บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 สาหร่ายเกลียวทอง

2.2.1 อนุกรมวิธาน

สาหร่ายสไปรูไลน่า (Spirulina spp.) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดหนึ่ง Bold และ Wynne (1985) ได้จัดอนุกรมวิธานสาหร่ายสไปรูไลน่าไว้ดังนี้

Phylum : Cyanophyta

Class : Cyanophyceae

Order : Oscillatoriales

Family : Oscillatoriaceae

Genus : Spirulina

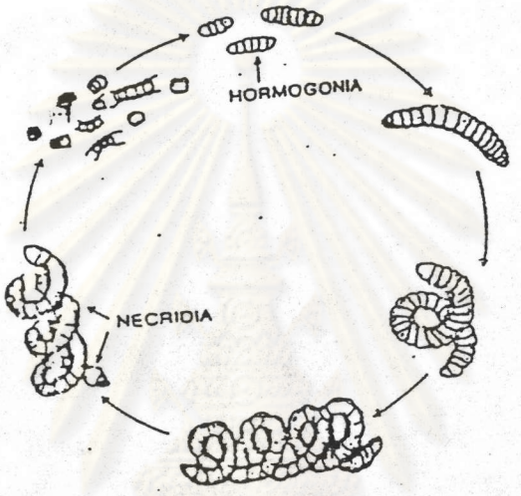
สาหร่ายสกุลนี้ถูกพบครั้งแรกโดย Turpin ในปี 1827 พบว่ามีลักษณะเป็นเกลียวและตั้งชื่อ genus ว่า Spirulina ต่อมาในปี 1952 Stizenberger ได้แยก genus Spirulina ออกเป็น 2 genera คือ genus Spirulina ซึ่งมีลักษณะเป็นเซลล์เดียวตลอดสาย filament ไม่มีผนังเซลล์แบ่งตามขวางและ genus Arthrospira ซึ่งมีลักษณะคล้าย Spirulina แต่มีผนังกั้นเซลล์ ในปี 1958 Goleunova ได้ทำการศึกษา Spirulina major Kutz ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน พบว่ามีผนังกั้นระหว่างเซลล์ซึ่งมีลักษณะบางใส จึงแนะนำให้รวม Genus Spirulina และ Genus Arthrospira เข้าเป็นสกุลเดียวกันโดยใช้ชื่อ Genus Spirulina ส่วนชื่อภาษาไทยของสาหร่ายสกุลนี้คือ สาหร่ายเกลียวทอง (สุชาติ อิงธรรมจิตร์, 2529)

2.1.2 รูปร่าง

สาหร่ายเกลียวทองมีรูปร่างเป็นเส้นสาย ประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกเรียงต่อกันบิดเป็นเกลียว (helicoidal trichome) ไม่มีกิ่งก้านซึ่งเป็นลักษณะประจำสกุลแต่ลักษณะของ trichome เช่นระยะห่างระหว่างเกลียว (helix) และเส้นผ่าศูนย์กลางเกลียว (pitch) มีความแตกต่างกันแล้วแต่ชนิด หรือแม้แต่ในชนิดเดียวกันก็อาจพบว่ามีลักษณะของ trichome แตกต่างกันได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความเค็ม เป็นต้น (Richmond, 1986) ส่วนขนาดของสาหร่ายเกลียวทองผันแปรค่อนข้างมากตามชนิดของสาหร่าย เช่น เซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ที่มีขนาดเล็กจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ 1 ถึง 3 ไมครอนเท่านั้น แต่ถ้าเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่จะมีขนาด 3 ถึง 12 ไมครอน และจากการเปรียบเทียบระหว่าง Spirulina platensis ที่คัดแยกจากประเทศชาดกับ Spirulina maxima ที่คัดแยกจากเม็กซิโก ซึ่งเลี้ยงในสภาพเดียวกัน พบว่า S. maxima มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ trichome 50-60 ไมครอน ระยะห่างระหว่างเกลียวเท่ากับ 80 ไมครอน ส่วน S. platensis มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ trichome เท่ากับ 35 ถึง 50 ไมครอน และมีระยะห่างระหว่างเกลียวเท่ากับ 60 ไมครอน ส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ S. platensis มีค่าเท่ากับ 6 ถึง 8 ไมครอน กว้างกว่า S. maxima ซึ่งเท่ากับ 4 ถึง 6 ไมครอน (Ciferri,1983 อ้างถึง Marty et al.,1970) ความยาวของ trichome โดยปรกติจะยาวประมาณ 2-3 มิลลิเมตรแต่อาจพบยาวถึง 20 มิลลิเมตร ภายใต้สภาพแวดล้อมบางอย่าง (Ciferri, 1983 อ้างถึง Eykelenburg, 1979)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับวงชีวิตของสาหร่ายเกลียวทองแสดงในภาพที่ 1 เริ่มจากการที่สายของสาหร่ายสร้างเซลล์พิเศษที่เรียกว่า nicridia ซึ่งสลายตัวไปทำให้สาหร่ายหักออกเป็นท่อน แต่ละท่อนประกอบด้วยเซลล์ 2 - 4เซลล์ เรียกว่า hormogonia หลังจากนั้นเซลล์ที่ติดกันกับ nicridia จะกลมขึ้นโดยผนังเซลล์อาจหนาขึ้นเพียงเล็กน้อยไซโตพลาสซึมภายในเซลล์จะมี granule ลดลงและสีของเซลล์จะซีดลงแล้วแบ่งตัวแบบ fission ไปจนได้สายใหม่



