเพียงชนิดเดียว เช่นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าที่ประเทศอิสราเอลในช่วงฤดูร้อน ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันมีค่าประมาณ 20 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าถึง 15 °C และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำกว่า 10 แล้วจะพบสาหร่ายสีเขียว Chorella sp.ขึ้นเป็น domonant species ภายในช่วง 2-3 สัปดาห์ (Richmond, 1986)

สาหร่ายสไปรูไลน่าสามารถเจริญได้ดีในสภาพอากาศแบบกึ่งร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28 - 34 °C ในการเลี้ยงกลางแจ้งอุณหภูมิที่พอเหมาะในเวลากลางวัน คือ 40 °C และกลางคืนคือ 25 °C ในห้องปฏิบัติการพบว่าสาหร่ายถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่มีการเจริญ แต่จะมีการเจริญเกิดขึ้นถ้านำสาหร่ายกลับมาเลี้ยงที่ 35 °C ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 °C จะเกิดการหักของสายสาหร่าย และถ้านำมาเลี้ยงในอุณหภูมิสูงถึง 50 °C แม้ในระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 10 นาทีก็ทำให้สาหร่ายตายได้ อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญจะสัมพันธ์กับความเข้มแสงด้วยเช่น ที่ความเข้มแสง 23000 ลักซ์อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30 - 35 °C แต่ถ้าความเข้มแสงลดลงเหลือ 8000 ลักซ์ อุณหภูมิที่พอเหมาะจะอยู่ในช่วงในช่วง 25 - 30 °C (Charenkova, 1975 อ้างถึงใน Ciferri, 1983)

5. การกวน

การกวนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่า เนื่องจากการกวนเป็นตัวการทำให้เพิ่มการกระจายตัวของสาหร่ายให้ได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดอัตรการตกตะกอนของสาหร่าย และทำให้สารอาหารกระจายอย่างทั่วถึงโดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ได้อย่างเต็มที่ ในบ่อเลี้ยงขนาดใหญ่ การกวนช่วยป้องกันการแบ่งแยกชั้นน้ำเนื่องจากอุณหภูมิ (thermal stratification) (Venkataraman, 1985)

อัตราการกวนขึ้นกับปริมาณความเข้มแสงและความหนาแน่นของเซลล์ การที่สาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มสูงโดยไม่มีการกวนนั้นจะเป็นสาเหตุให้เกิด photolysis หรือ photodestruction ได้ ในที่ที่มีความเข้มแสงสูง อัตราการกวนควรจะต้องสูงด้วย เนื่องจากสาหร่ายเมื่อได้รับแสงแล้ว ก็จะถูกบังด้วยสาหร่ายตัวอื่นอย่างรวดเร็ว เป็นการป้องกันการได้รับแสงมากเกินไป การกวนสาหร่าย จะช่วยให้สาหร่ายที่ได้รับแสงเข้าไปอยู่ในร่มเงา เมื่อ photosystem circuits สามารถปลดปล่อยพลังงานแสงที่ได้รับแล้วมันก็พร้อมจะรับแสงได้อีกครั้ง ในที่มีความเข้มแสงต่ำ และมีอัตราการกวนต่ำจะทำให้การเจริญเป็นไปอย่างช้า ๆ แต่อย่างไรก็ตามจะพบรงควัตถุมีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสาหร่ายสไปรูไลน่าจะมีสีเขียวเข้มและสีฟ้าของไฟโคไซยานินจะปรากฏ เมื่อสาหร่ายเจริญมากขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น สาหร่ายจะบดบังแสงซึ่งกันและกัน ในบ่อเลี้ยงสาหร่ายเมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นมากพอ แสงจะทะลุผ่านไปได้ในความลึกเพียง 10 เซนติเมตรของความลึกของน้ำ ซึ่งมีลักษณะกลายเป็นแผ่นฟิลม์บดบังแสงจากสาหร่ายที่อยู่ต่ำกว่า ดังนั้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอัตราการกวนจะต้องสูงขึ้น เพื่อเปิดโอกาสให้สาหร่ายได้รับแสงอย่างทั่วถึง (Fox, 1983)

Fox กล่าวว่าในภาวะที่เลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า เพื่อให้มีผลผลิตสูงสุดควรได้รับแสงมากพอ (แต่ต้องต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิด photolysis) ได้รับสารอาหารครบถ้วน และมีการกวนโดยให้มีน้ำเคลื่อนที่ประมาณ 20 - 25 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นอัตราที่ไม่แรงพอที่จะรบกวนสาหร่าย และเมื่ออุณหภูมิพอเหมาะ จะทำให้ปฏิกิริยาเคมี และกระบวนการเมตาโบลิซึมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. <u>ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น</u>

ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่พอเหมาะมีความสำคัญต่อการเลี้ยงในระดับใหญ่ ๆ เนื่องจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ต่ำเกินไปอาจทำให้สาหร่ายตาย เนื่องจากการเกิด photo oxidationได้ในทางกลับกันเมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงเกินไป จะทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงยังลดลงเนื่องจากมีการบดบังกันและกัน ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมของสาหร่ายจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสง ส่วนประกอบของอาหาร ความลึกของบ่อที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย ฯลฯ (Venkatavaman, 1985)

การเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าใน mixotrophic จะขึ้นกับปริมาณเชื้อเริ่มต้นเพราะถ้าปริมาณเชื้อเริ่มต้นของสาหร่ายน้อยกว่า 0.1 ที่ $O.D._{560}$ จะไม่พบการ

016688

เจริญและเกิด Mixotrophic lysis แต่การเจริญจะปกติถ้ามีค่า $O.D._{560}$ เริ่มต้นประมาณ 0.2 (Ogawa และ Terui, 1972 อ้างถึงใน Ciferri, 1983) จากการศึกษาของ Chiu (1980) พบว่าปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่ความเข้มข้น 225-250 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตรช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าให้น้อยลง

7. ธาตุอาหาร

ความต้องการอาหารของสาหร่ายแบ่งเป็น 2 แบบคือ autotrophy ซึ่งเป็นการที่สาหร่ายได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ จากสารประกอบอนินทรีย์ และได้รับพลังงานจากแสงหรือจากการออกซิเดชัน สารประกอบอนินทรีย์หรืออิออนของสารอนินทรีย์ อีกแบบหนึ่งของความต้องการอาหารคือ heterotrophy เป็นการที่สาหร่ายได้รับสารอาหารและพลังงานจากสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสังเคราะห์จากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ปริมาณธาตุอาหารที่พอเหมาะสำหรับสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความหนาแน่นของประชากร แสง อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนี้ปริมาณและแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส วิตามิน หรือสารอาหารที่จำเป็นอย่างอื่น ๆ ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึง (Richmond, 1986)

Zarrouk (1966) ได้ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดที่จำเป็นต่อสาหร่ายสไปรูไลน่า และคิดค้นสูตรอาหารของ Zarrouk ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้สถาบัน Central Food Technology Research Institute ก็ได้คิดค้นอาหารสูตร CFTRI ขึ้นมา อย่างไรก็ตามอาหารทั้งสองสูตรนี้ใช้เลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการทั้งนี้เพราะประกอบไปด้วยสารเคมีหลายชนิด และมีราคาแพง (Venkataraman, 1985) ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญและต้องใช้เป็นจำนวนมากคือ

7.1 ธาตุคาร์บอน

สาหร่ายทุกชนิดมีการต้องการอาหารแบบ autotrophy ใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนในรูปอื่นในการสังเคราะห์อินทรีย์สาร ในน้ำคาร์บอนดำรงอยู่ในรูปต่างกันเช่น CO_2, H_2CO_3, HCO_3^- หรือ CO_3^{2-} ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างในแหล่งน้ำจืดทั่วไปมักมีระบบบัฟเฟอร์ (buffur system) อยู่ในรูประบบคาร์บอนไดออกไซด์-คาร์บอนิก-ไบคาร์บอเนต-คาร์บอเนต (CO_2- H_2CO_3- HCO_3^-- CO_3^{2-}System) ระบบบัฟเฟอร์นี้มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อที่จะปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เป็นด่าง โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำจืดที่สมดุล (equillibrium) กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าประมาณ 8 - 8.5 และมีไบคาร์บอเนตอิออน (HCO_3^-) เป็นรูปของคาร์บอนที่พบมากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อมีค่าความเป็นกรด-

ด่างเพิ่มขึ้น จะพบคาร์บอนเนตอิออน (CO_3^{2-}) มากขึ้น (Richmond, 1986)

Fox (1983) ได้อธิบายถึงการนำคาร์บอนไปใช้ของสาหร่ายที่เลี้ยงในบ่อโดยใช้สมการของ Kurt Schneider ซึ่งได้เขียนอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยากันของคาร์บอนในน้ำดังนี้

