ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย*Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* และ *Gloeocapsa* sp.

The nutritional value of *Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* and *Gloeocapsa* sp.

นางสาว นิติมา ศาลากิจ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย
อาจารย์ที่ปรึกษา .....

ภาควิชารับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ)
หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20539

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* และ *Gloeocapsa* sp.

The nutritional value of *Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* and *Gloeocapsa* sp.

T099418

โดย

นางสาว นิติมา ศาลากิจ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพ
มหานคร 10520

ปีการศึกษา 2546

ฝพ.
ห587ค
2546
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....99418
รับ เดือน ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* และ *Gloeocapsa* sp.

The nutritional value of *Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* and *Gloeocapsa* sp.

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Phormidium angustissima, Nostoc commune, Calothrix marchica* และ *Gloeocapsa* sp. โดยใช้อาหารสูตร BG-11 ที่ระดับความเข้มข้นของสารอาหารแตกต่างกัน คือ 100, 50 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เพาะเลี้ยงจนกระทั่งสาหร่ายเข้าสู่ระยะต้น stationary phase หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยวิธี proximate analysis พบว่าความเข้มข้นของสารอาหารมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรปกติ (100%) มีคุณค่าทางโภชนาการเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งดังนี้ คือ สาหร่าย *P. angustissima* มีปริมาณมีปริมาณโปรตีน (crude protein) 2.03±0.24 ไขมัน (crude lipids) 8.64±0.08 แคลเซียม 0.37±0.17 สาหร่าย *N. commune* มีปริมาณโปรตีน 42.49±2.80 ไขมัน 10.40±1.37 แคลเซียม 0.38±0.12 สาหร่าย *C. marchica* มีปริมาณโปรตีน 3.68±0.40 ไขมัน 0.49±0.14 แคลเซียม 0.57±0.28 และสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. มีปริมาณโปรตีน 57.01±1.00 ไขมัน 9.14±1.76 แคลเซียม 0.40±0.17

และ *Gloeocapsa* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นชนิดที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด 57.01±1.00 รองลงมาคือ *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ 43.06±0.43 สาหร่าย *P. angustissima* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณโปรตีน 42.46±0.65 และ *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณโปรตีน 4.35±0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ครู-อาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้มาด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่าน และเพื่อนๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณ ก้อย, นุ๊บและจิ๊บเพื่อนรัก ที่คอยเตือนสติ และให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อพิสุทธิ์ และคุณแม่จำเนียร ศาลากิจ ญาติพี่น้องทุกคน ที่เป็นกำลังใจคอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอด

นางสาว นิติมา ศาลากิจ

เมษายน 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	IV
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผลการทดลองและวิจารณ์	27
สรุปและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเทา	9
2	ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายไกกับอาหารชนิดอื่น	10
3	คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเห็ดลาบ	11
4	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่สูตรอาหารBG-11 เข้มข้น 100%	30
5	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่สูตรอาหารBG-11 เข้มข้น 50%	31
6	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่สูตรอาหารBG-11 เข้มข้น 10%	33
7	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *P. angustissima* ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน	34
8	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N. commune* ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน	35
9	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน	35
10	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *C. marchica* ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน	36
11	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงใน Zarrouk's media	37
12	เปรียบเทียบองค์ประกอบของสารอินทรีย์ของ *Spirulina* spp., *Chlorella* spp. และถั่วเหลือง	39
13	เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *P.angustissima, N.commune, Gloeocapsa* sp. และ *C. marchica* กับอาหารโปรตีนอื่นๆ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ **หน้า**

1	**สูตรอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอน BG-11**	48
2	**แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายทั้ง4 ชนิด**	50
3	**แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด**	51
4	**แสดงคุณค่าทางอาหารที่สูตรอาหารเข้มข้น 100%**	52
5	**แสดงคุณค่าทางอาหารที่สูตรอาหารเข้มข้น 50%**	53
6	**แสดงคุณค่าทางอาหารที่สูตรอาหารเข้มข้น 10%**	54
7	แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *P. angustissima*	55
8	แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *N. commune*	56
9	แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp.	57
10	แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *C. marchica*	58
11	ผลการวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Lowry's method และ คาร์โบไฮเดรต	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด	27

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp.	61
2	ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Phormidium* sp.	61
3	ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Calothrix* sp.	62
4	ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Nostoc* sp.	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในสภาวะปัจจุบันประชากรของโลกได้เพิ่มขึ้นจำนวนมาก ทำให้ความต้องการอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์เพิ่มขึ้นเช่นกัน สาหร่ายเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะสาหร่ายเซลล์เดียว ในต่างประเทศได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของโปรตีนจากสาหร่าย พบว่าสาหร่ายหลายชนิดสามารถให้โปรตีนสูงถึง 40-68% ของน้ำหนักแห้ง หากเปรียบเทียบคุณค่าอาหารประเภทเนื้อที่มีโปรตีนสูงทั้งหมดแล้ว เนื้อปลามีคุณค่าทางด้านโภชนาการสูง ย่อยง่ายที่สุด และยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต แต่สถานการณ์ขณะนี้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลงไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ทำให้ปริมาณสัตว์น้ำรวมทั้งปลามีไม่เพียงพอกับการใช้บริโภคเป็นอาหารของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่สาหร่ายให้โปรตีนสูง และเจริญได้ดีแทบจะทุกสภาวะ จึงเหมาะที่จะใช้สาหร่ายเป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์

ปัจจุบันได้มีผู้สนใจวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายหลายชนิด เพื่อหาชนิดสาหร่ายที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สำหรับเป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ เนื่องจากสาหร่ายเป็นผู้ผลิตที่มีขนาดเล็กที่สุด และเป็นตัวเริ่มต้นในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม และฟอสฟอรัสในสาหร่าย *Phormidium angustissima*, *Nostoc commune*, *Calothrix marchica* และ *Gloeocapsa* sp. ที่เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของอาหารที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

แหล่งโปรตีนจำพวกจุลินทรีย์

จุลินทรีย์โปรตีน คือ โปรตีนที่ได้จากจุลินทรีย์ สามารถผลิตได้จาก รา สาหร่าย ยีสต์ และแบคทีเรีย แต่การที่จะเลือกชนิดของจุลินทรีย์สำหรับใช้ในการผลิตนั้นต้องคำนึงถึงประเภทของวัตถุดิบ คุณค่าทางอาหารและวัตถุประสงค์ในการที่จะนำผลผลิตจากจุลินทรีย์โปรตีนไปใช้ต่อไป

จรูญ (2531) กล่าวว่า จุลินทรีย์โปรตีนจัดเป็นแหล่งอาหารที่คาดว่าน่าจะมีความสำคัญในอนาคต ดังนั้นในปี 1946 องค์การสหประชาชาติโดยความร่วมมือระหว่าง FAO WHO และ UNICEF ได้กำหนดความต้องการในด้านความปลอดภัย และคุณค่าทางอาหารที่เหมาะสมในการที่จะบริโภคจุลินทรีย์โปรตีน คือ ผลผลิตจะต้องมีปริมาณโปรตีนสูง มีคุณค่าทางด้านโภชนศาสตร์ของโปรตีนจะต้องเพียงพอต่อความต้องการ และต้องปราศจากกลิ่นรสที่จะเพิ่มให้แก่อาหารพร้อมกันนั้น จะต้องมีการทดลองกับสัตว์และศึกษาทางด้านโภชนศาสตร์ก่อนที่จะนำมาเลี้ยงมนุษย์

สาหร่าย (algae) คือจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังกล่าว เป็นพืชชั้นต่ำที่อาศัยอยู่ในน้ำเป็นส่วนใหญ่แต่บางชนิดพบในดิน ก้อนหินชื้นๆ หรือในบ่อน้ำร้อน มีสารรงควัตถุหลัก คลอโรฟิลล์ (chlorophyll), คาโรทีนอยด์ (carotenoid) และไฟโคบิลิน (phycobilin) สาหร่ายส่วนใหญ่จะมีสีเขียว คุณค่าทางอาหารจากสาหร่าย ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ (โดยเน้นไอโอดีน) และวิตามิน นอกจากนี้ยังมีวิตามินบี1, บี3, บี6, ซี, ไนอาซิน และอี รวมทั้งแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม, ฟอสฟอรัส, แมกนีเซียม และเหล็ก

สุพัตรา (2533) อ้างถึงณรงค์ (2532) ว่าจุลินทรีย์โปรตีน (Single Cell Protein, SCP) เป็นแหล่งโปรตีนที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่รา สาหร่าย ยีสต์ และแบคทีเรีย ซึ่งจุลินทรีย์ที่เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

1 เจริญเติบโตเร็วในอาหารที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย
2 เจริญได้ในอาหารที่มีส่วนประกอบง่ายๆ
3 แยกและเก็บเกี่ยวง่าย
4 มีความทนทานต่อการปนเปื้อนของเชื้ออื่น และมีความคงตัวต่อการหมัก
5 ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรม สรีรวิทยา และสามารถปรับปรุงทางด้านพันธุกรรมได้
6 สามารถใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7 หลังจากผ่านกระบวนการแล้วมีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย
8 ไม่เป็นพิษและทำให้เกิดอาการภูมิแพ้
9 อุดมด้วยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 เก็บรักษาได้ง่ายและบรรจุได้ง่ายตามต้องการ

สาหร่าย (Algae) จัดเป็นจุลินทรีย์โปรตีนชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังกล่าว สำหรับประเทศไทยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษาสาหร่ายชนิดต่างๆเพื่อผลิตเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังมีประเทศอื่นๆที่ให้ความสนใจต่อสาหร่ายมาก

อนุกรมวิธานของสาหร่าย

Division Cyanophyta

Class Cyanophtceae

Order Chroococcales

Family Chroococcaceae

1. *Gloeocapsa* sp. (ภาพผนวกที่ 1)

เซลล์มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว รูปร่างรีๆ มักพบอยู่เป็นกลุ่มหรือโคโลนี โดยมีชีทหุ้มแต่ละเซลล์และหุ้มทั้งกลุ่มรวมกัน ชีทที่หุ้มหนาซึ่งจะแบ่งเป็นชั้นๆ และมีสีต่างๆ

Order Nostocales

Family Oscillatoriaceae

2. *Phormidium* sp. (ภาพผนวกที่ 2)

ทรัยโคมประกอบด้วยเซลล์เรียงกันเป็นแถว มีชีทบางๆไม่มีสีหุ้ม เซลล์รูปร่างทรงกระบอก มักมีรอยคอดระหว่างรอยต่อของแต่ละเซลล์ เซลล์ปลายสุด (apical cell) มักแหลมอาจมีหมวกเซลล์หรือไม่มี ปลายทรัยโคมอาจตรงหรือโค้ง แต่เส้นสายไม่ขดเป็นเกลียว ส่วนมากจะพบ *Phormidium* อยู่รวมกันหลายๆเส้น เกาะอยู่กับวัตถุในน้ำ หรือถ้าพบลอยตัวอยู่เป็นอิสระจะมีปลายด้านหนึ่งฉีกขาดเสมอ

Family Rivulariaceae

3 *Calothrix* sp. (ภาพผนวกที่ 3)

ทรัยโคมอยู่เดี่ยวๆ เป็นเส้นสายที่มีความกว้างของเซลล์ไม่เท่ากันทั้งสายและตรงโคนมีขนาดใหญ่เรียวเล็กตรงปลาย เซลล์ตรงปลายอาจมนหรือเรียวแหลมเป็นเส้น ไม่แตกแขนง หรือแตกแขนงเทียม แขนงใหม่จะเป็นอิสระจากเส้นสายเดิม มีชีทหุ้มแต่ละทรัยโคม ชีทอาจใสหรือมีสี เฮเทอโรซิสต์ (heterocyst) ส่วนมากอยู่ปลายสุดของทรัยโคม เรียกว่า เบซิลเฮเทอโรซิสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(basal heterocyst) แต่บางครั้งพบอยู่กลางทรัยโคม อะคีนีตจะเกิดติดกับเฮเทอโรซิสต์

เป็นแพลงก์ตอนชั่วคราว มักขึ้นอยู่บนก้อนหิน กิ่งไม้หรือใบไม้ที่จมน้ำ หรือขึ้นบนพืชน้ำอื่นๆ พบทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

Family Rivulariaceae

4. *Nostoc* sp. (ภาพผนวกที่ 4)

ทรัยโคมอยู่เดี่ยวๆ เป็นเส้นสายที่มีความกว้างของเซลล์เท่ากันทั้งสาย ไม่แตกแขนง มีชีทหุ้มแต่ละทรัยโคม ชีทอาจใสหรือมีสี เฮเทอโรซิสต์ (heterocyst) ส่วนมากอยู่ปลายสุดของทรัยโคม เรียกว่า เบซิลเฮเทอโรซิสต์ (basal heterocyst) แต่บางครั้งพบอยู่กลางทรัยโคม อะคีนีตจะเกิดติดกับเฮเทอโรซิสต์

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

1. ปัจจัยทางกายภาพ
   1.1 แสงสว่าง (Illumination) ช่วงแสงสว่างเป็นเรื่องที่จำเป็นมากในการเลี้ยงสาหร่าย โดยการให้แสงที่ช่วงเวลาหนึ่งและหยุดการให้แสงช่วงเวลาหลังจะทำให้การเลี้ยงได้ผลดีกว่าการให้แสงติดต่อกันตลอดเวลา แสงสว่างที่นิยมใช้ คือ 12 ชั่วโมงให้แสง 12 ชั่วโมงหยุดการให้แสง หรือ 12 ชั่วโมงสว่าง สลับกับ 8 ชั่วโมงมืด

   แสงจากหลอดไฟธรรมดาจะให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ แสงแดดและแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีข้อดีที่ไม่ทำให้เกิดความร้อน

   1.2 อุณหภูมิ (Temperature) สาหร่ายน้ำจืดทุกชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 15-25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะตาย สำหรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญได้ดีในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส

2. ปัจจัยทางเคมี
   2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยทั่วไปสาหร่ายส่วนมากจะเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นด่าง ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นกลางจนถึงมีสภาพเป็นด่าง หรือมีค่าของ pH ประมาณ 6.5-7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไนโตรเจน สาหร่ายที่ขาดไนโตรเจนจะสร้างสารประกอบคาร์บอน เช่น น้ำมัน หรือแป้ง มาทดแทน สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ได้แก่ ยูเรีย เอไมด์ (amide) กลูตามีน (glutamine) และแอสพาราจีน (asparagine) ซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งไนโตรเจนชนิดดี ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุ หรือสารสีของเซลล์ รวมทั้งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย

2.3 ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต คือปริมาณโปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่แป้ง หรือคาร์โบไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.4 ซัลเฟอร์ เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อสาหร่ายทุกชนิด ซัลเฟอร์ที่สาหร่ายส่วนใหญ่ใช้อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ เกลือของโลหะ คือซัลเฟต ซัลไฟท์ และซัลไฟด์

2.5 แคลเซียม เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของสาหร่าย

2.6 โซเดียม โปแตสเซียม และคลอรีน โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่สาหร่ายบางชนิดต้องการ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการโซเดียมในปริมาณมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่นที่อยู่ในน้ำจืด โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด

โปแตสเซียมเป็นธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบของเอมไซม์หลายชนิด อัตราส่วนของโซเดียมและโปแตสเซียมจะมีผลต่อการใช้คลอรีนของสาหร่าย

2.7 แมกนีเซียม แมกนีเซียเป็นธาตุอาหารที่มีส่วนสำคัญยิ่งต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยทั่วไปจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของระบบเอนไซม์ ไนโตรจี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนส และกลูตามีน ซินเธเตส แมกนีเซียมซัลเฟต จะไปมีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่าย ถ้าใช้กับสาหร่ายโดยไม่มีสารประกอบพวกฟอสเฟต

2.8 เหล็ก ในสภาพเป็นกรด เหล็กจะมีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้

การวัดการเจริญเติบโตและชีวมวล Growth and biomass measurements)

1. การนับเซลล์ (cell counts)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย อุปกรณ์ที่ใช้คือ กล้องจุลทรรศน์ และสไลด์นับเซลล์

2. การวัดการกระจายของแสงหรอความขุ่น (Light scattering or turbidity)

นิยมใช้มากในการวัดการเจริญเติบโตของเชื้อสาหร่ายบริสุทธิ์ ข้อดีของวิธีนี้คือ วัดง่ายและสะดวก ข้อมูลที่ได้เป็นค่าของชีวมวล (biomass) ที่เพิ่มขึ้นโดยการวัดจากค่าน้ำหนักแห้ง อุปกรณ์ที่ใช้เรียกว่า colorimeter หรือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความเข้มแสงจะลดลงเมื่อจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น

3. การวัดน้ำหนักแห้ง (Dry weight measurement)

เหมาะกับสาหร่ายชนิดที่ไม่ใช่เซลล์เดี่ยวที่นับจำนวนเซลล์ไม่ได้ ฉะนั้นจึงนิยมใช้กับสาหร่ายชนิดที่เป็นเส้น วิธีวัดควรจะวัดทุกวันแล้วนำผลมาพล็อตกราฟ เริ่มการวัดโดยเก็บตัวอย่างจากภาชนะเลี้ยง กรองสาหร่ายออกจากน้ำโดยการปั่นให้ตกตะกอนรินน้ำใสข้างบนออก นำตัวอย่างไปอบให้แห้ง อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งประมาณ 70-110 องศาเซลเซียส นานประมาณ 10-12 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวัดคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll determination)

เป็นวิธีวัดชีวมวลที่รวดเร็ว เริ่มแรกให้เก็บตัวอย่างจากภาชนะเลี้ยง แยกเซลล์ออกโดยการปั่นให้ตกตะกอน ต่อจากนั้นจึงสกัดสารสีโดยเติมสารละลายเคมี ชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ อะซิโตน เมธานอล อีเธอร์ เมื่อสกัดสารสีออกจากเซลล์แล้วให้กรองอีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดตะกอนหรือสิ่งปนเปื้อนออกให้หมด นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในหลอดแก้วที่สะอาดสำหรับวัดค่าคลอโรฟิลล์

คุณค่าทางสารอาหารจากสาหร่าย

EPA (eicosapentaenoic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (polyunsaturated fatty acids : PUFAs) จำพวก n-3, และ DHA (docosahexaenoic acid) ซึ่งมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต น้ำมันจากปลาทะเลเป็นแหล่งที่มี EPA สูงแต่เนื่องจากสารสกัด EPA ที่ได้จากปลาทะเลมีราคาที่ค่อนข้างสูง สาหร่ายก็มี EPA สูงเช่นกันและเป็นผู้ผลิตขั้นต้น

EPA จากปลาทะเลที่ได้จะมีคุณภาพไม่แน่นอนขึ้นกับชนิดของปลา ฤดูกาล และสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้พบว่าน้ำมันปลายังมีในปริมาณที่จำกัดซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการ ในขณะที่สาหร่ายทะเลหลายชนิดสามารถผลิต EPA ได้ในปริมาณที่มากพอ EPA สามารถพบได้ในสาหร่ายทะเลหลายชนิด เช่น Classes Bacillariophyceae (ไดอะตอม), Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae Eustigamtophyceae และ Pracinophyceae นอกจากนี้ยังพบว่า *Porphyridium cruentum, Porphyridium propureum, Phaeodactylum tricornutum* และ *Nitzschis laevis* ก็ให้ผลผลิต EPA ในปริมาณที่สูงเช่นกัน ข้อดีของสาหร่ายที่เหมาะในการใช้เป็นแหล่ง EPA คือ สามารถเจริญเติบโตได้ดีเกือบทุกสภาวะ ให้ผลผลิตต่อหน่วยสูง ที่สำคัญคือไม่มีปัญหาในระบบขับถ่ายของมนุษย์

Zhi-You Wen and Feng Chen (2003) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายมาเป็นแหล่งกรดไขมันที่สำคัญ โดยทำการสกัด eicosapentaenoic acid (EPA) ซึ่งเป็นไขมันไม่อิ่มตัวที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการของสิ่งมีชีวิตในการป้องกันและรักษาอาการอักเสบจากการติดเชื้อ พบว่า microalgae บางชนิดให้ผลผลิต EPA ในปริมาณที่สูง นอกจากนี้กากที่เหลือจากการสกัดยังสามารถนำใช้ในการเพาะเลี้ยงและพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jean-Max Rouant (2001) ได้ทำการทดสอบแมกนีเซียมที่สกัดจากสาหร่ายสไปรูลิน่า โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณแมกนีเซียม ใน crude spirulina, Banania, รำข้าว และแมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride) ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า crude spirulina เป็นแหล่งแมกนีเซียมที่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกับรำข้าว และ Banania

สุพัตรา (2533) *Scenedesmus* เป็นสาหร่ายสีเขียวพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำจืดและในดิน มีปริมาณโปรตีนถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นำมาทำเป็นอาหารปลา ในไทยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ศึกษาสาหร่ายชนิดต่างๆเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญในอนาคต

Spirulina หรือสาหร่ายเกลียวทอง เป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางอาหารสูง รวมทั้งวิตามิน เกลือแร่ และคาโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสี บานชื่น (2532) ได้ทำการศึกษาโดยใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นส่วนประกอบอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย พบว่าปลาดุกอุยที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่ายเกลียวทองผสมในปริมาณตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ความเข้มของสีเนื้อปลาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายเกลียวทองและระยะเวลาที่เลี้ยง แต่ไม่มีผลในด้านการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพของการใช้โปรตีน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

Moti Harel (2002) ได้ทดลองใช้สารสกัดจากสาหร่าย *Crypthecodinium, Chlorella* และ *Mortierella* มาเป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงสัตว์ทะเล โดยสกัดเอาสารฟอสโฟลิปิดมาเป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงโรติเฟอร์และอาร์ทีเมียเพื่อนำไปเลี้ยงปลาพบว่าตัวอ่อนปลาทะเลในแอตแลนติกพบว่ามีระดับการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และยังพบว่าในปลาทะเลสายพันธุ์อื่นๆ (sea bream, European sea bass, striped bass) ก็ให้การตอบสนองในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารปลาที่ผสมสารสกัดจากสาหร่ายมีอัตราการฟักของตัวอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Spirulina เป็นสาหร่ายหลายเซลล์ที่มีลักษณะของเส้นสายจะบิดเป็นเกลียว องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองจะแตกต่างกันไปตามสภาพสิ่งแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญอยู่ ลักษณะเด่นคือมีโปรตีนสูงถึง 60-70% โดยน้ำหนักแห้งและเป็นแหล่งที่มาของวิตามิน 10 ชนิด คือ ไบโอติน, วิตามินบี, แคลเซียมแพนโทธิเนต, กรดโฟลิค, อินโทซินอล, กรดนิโคทินิค, ไพริด็อกซิน, ไรโบฟลาวิน,ไธอะมีน และวิตามินอี (บานชื่น, 2532)

สาหร่ายเกลียวทองยังมีโครงสร้างพิเศษ คือตัวเซลล์ไม่ได้ปกคลุมด้วยเมือก (mucous membrane) เหมือนกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั่วๆไป และผิวเซลล์ไม่มีจุลินทรีย์มาเกาะ พวกสายพันธุ์ที่ทนความร้อนสูงจะสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 °C ซึ่งคุณสมบัตินี้ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ มีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่จะทำอันตรายต่อเซลล์ได้สูง ทั้งนี้ภายในเซลล์อาจสามารถผลิตสารปฏิชีวนะก็เป็นได้ (วิลาสินี , 2532)

เทา, ผักไก (*Spirogyra*) เป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเส้นสายสีเขียวขนาดเท่าเส้นผม พบขึ้นทั่วไปในแหล่งน้ำจืดที่นิ่งหรือไหลเอื่อยๆ ชาวบ้านนิยมนำมาใช้ทำลาบ ในภาคอีสานมักจะรับประทานสด เป็นผักจิ้มกับน้ำพริกหรือทำเป็นยำ สรวิศ (2543) อ้างถึงบุญมี (2530) และ Peerapompisal et al. (1997) ว่าได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเทาดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเทา (*Spirogyra* spp.) ที่พบในบริเวณภาคเหนือของไทย (หน่วย : ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

	บุญมี 2530	Peerapompisal et al.(1997)
โปรตีน	23.82	18.65
ไขมัน	3.08	5.21
คาร์โบไฮเดรต	52.04	56.31
เถ้า	14.34	7.66
เส้นใย	6.72	11.78

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ "สาหร่าย" สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไก (*Cladophora* spp.) โดยสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตน่าน (2546) ซึ่งวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารโดย Overseas Merchandise Inspection Co., Ltd. และกองโภชนาการกรมอนามัยพบว่าสาหร่ายไกอบแห้งมีคุณสมบัติดังนี้ (ตารางที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายไกกับอาหารชนิดอื่น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

คุณค่าทางอาหาร	ไก	ปลาทู	ปลาน้ำจืด	แครอท	ตำลึง
โปรตีนรวม	19.44	21.50	18.00	1.30	4.10
ไขมันรวม	3.00	0.60	2.50	0.40	0.40
เยื่อใย	16.30	0	-	0.90	1.0
แคลเซียม	1.06	0.42	0.50	0.60	0.13
เหล็ก	0.15	0.15	0.10	0.17	0.46
แมกนีเซียม	0.17	-	-	-	-
แคโรทีน	466 ppm.	-	-	-	-
วิตามิน	1.15 ppm.	-	-	-	-
แซนโทรฟิล	690 ppm.	-	-	-	-
สารปรอท	0.00 ppm.	-	-	-	-

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีวิทยาเขตน่าน

อาภารัตน์ (2546) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc nommune*) ซึ่งเป็นสาหร่ายที่บริโภคได้ พบในพื้นที่คุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติป่าดูนลำพัน อำเภอนาเชือก จังหวัดมหาสารคาม พบว่ามีคุณค่าทางอาหารตามตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเห็ดลาบ (*N. nommune*)

รายการ (หน่วย)	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	10.19
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	20.26
เถ้า (กรัม/100กรัม)	16.2
ไขมันทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	0.02
ใยอาหาร (กรัม/100กรัม)	43
วิตามินเอ (ไมโครกรัม/100กรัม)	2.31
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.02
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.01
รายการ (หน่วย)	ปริมาณ
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	ตรวจไม่พบ
แคลเซียม (กรัม/100กรัม)	3.55
เหล็ก (กรัม/100กรัม)	0.28
กรดอะมิโน (มิลลิกรัม/100กรัม)	
Asparatic acid	3166.21
Threonine*	1193.92
Serine	1186.14
Glutamic acid	2064.97
Proline	486.36
Glycine	1044.1
Alanine	1658.27
Cystine	ตรวจไม่พบ
Valine*	1220.93
Methionine*	49.33
Isoleucine	797.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รายการ (หน่วย)	ปริมาณ
Leucine*	1374.11
Tyrosine	446.47
Phenylalanine*	1000.05
Histidine	886.22
Lysine*	450.99
Arginine	1015.52
Tryptophan*	35.62

* กรดอะมิโนจำเป็น (esential amino acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหาร

ก.วัสดุและอุปกรณ์

1.สาหร่าย4 ชนิด คือ *Phormidium angustissima*, *Nostoc commune*, *Calothrix marchica*, *Gloeocapsa* sp. จากห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