รูปที่ 1 วงจรชีวิตของสาหร่ายเกลียวทอง (Richmond, 1986)

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทอง

สาหร่ายเกลียวทอง ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 71 (ตารางที่ 1) และ เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพเนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็น (essential amino acids) และชนิดที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acids) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโปรไวตามิน (pro-vitamin) แคโรทีนอยด์ (caortenoid) และกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acids) หลายชนิด (ตารางที่ 1.)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทอง (Hills,1980)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
Moisture	7.0
Ash	9.0
Crude protein (% Nx6.25)	71.0
Crude fiber	0.9
Nucleic acids	
Ribonucleic acid (RNA)	3.50
RNA = N x 2.18	
Deoxyribonucleic acid (DNA)	1.00
DNA = N x 2.63	
Essential amino acids	
Isoleucine	4.13
Leucine	5.80
Lysine	4.00
Methionine	2.17
Phenylalanine	3.95
Threonine	4.17
Tryptophan	1.13
Valine	6.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
Non-essential amino acids	
Alanine	5.82
Aspartic acid	6.43
Cysteine	0.67
Glutamic acid	8.94
Glycine	3.46
Histidine	1.08
Proline	2.97
Serine	4.00
Tyrosine	4.60
Arginine	5.98
Vitamins (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
Biotin (H)	0.4
Cyanocobalamin (B_{12})	0.2
d-Ca-Pantothenate	11.0
Folic acid	0.5
Inositol	350.0
Nicotinic acid (PP)	118.0
Pyridoxine (B_6)	112.0
Riboflavin (B_2)	40.0
Thiamine (B_1)	5.0
Tocopherol (E)	190.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	
Xanthophylls	1.80	g/kg dry weight
Carotene	1.90	g/kg dry weight
Chlorophyll-a	7.60	g/kg dry weight

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของไขมันในสาหร่ายเกลียวทอง (Richmond, 1986)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ	
Total lipids	7.0	% dry weight
Fatty acids	5.7	% of lipids
Laulic (C-12)	229	mg/kg
Myristic (C-14)	644	mg/kg
Palmitic (C-16)	21.141	mg/kg
Palmitoleic (C-16)	2.035	mg/kg
Palmitolinoleic (C-16)	2.565	mg/kg
Heptadecanoic (C-17)	142	mg/kg
Stearic (C-18)	353	mg/kg
Oleic (C-18)	3.009	mg/kg
Linoleic (C-18)	13.784	mg/kg
ɣ-Linolenic (C-18)	11.970	mg/kg
α-Lenolenic (C-18)	427	mg/kg
Others	699	mg/kg

2.1.4 การเพาะเลี้ยง

Beaker and Venkataraman (1982) รายงานว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมเชื้อในห้องปฏิบัติการ (Indoor Cultivation)

ทำโดยการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าบนอาหารเลี้ยงเชื้อผสมวุ้น หลังจากนั้นเชื่อสาหร่ายมาเลี้ยงต่อในอาหารเหลว ให้แสงที่ความเข้มประมาณ 8-10 กิโลลักซ์ หลังจากนี้ 8-10 วันก็สามารถนำไปเลี้ยงต่อในสภาพกลางแจ้งได้

ขั้นตอนที่ 2 การเลี้ยงกลางแจ้ง (Outdoor Cultivation)

สถานที่เลี้ยง ควรอยู่ในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย เช่น ความเข้มแสงแดด ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ เป็นต้น

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง

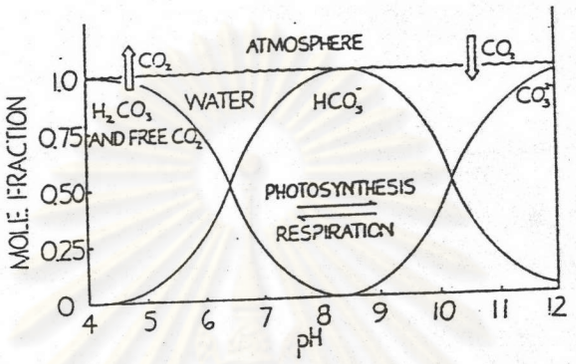
2.1.5.1. อาหารเลี้ยงสาหร่าย

จากการศึกษาถึงองค์ประกอบของน้ำในทะเลสาบ Aranguadi ในประเทศเอธิโอเปียซึ่งเป็นแหล่งที่มีการเจริญของสาหร่ายเกลียวทองตามธรรมชาติมาก พบว่า มีความเข้มข้นของแร่ธาตุสูงถึง 15 % และมีปริมาณของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) มากกว่า 1.6 % นอกจากนี้ยังมีปริมาณของฟอสเฟต (PO_4^{2-})สูง จึงได้มีการพัฒนาสูตรของอาหารเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง โดยให้คล้ายคลึงกับน้ำในแหล่งธรรมชาติให้มากที่สุด และโดยทั่วไปนิยมใช้น้ำเลี้ยงสาหร่ายตามสูตรของ Zarrouk (Zarrouk, 1966) นอกจากนี้ยังมีการวิจัยและดัดแปลงส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองอีกมากมาย เช่น ของที่ Central Food Technological Institute (Venkataraman, 1983)

แหล่งของคาร์บอน

สาหร่ายเกลียวทองมีปริมาณของคาร์บอนในเซลล์สูงถึง 45-50% ของน้ำหนักแห้ง คาร์บอนที่เข้าสู่เซลล์สาหร่ายได้มากที่สุด อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำหรือที่อยู่ในรูปของไฮเดรตในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ในน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์

อาจอยู่ในรูปของ H_2CO_3, HCO_3^- หรือ CO_3^{2-} ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปของคาร์บอนที่สภาพความเป็นกรด-ด่างต่างกัน (Richmond, 1986)

Buission และ Trambonze (1967) ทดลองใช้ก๊าซ CO_2 ในการเลี้ยงสาหร่าย Spirulina maxima ในบ่อขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ผิวบ่อ 100 ตารางเมตร สามารถใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เลี้ยงสาหร่ายได้ผลผลิตในช่วง 11-15 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยควบคุมพีเอชที่ 9.5 และค่าร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ 10-12 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราการไหลของฟองก๊าซเป็นตัวกวนน้ำในบ่อ โดยการออกแบบส่วนที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่บริเวณหัวบ่อและมีระดับลึกลงไปประมาณ 1 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แหล่งของไนโตรเจน

แหล่งของไนโตรเจนในอาหาร มีผลต่อองค์ประกอบไนโตรเจนในเซลล์สาหร่ายซึ่งมีปริมาณมากรองจากธาตุคาร์บอน และมีผลต่อองค์ประกอบของรงควัตถุไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ในเซลล์สาหร่ายเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ไม่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนได้ จึงต้องมีการเติมแหล่งของไนโตรเจนลงในอาหาร แหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญได้แก่ ยูเรีย (urea) แอมโมเนีย (ammonia) และไนเตรท

(nitrate) โดยสาหร่ายเกลียวทองสามารถใช้ไนโตรเจนจากยูเรีย และแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่ำได้ดี โดยให้ผลการเจริญเติบโตเทียบเท่ากับเมื่อใช้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งของไนโตรเจน อย่างไรก็ตามการใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจน อาจทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอาหารลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และสาหร่ายบางชนิดจะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ 1 มิลลิโมล การยับยั้งดังกล่าวนี้ไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน แต่อาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของสภาพความเป็นกรด-ด่างในเซลล์ อันเนื่องมาจากการแพร่ของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Soong, 1980)

2.1.5.2 <u>แสง</u>

ความยาวคลื่นแสงที่สาหร่ายเกลียวทองสามารถนำไปสังเคราะห์ได้นั้นเป็นความยาวคลื่นใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงที่พืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร และความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายเกลียวทองคือ 4,000-5,000 ลักซ์ แต่จากการรายงานของ Ventakaraman (1983) พบว่า ความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายเมื่อเลี้ยงสภาพกลางแจ้งคือ 30-35 กิโลลักซ์

2.1.5.3 <u>อุณหภูมิ</u>

สาหร่ายเกลียวทองสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 15-50 องศาเซลเซียส แต่จะเจริญได้ดีที่สุดในอุณหภูมิ 32-42 องศาเซลเซียส การเจริญจะลดลงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 44 องศาเซลเซียส และจะตายถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส (Ciferri, 1983 อ้างถึง Charenkova et al., 1975)

2.1.5.4 <u>ความเป็นกรด-ด่าง</u>

สาหร่ายเกลียวทองสามารถอยู่ได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 8.5-11.5 แต่ช่วงความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญคือ 8.5-10.0 (Richmond, 1980)

2.1.5.5 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น

ในการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองถ้าความหนาแน่นต่ำเกินไป อาจทำให้สาหร่ายตายได้ เนื่องจากการเกิด photooxidation ในทางกลับกันเมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงเกินไป จะทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงยังลดลง Venkataraman (1983) รายงานว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมในการเลี้ยงคือ 225-250 มิลลิกรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร

2.1.5.6. การกวน

การกวนเป็นปัจจัยที่จะช่วยในการกระจายตัวของสาหร่าย เพื่อให้ได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอทำให้อาหารกระจายอย่างทั่วถึง และลดอัตราการตกตะกอนของสาหร่าย อย่างไรก็ตาม อัตราการการกวนยังขึ้นอยู่กับปริมาณและความหนาแน่นของเซลล์

Fox (1983) รายงานว่าในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า เพื่อให้มีผลผลิตสูงสุดควรได้รับแสงมากพอ (แต่ต้องต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิด photolysis) ได้รับสารอาหารครบถ้วนและมีการกวนโดยให้มีน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 20-25 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นอัตราที่ไม่แรงพอที่จะรบกวนสาหร่าย

2.1.5.7. ความเค็ม

Chiu (1980) พบว่า Spirulina platensis สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในช่วงกว้าง และช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ 0-0.5 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม Tel-or (1980) พบว่าสาหร่ายเกลียวทองสามารถเจริญได้ในที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงถึง 20-30 กรัมต่อลิตร มีผู้ศึกษาถึงการนำน้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำทะเลมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง ทั้งนี้นอกจากจะเป็นการศึกษาเพื่อนำน้ำเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงอีกด้วย ดังเช่นประเทศอิสราเอล ได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องถึงการนำเอาน้ำเค็มใต้ดินมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง เพื่อพัฒนาไปสู่ระบบการเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรม

Inkenouye (1974) รายงานการศึกษาเรื่อง การใช้น้ำทะเลจากทะเลอาระเบียนประเทศคูเวตซึ่งมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 22.4 กรัมต่อลิตร ทำการเลี้ยง S. platensis โดยขั้นแรกเลี้ยงในอาหารสูตรของ Zarrouk ซึ่งมีน้ำทะเลร้อยละ 25 นาน 2 สัปดาห์ ปรากฏว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีเทียบเท่ากับการเจริญของสาหร่ายในสูตรของ Zarrouk จากนั้นในขั้นที่ 2 นำสาหร่ายจากขั้นแรก มาเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผลการเจริญเติบโตยังคงเป็นปกติ และเมื่อเลี้ยงในขั้นที่ 3 โดยใช้สาหร่ายเริ่มต้นจากขั้นที่ 2 เลี้ยงในอาหารที่มีน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75 พบว่ามีสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ แม้ว่าช่วง 7 วันแรกสาหร่ายจะมีการเจริญเติบโตช้ามาก นอกจากนี้พบว่ารูปร่างของสาหร่ายเปลี่ยนไปจากเดิมอีกด้วย

2.1.6 การเก็บเกี่ยวสาหร่ายเกลียวทอง

Venkataraman (1983) รายงานวิธีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายไว้หลายวิธี แต่วิธีที่ดีนั้นจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและพลังงานที่ใช้ไปด้วย วิธีการต่างๆเหล่านี้ได้แก่

2.1.6.1 Gravity Filtration คือการกรองโดยใช้ผ้ากรองธรรมดา การเก็บเกี่ยววิธีนี้ค่อนข้างช้าแต่ไม่ต้องใช้กำลังคนมากนัก เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติในอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งพยายามหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้า

2.1.6.2 Plate and frame filter pressing เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่เสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นสามารถกรองได้ดีกว่าวิธี gravity filtration ถึง 2.6 เท่า เมื่อใช้ filter press ที่มีพื้นที่ 0.3 ตารางเมตร จะได้ผลผลิตมากกว่าวิธีแรกถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และยังลดเวลาที่ใช้ในการกรองด้วย

2.1.6.3 Centrifugation ในการผลิตแบบต่อเนื่องเมื่อให้อัตราไหลเข้าของสาหร่ายเป็น 125 ลิตรต่อนาที วิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงแต่มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้วิธี Plate and frame filter pressing เพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น จึงไม่นิยมใช้วิธีนี้ในการเก็บเกี่ยวสาหร่าย

2.1.7 การทำแห้ง

การทำสาหร่ายให้แห้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งหากให้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายลดลง Venkataraman (1983) รายงานวิธีการทำแห้งสาหร่ายไว้หลายวิธีดังนี้

2.1.7.1 Sun drying เป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น ขึ้นกับสภาพอากาศ สาหร่ายแห้งที่ได้เหมาะสำหรับเป็นอาหารสัตว์

2.1.7.2 Solar drying เป็นวิธีที่ง่ายอีกวิธีหนึ่ง โดยใช้ไม้ทำเป็นกล่องภายในทาสีดำ และปิดด้วยกระจกหนา 2 มิลลิเมตร จะทำให้อุณหภูมิภายในประมาณ 60-65 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า ได้ผลดีกับสาหร่ายที่แผ่ให้หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ใช้เวลา 5-6 ชั่วโมง

2.1.7.3 Drum drying เป็นการทำแห้งโดยให้สาหร่ายสัมผัสกับผิวโลหะที่ร้อนโดยตรง ทำให้ความชื้นในสาหร่ายระเหยไป จัดเป็นเครื่องทำแห้งที่มีอัตราการทำแห้งสูงมากมักใช้อุณหภูมิสูงกว่า 121 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2-30 วินาที

2.1.7.4 Spray drying เป็นการพ่นสาหร่ายออกมาทางรูเล็กๆให้ตกลงมาตามแนวดิ่ง โดยระหว่างที่สาหร่ายตกลงมาจะถูกทำให้แห้งด้วยความร้อน และเมื่อสาหร่ายตกลงถึงพื้นจะแห้งพอดี วิธีนี้จะไม่ทำให้สาหร่ายเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อน ปริมาณความชื้นในสาหร่ายจะถูกลดต่ำลงเหลือเพียง 5 % เท่านั้น

2.1.7.5 Freeze drying เป็นการทำแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง หลักการทำแห้งเริ่มจากการทำให้อาหารแข็งตัวก่อน แล้วจึงทำแห้งอาหารด้วยการระเหิดผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำ และมีความดันสูญญากาศสูงพอโดยน้ำในอาหารจะไม่ผ่านสถานะของเหลวอีก วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถรักษาสภาพของสาหร่ายได้เกือบเหมือนเดิม แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงและเสียเวลานาน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคเมื่อต้องการผลิตจำนวนมาก จึงมักใช้กับวัสดุที่มีราคาแพง

2.1.8 การผลิตสาหร่ายเกลียวทองในเชิงการค้า

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในเชิงการค้าอยู่ในหลายประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าแหล่งผลิตที่ใหญ่ที่สุดอยู่ในประเทศเม็กซิโก ทะเลสาบเทคสะโกโกซึ่งเป็นการเลี้ยงในบ่อตามธรรมชาติ ภูมิอากาศเป็นแบบกึ่งเขตร้อนและกึ่งทะเลทราย มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 18 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเฉลี่ย 140 กิโลแคลอรีต่อตารางเมตรต่อปี ผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายอยู่ในรูปของสาหร่ายผงและสาหร่ายอัดเม็ด สำหรับใช้เป็นอาหารคนและอาหารสัตว์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018434

ตารางที่ 2 การผลิตสาหร่ายเกลียวทองในเชิงการค้า (Richmond, 1980)

Company	Location	Pond area ($x10^{-3} m^2$)	Annual Production[a] (tonne d.w.)	Species
Sosa Texacoco	Lake Texcoco, Mexico	120[b]	330	S. maxima
Proteus	Calipatria, Calif.,USA	50	130	S. platensis
Spirutec	Chandler, Ariz.,USA	20	50-60	S. platensis
Siam Algae	Bangkok, Thailand	18	60-100	S. siamensis (S. platensis?)
Blue Continent Chlorella	Taiwan(north)	30	50-60	S. platensis
Spirulina Research Laboratories	Taiwan(north)	66	120-150	S. platensis
Tung Hai Chlorella Industries	Taiwan(Central)	30	50-60	S. platensis
Far East Microalgae Industries	Taiwan(south)	33	50-60	S. platensis
Nippon Spirulina	Miyako Is., Japan	13.5[c]	10-40	S. platensis

[a] Estimate for year-round operation.

[b] Growth under semi-natural conditions.

[c] Growth in covered ponds.

กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเล มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Giant tiger prawn มีชื่อวิทยาศาสตร์ Penaeus monodon Fabricius เป็นกุ้งที่มีช่วงชีวิตประมาณ 15-24 เดือน วางไข่ในทะเลใกล้พื้นดินที่ระดับน้ำลึกประมาณ 20-70 เมตร หลังฟักตัวอ่อนจะค่อยๆเคลื่อนตัวเข้าหาชายฝั่งบริเวณป่าไม่ชายเลนเพื่อดำรงชีวิต เมื่อมีอายุมากขึ้นถึงประมาณ 4 เดือน และขนาดใหญ่ขึ้นถึงระยะ subadult จึงจะค่อยๆเคลื่อนตัวไปในทะเลลึกเพื่อผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (Motoh, 1980)

วิวัฒนาการด้านการเจริญเติบโตและการกินอาหารของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

กุ้งวัยอ่อนมีวิวัฒนาการรวม 4 ระยะ (Motoh, 1980) ด้วยกันคือ

1. กุ้งวัยอ่อนระยะที่ 1 (Nauplius) เป็นลูกกุ้งที่ฟักออกเป็นตัวใหม่ๆ ลูกกุ้งระยะนี้ยังไม่กินอาหารจากภายนอกตัว แต่จะใช้อาหารจากถุงอาหารที่ติดมากับตัว ซึ่งจะใช้หมดภายในเวลา 36-48 ชั่วโมง กุ้งจะเจริญเติบโตเป็นกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 2 ภายในระยะเวลา 45-50 ชั่วโมง มีการลอกคราบ 6 ครั้ง (N1-N6)

2. กุ้งวัยอ่อนระยะที่ 2 (Zoea หรือ Protozoea) ลูกกุ้งระยะนี้จะเริ่มกินแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก เช่น Chaetoceros sp., Skeletonema sp. และ Tetraselmis sp. โดยใช้ระยางค์ส่วนหัวโบกพัดอาหารเข้าปาก ระยะนี้ใช้เวลา 4-5 วัน มีการลอกคราบ 3 ครั้ง และเจริญเป็นกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 3 (Z1-Z3)

3. กุ้งวัยอ่อนระยะที่ 3 (Mysis) ลูกกุ้งระยะนี้กินแพลงก์ตอนสัตว์ เช่น โรติเฟอร์ (Rotifer) และอาร์ทีเมียที่เพิ่งฟักเป็นตัวใหม่ๆ ระยะนี้ใช้เวลา 3-4 วัน ลอกคราบ 3 ครั้ง และเจริญเข้าสู่ระยะสุดท้าย (M1-M3)

4. กุ้งวัยอ่อนระยะสุดท้าย (post larva) ลูกกุ้งจะเปลี่ยนนิสัยมากินอาหารจำพวกเนื้อมากขึ้น โดยว่ายน้ำไล่จับอาหาร ลูกกุ้งระยะ P1-P10 จะกินอาร์ทีเมียและเมื่อถึง

ระยะ P11-P30 ลูกกุ้งจะกินอาร์ทีเมียและอาหารเสริม เช่น หอยสับละเอียด หลังจากนั้น ลูกกุ้งจะเจริญเป็นกุ้งวัยรุ่น (Juvenile)

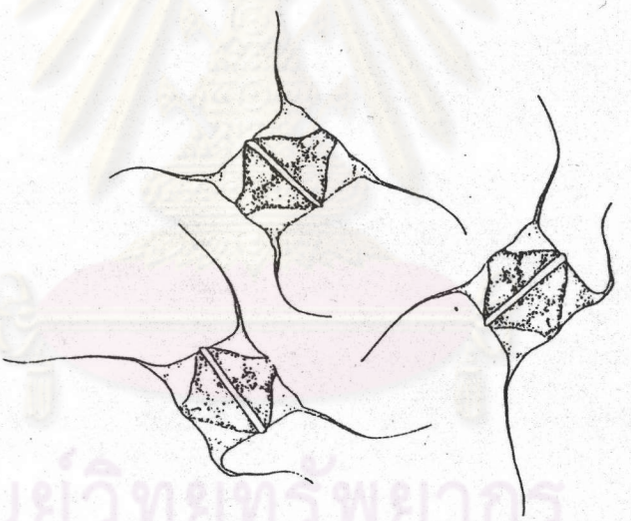
2.2.2 อาหารสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อน

บังอร ศรีมุกดา (2530) แบ่งอาหารที่ใช้เลี้ยงลูกกุ้งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.2.2.1 อาหารธรรมชาติ ได้แก่

พวกแพลงก์ตอนพืชเซลล์เดียวซึ่งมีขนาดเล็กมากเช่น

Chaetoceros sp. ที่สำคัญคือ C. calcitrans มีขนาดตั้งแต่ 3-10 ไมครอน ลักษณะเซลล์เป็นเซลล์เดี่ยว แต่บางครั้งจะพบว่าเซลล์ต่อกันเป็นลูกโซ่ประมาณ 3-10 เซลล์



รูปที่ 3 รูปร่างสาหร่าย Chaetoceros sp. (Laing, 1991)

Skeletonema costatum ลักษณะของเซลล์คล้ายกับ Chaetoceros แต่ไม่มี setae ส่วนใหญ่เซลล์จะต่อกันเป็นลูกโซ่ตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไปมีขนาดประมาณ 50 ไมครอน

Tetraselmis chuii ขนาดเซลล์ประมาณ 14-15 ไมครอน

แพลงก์ตอนสัตว์ ได้แก่

โรติเฟอร์ (Brachionus plicatilis) ใช้เลี้ยงลูกกุ้งระยะ Mysis ถึง Postlarva2 และไรน้ำเค็ม (Brine Shrimp หรือ Artemia) เป็นอาหารที่ดีและเหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์น้ำวัยอ่อนขนาดเล็ก เช่น กุ้ง ปู ปลา เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกไรน้ำเค็มที่เพิ่งฟักออกเป็นตัวใหม่ๆ ใช้เป็นอาหารลูกกุ้งระยะ Mysis ถึง Postlarva

2.2.2.2 อาหารเสริม

การใช้อาหารเสริมมีข้อดีหลายประการ เช่น ควบคุมปริมาณได้แน่นอน และไม่ยุ่งยากในการจัดเตรียม ปัจจุบันนักเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงพยายามใช้อาหารเสริมควบคู่ไปกับอาหารธรรมชาติ อย่างไรก็ตามควรต้องยึดหลักความสมดุลและความพอเหมาะในการใช้อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะ Zoea ซึ่งจำเป็นต้องใช้ Chaetoceros หรือ Tetraselmis เลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนหากเตรียมไว้ไม่พอหรือไม่ทัน การใช้อาหารเสริมอย่างถูกต้องจะช่วยแก้ปัญหาได้มากเพราะลูกกุ้งในระยะนี้ไม่สามารถขาดอาหารได้เกิน 1 ชั่วโมง (บังอร, 2530) อาหารเสริมมีหลายชนิด ได้แก่ ไข่แดงต้ม เต้าหู้ขาว ยีสต์ เนื้อสัตว์ต่างๆ และไข่ตุ๋น อาหารเสริมเหล่านี้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบส่วนน้อยของอาหารสำหรับเลี้ยงลูกกุ้ง คือน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เนื่องจากมีสารอาหารไม่เหมาะสมที่จะแทนพวกแพลงก์ตอนพืชได้ทั้งหมด และทำให้น้ำเสียได้ง่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 ความต้องการสารอาหารสำหรับกุ้งทะเลวัยอ่อน

สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อนมีดังต่อไปนี้

2.2.3.1 โปรตีนและกรดอะมิโน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานทำให้ลูกกุ้งเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ กรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับกุ้งมี 10 ชนิด ได้แก่ arginine, valine, methionine, threonine, isoleucine, leucine, lysine, histidine, phenylalanine, และ tryptophan ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งคือ 45-50% (Lovell, 1989)

2.2.3.2 คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานและเป็นส่วนประกอบของกระบวนการ metabolism ในร่างกาย แหล่งคาร์โบไฮเดรตพวก disaccharides และ polysaccharides ให้อัตราการเจริญในลูกกุ้งสูงกว่าพวก monosaccharides ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งคือ 30-40% (Kanazawa, 1984)

2.2.3.3 ไขมัน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน และเป็นตัวทำละลายของวิตามินที่ละลายในไขมันและ growth factor บางชนิด รวมทั้งยังเป็นตัวช่วยประหยัดโปรตีนในอาหารที่จะถูกนำไปใช้กรดไขมันที่จำเป็นสำหรับลูกกุ้ง ได้แก่ กรดไขมันพวก w3 หรือ w6-highly unsaturated fatty acid เช่น 18:3w3 (linolenic), 18:2w6 (linoleic acid), 20:5w3 (Eicosapentaenoic acid), 22:6w3 (Docosahexaenoic acid) และ 20:4w6 (Arachidonic acid) ปริมาณความต้องการไขมันของลูกกุ้งคือ 6-9% ส่วนปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับลูกกุ้งคือ 1% ในอาหารที่มีไขมันทั้งหมด 8% (Millamena, 1984)

2.2.3.4 Cholesterol เป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับลูกกุ้ง ทำหน้าที่เป็น precursor ของฮอร์โมน ecdysteroids ซึ่งช่วยในการลอกคราบและมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ฮอร์โมนบางชนิดที่ช่วยในการเจริญเติบโตของลูกกุ้ง ปริมาณ cholesterol ที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งคือ 0.3-0.5% (Teshima, 1983)

2.2.3.5 Phospholipids มีความจำเป็นต่อการเจริญและการรอดของลูกกุ้ง เนื่องจากลูกกุ้งมีความสามารถในการสังเคราะห์ phospholipids จากกรดไขมัน และ glycerides phospholipids ยังทำหน้าที่เป็นสาร emulsifier สำหรับไขมันในสูตรอาหาร และยังเป็นส่วนประกอบของ lipoproteins ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลำเลียงไขมัน โดยเฉพาะ cholesterol ไปยังกระแสเลือด ปริมาณความต้องการ phospholipids คือ 2.0% แต่ถ้าอาหารมีการเสริมเลซิตินหรือฟอสฟาติดิลโคลีน ระดับความต้องการจะลดลงเหลือ 1.0% (Kanazawa, 1985)

2.2.3.6 เกลือแร่ เป็นส่วนประกอบของเปลือกกุ้ง ช่วยทำให้เปลือกแข็งเร็วในช่วงการลอกคราบ เป็นตัวนำพาออกซิเจนช่วยในการหายใจ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบในน้ำย่อย น้ำเลือด และสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในการควบคุม osmotic pressure ช่วยในการส่งผ่านกระแสประสาท และการยืดหดของกล้ามเนื้อ ลูกกุ้งสามารถดูดซึมเกลือแร่บางชนิดจากน้ำได้โดยผ่านทางเหงือก และท่อทางเดินอาหารจึงไม่จำเป็นต้องให้แร่ธาตุประกอบรวมอยู่ด้วย เราอาจให้เพียงแคลเซียม ฟอสเฟตและแร่ธาตุย่อยเท่านั้น (Kanazawa, 1984)

2.2.3.7 วิตามิน เป็นสารอาหารที่ลูกกุ้งต้องการเป็นปริมาณน้อย แต่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต เนื่องจากวิตามินช่วยให้สามารถใช้สารอาหารต่างๆในกระบวนการ metabolism ได้ โดยทำหน้าที่เป็น coenzymes Kanazawa (1984) อธิบายว่า ลูกกุ้งต้องการวิตามิน E, วิตามิน D, nicotinic acid, pyridoxin, biotin, folic acid, inositol, cyanocobalamine, riboflavin, thiamine และ β-carotene ในการเจริญเติบโตถ้าขาดวิตามินตัวใดตัวหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (metamorphosis) จะถูกยับยั้งและอัตราการตายระหว่างการพัฒนาในระยะต่างๆจะสูงกว่าปกติ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทองเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์น้ำ

วิวัฒน์ ถาวโรฤทธิ์ 2523 รายงานว่า จากการทดลองใช้ Spirulina spp. และ Oscillatoria spp. เป็นอาหารและส่วนประกอบของอาหารผสม สำหรับเลี้ยงลูกปลาไน พบว่าการใช้ Spirulina spp. เป็นส่วนผสมของอาหาร อัตราการเจริญเติบโตของลูกปลาไนสูงมากที่สุด

ปิยะพงศ์ โชติพันธุ์ 2527 รายงานว่า การผสมสาหร่ายเกลียวทองลงในอาหารเนื้อปลาสดให้ผลต่อการเจริญเติบโตของลูกปลากะพงขาว ได้ดีกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารเนื้อปลาสดเพียงอย่างเดียว และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเนื้อในปลากะพงขาวดีกว่าอาหารเนื้อปลาสดเพียงอย่างเดียวประมาณ 72% และมีอัตราการรอดตายสูงกว่า

มะลิ บุญยรัตน์ และ วุฒิพร พรหมขุนทอง (2529) ทำการศึกษาผลของรงควัตถุแคโรทีนอยด์จากแหล่งต่างๆต่อการเปลี่ยนสีของปลาแฟนซีคาร์พ พบว่าปลาที่ได้กินอาหารเสริมจากสาหร่ายสไปรูไลน่า มีสีเข้มกว่าปลาที่ไม่ได้กินสาหร่ายสไปรูไลน่า

ณรงค์ศักดิ์ พ่วงลาภ (2533) รายงานผลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 0.05 กรัม พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่ายเกลียวทอง 10 % มีการเจริญเติบโตดีที่สุด การศึกษาอัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพของโปรตีน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมสาหร่ายเกลียวทองทุกระดับ จะดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของสาหร่ายเกลียวทอง และปริมาณคาโรทีนอยด์ในกุ้งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสไปรูไลนาที่ผสมในอาหารและระยะเวลาในการเลี้ยง แสดงให้เห็นว่าคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเกลียวทองนั้นมีเพียงพอต่อความต้องการของกุ้งกุลาดำ