A B C D E

$$CO_2(G) \longleftrightarrow CO_2(L) + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+ \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$$

$$CO_2(L) + OH^- \quad \text{(D)} \qquad CO_3^{2-} + H_2O \quad \text{(D)}$$

Fox อธิบายว่า $CO_2(G)$ ในสภาวะเป็นก๊าซในบรรยากาศสามารถละลายในน้ำกลายเป็น $CO_2(L)$ ในสภาวะของเหลวได้ โดยแรงดึงดูดระหว่างไฮโดรเจนอะตอมของน้ำและคาร์บอนอะตอมของคาร์บอนไดออกไซด์ ความสามารถในการละลายของ $CO_2(G)$ นี้ขึ้นกับอุณหภูมิในขณะนั้น โดยยิ่งอุณหภูมิต่ำก็ยิ่งละลายได้มาก $CO_2(L)$ ในน้ำนี้บางส่วนจะถูกสาหร่ายนำไปใช้ทันที บางส่วนจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้กรดคาร์บอนิก เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำเหมาะสม กรดคาร์บอนิกจะเปลี่ยนเป็นไบคาร์บอเนตอิออน (HCO_3^-) และไฮโดรเจนอิออน (H^+) สำหรับ HCO_3^- ก็สามารถเปลี่ยนไปเป็น $CO_2(L)$ และCO_3^{2-}ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (reversible reactions) ทั้งหมด การนำ $CO_2(L)$ ไปใช้ของสาหร่ายทำให้มีการเพิ่มปริมาณของไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ที่เป็นตัวทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น การเติมไบคาร์บอเนตลงไปจะมีการละลายและแตกตัวเป็น H^+ และ CO_3^{2-} ซึ่งสามารถผันกลับไปเป็นแหล่งคาร์บอนได้ เมื่อ $CO_2(L)$ ถูกสาหร่ายนำไปใช้จากสมการส่วน B หรือ D โดย CO_3^{2-}รวมกับ H^+เปลี่ยนเป็น HCO_3^- ซึ่งเปลี่ยนไปเป็น CO_2 และ OH^-

ความสัมพันธ์ของการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ การนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ของสาหร่าย อุณหภูมิ ความดัน และความเป็นกรด-ด่างซับซ้อนยิ่ง อย่างไรก็ตามในการเลี้ยงสาหร่ายเราสามารถรู้ปริมาณคาร์บอนที่สาหร่ายต้องการได้โดยดูจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอัตราการเจริญของสาหร่ายว่ามากน้อยเพียงใด จากสมการของ Schneider ที่ปฏิกิริยาส่วน D นั้นบอกถึงการนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ของสาหร่าย OH^- ซึ่งเป็นตัวเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของสาร

ละลายจะเพิ่มขึ้น ในความเป็นจริงสาหร่ายสไปรูไลน่าต้องการสารละลายอาหารซึ่งมีความเป็นด่างสูง ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นจึงค่อนข้างจะสูงระหว่าง 7.8-8.5 ขึ้นอยู่กับสารอาหารที่ใช้ Fox พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่ใช้ในการเจริญอยู่ระหว่าง 8.5-9.5 เมื่อใดก็ตามที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นถึง 10 แสดงว่าถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เริ่มไม่เพียงพอ คาร์บอนไดออกไซด์จะเริ่มเป็นตัวจำกัดการเจริญของสาหร่าย การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการทำให้ความเป็นกรด-ด่างต่ำลง และเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ช่วยในการเจริญให้มากขึ้น (Fox, 1983)

ชนิดคาร์บอนซึ่งพบว่าเข้าไปในเซลล์ของสาหร่ายได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ นักวิทยาศาสตร์หลายคนเชื่อว่าคาร์บอนไดออกไซด์เป็นโมเลกุลประเภทเดียวที่ใช้โดยตรงในการรวมตัวกับเอนไซม์ ribulose biphosphate carboxylase ยังไม่มีข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้ HCO_3^- ว่าจะสามารถเข้าไปในเซลล์ของสาหร่ายโดยกระบวนการ active transport หรืออาจเข้ารวมกับเอนไซม์ carbonic anhydrase ซึ่งอยู่บนผิวของเซลล์ ที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการแตกตัวของ HCO_3^- ไปเป็น CO_2 และ H_2O ซึ่งจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงต่อไป (Richmond, 1986)

แหล่งคาร์บอนในสูตรอาหารของ Zarrouk นั้นใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณ 16.8 กรัมต่อลิตร ส่วนในสูตรอาหารของ CFTRI ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเพียง 4.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่าผลผลิตจะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากสูตรอาหารของ CFTRI มีปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตน้อยจึงสามารถลดการปนเปื้อนของไบคาร์บอเนตในสาหร่ายแห้งได้ด้วย สำหรับการเพาะเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน (Venkataraman, 1985) ในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าเพื่อเตรียมเป็นเชื้อเริ่มต้นในการเลี้ยงในบ่อ Fox (1983) ได้ใช้อาหารสูตรน้ำทะเลซึ่งเติมแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เป็นแหล่งคาร์บอนในปริมาณ 0.125 กรัมต่อลิตร