2. สูตรอาหาร BG-11อาหารที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

3.เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

3.1 เครื่อง Spectrophotometer

3.2 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4. อุปกรณ์อื่นๆ

4.1 กระบอกตวงขนาดต่างๆ

4.2 ปิเปต

4.3 ที่วางหลอดทดลอง

4.4 หลอดทดลอง

4.5 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ

4.6.ผ้ากรองไนลอน

4.7 ขวดน้ำเกลือ

4.8 ขวดแก้วปากกลม ขนาด 10 ลิตร

4.10 สายยาง

4.11 แท่งแก้ว

4.12 ถาดอะลูมิเนียม

4.13 หัวทราย

ข.วิธีการเลี้ยงสาหร่าย

1. นำสาหร่ายจากห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง 4 ชนิด คือ *P. angustissima*, *N. commune*, *C. marchica*, *Gloeocapsa* sp. มาทำการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้นในการขยายปริมาตร โดยนำสาหร่ายที่เตรียมได้มาใส่ลงในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร ที่มีอาหารสูตร BG-11 ความเข้มข้น100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ปริมาณสาหร่ายตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและป้องกันไม่ให้สาหร่ายตกตะกอน ทำการเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยมีการให้แสง 8 ชั่วโมงต่อวัน วัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตโดยการวัดคลอโรฟิลล์ และวัดน้ำหนักแห้ง *P. angustissima*, *N. commune* และ *C. marchica* ทำการวัดการเจริญเติบโตทุกๆ 3 วัน ส่วน *Gloeocapsa* sp. จะทำการวัดการเจริญเติบโตทุกๆ 2 วัน

2. เตรียมอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดในอาหารสูตร BG-11 โดยที่สาหร่ายแต่ละชนิดจะถูกเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ

2.1 สูตรอาหารเข้มข้น 100% โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

2.2 สูตรอาหารเข้มข้น 50% โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

2.3 สูตรอาหารเข้มข้น 10% ทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตร ในสภาวะแวดล้อมปกติ

ค. การเก็บเกี่ยวและการทำแห้ง

การเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่าย *P. angustissima*, *N. commune* และ *C. marchica* โดยวิธีการกรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 20 μ สาหร่ายที่กรองได้จะติดอยู่บนผ้ากรอง สำหรับสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. จะทำการเก็บเกี่ยวโดยการนำเข้าเครื่องเหวี่ยงตกตะกอน (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3500 rpm. อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำสาหร่ายได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สาหร่ายที่แห้งแล้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นเล็กๆ นำไปบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นและบรรจุในขวดแก้ว เพื่อวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

1. ความชื้น โดยวิธีการอบแห้ง (drying methods)

1.1. อุปกรณ์

1.1.1. ตู้อบแห้ง (drying oven)

1.1.2. ถ้วยครูซิเบิล

1.1.3. โถดูดความชื้น (dessiccator)

1.1.4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.1.5. คีมจับ (tong)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. วิธีการทดลอง

1.2.1. เตรียมถ้วยครูซิเบิลที่ล้างสะอาดแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 2 ชั่วโมง นำออกจากเตาอบเข้าใส่ในโถอบแห้ง ทิ้งให้เย็นและนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

1.2.2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2-3 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

1.2.3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ±5 °C นาน 2 ชั่วโมง

1.2.4. นำตัวอย่างออกจากตู้อบแล้วทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

1.2.5. นำไปอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่ (ต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม)

1.2.6 นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

1.3. การคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(A - B)}{W} \times 100$$

A = น้ำหนักถ้วยครูซิเบิล + ตัวอย่างก่อนเข้าอบ

B = น้ำหนักถ้วยครูซิเบิล + ตัวอย่างหลังเข้าอบ

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์เถ้าทั้งหมด

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain or silica crusible)

2.1.2 โถอบแห้ง (Desicator)

2.1.3 เตาเผา (Muffle furnace)

2.1.4 ตู้ควัน (Fume cupboard)

2.1.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.1.6 Hot plate

2.1.7 คีมคีบ (Tong)

2.1.8 ถุงมือกันความร้อน

2.2 วิธีการ

2.2.1 เผา crucible ที่สะอาดและแห้งในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450-600 °C นาน1-2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถอบแห้ง แล้วชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 นำตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์ จำนวนประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงใน crucible

2.2.3 เปิดพัดลมในตู้ควันแล้วนำตัวอย่างอาหารใน crucible เข้าไปเผาในตู้ควันโดยใช้ Hot plate

2.2.4 นำ crucible พร้อมตัวอย่างที่ไหม้แล้วเข้าไปเผาต่อในเตาเผาที่ความร้อน 450-600 °C เผาจนเถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทาอ่อน ปกติใช้เวลาประมาณ 1 ชม.ครึ่ง – 2 ชั่วโมง

ในกรณีที่เถ้าไม่เป็นสีขาว ซึ่งแสดงว่ายังมีคาร์บอนอยู่บ้าง ให้หยดน้ำยาแอมโมเนียมคาร์บอเนต 2-3 หยดลงบนเถ้า ระเหยให้แห้งแล้วเผาต่อในเตาเผาจนได้เถ้าสีขาว

2.2.5 ใช้คีมคีบ crucible ไปทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด

2.3 คำนวณ

$$\% \text{ เถ้าทั้งหมดในตัวอย่างแห้ง} = \frac{(A-B) \times 100}{W}$$

เมื่อ A = น้ำหนัก crucible ที่เย็น + น้ำหนักเถ้าที่ได้หลังจากการเผาในเตาเผา

B = น้ำหนัก crucible

W = น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้วิเคราะห์

(% สิ่งแห้ง (Dry matter) = 100 - % ความชื้น)

3.การวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมด (Crude Protein) โดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl Method)

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีนประกอบด้วย

3.1.1.1 เครื่องย่อยสาร (digestion apparatus)

3.1.1.2 หลอดทดลองย่อยสาร (Kjeldahl tube) ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.1.3 Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.1.4 ที่วางหลอดย่อย (Insert rack)

3.1.2 เครื่องกลั่น

3.1.2.1 เครื่องกลั่น (Distillation apparatus) พร้อม Cooling bath เพื่อหมุนเวียนน้ำเย็นเข้าสู่ Condenser

3.1.3 บิวเรต

3.1.4 ขาตั้ง

3.2 สารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 กรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 conc. 93 – 98%)

3.2.2 คะตะลิสต์ผสม

(ประกอบด้วย Potassium sulphate 100 กรัม Coppersulphate 10 กรัม)

3.2.3 สารละลาย NaOH 32%

3.3.4 สารละลายกรดบอริก 4%

3.3.5 อินดิเคเตอร์

(Bromocresol green ผสมกับ Methyl red ในอัตราส่วน 5 : 1)

3.3.6 สารละลายมาตรฐานกำมะถัน 0.1 N (0.1 N H_2SO_4)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.4 การย่อย (Digestion)

3.4.4.1 ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ประมาณ 0.2- 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยสาร (Kjeldahl tube)

3.4.4.2 ใส่คะตะลิสต์ผสมจำนวน 10 กรัม ลงใน Kjeldahl tube ที่มีสารตัวอย่าง เติมกรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) 25 มิลลิลิตร

3.4.4.3 นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 350 – 400 °C เป็นเวลา 1 ชม.ครึ่ง – 2 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลายใส แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.4.4.4 เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว ให้เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องกลั่น

3.4.5 การกลั่น (Distillation)

3.4.5.1 เสียบปลั๊กไฟเครื่องกลั่น ให้พร้อมสำหรับการทำงาน พร้อมกับเปิดวาล์วน้ำเครื่อง Cooling bath เพื่อให้น้ำไหลหล่อเย็น Condenser

3.4.5.2 หลอดย่อยไปวางต่อเข้ากับเครื่องกลั่น

3.4.5.3 เติมสารละลายกรดบอริก 4% จำนวน 75 ml. ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml. เติม Mix indicator 2-3 หยด จากนั้นนำไปวางต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เพื่อทำหน้าที่เก็บแอมโมเนียที่ได้จากการกลั่น

3.4.5.4 ตั้งโปรแกรมการทำงาน โดยให้มีการเติม NaOH 32% จำนวน 75 ml. ลงในหลอดย่อย

3.4.5.5 ทำการกลั่นเป็นเวลา 5-7 นาที เพื่อไล่แอมโมเนียไปเก็บไว้ในสารละลายกรดบอริกนำสารละลายที่ได้ไปไตไตรทด้วย H_2SO_4 0.1 N

3.5 การไตเตรท (Titration)

3.5.4 เติม H_2SO_4 0.1 N. ลงในบิวเรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

99418

3.5.5 นำสารละลายตัวอย่างใน Erlenmeyer flask ที่ได้จากการกลั่น มาทำการไตเตรทจนได้จุดยุติเป็นสีชมพู

3.5.6 เปรียบเทียบกับ Blank ทำเช่นเดียวกันทุกขั้นตอน ยกเว้นจะไม่ใส่สารตัวอย่าง

3.5.7 บันทึกปริมาตรของ H_2SO_4 0.1 N. ที่ใช้ในการไตเตรทสารตัวอย่าง และ Blank

3.6 การคำนวณปริมาณโปรตีน

$$\text{N content (\%)} = \frac{(A-B) \times 1.4 \times N \text{ ของ } H_2SO_4 \text{ ที่ใช้ไตเตรท}}{W}$$

A = ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ไตเตรทสารตัวอย่าง

B = ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ไตเตรท Blank

W =น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

1.4 = constant factor

% Crude Protein = N x 6.25

ค่า conversion factor ที่ใช้ในการคำนวณคือ 6.25

(เนื่องจากโดยทั่วไปโปรตีน 100 กรัม มีไนโตรเจน 16 กรัม

4. การวิเคราะห์ไขมัน

4.1 อุปกรณ์

4.1.1 เครื่องมือสกัดไขมันแบบ Soxlet (Soxlet apparatus)

4.1.2 Flask ก้นกลม Extraction thimble

4.1.3 สำลี, กระดาษกรอง

4.1.4 กระดาษฟรอยด์

4.1.5 โถดูดความชื้นและตู้อบ

4.2 สารเคมี

4.2.1 Petroleum ether

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 นำ flask ก้นกลมที่สะอาดไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งให้ได้น้ำหนักที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ชั่งสารตัวอย่างให้มีน้ำหนัก 2-5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ลงใน Extraction thimble (ตัวอย่างและ Extraction thimble ที่ใช้ควรผ่านการอบไล่ความชื้นออกแล้ว) อุดด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน จากนั้นนำใส่ลงในชุด Soxlet

4.3.3 เติม Petroleum ether ลงใน flask ก้นกลม 150 มิลลิลิตร ปิด Condenser ด้วยสำลีและหุ้มด้วยกระดาษฟรอยด์

4.3.4 เปิด Cooling bath โดยตั้งอุณหภูมิที่ 5-10 °C

4.3.5 เปิดเครื่องมือให้ความร้อน โดยเริ่มแรกให้หมุนปุ่มไปที่ตำแหน่งให้ความร้อน 3 (การปรับตำแหน่งระดับของความร้อนที่ใช้ ให้สังเกตจากการเดือดของสารละลาย โดยสารละลายควรเดือดในระดับที่สมดุลย์กับการกลั่นตัวของไอ)

4.3.6 การสกัดใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง ก็สามารถสกัดไขมันจากตัวอย่างอาหารได้หมดจากนั้นนำ thrimber ออกจากชุด soxlet

4.3.7 กลั่นเก็บ solvent ต่อ จนกระทั่ง petroleum ether ใน flask ก้นกลมเกือบหมด

4.3.8 นำ flask ก้นกลมที่มีไขมันอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก

4.4 การคำนวณปริมาณไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน (Crude lipids)} = \frac{\text{(น้ำหนัก flask + ไขมันหลังสกัด) – น้ำหนัก flask ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์แคลเซียม

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 ถ้วยครูซิเบิล (Porcelain evaporating dish หรือ crucible)

5.1.2 Hot plate

5.1.3 Muffle furnance

5.1.4 Burette

5.1.5 แท่งแก้วคน

5.1.6 Volumetric flask ขนาด 250 ml.

5.1.7 น้ำกลั่น

5.1.8 ปิเปต ขนาด 50 ml. และขนาดอื่นๆ

5.1.9 บีกเกอร์ขนาด 250 ml. และบีกเกอร์สำหรับกรอง

5.1.10 กระจกนาฬิกา

5.1.11 กระดาษกรองเบอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สารเคมี

5.2.1 HNO_3 conc.

5.2.2 6 N HCl

5.2.3 HCl 50%

5.2.4 H_2SO_4 conc.

5.2.5 สารละลาย NH_4OH conc.

5.2.6 Ammonium oxalate 4%

5.2.7 Potassium permanganate 0.05 N

5.2.8 Ammonium hydroxide เจือจาง

5.2.9 Methyl red

5.2.10 ยูเรีย

5.2.11 Calcium chloride

5.3 วิธีการทดลอง

5.3.1 ชั่งตัวอย่างอาหารโดยให้มีแคลเซียมในอาหารอยู่อย่างน้อย 5 mg. (ประมาณ 3 กรัมของอาหาร) ลงใน crucible นำไปเผาบน Hot plate จนแห้ง

5.3.2 นำไปเผาต่อในเตาเผา โดยค่อยเร่งอุณหภูมิไปที่ 550°C ทำการเผาเป็นระยะเวลา 3-4 ชม.

5.3.3 นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นและทำให้ชื้นด้วยกรดไนตริก โดยใช้แท่งแก้วค่อยๆหยดพอชื้น ตั้งบน Hot plate จนแห้ง

5.3.4 นำกลับไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C อีกเป็นระยะเวลา ½ ชั่วโมง ถ้าแกเถ้าที่ได้ยังไม่ขาวให้เติมกรดไนตริกอีก ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเผาซ้ำอีกครั้ง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

5.3.5 นำเถ้าที่ได้จากการเผามาเติม HCl 50% จำนวน 10 ml.

5.3.6 นำไปตั้งบน hot plate ต้มเพื่อให้เถ้าละลายให้หมด ใช้แท่งแก้วคน (ควรเปิดไฟอ่อนๆ ขนาดเบอร์ 1-1.5)

5.3.7 ถ่ายสารละลายลงใน volumetric flask ขนาด 250 ml. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.3.8 ปิเปตสารละลายมา 50 ml. ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml. หยด methyl red 1-2 หยด (เป็นกรด มีสีส้มแดง) ทำให้เป็นกลางด้วย NH_4OH conc. จนสารละลายมีสีเหลืองอ่อนๆของ methyl red

5.3.9 เติม 6 N HCl จำนวน 1.5 ml. ยูเรีย 5 กรัม และ ammonium oxalate 4% จำนวน 5 ml. ลงไปในบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.10 ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำไปต้มจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีขาว ทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 ล้างตะกอนด้วยแอมโมเนียมเจือจางจนหมด oxalate (ทดสอบโดยหยด $CaCl_2$ ในน้ำล้าง ถ้ายังเกิดตะกอนแสดงว่า oxalate ยังไม่หมด)

5.3.11 เอาบีกเกอร์ใบเดิมที่ใช้ตกตะกอน รองใต้กระดาษกรอง เจาะกระดาษกรองให้เป็นรู ล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดตะกอนแล้วเติม H_2SO_4 conc. จำนวน 2.5 ml. นำไปอุ่นใน hot plate ที่ 85°C

5.3.12 นำมาไตเตรทกับ potassium permanganate 0.05 N จนได้สารละลายสีชมพูจางๆ ปรากฏอยู่นานไม่ต่ำกว่า 30 วินาที แสดงว่าถึงจุด end point

5.4 คำนวณหา %Ca

1 ml. ของ 0.05 KmnO4 = 0.001 กรัมของแคลเซียม

$$\% Ca = \frac{ml. \times 0.001 \times 100 \times 5}{W}$$

ml =จำนวนของ $KMnO_4$

W =จำนวนน้ำหนักของอาหารที่วิเคราะห์

6. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในอาหารโดยวิธี Spectrophotometry

6.1 อุปกรณ์

6.1.1 Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร และ 100 มิลลิลิตร

6.1.2 Volumetric pipet ขนาด 25 ml.

6.1.3 บีกเกอร์ขนาด 250 ml.

6.1.4 Graduated pipet ขนาด 10 ml.

6.1.5 Graduated test tube ขนาด 10 ml. พร้อมฝาปิด 6 หลอด

6.1.6 Spectrophotometer , cuvett

6.2 สารเคมี

6.2.1 Molybdovanadate reagent

6.2.1.1 ละลาย 20 กรัม แอมโมเนียมโมลิบเดท ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร (solution A)

6.2.1.2 ละลาย 1 กรัม แอมโมเนียเมตเมต้าวาเดท ในน้ำกลั่นร้อน 125 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติม 225 มิลลิลิตร 70% กรดเปอร์คลอริก (solution B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

6.2.1.3 ค่อยๆริน solution A ลงใน solution B ช้าๆ คนให้เข้ากันปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

6.2.2 Phosphorous standard stock solution

ละลายโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ที่บริสุทธิ์และแห้งหนัก 0.4394 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

6.2.3 HCl 50%(v/v)

6.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

6.3.1 ละลายโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ที่บริสุทธิ์และแห้งหนัก 0.4394 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร (1 ml. ของสารละลายที่ทำให้เจือจางแล้วนี้ จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส0.10 mg.)

6.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานของโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตให้มีความเข้มข้นที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 ppm. ตามลำดับ แล้วเติม Molybdovanadate reagent 10 ml. เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 50 ml. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (%absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 nm.

เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอยู่บนแกน X และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) อยู่บนแกน Y หาปริมาณของฟอสฟอรัสในสารละลายตัวอย่างได้โดยการอ่านค่าจากเส้นกราฟมาตรฐาน

6.4 ละลายตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

6.4.1 ถ่ายเถ้าที่ได้จากการเผาลงใน บีกเกอร์ขนาด 250 ml. โดยใช้กรดเจือจาง (HCl 50%) และน้ำกลั่นร้อนช่วยล้างเถ้าในครูซิเบิล เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ประมาณ 75 ml.

6.4.2 ต้มให้เดือดช้าๆบน hot plate ระเหยน้ำให้เหลือประมาณ 50 ml. ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที – 1ชม.

6.4.3 กรองสารละลายใส่ Erlenmeyer flask 250 ml. โดยใช้กระดาษกรองที่ไม่มีเถ้า ใช้น้ำกลั่นร้อนล้างตะกอนลงบนกระดาษกรอง

6.4.4 ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงใน Erlenmeyer flask ที่มีสารละลายข้างต้น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 ml.

6.4.5 ใช้ปิเปตดูดสารละลายข้างต้นมา 2 ml. ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 ml. และเติม molybdovanadate reagent 10 ml.

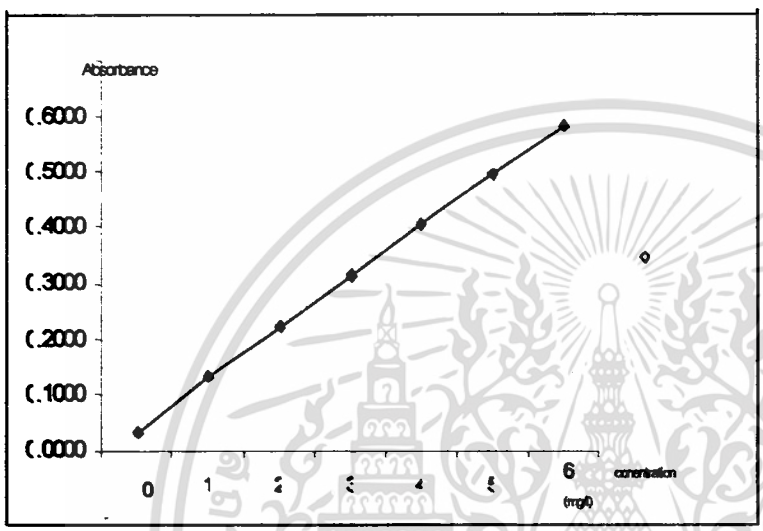
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.6 เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดสีเหลืองแล้วนำไป วัดค่า %absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ 400 nm.

6.4.7 อ่านค่าฟอสฟอรัสในตัวอย่างอาหารจากกราฟมาตรฐาน

6.5การคำนวณ

% Phosphorous ในอาหาร = $\frac{\text{ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่อ่านได้จากกราฟ x 25x250x100}}{\text{1000 x น้ำหนักอาหาร (mg.)}}$



7. การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 หลอดทดลองขนาด 20 มล.

7.1.2 Vortex

7.1.3 เครื่องวัด spectrophotometer

7.2 สารเคมี

7.2.1 Phenol 5%

7.2.2 H_2SO_4 conc.

7.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

7.3.1 ดูดตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ 5 ml.ลงในหลอดทดลอง

7.3.2 vortex

7.3.3 เติม H_2SO_4 conc. 10 ml. แล้วเขย่าด้วย Voretex ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4 นำสารละลายมาวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 485 nm.

7.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

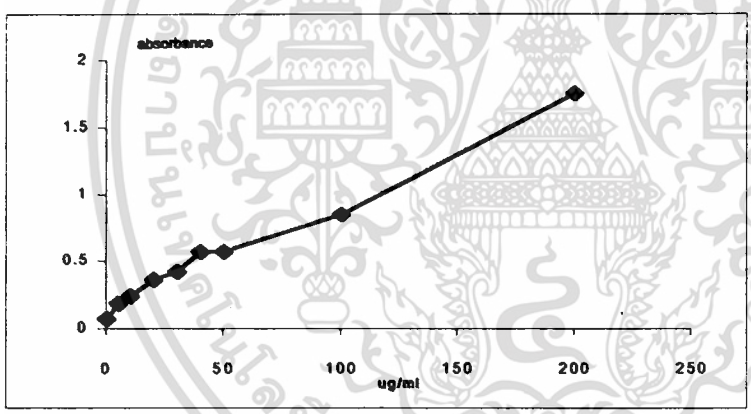
7.4.2 เตรียมสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 1 mg/ml.

เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสให้มีความเข้มข้นที่ 0, 10, 20, 40, 50, 100, 200 µg/ml. ตามลำดับ phenol 5% 1 ml. เขย่า เติม H_2SO_4 10 ml.เขย่าแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (%absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 485 nm.

เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอยู่บนแกน X และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) อยู่บนแกน Y หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตของละลายตัวอย่างได้โดยการอ่านค่าจากเส้นกราฟมาตรฐาน

7.5การคำนวณ

$$\% \text{ carbohydrate} = \frac{\text{slope x total value x } OD_{485} \text{ x } 100}{\text{dry weight x } 1000}$$



สมการที่ได้ y = ax+b

โดยที่ y= ค่า absorbance

x= ความเข้มข้นของ คาร์โบไฮเดรต

การคำนวณ% คาร์โบไฮเดรต $x = \frac{y-b}{a}$

8. การหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry's method

8.1 อุปกรณ์

8.1.1 หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.2 ปิเปตขนาด 1 ml.

8.1.3 ปิเปตขนาด 5 ml.

8.1.4 Vortex

8.1.5 เครื่อง spectrophotometer

8.2 สารเคมี

8.2.2 1 N NaOH

8.2.3 reagent A (5% Na_2CO_3)

8.2.4 reagent B (1% $CuSO_4.5H_2O$)

8.2.5 reagent C (2% $NaKC_4H_6O_6.4H_2O$)

8.2.6 reagent D (ผสม A 50 ml.+ B 1 ml. + C 1 ml.)

8.2.7 Folin-Ciocalteau reagent (เจือจาง 1:1)

8.3 วิธีการ

8.3.1 ดูดตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติม 1 N NaOH จำนวน 0.5 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง นำไปต้มเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น

8.3.2 เติม reagent D จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex ทิ้งไว้ 10 นาที

8.3.3 เติม Folin-Ciocaleau 0.5 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

8.3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm.

8.4 เตรียม standard curve จาก bovine serum albumin (BSA)

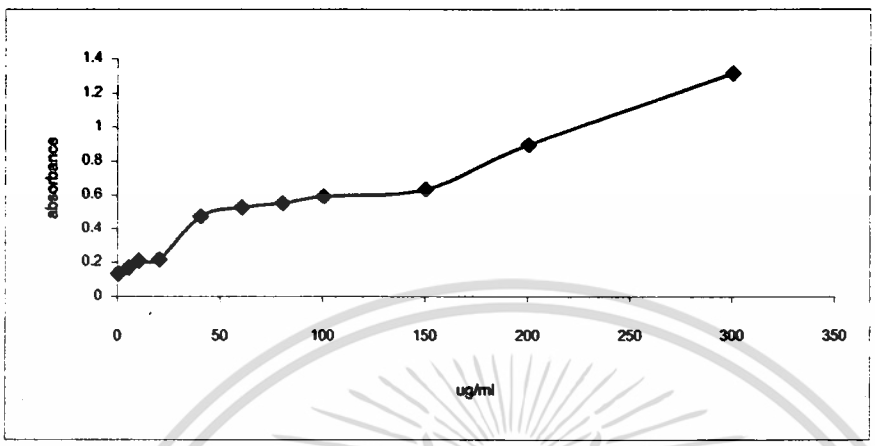
เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40, 60, 80 ,100, 150, 200, 300 µg/ml. แล้วเติม 1 N NaOH 0.5 ml. เติม reagent D 2.5 ml. ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติม Folin-Ciocaleau 0.5 ml. เขย่าทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (%absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 nm.

เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอยู่บนแกน X และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) อยู่บนแกน Y หาปริมาณของโปรตีนสารละลายตัวอย่างได้โดยการอ่านค่าจากเส้นกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 การคำนวณ

$$\% \text{ Protein} = \frac{\text{slope x OD x ตัวอย่าง x100}}{\text{dry weight x 1000}}$$



สมการที่ได้ $y = ax+b$

โดยที่ y= โปรตีนค่า absorbance

x= ความเข้มข้นของ โปรตีน

การคำนวณ% โปรตีน $x = \frac{y-b}{a}$

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบผลทางสถิติโดยวิธี one - ways anova โดยโปรแกรม SPSS v. 10.5

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองเดือนมิถุนายน – กุมภาพันธ์

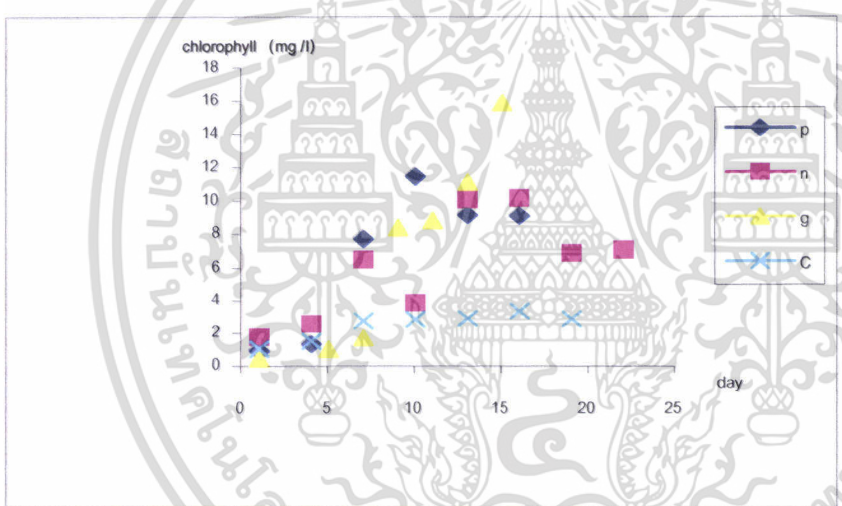
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหาร

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *P. angustissima*, *N. commune* และ *C. marchica* ในสูตรอาหาร BG-11 ที่มีความเข้มข้น 100% แล้ววัดการเจริญเติบโตทุกๆ 3 วัน ส่วน *Gloeocapsa* sp. จะทำการวัดการเจริญเติบโตทุกๆ 2 วัน จนกระทั่งปริมาณคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักแห้งค่อนข้างจะคงที่ แล้วจึงทำการเก็บเกี่ยวเซลล์ในรูปสาหร่ายแห้ง โดยวิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ระหว่างการทดลองพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *P. angustissima*, *N. commune* และ *C. marchica* ใช้เวลาประมาณ 20-24 วัน ส่วน *Gloeocapsa* sp. การเพาะเลี้ยงใช้เวลา 16-20 วัน

สาหร่ายที่เลี้ยงในสภาพกลางแจ้งพบว่าใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 25-30 วัน จึงสามารถทำการเก็บเซลล์ได้ (ปลายระยะ exponential phase/ต้นระยะ stationary phase)



p=*P. angustissima*, n= *N. commune*, c= *C. marchica*, g= *Gloeocapsa* sp.

ภาพที่ 1 กราฟปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด

ลัดดา (2540) กล่าวว่าระยะการเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถแบ่งได้เป็น 5 ระยะ คือ

1) ระยะปรับตัว (Lag phase) เป็นระยะที่เซลล์มีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่นแสง อุณหภูมิ และธาตุอาหาร การที่แพลงก์ตอนจะผ่านระยะปรับตัวเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซลล์และความอุดมสมบูรณ์ของอาหารที่เลี้ยง จากกราฟจะเห็นว่า *N. commune* และ *Gloeocapsa* sp. ใช้ระยะเวลาในการปรับตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 7-9 วัน ส่วน *P. angustissima* และ *C. marchica* มีการปรับตัวดีที่สุดใช้เวลาเพียง 3-4 วัน

2) ระยะเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential phase) เป็นระยะที่แพลงก์ตอนมีการเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ระยะนี้จะนานเท่าใดขึ้นกับปริมาณสารอาหารและคุณสมบัติทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง ในการทดลอง *N. commune* และ *P. angustissima* เข้าสู่ระยะนี้ประมาณวันที่ 4-13 ส่วน *Gloeocapsa* sp. เริ่มเข้าสู่ระยะนี้ประมาณวันที่ 10-20 แต่จะสังเกตเห็นว่าประมาณวันที่ 16 การเจริญของสาหร่ายเริ่มช้าลงอาจเนื่องจากสารอาหารมีปริมาณน้อย
3) ระยะเฉื่อย (declining relative growth) เป็นช่วงที่เซลล์มีการเจริญเติบโตช้าลง
4) ระยะคงที่ (stationary phase) เป็นระยะการเจริญเติบโตของสาหร่ายเริ่มหยุดนิ่ง เซลล์จะเริ่มตาย *N. commune* เข้าสู่ระยะนี้ประมาณวันที่ 16 ส่วน *P. angustissima* เข้าสู่ระยะนี้ประมาณวันที่ 10

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด คือ *P. angustissima*, *N. commune*, *Gloeocapsa* sp. และ *C. marchica*. ในสูตรอาหาร BG-11 ที่มีความเข้มข้นของอาหาร 100% พบว่าในบางช่วงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายบางชนิดลดลง ในกรณีของ *N. commune* ประมาณวันที่ 10 จะเห็นว่ามีการเจริญลดลงสาเหตุอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในบางช่วงอาจสูงหรือต่ำเกินไปไม่เหมาะต่อการเจริญของสาหร่าย เนื่องจากในบางช่วงเวลาที่ไม่ได้มีการเปิดเครื่องปรับอากาศพบว่าภายในห้องค่อนข้างที่จะร้อน นอกจากนี้อาจเกิดจากสาเหตุที่ปั๊มออกซิเจนมีความแรงไม่พอ ทำให้เซลล์สาหร่ายเกิดการกระจายตัวที่ไม่ดี ทำให้ได้รับสารอาหารไม่ทั่วถึง ทำให้การเจริญเติบโตไม่คงที่ ศิริเพ็ญ (2542) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะอยู่ในช่วง 30-35 °C นอกจากนี้การเขย่าขวดเพาะเลี้ยงสาหร่ายก็มีผลต่อการเจริญ เพราะทำให้เกิดการกระจายตัวและทำให้สาหร่ายได้รับสารอาหารทั่วถึง

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *P. angustissima*, *N. commune* *Gloeocapsa* sp., และ *C. marchica*. ตลอดการทดลองอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนมกราคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว สุพัตรา (2533) อ้างถึง นฤมล และคณะ (2532) ว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเจริญเจริญเติบโตของสาหร่าย เพราะในแต่ละฤดูจะมีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง จำนวนชั่วโมงที่มีแสงแดด เป็นต้น ฤดูกาลที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายสูงสุดคือ ฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝนตามลำดับ ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายครั้งนี้จึงจัดอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย สภาพการเลี้ยงสาหร่ายที่แตกต่างกัน คือ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้งมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการสาหร่ายจะได้รับแสงมากกว่า ทำให้มีการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนได้ดีกว่าในสภาพกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แจ้ง ซึ่งชุดการทดลองตั้งอยู่ภายใต้ตัวอาคารแสงสว่างอาจน้อยเกินไป แต่เมื่อทำการวัดความเข้มแสงพบว่าความเข้มแสงในห้องปฏิบัติการคือ 1618 Lux ส่วนสภาพกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ยคือ 8927 Lux นอกจากนี้อุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลากลางวันที่ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วของสาหร่ายที่เลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง อาจเป็นสาเหตุทำให้เซลล์สาหร่ายตาย ซึ่งอาจมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย

ศิริเพ็ญ (2542) กล่าวว่า แสงจากหลอดไฟธรรมดาจะให้ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายดีที่สุด รองลงมาคือแสงแดด และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้ความแรงของปั๊มอากาศก็มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน การปั๊มอากาศตลอดเวลาด้วยความแรงที่พอเหมาะจะช่วยให้การกระจายตัวของสาหร่ายเป็นไปได้ดีทำให้สาหร่ายได้รับสารอาหารอย่างทั่วถึง แต่ระหว่างการทดลองความแรงของปั๊มอากาศไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำมีการหมุนเวียน จึงเป็นสิ่งที่น่าคำนึงถึงในการเพาะเลี้ยง คือขนาดของภาชนะที่ใช้ต้องมีความเหมาะสม และจัดให้มีการหมุนเวียนของน้ำอย่างพอดีกับภาชนะ เพื่อให้ได้สาหร่ายที่มีผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

2.1 สาหร่ายจากสูตรอาหาร BG-11 ที่มีความเข้มข้น 100%

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแห้งแล้วนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการวิเคราะห์พบว่า *P. angustissima* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 2.0252±0.2359 ไขมัน (crude lipids) 8.6411±0.0861 เถ้า (ash) 15.6349±2.2270 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.8642±0.1548 แคลเซียม 0.3671±0.1692 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 42.4948±2.8050 ไขมัน (crude lipids) 10.4028±1.3738 เถ้า (ash) 13.2628±1.7640 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.9539±0.0282 แคลเซียม 0.3799±0.1176 *Gloeocapsa* sp. มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 57.0092±1.0046 ไขมัน (crude lipids) 9.1437±1.7603 เถ้า (ash) 16.5781±3.9315 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 1.1734±0.0637 แคลเซียม 0.4026±0.1659 *C. marchica* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 3.6752 ±0.3972 ไขมัน (crude lipids) 0.4930±0.1363 เถ้า (ash) 20.2659±4.7688 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.8901±0.0488 แคลเซียม 0.5689±0.2750 (ตารางที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่สูตรอาหาร BG-11เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	*P. angustissima*	*N. commune*	*Gloeocapsa sp*	*C. marchica*
moisture	8.5752±0.3053^{ab}	6.2231±0.1896^{c}	8.1303±0.9470^{b}	9.9995±1.1774^{a}
ash	15.6349±2.227^{ab}	13.2628±1.7640^{b}	16.5781±3.9315^{ab}	20.2659±4.7688^{a}
lipid	8.6411±0.0861^{a}	10.4028±1.3738^{a}	9.1437±1.7603^{a}	0.4930±0.1363^{b}
protein	2.025±0.2359^{c}	42.4948±2.8050^{b}	57.0092±1.0046^{a}	3.6751±0.3972^{c}
carbohydrate	65.0969±0.2678^{a}	26.0445±2.0517^{b}	9.5070±6.9690^{c}	63.8760±4.5362^{a}
calcium	0.3671±0.1692^{a}	0.3799±0.1176^{a}	0.4026±0.1659^{a}	0.5689±0.2750^{a}
phosphorous	0.8642±0.1548^{b}	0.9539±0.0282^{b}	1.1734±0.0637^{a}	0.8901±0.0488^{b}

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่าย *P. angustissima, N. commune* , *Gloeocapsa* sp. และ C. *marchica* ในรูปสาหร่ายแห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพบว่าปริมาณโปรตีนในสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ *Gloeocapsa* sp. มีปริมาณโปรตีน (crude protein) เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละของน้ำหนัก คือ 57.0092 % ไขมัน (crude lipids) ที่สกัดจาก *C. marchica* มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายอื่นๆ ปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัสมีค่ามากสุดคือ *Gloeocapsa* sp. ในขณะที่สาหร่ายอีก 3 ชนิดคือ *N. commune, P. angustissima* และ *C. marchica* มีปริมาณแร่ธาตุไม่แตกต่างกัน แร่ธาตุแคลเซียมในสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากสุดพบในสาหร่าย *P. angustissima* (65.097%) และรองลงมา คือ *C. marchica* (63.876%) และมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับสาหร่ายอีก 2 ชนิดคือ *Gloeocapsa* sp. และ *N. commune* ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารกับสาหร่ายชนิดอื่น วิพัฒน์ (2523) อ้างถึง Zajic. (1970 :67) ว่าจากการวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของโปรตีนจากสาหร่ายในต่างประเทศพบว่าสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* sp., *Pithophora* sp. มีโปรตีน 40-50% และ 55% ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina maxima* มีโปรตีน 62-68% ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ปริมาณโปรตีนมากสุดที่พบในการทดลองมีเพียง 31% ซึ่งได้จากสาหร่าย *N. commune* ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina maxima* และจากการศึกษาของสำรวย และคณะ (2530) ที่ได้ทำการศึกษาชนิดและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทพืชบางชนิดในบึงสีไฟ พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของเทาน้ำ (*Spirogyra* sp.) ซึ่งเป็นสาหร่ายขั้นต่ำประกอบด้วยโปรตีน 12.81 เปอร์เซ็นต์ไขมัน 0.30 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 13.36 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเถ้าอยู่ 11.99 เปอร์เซ็นต์

1.2 สาหร่ายจากสูตรอาหาร BG-11 ที่มีความเข้มข้น 50%

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแล้วนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการวิเคราะห์พบว่า *P. angustissima* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 42.4593±0.6520 ไขมัน (crude lipids) 0.3274±0.0780 เถ้า (ash) 11.7477±1.2966 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.7921±0.0061 แคลเซียม 0.3602±0.0748 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 43.0579±0.4348 ไขมัน (crude lipids) 4.9722±0.5889 เถ้า (ash) 16.0461±1.6046 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.8634±0.012 แคลเซียม 0.7116±0.1751 *Gloeocapsa* sp. มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 35.5959±1.6407 ไขมัน (crude lipids) 2.8091±1.3279 เถ้า (ash) 13.8454±0.1762 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 1.1598±0.0269 แคลเซียม 0.4363±0.0969 *C. marchica* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 3.4348±0.5296 ไขมัน (crude lipids) 3.2638±3.1184 เถ้า (ash) 15.7593±6.0365 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.9358±0.0072 แคลเซียม 0.4472±0.1098 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่อาหารเข้มข้น 50%

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	*P.angustissima*	*N. commune*	*Gloeocapsa sp.*	*C. marchica*
moisture	9.4410±0.3879^{a}	7.3113±1.0005^{b}	8.8384±0.1359^{a}	5.593±0.6140^{b}
ash	11.7477±1.2966^{a}	16.0461±1.6046^{a}	13.8454±0.1762^{a}	15.7593±6.0365^{a}
lipid	0.3274±0.0780^{b}	4.9722±0.5889^{a}	2.8091±1.3279^{ab}	3.2638±3.1184^{ab}
protein	42.4593±0.6520^{a}	43.0579±0.4349^{a}	35.5959±1.6407^{b}	3.4348±0.5297^{c}
carbohydrate	34.0024±0.1125^{b}	5.5364±1.3773^{c}	37.0286±0.1533^{b}	73.2173±3.7544^{a}
calcium	0.36023±0.0748^{b}	0.7116±0.17507^{a}	0.43627±0.0969^{b}	0.4472±0.1098^{b}
phosphorous	0.7921±0.0061^{d}	0.8634±0.00117^{c}	1.1598±0.0269^{a}	0.9358±0.0072^{b}

ตัวอักษร (a, b, c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *Gloeocapsa* sp และ *C. marchica* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแตกต่างจากสาหร่าย *P. angustissima* และ *N. commune* โดยที่ *N. commune* มีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ 43.0579% ในขณะที่ *C. marchica* มีต่ำสุดคือ 3.43 % ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่า *C. marchica* มีปริมาณสูงสุดคือ 73.21 % ซึ่งแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไขมันที่สกัดจาก *P. angustissima* และ *N. commune* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ *N. commune* ให้ปริมาณไขมันสูงถึง 4.97% ในขณะที่ *P. angustissima* มีปริมาณไขมันเพียง 0.32 % ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมพบว่า *N. commune* มีปริมาณสูงซึ่งแตกต่างจากสาหร่ายอีก 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนแร่ธาตุฟอสฟอรัส พบว่าในสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบมากที่สุดในสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. และน้อยที่สุดในสาหร่าย *P. angustissima*

2.3 สาหร่ายจากสูตรอาหาร BG-11 ที่มีความเข้มข้น 10%

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแล้วนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการวิเคราะห์พบว่า *P. angustissima* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 33.3867±0.4097 ไขมัน (crude lipids) 1.6768±2.6858 เถ้า (ash) 16.5755±2.7893 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.6271±0.0131 แคลเซียม 0.6123±0.1558 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 40.8284 ไขมัน (crude lipids) 0.7845±0.0894 เถ้า (ash) 15.2185±0.8312 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.5379±0.0110 แคลเซียม 0.6937±0.2796 *Gloeocapsa* sp. มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 31.2763±1.3434 ไขมัน (crude lipids) 0.1561±0.0230 เถ้า (ash) 13.4818±0.4101 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.5335±0.0187 แคลเซียม 0.5793±0.0827 *C. marchica* มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ โปรตีน (crude protein) 4.3507±0.4535 ไขมัน (crude lipids) 0.8971±0.076 เถ้า (ash) 17.1761±2.9646มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ ฟอสฟอรัส 0.7613±0.0593 แคลเซียม 0.6194±0.1839 (ตารางที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่อาหารเข้มข้น 10%

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	*P.angustissima*	*N. commune*	*Gloeocapsa sp.*	*C. marchica*
moisture	8.5941±1.5681[a]	7.5278±0.3213[a]	8.8094±0.3573[a]	2.7960±1.796[b]
ash	16.5755±2.7893[a]	15.2185±0.8312[a]	13.4818±0.4101[a]	17.1761±2.9646[a]
lipid	1.6768±2.6858[a]	0.7845±0.0894[a]	0.1561±0.0230[a]	0.8971±0.076[a]
protein	33.3867±0.4097[b]	40.8284±1.0989[a]	31.2763±1.3434[b]	4.3507±0.4535[c]
carbohydrate	36.402±6.8247[bc]	33.5655±1.2447[c]	44.7625±0.8959[b]	74.5359±2.7642[a]
calcium	0.6123±0.1558[a]	0.6937±0.2796[a]	0.5793±0.0827[a]	0.6194±0.1839[a]
phosphorous	0.6271±0.0131[b]	0.5379±0.0110[c]	0.5335±0.0187[c]	0.7613±0.0593[a]

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Gloeocapsa sp., *N. commune*, *C. marchica* และ *P. angustissima* มีปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบปริมาณโปรตีนสูงสุดในสาหร่าย *N. commune* (40.82%) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสาหร่าย *C. marchica* พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดและมีค่าแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคือ แร่ธาตุแคลเซียมพบว่าในสาหร่ายแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแร่ธาตุฟอสฟอรัสในสาหร่าย *Gloeocapsa* sp., *N. commune* ไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่สาหร่ายชนิดอื่นมีความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแร่ธาตุที่พบในสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด พบว่า *C. marchica* มีปริมาณเถ้าสูงสุด แต่ไม่พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติจากสาหร่ายชนิดอื่น ปริมาณไขมันพบมากที่สุด ในสาหร่าย *P. angustissima* แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *P. angustissima* ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	สูตรอาหารเข้มข้น100%	สูตรอาหารเข้มข้น50%	สูตรอาหารเข้มข้น10%
moisture	8.5751±0.3053[a]	9.44099±0.3879[a]	8.5941±1.5681[a]
ash	15.6349±2.271[ab]	11.7477±1.2966[b]	16.5755±2.7893[a]
lipid	8.6411±0.0861[a]	0.3274±0.0780[b]	1.6768±2.6858[b]
carbohydrate	65.0969±0.2678[a]	34.0024±0.1125[b]	36.402±6.82467[b]
phosphorous	0.8642±0.1548[a]	0.7921±0.0061[ab]	0.6271±0.0131[b]
calcium	0.3671±0.1692[a]	0.3602±0.0747[a]	0.6123±0.1558[a]
protein	2.0252±0.2359[c]	42.4593±0.6520[a]	33.3867±0.4097[b]

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายในอาหารทั้ง 3 ความเข้มข้น พบว่าในสาหร่าย *P. angustissima* ที่เลี้ยงในอาหารเข้มข้น 10% มีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ 16.58% ปริมาณไขมันพบมากที่สุดที่ความเข้มข้นอาหาร 100% คือ 8.64% ซึ่งมากว่าที่พบในความเข้มข้นอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด คาร์โบไฮเดรตพบมากที่สุดในอาหารเข้มข้น 100% ซึ่งแตกต่างจากอาหารความเข้มข้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในอาหารความเข้มข้นอื่นๆ ก็ไม่มีความแตกต่างกันมากนักคือระหว่าง 34-36% ส่วนปริมาณโปรตีนพบว่าที่อาหารเข้มข้นต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบมากในอาหาร 50% ในขณะที่อาหาร 100% มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด แร่ธาตุแคลเซียมพบสูงสุดในอาหารเข้มข้น 10% คือ 0.61% และแร่ธาตุฟอสฟอรัสพบมากในอาหารเข้มข้น 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N. commune* ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	สูตรอาหารเข้มข้น100%	สูตรอาหารเข้มข้น50%	สูตรอาหารเข้มข้น10%
moisture	6.2231±0.1896^{b}	7.3113±1.0005^{ab}	7.5278±0.3213^{a}
ash	13.2625±1.7641^{a}	16.046±1.6045^{a}	15.2102±0.8312^{a}
lipid	10.4028±1.3738^{a}	4.9722±0.5890^{b}	0.7846±0.0894^{c}
carbohydrate	26.0445±2.0517 ^{b}	25.5363±1.3772^{b}	33.5655±1.2447^{a}
phosphorous	0.9539±02823^{a}	0.8634±0.01165^{b}	0.5379±0.0110^{c}
calcium	0.3800±0.1179^{a}	0.7160±0.1751^{a}	0.6937±0.2797^{a}
protein	42.4947±2.8050^{a}	43.0579±0.4348^{a}	40.8284±1.0988^{a}

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปริมาณเถ้าที่พบใน *N. commune* ที่อาหารเข้มข้น 100% มีปริมาณเถ้าน้อยสุดคือ 13.26% และที่อาหารเข้มข้น 50 และ 10% มีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ระหว่าง15.22-16.04% ส่วนปริมาณไขมันพบมากในอาหารเข้มข้น 100% คือ 10.4028% ขณะที่อาหารเข้มข้น 50,10% มีปริมาณแคลเซียมค่อนข้างมากคืออยู่ระหว่าง 0.692-0.711% ส่วนแร่ธาตุฟอสฟอรัสพบมากที่อาหารเข้มข้น 100% ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบมากสุดในอาหารเข้มข้น 10% แต่ปริมาณโปรตีนในอาหารทั้ง 3 สูตรไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	สูตรอาหารเข้มข้น100%	สูตรอาหารเข้มข้น50%	สูตรอาหารเข้มข้น10%
moisture	8.1303±0.8470^{a}	8.8384±0.1360^{a}	8.8094±0.3573^{a}
ash	16.5781±3.9315^{a}	13.8454±0.1762^{a}	13.4818±0.4102^{a}
lipid	9.1437±1.7603^{a}	2.8091±1.3279^{b}	0.1561±0.0230^{c}
carbohydrate	9.5070±6.9690^{b}	37.0286±0.1532^{a}	44.7625±0.8959^{a}
phosphorous	1.1734±0.0637^{a}	1.1598±0.02687^{a}	0.5335±0.0187^{b}
calcium	0.4026±0.1659^{a}	0.4363±0.0969^{a}	0.5793±0.0827^{a}
protein	57.0093±1.0046^{a}	35.5959±1.6407^{b}	31.2763±1.3434^{c}

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gloeocapsa sp. ที่เลี้ยงในอาหารเข้มข้น 100% พบว่ามีปริมาณเถ้า, ไขมันมากสุดคือ 16.28% และ 9.14% ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนในอาหารทั้ง 3 ความเข้มข้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบมากในอาหารเข้มข้น 100% คือ 57.0092 % แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบมากที่อาหารเข้มข้น 10% ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในส่วนของแร่ธาตุฟอสฟอรัสในอาหารเข้มข้น 10 % พบว่ามีปริมาณน้อยที่สุด 0.53% ในขณะที่อาหารเข้มข้น 100, 50% มีค่าใกล้เคียงกันคือ 1.15-1.17%

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *C. marchica* ที่อาหารความเข้มข้นต่างกัน

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	สูตรอาหารเข้มข้น100%	สูตรอาหารเข้มข้น50%	สูตรอาหารเข้มข้น10%
moisture	9.9995±1.1774[a]	6.5593±0.6140[b]	2.7959±1.7956[c]
ash	20.2659±4.7688[a]	15.7593±6.0365[a]	17.1761±2.9646[a]
lipid	0.4929±0.1363[a]	3.2639±3.1154[a]	0.8972±0.0726[a]
carbohydrate	63.8760±4.5362[a]	73.2173±3.7544[a]	74.5359±2.7642[a]
phosphorous	0.8901±0.0488[a]	0.9358±0.0072[a]	0.76133±0.0599[b]
calcium	0.5689±0.2750[a]	0.4472±0.1097[a]	0.6194±0.1839[a]
protein	3.6752±0.3972[a]	3.4348±0.5297[a]	4.3507±0.4535[a]

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

C. marchica ที่อาหารเข้มข้น 100% มีเถ้าและคาร์โบไฮเดรตสูงสุดคือ 20.27% และ 74.53% แต่ในส่วนของปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเมื่อเปรียบเทียบแล้วไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสพบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากคือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4-0.6% และ 0.7-0.9 % ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่อาหารความเข้มข้นที่แตกต่างกันจะมีคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน ซึ่ง สุพัตรา (2533) อ้างถึง Vertakaraman (1983) ว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายแตกแตกต่างกันไป ขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง สารอาหาร เป็นต้น จากการศึกษาของ สุรีย์วรรณ (2536) ในการหาความแปรปรวนขององค์ประกอบของสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงด้วยสารอาหาร Zarrouk's media น้ำเสียจากโรงงานมันสำปะหลัง และน้ำกากมูลโคหมักจากบ่อแก๊สชีวภาพ พบว่าสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหาร Zarrouk's media (63.13 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าสาหร่ายเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (55.37 เปอร์เซ็นต์) และน้ำกากมูลโคหมักจากบ่อแก๊สชีวภาพ (47.80 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจาก Zarrouk's media มีสารอาหารที่สามารถนำไปใช้สร้างเซลล์สาหร่ายได้ดี ทั้งยังไม่มีตะกอนเจือปนในขณะเก็บเกี่ยวสาหร่าย แต่จากการทดลองนี้จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนของสาหร่ายที่อาหารเข้มข้นต่างกันแทบจะไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ยกเว้นในสาหร่าย *P. angustissima* ที่พบโปรตีนมากสุดที่อาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ (42.46 เปอร์เซ็นต์) ส่วนปริมาณเถ้าก็ไม่พบความแตกต่างต่างเช่นเดียวกัน นอกจากสาหร่าย *P. angustissima* ที่อาหารเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์พบว่ามีปริมาณเถ้ามากสุด (16.57 เปอร์เซ็นต์)

ผลการวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Lowry's method และคาร์โบไฮเดรต แสดงในตารางผนวกที่ 10

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงใน Zarrouk's media

รายการ	ปริมาณ
องค์ประกอบทั้งหมด (% น้ำหนักแห้ง)	
ความชื้น	7.0
เถ้า	9.0
โปรตีนรวม	71.0
เยื่อใย	0.9
คาร์โบไฮเดรต	16.5
ไขมัน	7.0
กรดอะมิโน (% น้ำหนักแห้ง)	
ไอโซลูซีน (Isoleucine)	4.13
ลูซีน (Leucine)	5.50
ไลซีน (Lysine)	4.00
เมไธโอนีน (Methionine)	2.17
เฟนนีลอลานีน (Phenylalanine)	3.95
ทรีโอนีน (Threonine)	4.17
ทริพโตเฟน (Tryptophan)	1.13
วาลีน (Valine)	6.00
อลานี (Alanine)	5.82
อาร์จีนีน (Arginine)	5.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
กรดแอสปาร์ติก (Aspartic acid)	6.32
ซีสตีน (Cystine)	0.67
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	8.94
กลัยซีน (Glycine)	3.46
ฮิสติดีน (Histidine)	1.08
โปรลีน (Proline)	2.97
ซีรีน (Serine)	4.00
ไทโรซีน (Tyrosine)	1.60
ไขมัน	
กรดไขมัน	5.7
อื่นๆ	1.3
วิตามิน-เกลือแร่ (มก./กก. น้ำหนักแห้ง)	
ไบโอติน (Biotin)	0.4
ไซยาโคโนบาลามีน (Cyanocobalamine), B12	2.0
ดี-แคลเซียม แพนโตธิเนต (d-Ca-pantothinate)	11.0
กรดโฟลิก (Folic acid)	0.5
อิโนซิทอล (Inositol)	350.0
กรดนิโคตินิก (Nicotinic acid)	118.0
ไพรีดอกซีน (Pyridoxine) , B6	3.0
ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) , B2	40.0
ไทอามีน (Thiamine) , B1	55.0
โทโคฟีรอล (Tocopherol) , E	190.0
เบต้า-แคโรทีน (ß-carotine)	1,700.0
แคลเซียม	1,315.0
ฟอสฟอรัส	8,942.0
เหล็ก	580.0
โซเดียม	412
คลอไรด์	4,400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
แมกนีเซียม	1,915
แมงกานีส	25
สังกะสี	39
โปแตสเซียม	15,400
อื่นๆ	57,000

ที่มา : สุรีย์วรรณ (2536) อ้างถึง Hill (1980)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบองค์ประกอบของสารอินทรีย์ของ *Spirulina* spp., *Chlorella* spp. และถั่วเหลือง

องค์ประกอบสารอินทรีย์	*Spirulina*	*Chlorella*	ถั่วเหลือง
โปรตีน	69.5-71%	40-56%	39%
คาร์โบไฮเดรต	12.5%	10-25%	36%
ไขมัน	8.0%	10-30%	19%
วิตามิน	โปรวิตามินเอ, บี-1,บี-2, บี-6,บี-12, อี, โฟลิค แอซิด, แพนโทเธนิค แอซิด	โปรวิตามินเอ, บี-1, บี-2, บี-6, นิโคตินิค แอซิด	บี-1, บี-2, บี-6
สารให้สี	คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานิน	คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์	

ที่มา : โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)

ถึงแม้ว่าจากการทดลองพบว่า *N. commune* มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดคือ 57.0092% แต่เมื่อเทียบปริมาณโปรตีนกับ *Spirulina* spp. และ *Chlorella* spp. พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 12) ในขณะเดียวกันเมื่อเทียบกับโปรตีนที่ได้จากเนื้อวัว และไข่ไก่พบว่ามีปริมาณโปรตีนมากกว่าเกือบ 2-3 เท่า (ตารางที่ 13) และเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าอาหารกับสาหร่ายเห็ดลาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(*N. commune*) ที่พบในพื้นที่คุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติป่าดูนลำพัน ปรากฏว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างเด่นชัด โดยสาหร่ายที่ได้จากการทดลองมีโปรตีน ไขมัน มากกว่า แต่แร่ธาตุแคลเซียมพบน้อยกว่าสาหร่ายที่พบในธรรมชาติ (ตารางที่3) เหตุที่สาหร่ายในการทดลองมีปริมาณคุณค่าสารอาหารมากกว่าอาจเป็นเพราะว่าสาหร่ายได้รับสารอาหารเพียงพอที่นำไปสร้างเซลล์ ในขณะที่สาหร่ายในธรรมชาติมีธาตุอาหารที่จำกัด ซึ่งอาจมีผลต่อการสร้างเซลล์ของสาหร่าย

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของ *Gloeocapsa* sp., *N. commune*, *C. marchica* และ *P. angustissima* กับอาหารโปรตีนอื่นๆ

แหล่งอาหาร	จำนวนเปอร์เซ็นต์	เอกสารอ้างอิง
P. angustissima	1.8-2.3	จากการศึกษาครั้งนี้
N. commune	40-45	จากการศึกษาครั้งนี้
Gloeocapsa sp.	56-58	จากการศึกษาครั้งนี้
C. marchica	3-4	จากการศึกษาครั้งนี้
เนื้อวัว	18-20	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
ไข่	10-25	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
ข้าวสาลี	6-10	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
ข้าวเจ้า	7	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
ถั่วเหลือง	33-35	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
ปลาทู ปลาอินทรีย์	20	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
คลอเรลลา	40-56	จรูญ (2531)
สาหร่าย *Spirulina* spp.	69.5-71	โอภาส (2533) อ้างถึง เจียมจิตต์ (2531)
Spirogyra sp. (เทาน้ำ)	12.81	สำรวย และคณะ (2530)
สาหร่ายพุงชะโด	12.93	สำรวย และคณะ (2530)
Seratophyllum submersum	13.99	สำรวย และคณะ (2530)
สาหร่ายหางกระรอก	12.88	สำรวย และคณะ (2530)
สาหร่ายหางวัว	10.79	สำรวย และคณะ (2530)
สาหร่ายข้าวเหนียว	11.74	สำรวย และคณะ (2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 (ต่อ)

อาหารส่วนที่กินได้ 100 กรัม	โปรตีน, กรัม	Molar ratio ของ BCAA/AAA	ใยอาหาร, กรัม
ถั่วดำ	9.00	2.59	1.80
ถั่วงอกหัวโต	13.10	2.59	1.10
ถั่วฝักยาว	2.50	2.59	1.51
ส้มเขียวหวาน	0.90	2.56	2.40
อัลมอนด์	16.30	2.56	13.70
ถั่วเขียว	23.90	2.55	16.30
มันเทศ	1.70	2.53	0.85
ผักบุ้ง	2.60	2.53	1.10
หอมหัวใหญ่	1.20	2.53	0.44
งา	17.00	2.52	8.50
เผือก	0.50	2.45	0.86
ไข่เป็ด	12.80	2.42	0.00
มะเขือเปราะ	1.60	2.34	1.60
เมล็ดแตงโม	28.30	2.23	3.04
สตรอเบอรี่	0.60	2.21	0.53
หอมแดง	2.70	2.13	0.60
ฟักทอง	1.00	2.08	1.10
ถั่วลิสงแห้ง	25.70	2.05	4.89
องุ่น	0.60	2.03	0.76
ยอดมะพร้าว	2.10	1.97	0.70
ผักกาดดอง	3.50	1.94	2.90

ที่มา : http://www.thailiverclub.org/topics/cihhro3.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *P. angustissima*, *N. commune*, *C. marchica* และ *Gloeocapsa* sp. ในอาหาร BG-11 ที่ความเข้มข้น 100, 50 และ 10 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย พบปริมาณโปรตีนมากที่สุดในสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. ปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ 57.01±1.00 และรองลงมาคือ *N. commune* (42.49±2.81) ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบมากสุดในสาหร่าย *P. angustissima* มีค่า 65.09±0.2678 รองลงมาคือ *C. marchica* มีปริมาณ 63.87 ± 4.84 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในอาหารความเข้มข้นทั้ง 3 ความเข้มข้น ในสาหร่าย *P. angustissima* และ *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 50% มีปริมาณโปรตีนคือ 42.46±0.65 และ 43.05± 0.4348 ตามลำดับ ส่วนสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. พบปริมาณโปรตีนสูงสุดในสูตรอาหารเข้มข้น 100% ซึ่งมีปริมาณ 57.0093±1.0046 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่วิเคราะห์ได้จากสูตรอาหารเข้มข้นทั้ง 3 สูตรพบว่า *N. commune* และ *Gloeocapsa* sp. พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในอาหารเข้มข้น 10 % ปริมาณที่พบคือ 33.57±1.24 และ 44.76±0.90 ตามลำดับ ส่วนสาหร่าย *P. angustissima* และ *C. marchica* พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในสูตรอาหารเข้มข้น 100% และ 10 % โดยมีปริมาณ 65.10±0.27 และ 74.53±2.76 ตามลำดับ ซึ่งการที่สาหร่าย *P. angustissima* และ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรความเข้มข้น 50% มีปริมาณโปรตีนสูง ก็เป็นแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ของการเป็นแหล่งโปรตีน

Gloeocapsa sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นชนิดที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด 57.01±1.00 รองลงมาคือ *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ 43.06±0.43 สาหร่าย *P. angustissima* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณโปรตีน 42.46±0.65 และ *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณโปรตีน 4.35±0.45 ปริมาณไขมันพบมากที่สุดในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ 10.40±1.37 รองลงมาคือ *Gloeocapsa* sp. และ *P. angustissima* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีปริมาณ 9.14±1.76 และ 8.64±0.09 ตามลำดับส่วนสาหร่าย *C. marchica* พบปริมาณไขมันมากสุดในสูตรอาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ 3.26±3.11 ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมพบมากที่สุดในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ 0.72±0.18 สาหร่าย *P. angustissima* พบปริมาณแร่ธาตุมากสุดในอาหารสูตร 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ 0.61±0.16 สาหร่าย *Gloeocapsa* sp. มีปริมาณแคลเซียมมากสุดในสูตรอาหาร 10 เปอร์เซ็นต์ 0.57±0.08 สาหร่าย *C. marchica* มีปริมาณแคลเซียมสูงสุดในอาหารเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ 0.62±0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. การใช้ Chlorella sp. (K_3) ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเป็นอาหารของ *Moina macrocopa* Straus. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 169 น.

เจียมจิตต์ บุญสม. 2531. ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ **อ้างโดย** โอภาส วิชชุไตรภพ. 2533. ผลของสาหร่าย *Spirulina* spp. ที่มีผลต่อการเติบโตและการเกิดสีของนกกระทาพันธุ์ญี่ปุ่น (*Coturnix coturnix japonica*). ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 112 น.

ณรงค์ วงษ์พาณิช. 2532. การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยยีสต์. การค้าคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนเคมี) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 71 น. **อ้างโดย** สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา. 2533. คุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 96 น.

นฤมล จียโชค บุษยา บุนนาค และ มรกต ตันติเจริญ. 2532. การผลิตสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังในระดับโรงงานต้นแบบ. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **อ้างโดย** สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา. 2533. คุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บานชื่น ชลสวัสดิ์. 2532. การใช้สหร่ายเกลียวทองสดเป็นส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัญฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง) คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 78 น.

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไก. 29 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2540. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 117 น.

สำรวย เสร็จกิจ ประเสริฐ สีตะสิทธิ์ และ โชคชัย ศุภศันสนีย์. 2530. ชนิดและคุณค่าทางโภชนาหารของอาหารธรรมชาติประเภทพืชบางชนิดในบึงสีไฟ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 70 สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร. 17 น.

สุรีย์วรรณ เบญจรงค์. 2536. การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นอาหารแกะ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 88 น.

สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. สาหร่าย ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ "อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ" สกว. ชุดที่ 2. 356 น.

วิลาสินี เหล่าพงษ์พิชญ์. 2532. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำกากส่าเหล้า. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 60 น.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2542. รายงานการวิจัย : การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับอาหารเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจน. งานวิจัยพื้นฐาน สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 74 น.

อาภารัตน์ มหาขันธ์ อุษา กลิ่นหอม มยุรี ตั้งธนานุวัฒ น์ เจษฎา ทิพยะสุขศรี และ วัชรี กัลยาลัง. 2546. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune, Cyanophyta*)

Jean-Max Rouanet, Perrine Planes, Caroline Laurent, Jean-Claude Baccou, Pierre Besancon and Bertrand Caporiccio. 2002. Magnesium bioavailability from magnesium-fortified spirulina in cultured human intestinal Caco-2 cells. Food Chemistry 77. 213-218 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hill. 1980. The Secreats of Spirulina. University of the Trees Press, California. **อ้างโดย** สุรีย์วรรณ เบญจรงค์. 2536. การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นอาหารแกะ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 88 น.

Moti Harel, William Koven, Ingrid Lein, Yoav Bar, Paul Behrens, Jhon Stubblefield, Yoni Zohar and Allen R. Place. 2002. Advanced DHA, EPA and ArA enrichment materials for marine Aquaculture using single cell heterotrophs. Aquaculture 213. 387-362 pp.

Ventakaraman, L.V. 1983. A Monograph on Spirulina platensis Biotechnology and Application. Central Food Technology Research Insitute Mysore. **อ้างโดย** สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา. 2533. คุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Zajic. 1970. P. 67. **อ้างโดย** วิพัฒน์ ถาวรรฤทธิ์ (ผู้รวบรวม). 2523. การใช้ *Spirulina* และ *Oscillatoria* sp. เป็นส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงลูกปลาไน. ปริญญานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

Zhi-You Wen and Feng Chen. 2003. Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. Biotechnology Advances. 22 pp.

"*Calothrix*". 2003 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www. Bio.mtu.edu

"*Nostoc*". 2003 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.Ocn.ne.jp/~bio-soci

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"*Phormidium*". 2003 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.Sinicearasy.cz/zapocet

"*Gloeocapsa*". 2003 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.una.edu/pdavis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่1 สูตรอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอน BG-11

Ingredient	Concentration	
โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$)	1.5 g/l	17.65 mM
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออรร์โธฟอสเฟต 7- ไฮเดรต ($K_2HPO_4.7H_2O$)	0.04 g/l	0.18 mM
แมกนีเซียมซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($MgSO_4.7H_2O$)	0.075 g/l	0.30 mM
แคลเซียมคลอไรด์ 2-ไฮเดรต ($CaCl_2.2H_2O$)	0.036 g/l	0.25 mM
กรดซิตริก ($C_6H_8O_{10}$)	0.006 g/l	0.03 mM
เฟอริคแอมโมเนียมซิเตรท	0.006 g/l	0.03 mM
ไดโซเดียมแมกนีเซียม EDTA	0.001 g/l	0.003 mM
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	0.02 g/l	0.19 mM
Trace Metal Mix A_5+Co		1 ml
Deionozed water เติมน้ำให้ครบ		1 l

สารละลายสูตรอาหารนี้หลังผ่านการนึ่งในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ และเย็นแล้ว มี pH=7.4

Trace Metal Mix A_5+Co ใช้ได้กับสูตรต่างๆ มีสารคือ

กรดบอริก (H_3BO_3)	2.86 g/l
แมงกานีสคลอไรด์ 4-ไฮเดรต ($MnCl_2.4H_2O$)	1.81 g/l
ซิงก์ซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($ZnSO_4.7H_2O$)	0.222 g/l
โซเดียมโมลิบเดต 2-ไฮเดรต ($Na_2MoO_4.2H_2O$)	0.390 g/l
คอปเปอร์ซัลเฟต 5- ไฮเดรต ($CuSO_4.5H_2O$)	0.079 g/l
โคบอลไนเตรท 6- ไฮเดรต [$Co(NO_3)2.6H_2O$]	0.049 g/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์

1. ดูดตัวอย่างมา 10 ml. ตัวอย่างละ 2 ชุด นำตัวอย่างมากรองเอาน้ำออก
2. นำตัวอย่างที่ได้จากการกรองชุดที่ 1มาเติม methanol 100% ปริมาณ 10 ml. นำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 °C ประมาณ 30 นาที
3. นำมากรองเซลล์สาหร่ายออก นำส่วนใสเทลงในหลอดทดลอง เพื่อใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 650 และ 665 nm

   $B = (16.5 \times A_{665}) - (8.3 \times A_{650})$ mg/l

   ปริมาณคลอโรฟิลล์ a = Bx2 mg/l
4. นำตัวอย่างชุดที่ 2 เทลงบนกระดาษฟอล์ยที่อบและชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 105°C ใช้เวลาประมาณ 1 วัน จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกผล เพื่อหาน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด

วันที่	*Phormidiom angustissima*				*Nostoc commune*				*Gloeocapsa* sp.				*Calothrix marchica*			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	0.8156	1.6424	0.1326	1.2972	1.8620	1.8142	1.7644	1.8132	0.4740	0.6218	0.3596	0.6050	0.8702	0.9384	0.8892	1.672
2									-0.4356	0.0418	-0.3206	0.0244				
3	1.3272	1.2934	0.2904	2.6264	2.8276	2.8776	1.9900	2.8092					1.1820	1.9060	1.7740	1.412
4									0.7816	1.1430	1.4070	0.9954				
6	6.8702	10.0272	6.7858	7.4272	7.8920	4.5182	4.5254	9.2720	1.0436	2.2612	1.9816	1.8160	2.1834	2.6622	2.9908	3.435
8									5.5050	9.3886	10.0304	8.8614				
9	13.676	12.462	9.7976	10.1248	3.9066	4.1714	4.2032	3.4816					1.1334	3.7454	2.5960	4.204
10									6.3408	8.8080	11.1776	9.2364				
12	10.5548	9.6628	8.0516	8.5464	11.4400	8.4950	8.6740	11.8992	8.0694	13.3188	13.1520	10.1900	2.6946	4.5290	2.6628	1.989
14									13.5516	18.0256	18.4874	13.7152				
15	8.1144	10.6452	6.3226	11.4968	12.8876	9.0550	7.5552	11.3392					1.5446	2.7940	3.6808	5.652
18					6.4206	4.1340	5.1368	11.9000					2.4468	2.7260	3.1840	3.335
21					8.2302	7.8796	4.9912	7.3212								

ตารางผนวกที่ 3 แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด

วันที่	*Phormidiom angustissima*				*Nostoc commune*				*Gloeocapsa* sp.				*Calothrix marchica*			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	0.0018	0.0024	0.0033	0.0046	0.0013	0.0016	0.0027	0.0016	0.0053	0.0031	0.0037	0.0105	0.008	0.0068	0.0081	0.0091
2									0.008	0.01	0.0042	0.0114				
3	0.0027	0.0733	0.0043	0.0043	0.0047	0.0044	0.0066	0.0036					0.0058	0.0051	0.0053	0.0062
4									0.009	0.0039	0.0039	0.0036				
6	0.0255	0.005	0.0042	0.0045	0.0089	0.006	0.0062	0.0046	0.0045	0.0036	0.0042	0.0041	0.0044	0.005	0.005	0.0032
8									0.0048	0.0062	0.0056	0.0052				
9	0.0195	0.018	0.0225	0.0116	0.0071	0.0145	-0.0456	-0.0285					0.0033	0.003	0.007	0.0091
10									0.0102	0.0072	0.0071	0.0061				
12	0.0134	0.0164	0.0147	0.01	0.0054	0.0073	0.0061	0.0076	0.0053	0.007	0.0066	0.006	0.0062	0.0015	0.0045	0.0048
14									0.0068	0.0086	0.0087	0.0067				
15	0.0132	0.0124	0.0117	0.0126	0.0124	0.0075	0.0134	0.0108					0.0046	0.0065	-0.0063	0.015
18					0.0095	0.0077	0.0104	0.0121					0.0038	0.0048	0.0024	0.003
21					0.0423	0.0089	0.0078	0.01								

ตารางผนวกที่ 4 แสดงคุณค่าทางสูตรอาหารที่อาหารเข้มข้น 100 %

	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	% Carbohydrate
P. angustissima	8.9272	14.3565	8.5479	0.6857	0.3830	2.1921	64.9075
	8.3835	14.3417	8.6575	0.9447	0.5278	1.8584	65.2863
	8.4148	18.2065	8.7178	0.9621	0.1905		
N. commune	6.0405	14.3879	10.1614	0.9217	0.4820	40.5113	27.4952
	6.2099	14.1709	9.1657	0.9746	0.4071	44.4782	24.5937
	6.4189	11.2298	11.8814	0.9653	0.2510		
Gloeocapsa sp.	9.2077	16.2767	10.4100	1.2407	0.5661	57.7196	4.5792
	7.7539	12.8060	7.1336	1.1654	0.4073	56.2989	14.4349
	7.4294	20.6517	9.8876	1.1141	0.2344		
C.marchica	10.5465	16.0328	0.6276	0.9454	0.8081	3.9561	67.0836
	8.6481	25.4324	0.3550	0.8715	0.6303	3.3943	60.6685
	10.8038	19.3326	0.4963	0.8534	0.2684		

ตารางผนวกที่ 5 แสดงคุณค่าทางอาหารที่สูตรอาหารเข้มข้น 50%

	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	% carbohydrate
P. angustissima	9.1199	12.4098	0.2842	0.7989	0.3849	42.9204	34.0820
	9.8720	12.5796	0.4174	0.7903	0.4195	41.9983	33.9228
	9.3310	10.2537	0.2805	0.7871	0.2763		
N. commune	6.8113	16.6124	5.6522	0.8500	0.8133	42.7504	26.5103
	8.4633	17.2908	4.6372	0.8688	0.8120	43.3654	24.5625
	6.6594	14.2351	4.6272	0.8713	0.5094		
Gloeocapsa sp.	8.7960	13.9448	1.7326	1.1342	0.4993	36.7561	37.1370
	8.7287	13.9496	4.2930	1.1878	0.4849	34.4358	36.9203
	8.9904	13.6420	2.4017	1.1573	0.3247		
C.marchica	6.2689	12.2944	0.3126	0.9302	0.5125	3.8094	75.8720
	6.1444	12.2539	6.5262	0.9440	0.5087	3.0603	70.5626
	7.2647	22.7296	2.9528	0.9332	0.3205		

ตารางผนวกที่ 6 แสดงคุณค่าทางอาหารที่สูตรอาหารเข้มข้น 10 %

	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	% carbohydrate
P. angustissima	9.7914	18.8895	4.7781	0.6410	0.6474	33.6764	31.5762
	6.8190	17.3586	0.1353	0.6148	0.7476	33.0970	41.2277
	9.1719	13.4783	0.1171	0.6254	0.4419		
N. commune	7.6846	15.7288	0.8876	0.5312	0.8769	41.6055	32.6854
	7.7406	15.6504	0.7290	0.5505	0.8325	40.0514	34.4456
	7.1582	14.2515	0.7370	0.5318	0.3718		
Gloeocapsa sp.	9.0418	13.3273	0.1333	0.5127	0.6296	32.2263	44.1290
	8.9884	13.9468	0.1793	0.5388	0.6243	30.3264	45.3960
	8.3979	13.1713	0.1556	0.5490	0.4838		
C.marchica	4.8692	15.5416	0.9074	0.6964	0.7326	4.6714	72.5814
	1.7381	15.3884	0.8199	0.8146	0.7184	4.0301	76.4906
	1.7807	20.5982	0.9641	0.7730	0.4073		

ตารางผนวกที่ 7 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Phormidium angustissima*

ความเข้มข้นอาหาร	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	% carbohydrate
100	8.9272	14.3565	8.5479	0.6857	0.3830	2.1921	64.9075
	8.3835	14.3417	8.6575	0.9447	0.5278	1.8584	65.2863
	8.4148	18.2065	8.7178	0.9621	0.1905		
50	9.1199	12.4098	0.2842	0.7989	0.3849	42.9204	34.0820
	9.8720	12.5796	0.4174	0.7903	0.4195	41.9983	33.9228
	9.3310	10.2537	0.2805	0.7871	0.2763		
10	9.7914	18.8895	4.7781	0.6410	0.6474	33.6764	31.5762
	6.8190	17.3586	0.1353	0.6148	0.7476	33.0970	41.2277
	9.1719	13.4783	0.1171	0.6254	0.4419		

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางผนวกที่ 8 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Nostoc commune*

ความเข้มข้นอาหาร	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	% carbohydrate
100	6.0405	14.3879	10.1614	0.9217	0.4820	40.5113	27.4952
	6.2099	14.1709	9.1657	0.9746	0.4071	44.4782	24.5937
	6.4189	11.2298	11.8814	0.9653	0.2510		
50	6.8113	16.6124	5.6522	0.8500	0.8133	42.7504	26.5103
	8.4633	17.2908	4.6372	0.8688	0.8120	43.3654	24.5625
	6.6594	14.2351	4.6272	0.8713	0.5094		
10	7.6846	15.7288	0.8876	0.5312	0.8769	41.6055	32.6854
	7.7406	15.6504	0.7290	0.5505	0.8325	40.0514	34.4456
	7.1582	14.2515	0.7370	0.5318	0.3718		

ตารางผนวกที่ 9 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp.

ความเข้มข้นอาหาร	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	% carbohydrate
100	9.2077	16.2767	10.4100	1.2407	0.5661	57.7196	4.5792
	7.7539	12.8060	7.1336	1.1654	0.4073	56.2989	14.4349
	7.4294	20.6517	9.8876	1.1141	0.2344		
50	8.7960	13.9448	1.7326	1.1342	0.4993	36.7561	37.1370
	8.7287	13.9496	4.2930	1.1878	0.4849	34.4358	36.9203
	8.9904	13.6420	2.4017	1.1573	0.3247		
10	9.0418	13.3273	0.1333	0.5127	0.6296	32.2263	44.1290
	8.9884	13.9468	0.1793	0.5388	0.6243	30.3264	45.3960
	8.3979	13.1713	0.1556	0.5490	0.4838		

ตารางผนวกที่ 10 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Calothrix marchica*

ความเข้มข้นอาหาร	% ความชื้น	% เถ้า	%lipid	%p	% Ca	% protein	%carbohydrate
100	10.5465	16.0328	0.6276	0.9454	0.8081	3.9561	67.0836
	8.6481	25.4324	0.3550	0.8715	0.6303	3.3943	60.6685
	10.8038	19.3326	0.4963	0.8534	0.2684		
50	6.2689	12.2944	0.3126	0.9302	0.5125	3.8094	75.8720
	6.1444	12.2539	6.5262	0.9440	0.5087	3.0603	70.5626
	7.2647	22.7296	2.9528	0.9332	0.3205		
10	4.8692	15.5416	0.9074	0.6964	0.7326	4.6714	72.5814
	1.7381	15.3884	0.8199	0.8146	0.7184	4.0301	76.4906

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Lowry's method และ คาร์โบไฮเดรต

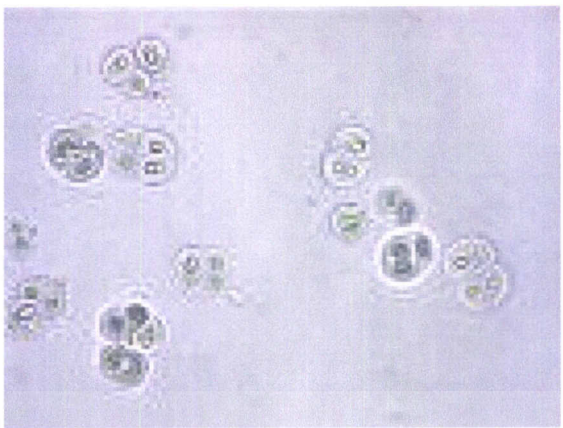
	%Protein	% carbohydrate
P . angustissma 100	25.7460	17.1261
	26.0109	15.4376
	23.0811	26.8182
50	25.5384	15.3871
	26.2377	18.4060
	25.6694	18.3191
10	18.8024	21.8535
	25.4331	23.2599
	18.8754	21.6225
N. commune 100	21.7038	24.8921
	45.6894	24.4401
	28.1980	24.4943
50	29.3675	20.6747
	26.0041	22.1006
	25.7677	24.8873
10	23.8551	19.2443
	20.5889	22.9974
	20.3258	27.8408
Gloeocapsa sp. 100	16.3359	21.2833
	18.3162	15.0491
	21.2047	23.0301
50	36.1670	62.4079
	32.9374	81.5115
	28.0967	71.7987
10	35.6253	146.9504
	27.9797	128.9878
	28.5225	136.2703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Lowry's method และ คาร์โบไฮเดรต (ต่อ)

	%protein	%carbohydrate
C. marchica 100	33.7811	30.9167
	30.3946	27.1642
	22.9829	25.7162
50	17.9479	20.4684
	19.3755	11.9410
	13.6792	26.2948
10	1.7834	21.7332
	36.3680	18.4805
	21.5294	24.1150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



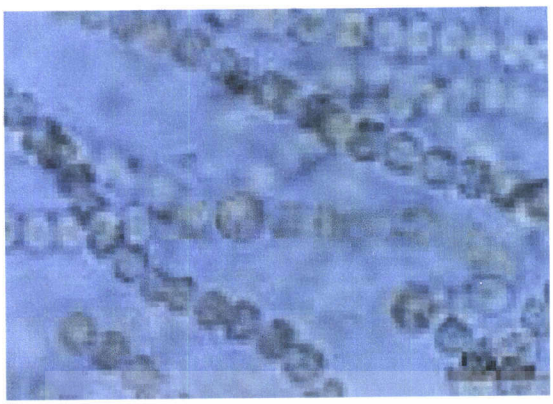
ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp.

ที่มา : www 2. una.edu/pdavis/gleo02.jpg&imgrefurl

ภาพผนวกที่ 2 ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Phormidium* sp.

ที่มา : www. Sinicearasy.cz/zapocet/Phormidium.jpg&imgrefurl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Nostoc* sp.

ที่มา : www1. Ocn.ne.jp/~bio-soci/Nostoc.htm.

ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Calothrix* sp.

ที่มา : www. Bio.mtu.edu/~jkoyadom/algae_webpage/cyanobacteria.htm.

.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้