7.2 ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญ ไนโตรเจนทั้งในรูปสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน สาหร่ายบางชนิดจะสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ ความสามารถที่จะใช้ในโตรเจนในรูปต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) หรือแอมโมเนียม (NH_4^+) พบได้ทั่วไป แต่เฉพาะ NO_3^- และ NH_4^+ เท่านั้นที่ทำให้สาหร่ายมีการเจริญสูงสุด (Richmond, 1986) อย่างไรก็ตามการใช้ไนโตรเจนในรูป NH_4^+ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมาก ผลข้าง

เดียงที่เกิดนี้ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัดแต่คาดว่าอาจเป็นเพราะ เกิดโมเลกุลของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ขึ้นมาก็เป็นได้ NO_2^- ก็อาจถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ในสาหร่ายหลายชนิด แต่จะต้องใช้ปริมาณต่ำ (ประมาณ 1mM.) เพื่อไม่ให้ยับยั้งการเจริญ (Morris, 1974) สาหร่ายหลายชนิดสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ เช่น amides, urea, glutamine และ asparagine ฯลฯ โดยยูเรียจะให้ผลดีเท่า ๆ กับ NO_3^- และ NH_4^+ กรดอะมิโนบางชนิดถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้เช่น glycine, serine, alanine, glutamic acid และ aspartic acid เป็นต้น (Wheeler, et al., 1974) การขาดไนโตรเจนพบว่าทำให้ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (Fogg, 1966 อ้างถึงใน Richmond, 1986) ในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีสารประกอบซึ่งสะสมไนโตรเจนอยู่ภายใน (endogenouse nitrogen storage compound) คือ cyanophycin granule polypeptide และ phycocyanin จะถูกเซลล์ซึ่งขาดแคลนไนโตรเจนนำไปใช้ phycocyanin นี้จะถูกสร้างใหม่อย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอ (Simon, 1976 อ้างถึงใน Richmond, 1986) Bussiba และ Richmond (1980) พบว่าใน S. platensis เอนไซม์ Proteases ซึ่งสามารถย่อย phycocyanin จะถูกกระตุ้นให้ทำงานในช่วงที่ขาดแคลนธาตุไนโตรเจน

ในอาหารมาตรฐานสูตรของ Zarrouk โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน เช่น เดียวกันกับสูตรอาหารของ CFTRI แต่ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยในสูตรอาหารของ Zarrouk และของ CFTRI มีโซเดียมไนเตรตอยู่ 2.5 และ 1.5 กรัมต่อลิตรตามลำดับ สถาบัน CFTRI ยังได้พยายามปรับปรุงสูตรอาหาร CFTRI โดยใช้แหล่งไนโตรเจนเป็นปุ๋ย N.P.K. สูตร 15:15:15 ในปริมาณ 1.00 กรัมต่อลิตร การทดลองพบว่าสาหร่ายยังสามารถเจริญได้ตามปกติ (Venkataraman, 1985) อย่างไรก็ตามก่อนหน้านี้ มีนักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองอาหารแหล่งไนโตรเจนแหล่งอื่นที่มีราคาถูกและสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีเช่น Soong (1980) ได้ทดลองใช้ ยูเรีย แอมโมเนีย และ แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าสามารถเพิ่มการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าได้ Venkataraman (1982) ได้เคยนำบัสสาวะของวัวมาใช้แทนโซเดียมไนเตรตในอาหารสูตร CFTRI ในปริมาณ 1% ก็พบว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าสามารถเจริญได้ดีเช่นกัน

7.3 ธาตุฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุหนึ่งซึ่งนับว่าเป็นตัวสำคัญสำหรับการเจริญของสาหร่ายโดยมีบทบาทในกระบวนการทำงานในเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายเทพลังงาน

และในการสังเคราะห์กรดนิวคลิอิก เซลล์ของสาหร่ายใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอนินทรียสาร ($H_2PO^- + HPO_4^{2-}$) เป็นส่วนใหญ่ (Richmond, 1986) สาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณต่างกัน การรับฟอสฟอรัสเข้าไปในเซลล์โดยปกติจะขึ้นกับแสง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องอาศัยพลังงาน นอกจากนี้การนำฟอสฟอรัสไปใช้งานในเซลล์ยังขึ้นกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายอาหาร และค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือในสาหร่ายบางชนิดอาจขึ้นกับปริมาณของ Na^+, K^+ หรือ Mg^{2+} (Mohleji, 1980)

การขาดธาตุฟอสฟอรัสเป็นตัวทำให้สาหร่ายส่วนประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ RNA และ DNA ลดน้อยลง (Healey, 1982 อ้างถึงใน Richmond, 1986) และมีผลต่อลักษณะรูปร่างของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์ที่เป็น Polyphosphate หายไป (Jensen et al., 1974) นอกจากนี้ยังมีการสะสม granules ในเซลล์ที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสอีกด้วย (Stevens et.al, 1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย