

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่เพาะเลี้ยงในนมและอามิ-อามิ
The nutritional value of *Nostoc commune* cultured in milk and ami-ami

ชื่อนักศึกษา นายชาคริต สังฆรักษ์ รหัส 44040390

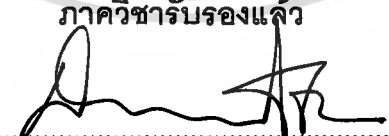
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ)

ภาควิชารับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ชูโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 21 เดือน 12.0. พ.ศ. 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาสตราวุฒิกสภา พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่เพาะเลี้ยงในนมและอามิ-อามิ
The nutritional values of *Nostoc commune* cultured in milk and ami-ami



T099338



โดย
นายชาคริต สังมรภัทร์

ปพ.
๙ 463ค
254๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... ๙๙๓๓๘
วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณค่าทางโภชนาการของ *Nostoc commune* ที่เพาะเลี้ยงในนมและอามิ

The nutritional value of *Nostoc commune* cultured in milk and ami-ami

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc commune* โดยใช้นมและอามิ-อามิ ที่ระดับความเข้มข้นของสารอาหารแตกต่างกัน โดยใช้ปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1 , 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ความเข้มข้น 0.3 , 0.5 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ และทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยวิธี proximate analysis พบว่าความเข้มข้นของสารอาหารมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1% พบปริมาณโปรตีน (crude protein) $33.83 \pm 0.01\%$ ไขมัน (crude lipids) $1.83 \pm 0.31\%$ คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) $20.23 \pm 3.13\%$ ในความเข้มข้นปุ๋ยนม 0.2% พบปริมาณโปรตีน $44.01 \pm 0.72\%$ ไขมัน $1.07 \pm 0.17\%$ คาร์โบไฮเดรต $19.10 \pm 0.44\%$ และในความเข้มข้นปุ๋ยผสมนม 0.3% พบปริมาณโปรตีน $48.90 \pm 0.05\%$ ไขมัน $0.91 \pm 0.11\%$ คาร์โบไฮเดรต $15.75 \pm 0.53\%$

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่าย *N. commune* ในรูปสาหร่ายแห้งแล้วนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพบว่า ปริมาณโปรตีนใน *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ กันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.3% มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ 48.90% ไขมัน พบว่า *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนม 0.1% มีปริมาณมากที่สุด คือ 1.83% ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น ๆ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบว่ามี ความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัสพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ของทุกความเข้มข้น โดยพบมากที่สุด ในปุ๋ย คือ 4.15% แร่ธาตุแคลเซียมพบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแห้งแล้ว นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการวิเคราะห์พบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.1% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน (crude protein) 33.83 ± 0.01 ไขมัน (crude lipids) 1.83 ± 0.31 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) 20.23 ± 3.13 ในปุ๋ยผสมนม ที่มีความเข้มข้น 0.2% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 44.01 ± 0.72 ไขมัน 1.07 ± 0.17 คาร์โบไฮเดรต 19.10 ± 0.44 ในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.3% มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 48.90 ± 0.055 ไขมัน 0.91 ± 0.11 คาร์โบไฮเดรต 15.75 ± 0.53 ในปุย มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 32.56 ± 0.22 ไขมัน 0.49 ± 0.16 คาร์โบไฮเดรต 16.46 ± 0.53

เมื่อเก็บเกี่ยว *N. commune* ในรูปสาหร่ายแห้งแล้วนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพบว่า สาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีปริมาณโปรตีน ใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบมากที่สุด ในสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ 0.5% คือ 43.48% ในปุยมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากทั้ง 3 ความเข้มข้น ไขมันพบว่าปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยพบมากที่สุด ในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ 0.5% คือ 0.84% ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิทั้ง 3 ความเข้มข้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของปุ๋ยผสมอามิความเข้มข้น 0.3%, 0.5% และปุ๋ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบมากที่สุด ในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอามิ 0.7% คือ 29.19% การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ในความเข้มข้น 0.3% พบปริมาณโปรตีน $42.01 \pm 0.89\%$ ไขมัน $0.48 \pm 0.04\%$ คาร์โบไฮเดรต $24.48 \pm 3.31\%$ ในความเข้มข้น 0.5% พบปริมาณโปรตีน $43.48 \pm 0.62\%$ ไขมัน $0.84 \pm 0.28\%$ คาร์โบไฮเดรต $24.83 \pm 1.61\%$ และในความเข้มข้น 0.7% พบปริมาณโปรตีน $41.81 \pm 0.34\%$ ไขมัน $0.75 \pm 0.12\%$ คาร์โบไฮเดรต $29.19 \pm 3.24\%$

คำนิยาม

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุวีรัตน์ เรืองสมบุญ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา และตรวจสอบข้อบกพร่องในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้มาด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจคอยให้คำแนะนำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอด

นายชาคริต สังฆรักษ์

มีนาคม 2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	IV
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	22
ผลการทดลองและวิจารณ์	34
สรุปผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเส้นด้ายและวัตถุดิบแห้ง	17
2	คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเห็ดลาบ (<i>N. commune</i>)	18
3	แสดงส่วนประกอบของน้ำนมวัวที่ผลิตขายตามท้องตลาด	19
4	แสดงองค์ประกอบของเคมี Ami-Ami L และ new Ami-Ami G	21
5	ผลผลิตที่สิ้นสุดการทดลอง (21 วัน) ของสาหร่าย <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในบิ๊ยมผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ	35
6	ผลผลิตที่สิ้นสุดการทดลอง (21 วัน) ของสาหร่าย <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในบิ๊ยมผสมอามิ-อามิความเข้มข้นต่าง ๆ	37
7	การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในบิ๊ยมผสมนม	38
8	การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในบิ๊ยมผสมอามิ-อามิ ความเข้มข้นต่าง ๆ	40
9	เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของ <i>N. commune</i> กับอาหารโปรตีนอื่น ๆ	41

ตารางผนวกที่		หน้า
1	สูตรเลี้ยงแพลงก์ตอน BBM	53
2	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ <i>Nostoc commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนม	56
3	แสดงปริมาณน้ำหนักรูปร่างของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนม	57
4	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ	58
5	แสดงปริมาณน้ำหนักรูปร่างของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยอามิ	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยง ในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ	34
2	กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักรากแห้งของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยง ในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ	34
3	กราฟแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยง ในปุ๋ยผสมอามิ-อามความเข้มข้น ต่าง ๆ	36
4	กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักรากแห้งของ <i>N. commune</i> ที่เพาะเลี้ยง ในปุ๋ยผสมอามิ-อามความเข้มข้นต่าง ๆ	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

การดำรงชีวิตของมนุษย์จำเป็นต้องได้รับสารอาหารประเภทต่าง ๆ เพียงพอกับความ ต้องการของร่างกาย โดยเฉพาะโปรตีน เพราะช่วยเสริมสร้างในการเจริญเติบโต สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (microalgae) มีบทบาทสำคัญมากในด้านเป็นอาหารเนื่องจากสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและนอกจากนั้นสาหร่ายยังมีความสำคัญใน เชิงอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีการใช้อุตสาหกรรม มีการศึกษาในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดพบว่าสามารถให้โปรตีนสูงถึง 40-70% ดังนั้นสาหร่ายมีจึงมีประโยชน์ในการเป็นแหล่งโปรตีน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม และ ฟอสฟอรัสในสาหร่าย *Nostoc commune*
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารแตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

นอสตอค (*Nostoc*) *Nostoc commune* ในประเทศไทยเรียกว่า “ไซหิน” “ดอกหิน” หรือ “เห็ดลาบ” ประเทศจีนเรียกว่า “Koxianmi” และในประเทศญี่ปุ่นเรียกว่า “Ishikurage” ส่วน *N. flagelliforme* ในประเทศจีนเรียกว่า “Fat tsai”, “Facai” หรือ “Shi” และในแถบยุโรปเรียก *Nostoc* spp. ว่า “Star shot”, “Star jelly”, “Witches’ butter” หรือ “Fairies’ butter” นอสตอคเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีการเจริญเติบโตแบบเส้นสายมีเมือกห่อหุ้ม บางชนิดดูคล้ายก้อนเยลลี่ ชนิดที่นิยมรับประทานมาก คือ *N. commune* มีการบริโภคในหลายประเทศทั่วโลก เช่น โบลิเวีย เอกวาดอร์ ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น เม็กซิโก มองโกเลียและจีน

สาหร่ายเห็ดลาบ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *N. commune* Vaucher เป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green alga, Cyanobacterium) ที่ตรึงไนโตรเจน (N_2 -fixation) ได้ มีลักษณะเป็นแผ่นบางคล้ายเห็ดหูหนูสีเขียวที่ขึ้นบนดิน ชาวบ้านในพื้นที่ อ.นาเชือก จ.มหาสารคาม นิยมเป็นไปทำลาบ จึงได้ชื่อประจำท้องถิ่นว่า “เห็ดลาบ” โดยมีความเชื่อตามภูมิปัญญาท้องถิ่นว่าการบริโภคเห็ดลาบจะช่วยรักษาระบบกระเพาะอาหารและลำไส้ ถึงแม้ว่าสาหร่ายเห็ดลาบ จะเจริญเติบโตบนดินเค็มพื้นที่คุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติป่าดงลำพัน แต่เนื่องจากในฤดูฝน เมื่อเกิดฝนตกจะทำสาหร่ายที่ในน้ำร้อน หดตัวเป็นแผ่นบางกรอบ คล้ายกระดาษ (ซึ่งเป็นระยะพักตัว, resting stage) ดูดซับน้ำใน ขยายตัวและเจริญเติบโต โดยการแบ่งเซลล์แผ่ออกเป็นแผ่นบางไม่มีรสชาติ มีเนื้อนิ่มหยุ่นแต่กรอบ คล้ายสาหร่ายทะเล *Undaria pinnatifida* หรือ Wakame ที่นิยมบริโภคในญี่ปุ่น อย่างไรก็ตามสาหร่ายเห็ดลาบมีคุณสมบัติที่ดีกว่าคือไม่มีกลิ่นคาว ทำให้ชาวบ้านนิยมเก็บไปบริโภคเป็นประจำทุกปี ในฤดูฝนซึ่งเป็นเพียงฤดูกาลเดียวเท่านั้นที่สาหร่ายชนิดนี้จะแพร่และขยายพันธุ์ได้ จนเป็นที่น่าเกรงว่าความนิยมบริโภคสาหร่ายเห็ดลาบของชาวบ้านในท้องถิ่นจะเป็นสาเหตุสาหร่ายเห็ดลาบสูญหายไปจากพื้นที่ในที่สุด

ในการใช้ประโยชน์จาก *Nostoc* พบว่า *Nostoc* บางชนิดรับประทานได้ บางชนิดเป็นยารักษาโรคมะเร็ง โรคเกาต์ ลดโคเลสเตอรอลในซีรัมได้อย่างมีนัยสำคัญในหนูทดลอง ซึ่งคาดว่าความสามารถในการลดโคเลสเตอรอลนี้น่าจะมาจากใยอาหารของ *Nostoc* (Hori และคณะ, 1994) นอกจากนี้ยังมาในการบำบัดโรคตาบอดในเวลากลางคืน แผลไฟไหม้น้ำร้อนลวกหรืออาการเจ็บป่วยที่ไม่รุนแรงต่าง ๆ มีการวิจัยพบว่าสารสกัดด้วยน้ำร้อนของ *N. flagelliforme* มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้องอก (antitumor) ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์ ยังมีรายงานการวิจัยของ *N. commune* ว่าองค์ประกอบ

หลักของสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์จากแหล่งธรรมชาติจะมีกลูโคส ไซโรส และกาแลคโตส ในสัดส่วน 2:1:1 โดยประมาณ (Huang และคณะ, 1998)

พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สามารถใช้เป็นตัวจับในการดึงเอาโลหะหนักออกจากน้ำหรือชะโลหะหนักที่มีคุณค่าออกจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังให้ค่าความหนืดสูงและมีลักษณะเป็น pseudoplastic ใช้ประยุกต์ทางการเกิดสารแขวนลอย การเกิดอิมัลชันหรือสารให้ความข้นเหนียว (thickening agent) (De philippic และคณะ, 2000)

รายงานดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ของ *Nostoc* จากคุณสมบัติที่สามารถผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ อย่างไรก็ตามรายงานการวิจัยเหล่านี้เป็นของต่างประเทศทั้งสิ้น โดยยังไม่มีรายงานการศึกษา *N. commune* ในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์จาก *Nostoc* ในห้องปฏิบัติการจึงเป็นแนวทางในการพัฒนาองค์ความรู้เพื่อเพิ่มศักยภาพในการนำไปใช้ในทางการแพทย์ วัสดุกรรม อุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ ได้อย่างยั่งยืน ในขณะที่เดียวกันข้อมูลที่ได้ยังสามารถใช้เปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยของต่างประเทศ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้ตระหนักถึงคุณค่าทางอาหารประจำท้องถิ่นและเกิดการอนุรักษ์สำหรับเห็ดลาบให้คงอยู่คู่ท้องถิ่น

แหล่งโปรตีนจำพวกจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตเป็นจุลินทรีย์โปรตีนมีทั้งสาหร่าย ไลเคน บักเตเรีย และยีสต์ ได้มีการศึกษาและทดลองใช้จุลินทรีย์มากชนิดเพื่อคัดเลือกมาผลิตเป็นจุลินทรีย์ การคัดเลือกนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ จุลินทรีย์ที่เหมาะสมควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. เจริญได้เร็วในอาหารที่มีราคาถูก
2. เจริญได้ในอาหารที่ส่วนประกอบแบบง่าย ๆ มีความต้องการวิตามิน หรือ growth factor ต่าง ๆ น้อยหรือไม่ต้องการเลย
3. คงลักษณะทางพันธุกรรมได้ดีไม่กลายพันธุ์ง่ายเมื่อเลี้ยงติดต่อกันเป็นเวลานาน
4. การแยกและเก็บเกี่ยวเซลล์ง่าย
5. มีความต้านทานต่อการปะปนจุลินทรีย์อื่น ๆ
6. ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรมและทางสรีระวิทยาและสามารถปรับปรุงทางด้านพันธุกรรมได้
7. สามารถใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
8. หลังจากผ่านกระบวนการแล้วมีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย
9. ไม่เป็นพิษและทำให้เกิดการภูมิแพ้
10. ให้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตสูง
11. เก็บรักษาง่ายเช่นโดยการ pack หรือทำให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักของสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์จากแหล่งธรรมชาติจะมีกลูโคส ไซโรส และกาแลคโตส ในสัดส่วน 2:1:1 โดยประมาณ (Huang และคณะ, 1998)

พอลิแซ็กคาไรด์มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สามารถใช้เป็นตัวจับในการดึงเอาโลหะหนักออกจากน้ำหรือชะโลหะหนักที่มีคุณค่าออกจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังให้ค่าความหนืดสูงและมีลักษณะเป็น pseudoplastic ใช้ประยุกต์ทางการเกิดสารแขวนลอย การเกิดอิมัลชันหรือสารให้ความข้นเหนียว (thickening agent) (De philippic และคณะ, 2000)

รายงานดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ของ *Nostoc* จากคุณสมบัติที่สามารถผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ อย่างไรก็ตามรายงานการวิจัยเหล่านี้เป็นของต่างประเทศทั้งสิ้น โดยยังไม่มีรายงานการศึกษา *N. commune* ในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์จาก *Nostoc* ในห้องปฏิบัติการจึงเป็นแนวทางในการพัฒนาองค์ความรู้เพื่อเพิ่มศักยภาพในการนำไปใช้ในทางการแพทย์ เภสัชกรรม อุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ ได้อย่างยั่งยืน ในขณะเดียวกันข้อมูลที่ได้ยังสามารถใช้เปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยของต่างประเทศ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้ตระหนักถึงคุณค่าทางอาหารประจำท้องถิ่นและเกิดการอนุรักษ์สาหร่ายเห็ดลาบให้คงอยู่คู่ท้องถิ่น

แหล่งโปรตีนจำพวกจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตเป็นจุลินทรีย์โปรตีนมีทั้งสาหร่าย ไลเคน บักเตรี รา และยีสต์ ได้มีการศึกษาและทดลองใช้จุลินทรีย์มากชนิดเพื่อคัดเลือกมาผลิตเป็นจุลินทรีย์ การคัดเลือกนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ จุลินทรีย์ที่เหมาะสมควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. เจริญได้เร็วในอาหารที่มีราคาถูก
2. เจริญได้ในอาหารที่ส่วนประกอบแบบง่าย ๆ มีความต้องการวิตามิน หรือ growth factor ต่าง ๆ น้อยหรือไม่ต้องการเลย
3. คงลักษณะทางพันธุกรรมได้ดีไม่กลายพันธุ์ง่ายเมื่อเลี้ยงติดต่อกันเป็นเวลานาน
4. การแยกและเก็บเกี่ยวเซลล์ง่าย
5. มีความต้านทานต่อการปะปนจุลินทรีย์อื่น ๆ
6. ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรมและทางสรีระวิทยาและสามารถปรับปรุงทางด้านพันธุกรรมได้
7. สามารถใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
8. หลังจากผ่านกระบวนการแล้วมีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย
9. ไม่เป็นพิษและทำให้เกิดการภูมิแพ้
10. ให้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตสูง
11. เก็บรักษาได้ง่ายเช่นโดยการ pack หรือทำให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายจัดเป็น autotrophic microorganism ข้อดีในการผลิต ได้แก่ มีโปรตีนสูง มีวิตามินซีและบีสูง สามารถขัพลังงานจากดวงอาทิตย์ได้ สะสมคาร์โบไฮเดรตและไขมันได้ดี สามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนได้

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจัดอยู่ในดิวิชัน Cyanophyta หรืออาจมีชื่อเรียกอย่างอื่นว่าดิวิชัน Myxophyta (Morris, 1986), Schizophyta (Smith, 1951) หรือ Cyanophyta (Bold และ Michael, 1987)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำที่มีขนาดเล็ก พบได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป เช่น ตามชั้นดิน หิน ไม้ น้ำ ทะเล รวมทั้งมหาสมุทร และชายฝั่งทะเล มีความแตกต่างจากสาหร่ายอื่น ๆ ตรงที่มีลักษณะหลายอย่างคล้ายคลึงกับแบคทีเรีย แต่มีความแตกต่างจากแบคทีเรียซึ่งจัดอยู่ในอาณาจักรเดียวกันตรงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีคลอโรฟิลล์ เอ จึงสามารถสังเคราะห์แสง และมีออกซิเจนเกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำจำพวกโปรคาริโอต (prokaryote) จึงมีลักษณะและคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างไปจากสาหร่ายพวกอื่น ๆ เช่น ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ไม่มีไมโทคอนเดรีย (mitochondria) เซลล์ไม่มีโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ในบางสกุลมีโครงสร้างพิเศษที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เป็นต้น คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้สาหร่ายสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่างจากสาหร่ายอื่นที่เป็นพวกยูคาริโอต (eukaryote) คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีโครงสร้างของเซลล์ไม่สลับซับซ้อน แต่กลับมีกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมายภายในเซลล์ ขณะที่สาหร่ายที่เป็นพวกยูคาริโอตมีโครงสร้างซับซ้อนกว่ากลับมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้นไม่มากมายในเซลล์ (Kumar, 1990)

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

1. รงควัตถุ (pigment) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินประกอบด้วย

คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) เป็นแหล่งสำคัญในการดูดซับพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (สีแดง) และ 662 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน)

แคโรทีนอยด์ (carotenoid) สามารถดูดซับพลังงานแสงในช่วงคลื่นที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดซับได้ แล้วจะถ่ายทอดพลังงานแสงที่รับไว้ให้แก่คลอโรฟิลล์ เอ (Harold, 1980) แคโรทีนอยด์ประกอบด้วย 2 กลุ่ม คือ แคโรทีน (carotene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่

ปราศจากออกซิเจน แครโทีนที่พบมากที่สุดสำหรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (β -carotene) กลุ่มที่สอง คือ แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ได้มาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแครโทีน มีสีเหลือง ส้ม หรือแดง แซนโทฟิลล์ที่พบมากที่สุด ได้แก่ มิกโซแซนทิน (myxoxanthin)

ไฟโคบิลิโปรตีน (phycobiliprotein) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วยรงควัตถุอยู่ร่วมกับโปรตีน ในเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ประกอบด้วย ซี-ไฟโคยานิน (c-phycoyanin) ซี-อัลโลไฟโคไซยานิน (c-allophycocyanin) และ ซี-ไฟโคอิริทิน (c-phycoerythrin)

รงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเหล่านี้ไม่พบอยู่ในพลาสติด (plastid) แต่พบอยู่ในไทลาคอยด์ (thylakoid) ไทลาคอยด์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่างไปจากไทลาคอยด์ของสาหร่ายอื่น ๆ ตรงที่ไม่มีเยื่อบาง ๆ หุ้มเพื่อให้เกิดเป็นคลอโรพลาสต์ และไม่มีการจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ พบเป็นอิสระในไซโตพลาสซึม คลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในไทลาคอยด์ ส่วนรงควัตถุอื่น ๆ จะเกาะอยู่บนผิวของไทลาคอยด์ในลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ เรียกว่า ไฟโคบิลิโซม (phycobilisome) (Glazer, 1987)

คุณภาพของแสงมีผลต่อการสร้างรงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในระหว่างการเจริญเติบโต (Bogorad, 1975) เช่น ใน *Oscillatoria* บางชนิดจะสร้างรงควัตถุสีเขียวเมื่อเจริญอยู่ในสภาพแสงสีแดงหรือรงควัตถุสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อเจริญอยู่ในสภาพแสงสีเหลือง เป็นต้น การเปลี่ยนสีของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเหล่านี้มีประโยชน์ ทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถดูดซับพลังงานแสงสำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถเปลี่ยนโพสิเปปไทด์ที่เป็นองค์ประกอบของไฟโคบิลิโซม โดยได้รับอิทธิพลจากคุณภาพของแสงที่ได้รับ จึงสามารถจำแนกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ขึ้นกับการตอบสนองของไฟโคบิลิโซมแสงที่ได้รับคือ กลุ่มที่หนึ่ง การสังเคราะห์ไฟโคอิริทิน และไฟโคไซยานินจะคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับสีของแสงที่ได้รับ กลุ่มที่สอง ไฟโคอิริทินถูกควบคุมโดยคุณภาพของแสงหรือสีของแสง โดยในแสงสีเขียวจะสังเคราะห์ไฟโคอิริทินได้สูงกว่าในแสงสีแดง แต่ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์ไฟโคไซยานิน นั่นคือระดับไฟโคไซยานินไม่มีการเปลี่ยนแปลง และกลุ่มที่สาม คุณภาพของแสงมีผลต่อทั้งการสังเคราะห์ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริทิน คือ ระดับของไฟโคไซยานินจะสูงขึ้น และไฟโคอิริทินจะลดต่ำลงเมื่อได้รับแสงสีแดง แต่จะเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามกันเมื่อได้รับแสงสีเขียว

2. ส่วนประกอบของเซลล์

2.1 ผนังเซลล์ (cell wall)

Desikachary (1959) พบว่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีผนังเซลล์ 2 ชั้น ผนังชั้นในบางเรียกว่า อินเวสเมนต์ (investment) ประกอบด้วยสารพวกเซลลูโลสและผนังชั้นนอกหนาประกอบด้วยเจลาติน หรือเรียกว่าชีท (sheath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kumar (1990) พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีผนังเซลล์ 2 ชั้น ผนังชั้นในประกอบด้วยมิวโคเปปไทด์ (mucopolysaccharide) และกรดมิวรามิก (muramic acid) ผนังชั้นในมีลักษณะผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) ในขณะที่ชั้นนอกมีลักษณะเป็นเจลาตินหรือที่เรียกกันว่า ซีท มีลักษณะเป็นไมโครไฟบริล (microfibril) 3 ชั้น สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของไมโครไฟบริลเหล่านี้ ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน แต่ต่อมาได้มีการศึกษาพบว่าไมโครไฟบริลเหล่านี้ไม่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ

ซีทที่หุ้มเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเหล่านี้ บางชนิดหนาจึงทำให้เห็นได้อย่างชัดเจน ได้แก่ *Synechococcus*, *Oscillatoria*, *Arthrospira*, และ *Spirulina* บางชนิดพบสารประกอบพวกเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นองค์ประกอบภายในซีทด้วย ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในวงศ์ *Scytonemataceae*, *Rivulariaceae* และ *Oscillatoriaceae* ซีทอาจไม่มีสี ทำให้มองไม่เห็นชัดเจน หรืออาจมีสีน้ำตาล น้ำเงิน แดง และเหลือง ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอาศัยอยู่ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจะสร้างรงควัตถุขึ้นมาบนซีทภายใต้ความเข้มแสงสูง และจะไม่มีรงควัตถุภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (Fogg และคณะ, 1974)

Smith (1951) พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางสกุลที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นเวลานาน ๆ หรือได้รับคลื่นความถี่สูง รงควัตถุที่อยู่ภายในเซลล์จะเคลื่อนย้ายเข้ามาอยู่ภายในซีท และการที่ซีทปรากฏมีสีเหลืองน้ำตาล โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเป็นผลมาจากหลาย ๆ กรณี และสาเหตุหนึ่งมาจากเชื้อราเข้ามาเป็นปรสิต

การที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีซีทห่อหุ้มอยู่นอกผนังเซลล์เช่นนี้ ทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถเจริญอยู่ในสภาพที่แห้งได้ เพราะซีทสามารถดูดซึมน้ำและอุ้มน้ำได้ดี (กาญจนา, 2527)

2.2 ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ไซโตพลาสซึมอยู่ถัดจากผนังเซลล์เข้าไปข้างในเป็นเยื่อบาง ๆ เรียก พลาสมาเมมเบรน (plasma membrane) หุ้มไซโตพลาสซึมไว้ ไซโตพลาสซึมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ บริเวณรอบนอกเป็นบริเวณที่มีรงควัตถุสะสมอยู่ เรียกว่า โครโมพลาสซึม (chromoplasm) ส่วนบริเวณส่วนในซึ่งไม่มีรงควัตถุจึงเป็นส่วนที่ไม่มีสีจะเรียกว่าเซนโตรพลาสซึม (centroplasm) ส่วนนี้ไม่มีผนังหุ้มจึงไม่ใช่นิวเคลียสที่แท้จริง แต่มีสารที่ทำหน้าที่คล้ายนิวเคลียสอยู่ภายใน

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวไม่มีนิวเคลียสชัดเจนเหมือนสาหร่ายอื่น แต่มีสารที่ทำหน้าที่คล้ายนิวเคลียสอยู่ภายในเซนโตรพลาสซึม เพียงแต่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) สารที่ทำหน้าที่คล้ายนิวเคลียสนี้ คือ ดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid; DNA) ซึ่งอาจจะรวมตัวกันเป็นร่างแหหลวม ๆ หรือเป็นท่อนสั้น ๆ หรืออาจจะจับตัวกันแน่นมากมีรูปร่างต่าง ๆ ก็ได้

2.3 แควิวโกล (vacuole) ไม่พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีแควิวโกลขนาดใหญ่เหมือนสาหร่ายชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะพวกที่เป็นแพลงก์ตอนพืช เช่น *Anacystis*, *Anabaena*, *Nostoc* และ *Coelosphaerium* จะพบแก๊สแควิวคอลล (gas vacuole) หรือซูโดแควิวโกล (pseudovacule) ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป

แก๊สแควิวโกลช่วยในการลอยตัวของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว แก๊สแควิวโกลถูกสร้างขึ้นมาเมื่อได้รับความเข้มแสงต่ำ ๆ และจะหายไปเมื่อความเข้มแสงสูง เมื่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวทำการสังเคราะห์และผลิตน้ำตาลขึ้นมา เป็นผลทำให้แรงดันออสโมติกภายในเซลล์สูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แก๊สแควิวโกลหายไป ทำให้แรงลอยตัวลดลงเป็นผลทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจมลงจากผิวน้ำลงสู่ใต้น้ำ

2.4 อาหารที่สะสม (storage product) อาหารที่เก็บสะสมของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เป็นพวคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ แป้งไซยาโนไฟเนียน (cyanophycean starch) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะปรากฏเห็นเป็นเม็ด (granule) ขนาดเล็กและเมื่อย้อมด้วยไอโอดีนจะติดสีแดง นอกจากนี้ยังมีไกลโคเจนแกรนูล (glycogen granule) และหยดน้ำด้วย

3. รูปร่างสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว มีรูปร่าง 2 แบบ คือ

3.1 รูปร่างเป็นเซลล์เดี่ยวหรือกลุ่มเซลล์ (colony) และไม่เป็นเส้นสาย (non-filamentous form)

พวกที่มีรูปร่างเป็นเซลล์เดี่ยว เช่น *Chroococcus* หรือรวมกันเป็นกลุ่มก้อนเซลล์แบบพาล์มลลา (palmellate form) เช่น *Merismopedia*, *Eucapsis*, *Anacystis* เป็นต้น เซลล์ของสาหร่ายสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวนี้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น กลม รูปไข่ ทรงกระบอก สำหรับพวกที่อยู่เป็นโคโลนีแบบพาล์มลลาอาจมีลักษณะของกลุ่มเซลล์แบบกลมแบน สีเหลี่ยม หรือรูปร่างที่แน่นอน

3.2 รูปร่างเป็นเส้นสาย (filamentous form)

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีรูปร่างเป็นเส้นสาย เกิดจากเซลล์หลายเซลล์มาต่อกันจนเป็นเส้นสาย ในพวกที่เป็นเส้นสายส่วนของเซลล์ที่เรียงกันเป็นแถว เรียกว่า ทริชโคม (trichome) ดังนั้นในแต่ละเส้นสายจึงประกอบไปด้วยทริชโคมและซีทรวมกัน เส้นสายนี้อาจตรงและเรียบไม่มีการแตกแขนง เช่น *Oscillatoria*, *Lyngbya* เป็นต้น บางชนิดอาจมีปลายโค้งงอ หรือบิดเป็นเกลียว เช่น *Arthrospira* เป็นต้น สำหรับเส้นสายที่มีการแตกแขนงมี 2 ประเภท ได้แก่ การแตกแขนงแท้และการแตกแขนงเทียม ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2.4 เฮเทอโรไซสต์ (heterocyst)

เฮเทอโรไซสต์ คือ เซลล์พิเศษซึ่งแตกต่างจากเซลล์ปกติ (vegetative cell) ทั่วไปเกิดขึ้น ในระหว่างมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (active growth) (Fogg, 1944) โดยปกติเฮเทอโรไซสต์จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดใหญ่และมีผนังหนากว่าเซลล์ปกติ พบในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่เป็นเส้นสายบางตระกูลเท่านั้น ได้แก่ Nostocaceae, Rivulariaceae, Scytonemataceae และ Stigonemataceae ซึ่งสามารถพบได้ในสาหร่ายทั้งที่แตกแขนงจริง และแตกแขนงเทียม

เฮเทอโรซิสต์อาจปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งปลายสุดของเส้นสาย เช่น *Gloeotrichia* ซึ่งเรียกว่า เบซัลเฮเทอโรซิสต์ (basal heterocyst) หรือปรากฏอยู่ที่ปลายทั้ง 2 ข้างของเส้นสาย เช่น *Anabaenopsis* หรืออาจปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในระหว่างเส้นสาย เช่น *Anabaena* หรือ *Nostoc* sp.

ระหว่างเฮเทอโรซิสต์กับเซลล์ปกติเชื่อมต่อกันโดยผ่านทางรูเล็ก ๆ ที่เรียกว่าโพลาร์โนดูล (polar nodule) เฮเทอโรซิสต์ที่อยู่ปลายจะมีหนึ่งโพลาร์โนดูล ในขณะที่เฮเทอโรซิสต์ที่อยู่ระหว่างเซลล์ในเส้นสายจะมี 2 โพลาร์โนดูล และในชนิดที่มีการแตกแขนงจะปรากฏมี 3 โพลาร์โนดูล เมื่อเฮเทอโรซิสต์ปรากฏอยู่ตรงฐานที่แตกแขนง เช่น *Mastigocladus laminosus* (Venkataraman, 1975) ซึ่งทำให้เฮเทอโรซิสต์สามารถเชื่อมต่อกับเซลล์ปกติได้ทั้ง 3 เซลล์

ถึงแม้ว่าการเกิดเฮเทอโรซิสต์จะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิด แต่ Fay (1973) สรุปการเกิดเฮเทอโรซิสต์ไว้โดยรวมนี้นี้ คือ ชั้นแรกเซลล์ปกติเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในเส้นสายจะขยายขนาดใหญ่ขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้ คือ ปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเคมี

1. ปัจจัยทางกายภาพ

1.1 แสง (light)

แสงเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว การเจริญเติบโตจะถูกยับยั้งถ้าได้รับความเข้มแสงมากเกินไป ช่วงแสงสว่างเป็นเรื่องจำเป็นมากในการเลี้ยงสาหร่ายโดยการให้แสงที่ช่วงเวลาหนึ่งและหยุดการให้แสงช่วงเวลาหลังจะทำให้การเลี้ยงสาหร่ายได้ผลดีกว่าการให้แสงติดต่อกันตลอดเวลา แสงสว่างที่นิยมใช้ คือ 12 ชั่วโมงให้แสง 12 ชั่วโมงหยุดการให้แสง หรือ 12 ชั่วโมงสว่าง สลับกับ 8 ชั่วโมงมืด แสงจากหลอดไฟธรรมดาจะให้ผลดีที่สุด รองลงมาก็คือ แสงแดดและแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีข้อดีที่ไม่ทำให้เกิดความร้อน ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวได้รับและการสังเคราะห์แสง พบว่าการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อความเข้มแสงถึงระดับอิ่มตัว Watt (1969) กล่าวว่า การปลดปล่อยสารประกอบประเภทคาร์บอนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตามความเข้มแสง โดยที่ความเข้มแสงสูง ๆ จะไปยับยั้งการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง

แสงมีผลต่อการเกิด photoinhibition และ photoinactivation ในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวโดยทั้งสองกระบวนการขึ้นกับความเข้มแสงและคุณภาพของแสงหรือคลื่นแสงในช่วงต่าง ๆ ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง โดยปรากฏการณ์ photoinhibition จะเกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มแสงประมาณ 2,000 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ส่วนคุณภาพแสงหรือช่วงคลื่นแสงต่าง ๆ ทั้งคลื่นแสงเหนือม่วงหรืออัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และคลื่นแสงที่ตามารถมองเห็น ได้ (visible light) มีผลต่อการเกิด photoinhibition เช่นกัน โดยเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลโดยตรงต่อการดิวคลิสิกซึ่งทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ สำหรับ photoinactivation เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวภาพ โดยพบว่าคลื่นแสงสีฟ้าสามารถทำลายเอนไซม์ ribulose biphosphate (RuBP) carboxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าแสงสีฟ้าทำลายไซโตโครมได้อีก (Sokawa และ Hase, 1968)

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่อาศัยอยู่บริเวณได้รับความเข้มแสงสูง เช่น อาศัยตามหินหรือดิน ซึ่งภายใต้สภาพเหล่านี้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจำเป็นต้องมีกลไกเพื่อป้องกันอันตรายจากแสงที่ได้รับ กลไกการป้องกันของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เช่น การเคลื่อนหนีแสงเพื่อหลีกเลี่ยงจากแสงที่มีความเข้มสูง หรือการสร้างสารประกอบที่ใช้ในการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อป้องกันแสงที่จัดเกินไปไม่ให้เป็นอันตรายต่อรงควัตถุสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ได้แก่ แคโรทีนอยด์ และนอกจากนี้ยังมี scytonemin ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบอยู่ภายในซีทสามารถละลายได้ในไขมันและสามารถดูดซับคลื่นแสงได้ในช่วงยาวคลื่นกว้างตั้งแต่ 280 ถึง 450 นาโนเมตร และ mycosporine-like-amino acid ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ละลายได้ในน้ำสามารถดูดซับคลื่นแสงในช่วงแคบกว่า scytonemin คือระหว่าง 310 ถึง 334 นาโนเมตร (Garcia และ Castenholz, 1991,1993)

1.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่าง ๆ ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวโดยอุณหภูมิมีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบภายในเซลล์โดยเฉพาะโปรตีนและไขมัน นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีอิทธิพลร่วมกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งอุณหภูมิไปมีผลต่อพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเหล่านี้ (Richmond, 1986)

Sato และ Murata (1980) กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน จากการทดลองย้าย *Ananaena variabilis* จากอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าเพียง 10 ชั่วโมงแรกการสังเคราะห์กรด

ไขมันของ *A. variabilis* ลดลง และเมื่อย้ายจากอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสเช่นเดิม พบว่าภายใน 5 ชั่วโมงหลังจากย้ายมีการสังเคราะห์กรดไขมันเพิ่มขึ้น

1.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (hydrogen ion concentration)

ความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อกระบวนการทางชีววิทยา ผลต่อประจุไฟฟ้าที่ผนังเซลล์การถ่ายเทประจุที่พลาสมาเมมเบรน และเกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าที่เซลล์เมมเบรน ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลาย ๆ ชนิด ความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเพาะเลี้ยงระหว่าง 7.0 ถึง 10.0 มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสง เนื่องจากไบคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ละลายได้มากที่สุดที่ช่วงระดับความเป็นกรดเป็นด่างนี้จึงสามารถใช้ HCO_3^- เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการสังเคราะห์แสง ทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้สูงที่สุดในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างนี้ (Coleman และ Colman, 1981)

ความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง มีผลต่อการละลายของเกลือและสารประกอบต่าง ๆ (Cook, 1965) ซึ่งการละลายของเกลือและสารประกอบต่าง ๆ อาจเป็นพิษหรือไปยับยั้งปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการละลายของโลหะหลายชนิด ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นอาจทำให้จุลธาตุบางตัวไม่ละลายได้

1.4 ความเค็มและแรงดันออสโมติก (salinity and osmotic effect)

การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่อาศัยในน้ำจืดจะถูกยับยั้งถ้าย้ายไปเลี้ยงในอาหารที่มีความเค็มสูงหรือมีค่าแรงดันออสโมติกสูง (Batteron และ van Baalen, 1971) ผลของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมากกว่าตัวเพิ่มแรงดันออสโมติกตัวอื่น ๆ

2. ปัจจัยทางเคมี

การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวขึ้นอยู่กับธาตุอาหารที่ใช้เลี้ยงซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ธาตุอาหารหลัก (macronutrient) และกลุ่มธาตุอาหารรอง (micronutrient) ธาตุอาหารหลักเป็นธาตุอาหารที่ใช้สำหรับสร้างโมเลกุลซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมาก ธาตุอาหารหลักโดยทั่วไปประกอบด้วยคาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ และโพแทสเซียม ส่วนธาตุอาหารรองเป็นธาตุอาหารที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวต้องการใช้ปริมาณน้อย มักมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ธาตุอาหารรองเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลที่จำเป็น เช่น เอนไซม์ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตหรือเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลของเอนไซม์ที่สำคัญบางชนิด หรือจำเป็นสำหรับเป็นตัวเร่งของเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วยธาตุอาหารต่อไปนี้

ออกซิเจน (oxygen)

ถึงแม้ว่าออกซิเจนไม่ได้ถูกพิจารณาว่าเป็นธาตุอาหาร แต่ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโครงสร้างและกระบวนการเมแทบอลิซึม ธาตุนี้เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์เกือบทั้งหมดในเซลล์ และโดยปกติออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในปฏิกิริยาออกซิเดชัน สำหรับสัตว์น้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้โมเลกุลของออกซิเจนได้โดยตรงจากบรรยากาศหรือที่ละลายอยู่ในน้ำ ในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางชนิดพบว่าออกซิเจนมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการตรึงไนโตรเจน โดยการยับยั้งจะเริ่มปรากฏขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศลดต่ำลง (Fay, 1992)

คาร์บอน (carbon)

คาร์บอนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว คือ คาร์บอน (Kaplan และคณะ, 1986) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวต้องการอนินทรีย์คาร์บอนในการสังเคราะห์แสง เช่นเดียวกับพืช แต่ปริมาณคาร์บอนในอากาศบางครั้งไม่เพียงพอกับความต้องการ เนื่องจากประมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในอากาศมีค่าต่ำเกินไป คือ มีเพียง 0.03 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (Becker, 1994) สำหรับแหล่งคาร์บอนที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวนั้นมักใช้ในรูปแบบของอากาศผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือให้ในรูปแบบคาร์บอนเตหรือไบคาร์บอนเตโดยอยู่ในรูปของเกลือ การที่คาร์บอนจะอยู่ในรูปใดขึ้นกับระดับความเป็นกรดเป็นด่าง เช่น ในรูปของเกลือไบคาร์บอนเตเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าระหว่าง 7 ถึง 9 หรืออยู่ในรูปของเกลือคาร์บอนเตเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าสูงกว่า 9.5 ขึ้นไป และคาร์บอนจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อน้ำมีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ในอาหารเลี้ยงที่มีระบบบัฟเฟอร์ไม่เหมาะสมเมื่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือ ไบคาร์บอนเตอย่างรวดเร็วในการเจริญเติบโต จะทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในอาหารมีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากมีการปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออนลงในอาหาร

ไนโตรเจน (nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ สำหรับการสร้างชีวมวลสดส่วนของไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 7 – 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นในการผลิตเซลล์ 1 กรัมในอาหาร 1 ลิตร ปริมาณโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) ต่ำสุดที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวต้องการคือ 500-600 มิลลิกรัมต่อลิตร (Vonshak, 1986) สารประกอบไนโตรเจนทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ในจุลสาหร่ายหลายชนิดรวมทั้งสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวด้วย และนอกจากนี้สาหร่ายสีน้ำเงิน

แกมเขียว ยังสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยสามารถเปลี่ยนจากแก๊สไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียในกระบวนการรีดักชัน โดยใช้เอนไซม์ไนโตรจีเนสเป็นตัวช่วย

สำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้แอมโมเนียและไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้โดยแอมโมเนียถูกนำไปใช้ได้เร็วกว่าไนเตรต เนื่องจากแอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากกระบวนการรีดักชันของไนเตรต ในบางครั้งแอมโมเนียอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการยับยั้งแบบย้อนกลับซึ่งทำให้สำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวใช้ในเตรตได้ลดลง ส่วนไนเตรตสำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้เหมือนกัน แต่มีข้อเสียคือ ความเข้มข้นของไนเตรตที่สูงจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตทำให้ไม่นิยมใช้

การใช้ไนเตรตและแอมโมเนียมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารอย่างมาก เมื่อใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน ความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเจริญเติบโตของสำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวสามารถถูกยับยั้งได้ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 1 มิลลิโมล (Morris, 1978)

สำหรับแหล่งของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ใช้เพาะเลี้ยงได้แก่ ยูเรีย (urea) เอไมด์ (amide) กลูตามีน (glutamine) แอสพาราจีน (asparagines) และกรดอะมิโน ต่าง ๆ เช่น ไกลซีน (glycine) เป็นต้น

ถ้าสำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวและสายอื่น ๆ ขาดธาตุไนโตรเจนจะมีผลทำให้รังควมในการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงไปด้วย (Allen, 1969) Canto de Loura (1994) กล่าวว่า สำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวสามารถนำสารประกอบไนโตรเจนที่เก็บสะสมไว้มาใช้ได้ จากการทดลองนำ *Oscillatoria splendida* ไปเลี้ยงในอาหารที่ไม่มีไนโตรเจน พบว่ารงควัตถุไฟโคไซยานินถูกสลายไปเป็นไนโตรเจนที่สำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้ได้ ทำให้ปริมาณไฟโคไซยานินลดลงอย่างเห็นได้ชัด และปริมาณไฟโคไซยานินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกเมื่อเติมไนโตรเจนลงในอาหาร และนอกจากนี้ยังมีการสะสมของแป้งและไขมันเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ฟอสฟอรัส (phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลัก ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสำหรับสายน้ำเงินแกมเขียว เพราะมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงานและกระบวนการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (Talling, 1962)

ชนิดของฟอสฟอรัสที่สำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวต้องการ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารอนินทรีย์มากกว่า เช่น H_2PO_4 หรือ HPO_4^{2-} อย่างไรก็ตามการดูดซึมสารประกอบฟอสเฟตของสำหรับสายน้ำเงินแกมเขียวและสายอื่น ๆ มีปัจจัยหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความ

เป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มข้นของโซเดียมไอออน โปแตสเซียมไอออน และ แมกนีเซียมไอออน หรือ โลหะหนักบางชนิดในอาหาร และความแตกต่างของสารละลายน้ำเงินแกมเขียวแต่ละชนิด

เมื่อสารละลายน้ำเงินแกมเขียวหรือสารละลายอื่น ๆ ขาดธาตุฟอสฟอรัส ลักษณะอาหารจะคล้ายคลึงกับการขาดธาตุไนโตรเจน คือ ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ อาร์เอ็นเอ (RNA) และดีเอ็นเอ (DNA) มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีการสะสมของไซยาโนไฟซิน (cyanophocine) ในเซลล์ที่ขาดฟอสเฟตมากขึ้นด้วย นอกจากนี้รูปร่างภายนอกของเซลล์สำหรับน้ำเงินแกมเขียว เช่น รูปร่างและขนาดของเซลล์หรือทรียโคมมีการเปลี่ยนแปลงด้วย และจากการศึกษาของ Prieto (1997) พบว่า เซลล์ที่ขาดฟอสเฟตเมื่อนำไปเลี้ยงในอาหารที่มีฟอสเฟตจะสามารถดูดซึมฟอสเฟตได้ในปริมาณที่สูงและเร็วกว่าเซลล์ที่ไม่ขาดฟอสเฟตทั้งในสภาพที่มีแสงและไม่มีแสงภายใต้สภาพมีออกซิเจน แต่ในสภาพที่ขาดออกซิเจน แสงจำเป็นต่อการดูดซึมฟอสเฟต

ซัลเฟอร์ (sulfur)

ซัลเฟอร์เป็นธาตุที่จำเป็น สำหรับสำหรับสารละลายน้ำเงินแกมเขียวเพราะซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นได้แก่ เมไทโอนีน (methionine) ซีสทีน (cystine) และซีสเตอีน (cysteine) วิตามินต่าง ๆ และซัลโฟลิปิด (sulfolipid) เป็นต้น โดยปกติซัลเฟอร์ที่สารละลายน้ำเงินแกมเขียวและสารละลายอื่น ๆ ใช้จะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ แต่มีสารละลายบางชนิดสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปอินทรีย์สาร เช่น กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเป็นแหล่งของซัลเฟอร์

แคลเซียม (calcium)

บทบาทของแคลเซียม ต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของสารละลายน้ำเงินแกมเขียวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่อย่างไรก็ตามมีการยอมรับกันว่าแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นแต่ต้องการในปริมาณน้อยกว่าธาตุอาหารหลักอื่น ๆ ซึ่งแคลเซียมอาจใช้ในรูปสารประกอบรวมกับแร่ธาตุตัวอื่น ๆ

โซเดียมและโพแทสเซียม (sodium and potassium)

โซเดียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็น สำหรับสำหรับสารละลายน้ำเงินแกมเขียวและสารละลายบางชนิดเท่านั้น แต่ถ้ามีปริมาณสูงอาจเป็นพิษต่อสารละลายน้ำเงินแกมเขียวได้ นอกจากนี้โซเดียมยังช่วยในการเปลี่ยนโมเลกุลไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียในการตรึงไนโตรเจนของสารละลายน้ำเงินแกมเขียวได้ โซเดียมและโพแทสเซียมมีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกันจึงสามารถใช้แทนกันได้ สำหรับโพแทสเซียมจำเป็นสำหรับสารละลายน้ำเงินแกมเขียวและสารละลายทุกชนิด เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด ภายใต้สภาพการขาดโพแทสเซียมการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงลดลงแต่การหายใจจะสูงขึ้น

แมกนีเซียม (magnesium)

แมกนีเซียมจำเป็นสำหรับสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายทุกชนิด เพราะเป็นองค์ประกอบของรงควัตถุที่ใช้สังเคราะห์แสง คือ คลอโรฟิลล์ และมีบทบาทต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์

2.ธาตุอาหารรอง ประกอบด้วยธาตุดังต่อไปนี้

เหล็ก (iron)

เหล็กเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมเพราะเป็นองค์ประกอบของไซโตโครมต่าง ๆ และนอกจากนี้เหล็กยังมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซึมไนโตรเจนและกระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากมีผลต่อการสังเคราะห์รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้แก่ ซี-ไฟโคไซยานิน และ คลอโรฟิลล์ เอ (Oquist, 1971) และเฟอริดอกซิน (ferredoxin) ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ระบบที่หนึ่ง (photosystem I) เหล็กเป็นธาตุที่มักจะตกตะกอนในสารละลาย ฉะนั้นจึงต้องใส่สารที่ป้องกันการตกตะกอนเรียกว่า คีเลเตอร์ หรือ chelating agent เหล็กที่ใช้อาจอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ แต่สารประกอบเหล็กนี้จะดูดน้ำทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ฉะนั้นจึงนิยมใช้สารประกอบพวกเหล็กอีดีทีเอ (FeEDTA) แทนเพราะมีคุณสมบัติคงรูปกว่า

โบรอน (Boron)

โบรอน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับสาหร่ายบางชนิด เช่น สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว และไดอะตอมโดยเฉพาะไดอะตอมที่อาศัยอยู่ในน้ำเค็ม แต่ธาตุนี้ไม่จำเป็นสำหรับสาหร่ายสีเขียว

แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี (manganese, copper and zinc)

แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมทั้งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์อีกหลายชนิด ถ้าขาดธาตุนี้อาจจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง แต่ถ้ามีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายชนิดอื่น ๆ

โมลิบดีนัม วาเนเดียม โคบอลท์และนิกเกิล (molybdenum, vanadium, cobalt and nickel)

โมลิบดีนัมมีบทบาทสำคัญต่อการตรึงไนโตรเจนในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง วาเนเดียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดอื่น ๆ และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางชนิด วาเนเดียมสามารถใช้ทดแทนโมลิบดีนัม ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในการตรึงไนโตรเจนโคบอลท์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวิตามินบี 12 ซึ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลายชนิด ถ้าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวขาดโคบอลท์จะทำให้การเจริญเติบโตลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 – 75 เปอร์เซ็นต์ การมีปริมาณนิกเกิลถึงแม้ความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบางชนิดได้ แต่ Van Baalen และ O Donnel (1978) พบว่า นิกเกิลเป็นธาตุที่จำเป็นต่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางชนิด ได้แก่ *Oscillatoria sp.* ไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว

เซเลเนียม (selenium)

บทบาทของเซเลเนียมต่อสาหร่ายชนิดอื่น ๆ และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่พบว่าในแหล่งน้ำปริมาณของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับปริมาณของเซเลเนียม แต่ในสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ไม่พบความสัมพันธ์

ลักษณะของสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune*)

N. commune เป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ มีลักษณะของทลัลลัส (thallus) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีแคปซูลเจลใส (hyaline capsular jelly) ห่อหุ้มรวมตัวกันอย่างหนาแน่น (firm) และพันกันยุ่งเหยิง (entangled) มีลักษณะนุ่มหรือแน่นทำให้มีลักษณะผิวคล้ายแผ่นหนัง สามารถสร้างกลุ่มเซลล์ได้ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ทรายโคลมมีความกว้าง 5-7 ไมครอน เซลล์รูปถัง (barrel-shaped) ถึงค่อนข้างกลม กว้างประมาณ 6.69 ไมครอน ยาว 8.05 ไมครอน เซลล์เฮเทอโรซิสต์ (heterocyst) รูปร่างค่อนข้างกลม กว้างประมาณ 7.25 ไมครอน

ลักษณะเด่นของ *N. commune* คือ สามารถสังเคราะห์พอลิแซ็กคาไรด์แล้วปล่อยออกนอกเซลล์ได้ (extracellular polysaccharide) ในลักษณะคล้ายเมือกที่ปล่อยออกทุกทิศทางหรืออยู่ในรูปแคปซูลเจล (capsular jelly) ห่อหุ้ม

สาหร่ายเห็ดลาบ มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นแบนบางหนาประมาณ 1.0 มิลลิเมตร มีสีตั้งแต่สีน้ำเงินแกมเขียวจนถึงสีเหลือง ซึ่งคล้ายเห็ดหูหนูสีเขียวที่ขึ้นบนดิน ขนาดของแผ่นจะแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพที่พบ หากเป็นพื้นที่ที่มีน้ำขังและอยู่นาน สาหร่ายที่พบจะมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ ส่วนสาหร่ายเห็ดลาบแห้งจะมีลักษณะหดตัวเป็นแผ่นแข็ง สีน้ำตาลถึงดำ มีลักษณะขรุขระ ชาวบ้าน อ.นาเชือก จ.มหาสารคาม นิยมเก็บไปทำลาบ จึงได้ชื่อประจำท้องถิ่นว่า " เห็ดลาบ " ในฤดูฝน เมื่อเกิดฝนตกจะทำให้สาหร่ายที่ในหน้าร้อนหดตัวเป็นแผ่นบางกรอบ คล้ายกระดาษ (ซึ่งเป็นระยะพักตัว, resting stage) ดูดซับน้ำฝนขยายตัวเป็นแผ่นวุ้นบาง ไม่มีรสชาติ มีเนื้อนิ่มหยุ่นแต่กรอบ คล้ายสาหร่ายทะเล *Undaria pinnatifida* หรือ Wakame ที่นิยมบริโภคในญี่ปุ่น อย่างไรก็ตามสาหร่ายเห็ดลาบมีคุณสมบัติที่ดีกว่า คือ ไม่มีกลิ่นคาว ทำให้ชาวบ้านนิยมเก็บไปบริโภคเป็นประจำทุกปีในฤดูฝน ซึ่งเป็นเพียงฤดูกาลเดียวเท่านั้นที่สาหร่ายชนิดนี้จะแพร่และขยายพันธุ์ได้

คุณค่าทางอาหารจากสาหร่าย

สมปอง (2509) รายงานว่า คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายทะเลบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งประกอบด้วยสาหร่ายสีน้ำตาล 8 ชนิด และสาหร่ายแดง 1 ชนิด องค์ประกอบส่วนใหญ่ของสาหร่ายเป็นความชื้นและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 34.65 – 89.99 % และ 44.57 – 76.93 % ตามลำดับ ส่วนโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย มีอยู่ในปริมาณน้อยและพบมีค่าอยู่ในช่วง 4.86 – 19.76 % , 0.56 – 1.88 % , 5.88 – 29.96 % , 5.05 – 15.15 % ตามลำดับ ส่วน Sanford (1958) พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสาหร่ายทะเลเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต และส่วนน้อยเป็นโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมมีเป็นปริมาณสูง จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* พบระดับเฉลี่ยของเถ้า ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เท่ากับ 42.5 % , 5.3 % , 14.9 % , และ 5.6 % ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Dawes และ Goddard, 1978) ส่วน Hasni และคณะ (1986) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa taxifolia* และสาหร่ายสีแดง *Hypnea musciformis* ประกอบด้วยโปรตีน 5.8 และ 12.5 , คาร์โบไฮเดรต 65.8 และ 25.0, เถ้า 14.8 และ 35.3 , ไขมัน 0 และ 3.7 % สำหรับปริมาณเส้นใยในสาหร่าย *Ulva lactuca* และ *Enteromorpha compressa* มีค่าระหว่าง 15.8 – 18.0 % และ 14.9–15.9 % ตามลำดับ (Lahaye และ Jegou, 1993)

Honya และคณะ (1994) รายงานว่าฤดูกาลเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความผันแปรของกรดไขมันในสาหร่าย *Laminaria japonica* โดยปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) มีค่าน้อยที่สุดในกลางฤดูร้อน ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (mono-unsaturated fatty acid) จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงปลายฤดูร้อนจนถึงฤดูใบไม้ร่วง และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (poly – unsaturated fatty acid) มีปริมาณมากที่สุดในฤดูร้อน จากการศึกษาของ Terrados และ Lopez – Jimenez (1996) ได้ศึกษาถึงจำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวของสาหร่าย *Caulerpa prolifera* โดยกำหนดในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวที่บริเวณชายฝั่ง Mar Menor ผลการศึกษาพบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (poly – unsaturated fatty acid) ในเดือนมกราคมมีปริมาณสูงกว่าในเดือนสิงหาคม ในขณะที่จำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงคู่ (mono – diunsaturated fatty acids) มีค่าใกล้เคียงกันในทั้งสองฤดู ในเดือนสิงหาคม จำนวนดัชนีความไม่อิ่มตัวเปลี่ยนจาก 76.15 ± 1.8 เป็น 128.05 ± 0.32 ในเดือนมกราคม

สาหร่ายนอสตอค, *Nostoc flagelliforme* เป็น "อาหารที่มีบทบาทในด้านอาหารเพื่อสุขภาพ" *Nostoc flagelliforme* เป็นชนิดที่นิยมนำมาบริโภค ซึ่งเรียกว่า "Facai หรือ Black moss" ในประเทศจีน โดยมีคุณค่าทางอาหารดังนี้ มีโปรตีน 21.4% ไขมัน 0.5% คาร์โบไฮเดรต 56.8% (ส่วนใหญ่เป็นโพลีแซคคาไรด์) เยื่อใย 1.9% และเถ้า 4.4% และแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมนำมาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเส้นด้ายและวัตถุดิบแห้ง

โภชนะ	สาหร่ายเส้นด้าย	แกลบกุ้ง	ใบกระถิน	ข้าวโพด
ความชื้น %	12.7	11.9	9.8	11.9
โปรตีน %	10.4	29.2	21.7	7.6
ไขมัน %	3.6	5.7	3.7	4.2
เยื่อใย %	14.1	6.0	8.6	1.7
เถ้า %	22.6	35.7	11.5	4.4
แคลเซียม %	0.01	13.20	0.54	0.01
ฟอสฟอรัส %	0.03	3.20	0.02	0.13
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)	2,162	2,702	4,391	5,803
ปริมาณแซนโท ฟิลล์รวม (ppm.)	8.4	น้อยกว่าค่าไม่ ได้	175.0	13.2
เกลือ %	-	5.49	-	-

ที่มา : รวีวรรณ ไชระโร (2531)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเห็ดลาบ (*N. commune*)

รายการ (หน่วย)	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม/100กรัม)	10.19
โปรตีน (กรัม/100กรัม)	20.26
เถ้า (กรัม/100กรัม)	16.2
ไขมันทั้งหมด (กรัม/100กรัม)	0.02
ใยอาหาร (กรัม/100กรัม)	4.3
วิตามินเอ (ไมโครกรัม/100กรัม)	2.31
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.02
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.01
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
Glutamine acid	2064.97
Proline	486.36
Glycine	1044.1
Alanine	1658.24
Cystine	ตรวจไม่พบ
Valine*	1220.93
Methionine*	49.33
Isoleucine	797.17
Leucine*	1374.11
Tyrosine	446.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ)

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

*กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid)

องค์ประกอบและคุณสมบัติของนม

นํ้ามนเป็นอาหารที่มีความขึ้นสูง กล่าวคือ มีน้ำโดยเฉลี่ยประมาณ 87% นอกจากนี้ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ และวิตามินในอัตราส่วนแตกต่างกัน สารที่มีโมเลกุลเล็กซึ่งได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และวิตามินจะละลายน้ำได้ จึงอยู่ในนํ้านม ในลักษณะสารละลายโปรตีน และเอนไซม์มีโมเลกุลใหญ่จะอยู่ในนํ้านมลักษณะสารแขวนลอน (Colloid) ส่วนไขมันซึ่งเป็นหยดเล็ก ๆ จะอยู่ในสภาพสารผสม (Emulsion) เพราะไม่ละลายน้ำ

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของนํ้านมวัวที่ผลิตขายตามท้องตลาด

ส่วนประกอบของนํ้านม	ปริมาณ (ร้อยละ)	เฉลี่ย (ร้อยละ)
น้ำ	82.0-90.0	87.3
ไขมัน	2.3-7.8	3.67
โปรตีน	2.0-4.5	3.42
แลคโตส	3.5-6.0	4.78
เกลือแร่	0.6-0.9	0.73
ของแข็ง	10.0-18.0	12.69
ของแข็งที่ปราศจากไขมัน	7.5-10.6	8.77

ที่มา : พวงพร โชติไกร (2537 : 186)

โปรตีนที่อยู่ในนํ้านมมีคุณภาพสูง คือ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกายในปริมาณพอเหมาะ และยังมีกรดอะมิโนที่สำคัญบางตัวมากเป็นพิเศษ เช่น ไลซีน (Lysine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลูซีน (Leucine) เป็นต้น สารประกอบพวกโปรตีนที่สำคัญในน้ำนม ได้แก่ เคซีน (Casein) แลคโตโกลบูลิน (Lactoglobulin) แลคตัลบูมิน (Lactalbumin) และ อนไซม์ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณต่างกัน (พวงพร โชติกไกร, 2537 : 187-188)

เอนไซม์ที่มีในน้ำนมวัว ได้แก่ โปรตีเอส (Protease) ไลเปส (Lipase) ออกซิเดส (Oxidase) คาตาเลส (Catalase) ฟอสฟาเตส (Phosphatase) และเพอร์ออกซิเดส (Proxidaes) เนื่องจากฟอสฟาเตสทนความร้อนในการพาสเจอร์ไรซ์ได้ ดังนั้นจึงมักใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์นี้สำหรับตรวจสอบว่าน้ำมนั้นผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ถูกต้องหรือไม่ (พวงพร โชติกไกร, 2537 : 188)

ไขมันในน้ำนมประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด กรดไขมันที่พบมากและมีความสำคัญได้แก่ กรดบิวไทริก (Butyric) กรดคาโปรอิก (Caproic) กรดคาปริลิก (Caprylic) กรดคาปริค (Capric) กรดโอลีสอิก (Oleic) และ กรดลิโนลีสอิก (Linoleic) เป็นต้น (พวงพร โชติกไกร, 2537 : 188)

คาร์โบไฮเดรตที่มีในน้ำนม ได้แก่ แลคโตส เป็นไดแซคคาไรด์ เมื่อถูกย่อยให้กลูโคสและกาแลคโตส

วิตามินและเกลือแร่ที่มีในน้ำนมปริมาณสูง ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม กำมะถัน และวิตามินเอ ส่วนวิตามินบี และไนอะซินในน้ำนมมีในปริมาณมากพอควร (พวงพร โชติกไกร, 2537 : 189)

ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผงชูรส

วัสดุเหลือใช้จากโรงงานผงชูรสนับเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูง และมีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อย่างกว้างขวาง ทั้งการใช้โดยตรงหรือนำไปปรุงแต่งก่อนนำมาใช้โดยส่วยที่นำมาใช้และเป็นที่รู้จักกันดีก็คือ อามิ-อามิ (Ami-Ami) ซึ่งจะมีทั้งชนิดเหลวข้นและเจือจาง อีกส่วนหนึ่งคือ ฮิวมัส ซึ่งเป็นส่วนของอามิ-อามิที่ได้รับการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้สูงขึ้น มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลสามารถนำสารอินทรีย์เหล่านี้ไปใช้ในไร่นาโดยตรง แต่ควรมีการพิจารณาถึงวิธีการใช้ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบของเคมี Ami-Ami L และ new Ami-Ami G

ส่วนประกอบ	Ami-Ami L อามิ-อามิ แอล (% กรัมต่อลิตร)	New Ami-Ami G นิวอามิ-อามิ จี (% กรัมต่อลิตร)
ปริมาณไนโตรเจน(total N)	4.68	6.03
โพแทสเซียม (K ₂ O)	0.27	1.24
แคลเซียม (Ca ⁺⁺)	0.28	7.87
โซเดียม (Na ⁺)	0.42	1.28
คลอรีน (Cl)	8.45	1.62
ของแข็ง (solid)	27.80	69.84
pH	5.5	6.7
น้ำ (H ₂ O)	72.2	30.2

ที่มา : สมบูรณ์ และคณะ (2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร

วัสดุและวิธีการ

1. สาหร่าย *Nostoc commune* จากห้องเพาะเลี้ยงแพลงค์ตอน ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

2. สูตรอาหาร BBM อาหารที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

3.1 เครื่อง Spectrophotometer

3.2 เครื่องตั้งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4. อุปกรณ์

4.1 ขวดน้ำเกลือ

4.2 สายยาง

4.3 แท่งแก้ว

4.4 กระจกตวงขนาดต่าง ๆ

4.5 ปีเปต

4.6 ชั้นวางขวดทดลอง

4.7 ปีกเกอร์ขนาดต่าง ๆ

4.8 ผ้ากรองไนลอน

4.9 หัวทราย

วิธีการเลี้ยงสาหร่าย

การเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นสาหร่ายตั้งต้น

นำสาหร่าย *Nostoc commune* จากห้องเพาะเลี้ยงแพลงค์ตอนวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง มาทำการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BBM เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้น โดยนำสาหร่ายที่เตรียมมาใส่ลงในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร ที่มีอาหารสูตร BBM ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณสาหร่ายตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและป้องกันไม่ให้อาหารตกตะกอน ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยมีการให้แสงตลอดเวลา

การเลี้ยงสาหร่ายในนม

ทำการทดลองขั้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc commune* ในปฏิกิริยาผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% จากผลการทดลองพบว่าสาหร่าย *N. commune* เจริญได้ในปฏิกิริยาผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, และ 0.3%

1. เตรียมปฏิกิริยาสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายนอสตอค ดังนี้

โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) 150 กรัม/น้ำ 1 ตัน

ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 30 กรัม/น้ำ 1 ตัน

โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 1000 กรัม/น้ำ 1 ตัน

2. ละลายปฏิกิริยาที่ละชนิดจนปฏิกิริยาทุกตัวละลายเข้ากัน

3. ตวงปริมาตรใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร ในสภาวะแวดล้อมปกติ

4. ใส่นมตามความเข้มข้น ดังนี้ 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร, 0.2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ 0.3 มิลลิลิตรต่อลิตร

5. ใส่สาหร่ายตั้งต้น 20 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและป้องกันไม่ให้อาหารสาหร่ายตกตะกอน

6. งดการเจริญเติบโตโดยการวัดคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้งทุก ๆ 3 วัน

การเลี้ยงสาหร่ายในอามิ-อามิ

ทำการทดลองขั้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในปฏิกิริยาผสมอามิ-อามิ ความเข้มข้น 0.3%, 0.5%, 0.7% และ 1.0% จากผลการทดลองพบว่าสาหร่าย *N. commune* สามารถเจริญเติบโตได้ที่ความเข้มข้นอามิ-อามิ 0.3%, 0.5% และ 0.7%

1. เตรียมปฏิกิริยาสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายนอสตอค ดังนี้

โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) 150 กรัม/น้ำ 1 ตัน

ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 30 กรัม/น้ำ 1 ตัน

โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 1000 กรัม/น้ำ 1 ตัน

2. ละลายปฏิกิริยาที่ละชนิดจนปฏิกิริยาทุกตัวละลายเข้ากัน

3. ตวงปริมาตรใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร ในสภาวะแวดล้อมปกติ

4. ใส่อามิ-อามิตามความเข้มข้น ดังนี้ 0.3 มิลลิลิตรต่อลิตร, 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร และ 0.7 มิลลิลิตรต่อลิตร

5. ใส่สาหร่ายตั้งต้น 20 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและป้องกันไม่ให้อาหารสาหร่ายตกตะกอน

6. งดการเจริญเติบโตโดยการวัดคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้งทุก ๆ 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

1. การวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมด (Crude Protein) โดยวิธีเจลดดาห์ล (Kjeldahl Method)

1.1 อุปกรณ์

1.1.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน ประกอบด้วย

1.1.1.1 เครื่องย่อยสาร (digestion apparatus)

1.1.1.2 หลอดย่อยสาร (Kjeldahl tube) ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.1.1.3 Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.1.1.4 ที่วางหลอดย่อย (Insert rack)

1.1.2 เครื่องกลั่น

1.1.2.1 เครื่องกลั่น (Distillation apparatus) พร้อม Cooling bath เพื่อหมุนเวียน

น้ำเย็นเข้าสู่ Condenser

1.1.3 บิวเรต

1.1.4 ขาดัง

1.2 สารเคมี

1.2.1 กรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 conc. 93-98%)

1.2.2 ค่ะตะลิสต์ผสม

(ประกอบด้วย Potassium sulphate 100 กรัม Coppersulphate 10 กรัม)

1.2.3 สารละลาย NaOH 32%

1.2.4 สารละลายกรดบอริก 4%

1.2.5 อินดิเคเตอร์

(Bromocresol green ผสมกับ Methyl red ในอัตราส่วน 5 : 1)

1.2.6 สารละลายมาตรฐานกำมะถัน 0.1 N ($0.1 N H_2SO_4$)

1.3 วิธีการทดลอง

1.3.1 การย่อย (Digestion)

1.3.1.1 ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) ประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยสาร (Kjeldahl tube)

1.3.1.2 ใส่ค่ะตะลิสต์ผสมจำนวน 10 กรัม ลงใน Kjeldahl tube ที่มีสารตัวอย่างเดิมกรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) 20 มิลลิลิตร

1.3.1.3 นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 350 – 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง – 2 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลายใสแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิ

ภูมิห้อง

1.1.1.4 เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว ให้เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องกลั่น

1.3.2 การกลั่น (Distillation)

1.3.2.1 เสียบปลั๊กไฟเครื่องกลั่นให้พร้อมสำหรับการทำงาน พร้อมกับเปิดวาล์ว น้ำเครื่อง Cooling bath เพื่อให้ น้ำไหลหล่อเย็น Condenser

1.3.2.2 นำหลอดย่อยไปวางต่อเข้ากับเครื่องกลั่น

1.3.2.3 เติมน้ำสารละลายกรดบอริก 4% จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำสีผสมอาหาร 2-3 หยด จากนั้นนำไปวางต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เพื่อทำหน้าที่เก็บแอมโมเนียที่ได้จากการกลั่น

1.3.2.4 ตั้งโปรแกรมการทำงานโดยให้มีการเติม NaOH 32 % จำนวน 75 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อย

1.3.2.5 ทำการกลั่นเป็นเวลา 5 -7 นาที เพื่อให้แอมโมเนียไปเก็บไว้ในสารละลายกรดบอริก นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตด้วย H_2SO_4 0.1 N

1.4 การไตเตรต (Titration)

1.4.1 เติมน้ำ H_2SO_4 0.1 N ลงในบิวเรต

1.4.2 นำสารละลายตัวอย่างใน Elenmeyer flask ที่ได้จากการกลั่น มาทำการไตเตรต จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู

1.4.3 เปรียบเทียบกับ Blank ทำเช่นเดียวกันทุกขั้นตอน ยกเว้นจะไม่ใส่สารตัวอย่าง

1.4.4 บันทึกปริมาตรของ H_2SO_4 0.1 N ที่ใช้ในการไตเตรตสารตัวอย่างและ Blank

1.5 การคำนวณปริมาณโปรตีน

$$\% \text{ Crude protein} = \frac{1.4(V)N \times 6.25}{W}$$

W

V = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรต

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของ H_2SO_4

W = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

2. การวิเคราะห์ไขมัน

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxlet (Soxlet apparatus)

2.1.2 Flask ก้นกลม Extraction thimble

2.1.3 สาลี , กระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 โถดูดความชื้นและตู้อบ

2.1.4 กระดาษฟรอยด์

2.2 สารเคมี

2.2.1 Petroleum ether

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 นำ flask ก้นกลมที่สะอาดไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในโถดูดความชื้นแล้วนออกมาซึ่งให้น้ำหนักคงที่

2.3.2 ชั่งสารตัวอย่างให้มีน้ำหนัก 1.5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ลงใน Extraction thimble (ตัวอย่างและ Extraction thimble ที่ใช้ควรผ่านการอบไล่ความชื้นออก) อุดด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน จากนั้นนำใส่ลงในชุด Soxlet

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

2.3.4 เปิด Cooling bath โดยตั้งอุณหภูมิที่ 5-10 องศาเซลเซียส

2.3.5 เปิดเครื่องมือให้ความร้อน โดยเริ่มแรกให้หมุนไปที่ตำแหน่งให้ความร้อน 3 (การปรับตำแหน่งระดับของความร้อนที่ใช้ ให้สังเกตจากการเดือดของสารละลาย โดยสารละลายควรเดือดในระดับที่สมดุลกับการกลั่นตัวของไอ)

2.3.6 การสกัดใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง ก็สามารถสกัดไขมันจากตัวอย่างอาหารได้หมดจากนั้นนำ thimble ออกจากชุด soxlet

2.3.7 กลั่นเก็บ solvent ต่อ จนกระทั่ง petroleum ether ใน flask ก้นกลมเกือบหมด

2.3.8 นำ flask ก้นกลมที่มีไขมันอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก

2.4 การคำนวณปริมาณไขมัน

$$\% \text{ Ether extract ของอาหาร} = \frac{(b-a)}{w} \times 100$$

w

a = น้ำหนักของขวดแก้วกันเบน

b = น้ำหนักของขวดแก้วกันเบนและ ether extract หลังอบ

w = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร

3. ความชื้น โดยวิธีการอบแห้ง (drying methods)

3.1 อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.1 ตู้อบแห้ง (drying oven)
- 3.1.2 ถ้วยครุชชีเบล
- 3.1.3 โถดูดความชื้น (dessiccator)
- 3.1.4 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.1.5 คีมจับ (tong)

3.2 วิธีการทดลอง

- 3.2.1 เตรียมถ้วยครุชชีเบลที่ล้างสะอาดแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกจากเตาอบเข้าใส่ในโถอบแห้ง ทิ้งให้เย็นและนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน
- 3.2.2 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยครุชชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
- 3.2.3 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
- 3.2.4 นำตัวอย่างออกจากตู้อบแล้วทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
- 3.2.5 นำไปอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่
- 3.2.6 นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น

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

A = น้ำหนักถ้วยครุชชีเบล + ตัวอย่างก่อนเข้าอบ

B = น้ำหนักถ้วยครุชชีเบล + ตัวอย่างหลังเข้าอบ

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ได้ทั้งหมด

4.1 อุปกรณ์

- 4.1.1 ถ้วยกระเบื้อง (Porcelai or silica crucible)
- 4.1.2 โถอบแห้ง (Desicator)
- 4.1.3 เตาเผา (Muffle furnace)
- 4.1.4 ตู้ควัน (Fume cupboard)
- 4.1.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 4.1.6 Hot plate
- 4.1.7 คีมคีบ (Tong)
- 4.1.8 ถุงมือกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการ

4.2.1 เเผา crucible ที่สะอาดและแห้งในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450-600 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถอบแห้ง แล้วชั่งเพื่อให้น้ำหนักที่แน่นอน

4.2.2 นำตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์จำนวนประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible

4.2.3 เปิดพัดลมในตู้ดูดควันแล้วนำตัวอย่างอาหารใน crucible เข้าไปเผาตู้ควันโดยใช้ Hot plate

4.2.4 นำ crucible พร้อมตัวอย่างที่ไหม้แล้วเข้าไปเผาต่อในเตาเผาที่ความร้อน 450-600 องศาเซลเซียส เเผาจนถ้ำเป็นสีขาวหรือสีเทาอ่อน ปกติใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ครึ่ง - 2 ชั่วโมง

ในกรณีที่ถ้ำไม่เป็นสีขาว ซึ่งแสดงว่ายังมีคาร์บอนอยู่บ้าง ให้หยดน้ำยาแอมโมเนียมคาร์บอเนต 2-3 หยด ลงบนถ้ำ ระเหยให้แห้งแล้วเผาต่อในเตาเผาจนได้สีขาว

4.2.5 ใช้คีมคีบ crucible ไปทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด

4.3 คำนวณ

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

เมื่อ A = น้ำหนัก crucible ที่เย็น + น้ำหนักถ้ำที่ได้หลังจากการเผาในเตาเผา

B = น้ำหนัก crucible

W = น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้วิเคราะห์

(% สิ่งแห้ง (Drymatter) = 100 - % ความชื้น)

5. การวิเคราะห์แคลเซียม

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 ถ้วยครุซีเบล (Porcelain evaporating dish หรือ crucible)

5.1.2 Hot plate

5.1.3 Muffle furnace

5.1.4 Burette

5.1.5 แท่งแก้วคนสาร

5.1.6 Volumetric flask ขนาด 250 ml.

5.1.7 น้ำกลั่น

5.1.8 บีเปต ขนาด 50 ml และขนาดอื่น ๆ

5.1.9 ปีกเกอร์ขนาด 250 ml และปีกเกอร์สำหรับกรอง

5.1.10 กระจกนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.11 กระดาษกรองเบอร์ 40

5.2 สารเคมี

5.2.1 NO_3 conc

5.2.2 6 N HCL

5.2.3 HCl 50 %

5.2.4 H_2SO_4 conc5.2.5 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 0.3 กรัมของอาหาร) ลงใน crucible นำไปเผาบน hot plate จนแห้ง

5.3.2 นำไปเผาต่อในเตาเผา โดยค่อยเร่งอุณหภูมิไปที่ 550 องศาเซลเซียส ทำการเผาเป็นระยะเวลา 3-4 ชั่วโมง

5.3.3 นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นและทำให้ชื้นด้วยกรดไนตริก โดยใช้แท่งแก้วค่อย ๆ ค่อย ๆ หยดพอชื้น ตั้งบน hot plate จนแห้ง

5.3.4 นำกลับไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อีกเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ถ้าหากถ้าที่ได้ยังไม่ขาวให้เติมกรดไนตริกอีก ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเผาซ้ำอีกครั้ง จนกระทั่งได้สีขาว

5.3.5 นำแก้วที่ได้จากการเผา มาเติม HCl 50% จำนวน 10ml.

5.3.6 นำไปตั้งบน hot plate ต้มเพื่อให้แก้วละลายให้หมด ใช้แท่งแก้วคน (ควรเปิดไฟอ่อน ๆ ขนาดเบอร์ 1-1.5)

5.3.7 ถ่ายสารละลายลงใน volumetric flask ขนาด 250 ml. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.3.8 บีบเติมสารละลายมา 50 ml. ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml. หยด methyl red 1-2 หยด (เป็นกรด มีสีส้มแดง) ทำให้เป็นกลางด้วย NH_4OH conc. จนสารละลายมีสีเหลืองอ่อน ๆ ของ methyl red

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ml. ลงไปปิกเกอร์

5.3.10 ปิดเบ็กเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำไปต้มจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือขาวทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 ล้างตะกอนด้วยแอมโมเนียมเจือจางจนหมด oxalate (ทดสอบโดยหยด CaCl_2 ในน้ำล้าง ถ้ายังเกิดตะกอน แสดงว่า oxalate ยังไม่หมด)

5.3.11 เอาปิกเกอร์ใบเดิมที่ใช้ตกตะกอน รองใต้กระดาษกรอง เจาะกระดาษกรองให้เป็นรู ล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดตะกอนแล้วเติม H_2SO_4 conc. จำนวน 2.5 ml. นำไปอุ่นใน Hot plate ที่ 85 องศาเซลเซียส

5.3.12 นำมาไตเตรตกับ potassium permanganate 0.05 N จนได้สารละลายสีชมพูจาง ๆ ปรากฏอยู่นานไม่ต่ำกว่า 30 วินาที แสดงว่าถึงจุด end point

5.4 คำนวณหา %Ca

$$1 \text{ ml. ของ } 0.05 \text{ KMnO}_4 = 0.01 \text{ กรัมของแคลเซียม}$$

$$\% \text{ Ca} = \frac{\text{ml.} \times 0.01 \times 100}{W}$$

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 ปิกเกอร์ขนาด 250 ml.

6.1.4 Graduated pipet ขนาด 10 ml

6.1.5 Graduated test ขนาด 10 ml พร้อมฝาปิด 6หลอด

6.1.6 Spectrophotometer, cuvet

6.2 สารเคมี

6.2.1 Molybdovanadate reagent

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

6.2.1.2 ละลาย 1 กรัม แอมโมเนียมเมตเมต้าวาเดทในน้ำกลั่นร้อน 125 มิลลิลิตร

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติม 225 มิลลิลิตร 70 % กรดเปอร์คลอริก(solution B)

6.2.1.3 ค่อย ๆ ริน solution A ลงใน solution B ช้า ๆ คนให้เข้ากันปรับให้มี ปริมาตร 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 จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 0.10 mg)

6.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานของโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ให้มีความเข้มข้นที่ 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 ppm. ตามลำดับ แล้วเติม molybdovanadate reagent 10 ml เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 50 ml นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (% absorance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 nm.

เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอยู่บนแกน X และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) อยู่บนแกน Y หาปริมาณของฟอสฟอรัสในสารละลายตัวอย่างได้ โดยการอ่านค่าจากเส้นกราฟมาตรฐาน

6.4 ละลายตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

6.4.1 ถ้าย่อยที่ได้จากการเผาลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml โดยใช้กรดเจือจาง(HCL50%) และน้ำกลั่นร้อนช่วยล้างเข้าในครุฑีเบล เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 75 ml

6.4.2 ต้มให้เดือดช้า ๆ บน hot plate ระเหยน้ำให้เหลือประมาณ 50 ml ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที – 1 ชั่วโมง

6.4.3 กรองสารละลายใส่ Erlenmeyer flask 250 ml โดยใช้กระดาษกรองที่ไม่มีเถ้า ใช้ น้ำกลั่นร้อนล้างตะกอนลงบนกระดาษกรอง

6.4.4 ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงใน Erlenmeyer flask ที่มีสารละลายข้างต้น ปรับ ปริมาตรให้ได้ 250 ml

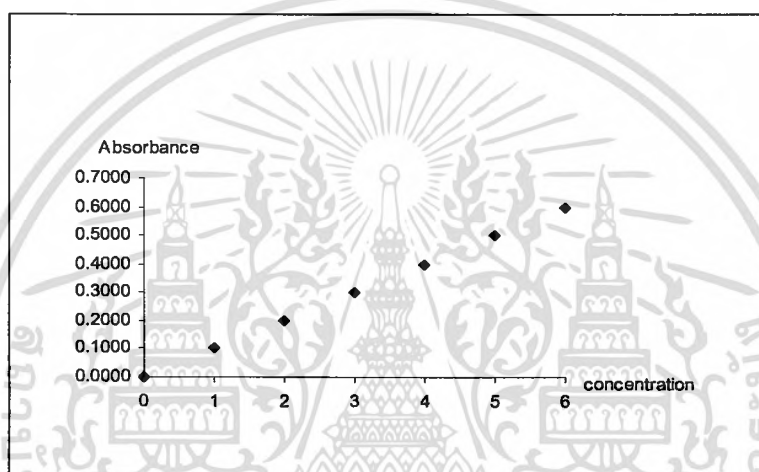
6.4.5 ใช้ปิเปตดูดสารละลายข้างต้นมา 2 ml ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 ml และเติม Molybdovanadate reagent 10 ml

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

6.4.7 อ่านค่าฟอสฟอรัสในตัวอยางอาหารจากกราฟมาตรฐาน

6.5 การคำนวณ

$$\% \text{ Phosphorous ในอาหาร} = \frac{\text{ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่อ่านได้จากกราฟ} \times 25 \times 250 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักอาหาร(mg)}}$$



7 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 หลอดทดลองขนาด 20 ml

7.1.2 Vortex

7.1.3 เครื่องวัด spectrophotometer

7.2 สารเคมี

7.2.1 Phenol 5 %

7.2.2 H₂SO₄ conc

7.2.3 glucose standard

7.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

7.3.1 เตรียมสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้น 200 ug/100 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสให้มีความเข้มข้น 0,10,20,40,60,80,100 ug/ml

ตาม

ลำดับ เติมน phenol 5 % 1 ml เขย่าเติม H_2SO_4 conc 10 ml เขย่าแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (%absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 485 nm

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่าง ประมาณ 0.0001-0.0009 กรัม เติมน phenol 5% 1 ml เขย่า เติมน H_2SO_4 conc 10 ml ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง(%absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 485 nm

7.4 วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ Carbohydrate} = \frac{\text{slope} \times \text{total volume} \times OD_{485} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้ง} \times 1 \times 1000}$$

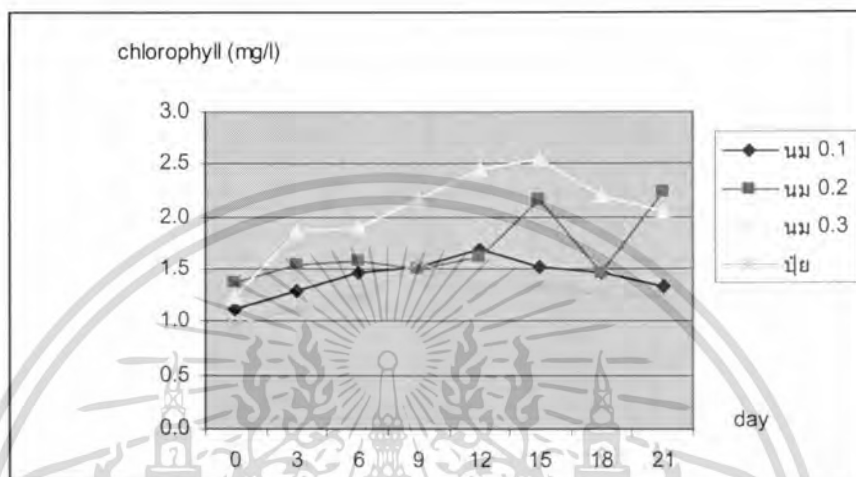


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

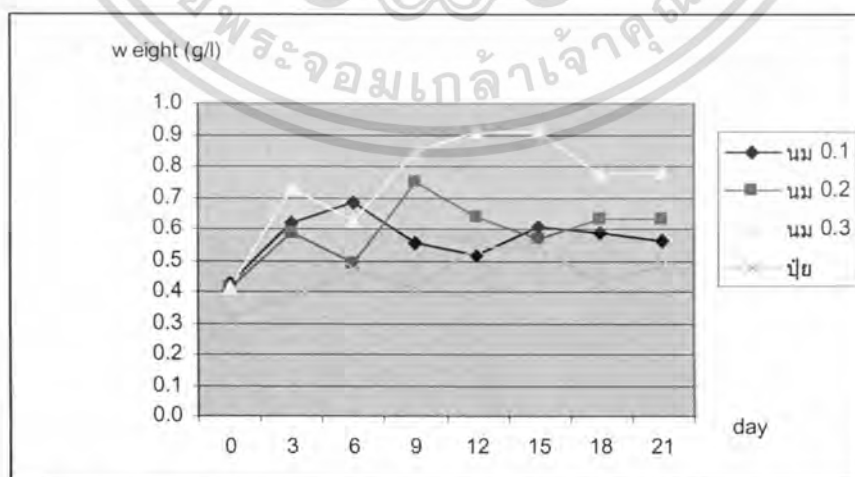
1. แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้ง

1.1 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 1 กราฟแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *Nostoc commune* ที่วัดค่าในวันสุดท้ายของการทดลอง ในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1% มีค่าเท่ากับ ใน 1.33 mg/l ปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นนม 0.2% มีค่า 2.23 mg/l ใน ปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.3% มีค่า 2.049 mg/l ในปุ๋ย มีค่า 1.22 mg/l



ภาพที่ 2 กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพจะเห็นได้ว่าการเจริญของ *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.1% ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.56 g/l ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.2% ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.63 g/l ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.3% ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.78 g/l และที่เลี้ยงในปุ๋ย ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.48 g/l

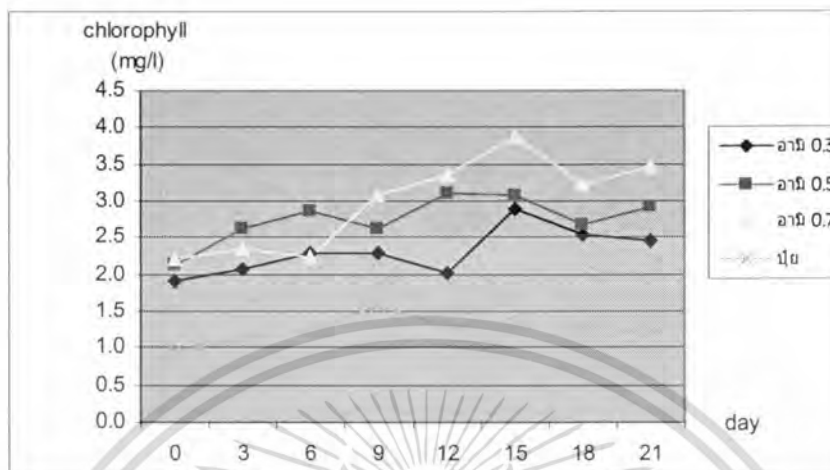
ตารางที่ 5 ผลผลิตที่สิ้นสุดการทดลอง (21 วัน) ของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นนม (ร้อยละ)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l)	ปริมาณน้ำหนักแห้ง (g/l)
นม 0.1	1.33±0.02 ^{ab}	0.56±0.56 ^b
นม 0.2	2.36±0.15 ^a	0.63±0.63 ^{ab}
นม 0.3	2.04±0.50 ^{ab}	0.78±0.78 ^a
ปุ๋ย	1.23±0.07 ^b	0.48±0.48 ^b

ตัวอักษร (a, b.) ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

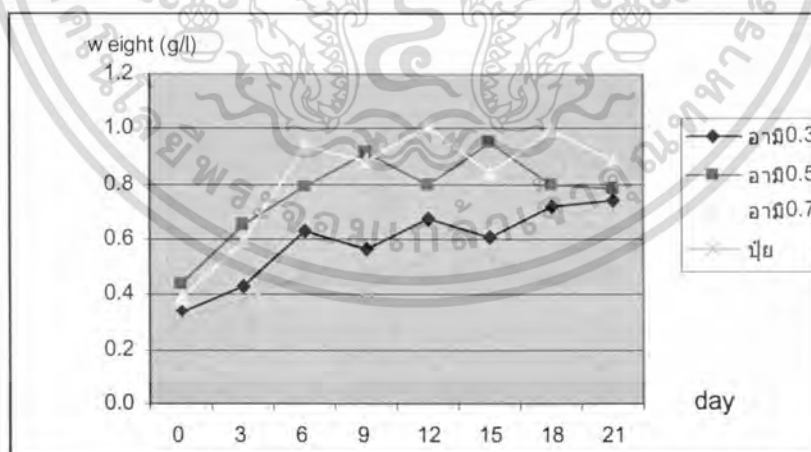
จากตารางที่ 5 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, 0.3% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และในความเข้มข้นของปุ๋ยผสมนม 0.1%, 0.3% และที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยก็ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณน้ำหนักแห้งที่ได้จากการทดลอง พบว่าสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.3% และ 0.2% ให้น้ำหนักแห้งมากที่สุดและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2% และปุ๋ยให้น้ำหนักแห้งที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.2 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามีความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 3 กราฟแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามีความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในปุ๋ยผสมอามิ-อามี 0.3% มีค่าเท่ากับ 2.46 mg/l ปริมาณคลอโรฟิลล์ในปุ๋ยผสมอามิ-อามี 0.5% มีค่าเท่ากับ 2.920 mg/l ปริมาณคลอโรฟิลล์ในปุ๋ยผสมอามิ-อามี 0.7% มีค่าเท่ากับ 3.45 mg/l ในปุ๋ย มีค่า 1.22 mg/l



ภาพที่ 4 กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามีความเข้มข้นต่าง ๆ

จากภาพจะเห็นได้ว่าการเจริญของ *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามีที่มีความเข้มข้น 0.3% ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.73 g/l ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีความเข้มข้น 0.5% ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.78 g/l ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิที่มีความเข้มข้น 0.7% ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.88 g/l และที่เลี้ยงในปุ๋ย ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยในวันสุดท้ายที่ทำการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.48 g/l

ตารางที่ 6 ผลผลิตที่สิ้นสุดการทดลอง (21 วัน) ของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นอามิ (ร้อยละ)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l)	ปริมาณน้ำหนักแห้ง (g/l)
อามิ 0.3	2.46±0.24 ^a	0.73±0.13 ^{ab}
อามิ 0.5	2.92±0.28 ^a	0.78±0.08 ^a
อามิ 0.7	3.45±0.50 ^a	0.88±0.06 ^a
ปุ๋ย	1.23±0.07 ^b	0.48±0.02 ^b

ตัวอักษร (a, b,) ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 6 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิความเข้มข้น 0.3%, 0.5% และ 0.7% มีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ และปุ๋ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจาก *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิทั้ง 3 ความเข้มข้นส่วนน้ำหนักแห้งพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิ 0.3% และปุ๋ยให้ปริมาณน้ำหนักแห้งที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

2.1 สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.1%, 0.2% และ 0.3%

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแห้งแล้ว นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการวิเคราะห์พบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.1% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน (crude protein) 33.83±0.01 ไขมัน (crude lipids) 1.83±0.31 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) 20.23±3.13 เถ้า (ash) 21.57±0.15 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส (phosphorus) 3.55±0.06 แคลเซียม (calcium) 0.24±0.18

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.2% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 44.01±0.72 ไขมัน

1.07±0.17 คาร์โบไฮเดรต 19.10±0.44 เถ้า 16.75±0.02 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 3.01±0.05 แคลเซียม 0.23±0.18

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.3% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 48.90±0.055 ไขมัน 0.91±0.11 คาร์โบไฮเดรต 15.75±0.53 เถ้า 14.61±0.22 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 2.71±0.04 แคลเซียม 0.20±0.18

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ย มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 32.56±0.22 ไขมัน 0.49±0.16 คาร์โบไฮเดรต 16.46±0.53 เถ้า 21.17±3.04 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 4.15±0.02 แคลเซียม 0.34±0.16

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนม

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	นม 0.1%	นม 0.2%	นม 0.3%	ปุ๋ย
protein	33.83±0.01 ^c	44.01±0.72 ^b	48.90±0.05 ^a	32.56±0.22 ^d
lipid	1.83±0.31 ^a	1.07±0.17 ^b	0.91±0.11 ^b	0.49±0.16 ^b
carbohydrate	20.23±3.13 ^a	19.10±0.44 ^a	15.75±0.53 ^a	16.46±0.53 ^a
calcium	0.24±0.18 ^a	0.23±0.18 ^a	0.20±0.18 ^a	0.34±0.16 ^a
phosphorus	3.55±0.06 ^b	3.01±0.05 ^c	2.71±0.04 ^d	4.15±0.02 ^a
ash	21.57±0.15 ^a	16.75±0.02 ^{ab}	14.61±0.22 ^b	21.17±3.04 ^a
fiber	22.52±3.50 ^{ab}	19.04±1.08 ^b	19.81±0.58 ^b	29.30±2.67 ^a

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

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่าย *N. commune* ในรูปสาหร่ายแห้งแล้วนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพบว่า ปริมาณโปรตีนใน *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ กันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.3% มีปริมาณโปรตีน เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ 48.90% ไขมัน พบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนม 0.1% มีปริมาณมากที่สุด คือ 1.83% ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น ๆ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบว่ามี ความแตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัสมีความแตกต่างอย่างมีนัย สำคัญ ของทุกความเข้มข้น โดยพบมากที่สุดในปุ๋ย คือ 4.15% แร่ธาตุแคลเซียมพบว่าปริมาณ ใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าที่ความเข้มข้นของปุ๋ยผสมนม 0.3% พบปริมาณโปรตีนสูงสุด ซึ่งเป็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของนมมากขึ้นจะทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น (จากการศึกษาครั้งนี้ ความเข้มข้นมากที่สุดคือ นม 0.3%) ยงยุทธ (2541) และคณะ กล่าวว่าหากมีระดับของไนโตรเจน สูงหรือมีอยู่อย่างเหลือเพื่อการผลิตโปรตีนและสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบก็จะเป็น ไปอย่างรวดเร็ว

2.2 สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ที่มีความเข้มข้น 0.3%, 0.5% และ 0.7%

เมื่อเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแห้งแล้ว นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการ วิเคราะห์พบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ที่มีความเข้มข้น 0.3% มีปริมาณ เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 42.01 ± 0.89 ไขมัน 0.48 ± 0.04 คาร์โบไฮเดรต 24.47 ± 3.31 เถ้า 9.84 ± 0.04 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 1.22 ± 0.01 แคลเซียม 0.42 ± 0.00

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ- อามิ ที่มีความเข้มข้น 0.5% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 43.47 ± 0.62 ไขมัน 0.84 ± 0.28 คาร์โบไฮเดรต 24.83 ± 1.61 เถ้า 8.81 ± 0.17 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 0.97 ± 0.01 แคลเซียม 0.43 ± 0.06

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ- อามิ ที่มีความเข้มข้น 0.7% มีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 41.81 ± 0.34 ไขมัน 0.75 ± 0.12 คาร์โบไฮเดรต 29.19 ± 3.24 เถ้า 11.71 ± 0.08 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 1.67 ± 0.00 แคลเซียม 0.69 ± 0.03

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ย มีปริมาณ เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ โปรตีน 32.56 ± 0.22 ไขมัน 0.49 ± 0.16 คาร์โบไฮเดรต 16.46 ± 0.53 เถ้า 21.17 ± 3.04 มีปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ฟอสฟอรัส 4.15 ± 0.02 แคลเซียม 0.3459 ± 0.16

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	อามิ 0.3 %	อามิ 0.5 %	อามิ 0.7 %	ปุ๋ย
protein	42.01±0.89 ^a	43.48±0.62 ^a	41.81±0.34 ^a	32.56±0.22 ^b
lipid	0.48±0.04 ^a	0.84±0.28 ^a	0.75±0.12 ^a	0.50±0.16 ^a
carbohydrate	24.48±3.31 ^{ab}	24.83±1.61 ^{ab}	29.19±3.24 ^a	16.46±0.53 ^b
calcium	0.42±0.00 ^b	0.44±0.06 ^b	0.70±0.03 ^a	0.34±0.16 ^b
phosphorus	1.22±0.01 ^c	0.97±0.01 ^d	1.67±0.00 ^b	4.16±0.02 ^a
ash	9.84±0.04 ^b	8.81±0.01 ^b	11.71±0.08 ^b	21.17±0.03 ^a
fiber	23.18±2.54 ^{ab}	22.02±1.02 ^{ab}	16.52±0.29 ^b	29.31±2.67 ^a

ตัวอักษร (a, b) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่ต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อเก็บเกี่ยว *N. commune* ในรูปสาหร่ายแห้งแล้วนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพบว่า สาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยผสมอามิ-อามิ ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีปริมาณโปรตีน ใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบมากที่สุดในสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ 0.5% คือ 43.48% ในปุ๋ยมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากทั้ง 3 ความเข้มข้น ไขมันพบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบมากที่สุดในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิ 0.5% คือ 0.84% ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมอามิทั้ง 3 ความเข้มข้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของปุ๋ยผสมอามิความเข้มข้น 0.3%, 0.5% และปุ๋ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบมากที่สุดในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอามิ 0.7% คือ 29.19% ปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ย คือ ปริมาณฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบมากที่สุดในปุ๋ย คือ 4.16% รองลงมาคือ ความเข้มข้นอามิ 0.7% คือ 1.67% และพบต่ำสุดในความเข้มข้นอามิ 0.5% คือ 0.97% แร่ธาตุแคลเซียม พบมากที่สุดในสาหร่ายที่เลี้ยงในอามิที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยผสมอามิ-อามิความเข้มข้น 0.7% คือ 0.34%

เมื่อเปรียบเทียบโปรตีน จากการรายงานของ Hasni และคณะ (1986) พบว่ามีสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa taxifolia* ประกอบด้วยโปรตีน 5.8% คาร์โบไฮเดรต 65.8% ไขมัน 14.8% โปรตีน 0% และสาหร่ายสีแดง *Hypnea musciformis* ประกอบด้วยโปรตีน 12.5% คาร์โบไฮเดรต 25.0% ไขมัน 35.5% โปรตีน 3.7% จากการศึกษาน้ำเงินแกมเขียว *Spirulina* มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 71% สุมาลี (2535) รายงานว่าสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina sp.*) มีคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบด้วยโปรตีนสูงถึง 50-70% ของน้ำหนักแห้ง จากการศึกษาของ รวีวรรณ (2531) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเส้นด้าย *Najas Graminea* Deelile พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 10.4% ไขมัน 3.6% จากการทดลองครั้งนี้ พบโปรตีนปริมาณสูงสุด คือ 48.90%

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของ *N. commune* กับอาหารโปรตีนอื่น ๆ

อาหารส่วนที่กินได้ 100 กรัม	โปรตีน, กรัม	ไขมัน, กรัม
<i>N. commune</i> (เพาะเลี้ยงในนม)*	33.83-48.92	22.52-29.30
<i>N. commune</i> (เพาะเลี้ยงในอามิ)*	41.81-43.37	16.52-23.18
มะเขือเทศ	0.90	2.74
ชะอม	9.5	5.7
ลูกเดือย	13.5	0.6
หน่อไม้ฝรั่ง	2.6	0.7
แปะก๊วย	4.3	0.5
ผักกาดขาว	1.2	0.6
กวาดั่ง	1.5	0.6
แอปเปิ้ล	0.2	0.77
ชิงอ่อน	1.7	1.03
หน่อไม้ฝรั่ง	3.1	0.83
กะหล่ำปลี	1.2	0.8
มะม่วง	0.5	0.84
ข้าวโพดอ่อน	3.3	0.2
ผักกาดหอม	1.6	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ผักกาดแก้ว	1	1.4
ผักกระเฉด	4.1	1.6
กะหล่ำดอก	2	0.85
ถั่วงอก	3	0.81
ลำไย	1.3	0.4
ถั่วแขก	1.9	1
บร็อคโครี	3	1.2
ลูกชิ้นปลา	12.9	0
แครอท	1	1.04
ปลากระบอก	19.4	0
เบคอน	8.7	0
หอยแมลงภู่	11.9	0
หอยแครง	25.6	0
หอยนางรม	18.9	0
หอยเชลล์	16.8	0
ปลาหมึกกล้วยหลากหลายชนิด	15.6	0
ปลาหมึกกระดองหลากหลายชนิด	16.2	0
เนื้อปู	20.2	0
กุ้งรวมชนิด	20.3	0
กุ้งแห้ง	46.4	1.9
โยเกิร์ต ธรรมชาติ	3.5	3.2
โยเกิร์ต พร่องไขมัน	5.7	0
ไข่ไก่	12.1	0
เนื้อหมูล้วน	20.20	3.29
เนื้อไก่ล้วน	21.40	3.28
เนื้อเป็ดล้วน	18.30	3.20
เนื้อปู	20.20	3.13

*จากการศึกษาครั้งนี้

ที่มา : <http://thailiverclub.org/topics/cihhro2.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่า *N. commune* มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด คือ 48.92% ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณโปรตีนกับ *Spirulina spp.* จากการศึกษาศึกษาของสมบัติ (2528) พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว *Spirulina* มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 71% จากตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนกับไข่ไก่ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 12.1% เนื้อหมูล้วน เนื้อไก่ล้วน เนื้อเป็ดล้วน และเนื้อปู ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 20.20, 21.40, 18.30 และ 20.20% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า *N. commune* ที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโปรตีนมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนกับพืชชนิดต่าง ๆ (ตารางที่ 9) ได้แก่ ชะอม (9.50%), หน่อไม้ไผ่ตง (2.60%), ผักกาดขาว (1.20%), กวางตุ้ง (1.50%), ชিংอ่อน (1.70%), หน่อไม้ฝรั่ง (3.10%), กะหล่ำปลี (1.20%), ข้าวโพดอ่อน (3.30%), ผักกาดหอม (1.60%), ผักกระเฉด (4.10%), กะหล่ำดอก (2.00%), ถั่วงอก (3.00%) และมะเขือเทศ (0.90%) พบว่า *N. commune* ที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโปรตีน 48.92% ซึ่งมีปริมาณมากกว่า



สรุปผลการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, 0.3% จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย พบปริมาณโปรตีนมากที่สุดในความเข้มข้นนม 0.3% ปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ 48.90 ± 0.05 รองลงมาคือ ความเข้มข้นนม 0.2% (44.01 ± 0.72) และพบต่ำสุดในปุ๋ย (32.56 ± 0.22) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบมากที่สุดในความเข้มข้นนม 0.1% คือ 20.23 ± 3.13 รองลงมาคือความเข้มข้นนม 0.2% (19.10 ± 0.44) และพบต่ำสุดในความเข้มข้นนม 0.3% (15.75 ± 0.53) ปริมาณไขมัน พบมากที่สุดในความเข้มข้นนม 0.1% คือ 1.83 ± 0.01 รองลงมาคือความเข้มข้นนม 0.2% (1.07 ± 0.17) 0.3% (0.91 ± 0.11) และพบต่ำสุดในปุ๋ยคือ 0.49 ± 0.16

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในปุ๋ยผสมอามิ-อามิความเข้มข้นต่าง ๆ พบปริมาณโปรตีนมากที่สุดในความเข้มข้นอามิ 0.5% ปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือ 43.48 ± 0.62 รองลงมาคือความเข้มข้นอามิ 0.3% พบในปริมาณ 42.01 ± 0.89 และพบต่ำสุดในความเข้มข้นอามิ 0.7% คือ 41.81 ± 0.34 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบมากที่สุดในความเข้มข้นอามิ 0.7% คือ 29.19 ± 3.24 รองลงมาคือความเข้มข้นอามิ 0.5% (24.83 ± 1.61) และ 0.3% (24.47 ± 3.31) ส่วนปริมาณไขมัน พบมากที่สุดในความเข้มข้นอามิ 0.5% คือ 0.84 ± 0.28 รองลงมาคือความเข้มข้นอามิ 0.7% (0.75 ± 0.12) และ 0.3% (0.48 ± 0.04)

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนภาชน์ ลีวมโนมนต์. 2537. สหรัย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 343 น.
- พงษ์ พงษ์. 2547. เกษตรอินทรีย์ ชุดปุ๋ยและน้ำสกัดชีวภาพ. กรุงเทพฯ . 102 น.
- พวงพร โชติโกกร. 2537. จุลชีววิทยาของอาหารและนม . พิมพ์ครั้งที่7. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 344 น.
- นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย "สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*,Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- รวีวรรณ ไสระโร. 2531. คุณค่าทางอาหารและอิทธิพลการให้สีของสาหร่ายเส้นด้าย (*NAJAS GRAMINEA DELILE*) และแอลบูมินในอาหารไก่กระตังและไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 28 น.
- ยงยุทธ โอสดสภา ศุภามาศ พานิชศักดิ์พัฒนา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ทองจุ. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 280-281 น.
- สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2535. ผลของระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร Zarrouk ต่อการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina sp.*). ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1 น.
- สมบัติ สิริพันธ์วรารณ. 2528. การทดลองเลี้ยงสไปรูลิน่า (*Spirulina*) โดยใช้ธาตุอาหารจำเป็น (trace element) จากนาเกลือ. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สมปอง หิรัญวัฒน์. 2509. ชนิดและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายทะเลที่พบในบริเวณอ่าวศรีราชา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 11 น.
- Allen, M.M. and Smith, A.J. 1969. Nitrogen chlorosis in blue-green algae. Arch. Microbiol. 69(114) : 45-45. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย "สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*,Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- Batterton, J.C.J. and van Baalen, C. 1971. Growth responses of blue-green algae to sodium chloride concentration. Arch. Microbiol. 76: 151-165. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย "สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Becker, E.W. 1994. *Microalgae : Biotechnology and Microbiology*. 1st ed. Great Britain : Cambridge University Press. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- Bogorad, L. 1975. Phycobiliproteins and complementary chromatic adaption. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 26 : 369-401. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*,Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- Bold, H.C. and Michael. J.W. 1978. *Introduction to Algae*. New Jersey : Prentice-Hall Inc. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*,Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- Canto de Loura, I.,Dubaco, J.P. and Thomas, K.C. 1987. The effect of nitrogen deficiency on pigments and lipids of Cyanobacteria. *Plant Physiol.* 83: 838-843. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*,Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- Casaro, A., Liut, G., Bertocchi, C., Navarini, L. and Urbani, R. 1990. Physicochemical properties of the exocellular polysaccharide from *cyanospira capsulate*. *Int. J. Biol. Macromol.* 12 : 79-84. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*,Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.
- Coleman, J.R. and Colman, B. 1981. The Effect of pH on photosynthesis and inorganic carbon accumulation in blue-green alga in photosynthesis IV. In Akoyunoglou, G. *Regulation of Carbon Metabolism*. Philadelphia : Balabam International Science Services. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Cook, J.R. 1965. Influence of light on acetate utilization in green Euglena. *Plant Cell Physiol.* 71 : 177-184. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

De Phillipis, R., Margheri, M.C., Materassi, R. and Vincenzini, M. 1998. Potential of unicellular cyanobacteria from saline environments as exopolysaccharide producers. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 1130-1132. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Desikachary. 1959. Cyanophyta. New Delhi : Indian Council of Agricultural Research. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Fay, P. 1973. The Heterocyst. 238-259. in Carr, N.G. and Whitton, B.A. *The Biology of Blue-Green Algae.* Berkeley : University California Press. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Fogg, G.E. 1994. Growth and heterocyst production in *Anabaena cylindrical* Lemm. *New phyco.* 43 : 164-175. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Fritsch, F.E. 1945. *The Structure and Reproduction of the Algae Volume II.* The University Press : Cambridge. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Garcia-Pachel, F. and Castenholz, R.W. 1991. Characterization and biological implication of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *J. Phycol.* 27 : 395-409. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Glazer, A.N. 1987. Phycobilisomes : Assembly and Attachment. 69-94. in Fay, P. and van Baalen, C. The cyanobacteria. Amsterdam : Elsevier Science Publishers. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Hasni, S., P.B. Zahid and B. Bawani. 1986. Taxonomy and some biochemical value of *Caulerpa taxifolia* and *Hypnea musciformis* collected from Karachi coast. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Reserch.* 29(24): 284-287 อ้างโดย สมปอง นิรัญวัฒน์. 2509. ชนิดและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายทะเลที่พบในบริเวณอ่าวศรีราชา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 11 น.

Harold, J.H. and Susanne, R.W. 1980. Introduction and Guide to Marine Blue-Green Algae. John Wiley & Sons: New York. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Honya, M., T. Kinoshita, M. Ishikawa, H. Mori and K. Wisizawa. 1994. Seasonal variation in the lipid content of culture *Laminaria japonica* : fatty acid, sterols, B-carotene and tocopherol. *J. Applied Phycol.* 6(1) : 25-29. อ้างโดย นารินทร์ จันทร์สว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ด

ลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Hori, K., Ishibashi, G. and Okita, T. 1994. Hypocholesterolemic effect of blue-green alga. *Ishikurage (Nostoc commune) in rats fed atherogenic diet.* *Plant Foods Hum. Nutr.* 45:63-70. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Huang, A., Liu, Y., Paulsen, B.S. and Klaveness, D. 1998. Studied on polysaccharides from three edible species of *Nostoc* (cyanobacteria) with different colony morphologies: comparison of monosaccharide compositions and viscosities of polysaccharide from field colonies and suspension cultures. *J. Phycol.* 34:962-968. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Kaplan, D., Richmond, A.E., Dubinsky, Z. and Aaronson, S. 1986. Algal Nutrition. 147-198. in Richmond, A. *CRC Handbook of Microalgal Mass Culture.* CRC Press. Florida. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Kumar, K.D. 1990. *Introductory Phycology.* New Delhi : Affiliated East-West Press Private Limited. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Morris, I. 1968. *An Introduction to the Algae.* London : Hutchison & Co (Publisher) LTD. 1978. Nitrogen assimilation and protein synthesis. In Stewart, W.D.P. *Algal Physiology and Biochemistry.* Oxford : Blackwell Scientific. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"

สาหร่ายเห็ดดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Oquist, G, 1971. Change in pigment composition and photosynthesis induce by iron-deficiency in blue-green alga *Ancystic nidulans*. Phycol. Plant. 25: 188. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Preito, B., Pardo, M.A., Garbisu, C., Llama, M.J. and Serra, J.L. 1977. Phosphate uptake by phosphorus-starved cells of the cyanobacterium *Phormidium larminosum*. World J. Microbiol. Biotechnol. 13: 699-705. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Richmond, A. 1996. Cell response to environmental factors. 69-155. In Richmond, A. CRC handbook of Microalgal Mass Culture. CRC Press : Florida. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Sato, N. and Murata, N. 1980. Temperature shift-induce response in lipids on the blue-green alga, *Anabaena variabilis*. Biochem Biophys. Acta. 619 : 353. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Smith, G.M. 1951. Manual of Phycology (An introduction to the Algae and their Biology). The Ronald Press Company : New York. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Sokawa, Y. and Hase, E. 1968. Supressive effect of light on the formation of DNA and on the increase of deoxythymidine monophosphate kinase in chlorella

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

protothecoides. J. Plant Cell Physiol. 9 : 461. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Stewart, W. 1974. Algal Physiology and Biochemistry. Berkeley : University California Press. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Talling. J.F. 1962. Freshwater Algae. In Lewin, A. Physiology and Biochemistry of Algae : Academic Press : New York. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Ttaylor, F.R. 1978. Introductory Phycology. John Wiley & Sons : New York. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Van Baalen, C. and O Donnell, R. 1978. Isolation of a nickel-dependent blue-green alga. J. Gen. Microbiol. 105:351. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Venkataraman, G.S. 1957. A note on the occurrence of three-pored heterocyst in *Mastogocladus laminosus*. Current Science. 26 : 254. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Vonshak, A. 1986. Laboratory techniques for the cultivation of microalgae, 117-145. in Richmond, A. CRC Handbook of Microalgal Mass Culture. Florida : CRC Press. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิ

แซ็กคารไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

Watt, W.D. 1969. Extracellular release of organic matter from two fresh water diatoms. *Ann. Botani.* 33 : 427-437. อ้างโดย นารินทร์ จันทรสว่าง. 2547. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลในพอลิแซ็กคารไรด์ที่ผลิตโดย"สาหร่ายเห็ดลาบ" (*Nostoc commune*, Cyanophyta). บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1-18 น.

<http://thailiverclub.org/topics/cihhro2.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 สูตรอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย BBM

Ingredient	Concentration
โซเดียมไนเตรต (NaNO_3)	0.25 g/l
แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.075 g/l
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	0.025 g/l
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (K_2HPO_4)	0.075 g/l
โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)	0.175 g/l
แคลเซียมคลอไรด์-ไฮเดรต (CaCl_2)	0.025 g/l
บอริก (H_3BO_3)	0.0114 g/l
อีดีทีเอ (EDTA)	0.05 g/l
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	0.031 g/l
เฟอร์รัสซัลเฟต-ไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.0049 g/l
ซัลฟูริก (H_2SO_4)	0.001 ml/l
Trace elements	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8.82 mg/l
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.44 mg/l
MoO_3	0.71 mg/l
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.57 mg/l
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.49 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์

1. ดูดตัวอย่างมา 10 ml. ตัวอย่างละ 2 ชุด
2. นำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) 3600 รอบ/วินาที
3. รินน้ำออกให้เหลือ 1 ml. แล้วเทตัวอย่างรวมกัน
4. ใส่เม็ดแก้ว 3-5 เม็ด นำไปเขย่าด้วยเครื่อง vortex
5. เติมนิเมทานอล (metanol) 90% ปริมาณ 9 ml. จากนั้นนำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที
6. เทส่วนใสลงในหลอด cuvette เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ 665 nm
 ปริมาณคลอโรฟิลล์ = $(12.65 \times \text{absorbance})/2$ ug/ml
7. นำตัวอย่างชุดที่ 2 เทลงบนกระดาษฟอลซีที่อบและซึ่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 วัน จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกผล เพื่อหาน้ำหนักแห้ง

การเก็บเกี่ยวและการทำแห้ง

การเก็บเกี่ยวสาหร่าย *Nostoc commune* โดยวิธีการกรองผ่านผ้ากรอง นำสาหร่ายไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สาหร่ายที่แห้งแล้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ นำไปบดให้เป็นผงเก็บไว้ในถุงพลาสติก เพื่อวิเคราะห์หาโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส

ต้นทุนในการผลิต

อามิลิตรละ 0.34 บาท

นมลิตรละ 12 บาท

ปุ๋ย 3 ชนิด

NaNO ₃	= 1 กิโลกรัม 90 บาท	=	0.0135	บาทต่อลิตร
Na ₂ HPO ₄	= 1 กิโลกรัม 180 บาท	=	0.0054	บาทต่อลิตร
NaHCO ₃	= 1 กิโลกรัม 350 บาท	=	0.3500	บาทต่อลิตร

ปุ๋ย	=	0.3689	บาทต่อลิตร
ปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%	=	0.3701	บาทต่อลิตร
ปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.2%	=	0.3713	บาทต่อลิตร
ปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.3%	=	0.3725	บาทต่อลิตร
ปุ๋ยผสมอามีความเข้มข้น 0.3%	=	0.3690002	บาทต่อลิตร
ปุ๋ยผสมอามีความเข้มข้น 0.5%	=	0.36907	บาทต่อลิตร
ปุ๋ยผสมอามีความเข้มข้น 0.7%	=	0.369138	บาทต่อลิตร

ความหนาแน่นอามี

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนาแน่น} &= \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร)}} \\
 &= \frac{12.58}{10} \\
 &= 1.25 \text{ กรัม/มิลลิลิตร} \\
 \text{ความถ่วงจำเพาะ} &= \frac{\text{ความหนาแน่นอามี}}{\text{ความหนาแน่นน้ำ}} \\
 &= \frac{1.25 \text{ กรัมต่อมิลลิลิตร}}{1 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}} \\
 &= 1.25
 \end{aligned}$$

* 1 มิลลิลิตร = 1 ซีซี = 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางผนวกที่ 2 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *Nostoc commune* ที่เพาะเลี้ยงในนม (มิลลิกกรัมต่อลิตร)

ความเข้มข้นนม (%)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
0.1	1.170	1.233	1.385	1.423	1.765	1.354	1.417	1.360
	1.094	1.271	1.423	1.752	1.809	1.613	1.505	1.284
	1.101	1.354	1.588	1.398	1.493	1.600	1.486	1.354
0.2	1.398	1.512	1.505	1.461	1.619	2.271	1.973	2.536
	1.126	1.284	1.436	1.588	1.682	2.056	2.043	2.119
	1.588	1.796	1.777	1.429	1.556	2.157	1.986	2.056
0.3	1.322	1.992	1.588	2.075	2.530	3.080	2.884	3.055
	1.214	1.695	1.689	2.030	2.460	2.460	2.245	1.455
	1.170	1.885	2.448	2.372	2.385	2.100	1.486	1.632
น้อย	0.987	1.170	1.227	1.309	1.271	1.233	1.176	1.132
	0.942	1.157	1.183	1.992	1.252	1.360	1.246	1.176
	0.949	1.056	1.252	1.423	1.335	1.442	1.354	1.379

ตารางผนวกที่ 3 แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในนม (กรัมต่อลิตร)

ความเข้มข้นนม (%)	วันที่0	วันที่3	วันที่6	วันที่9	วันที่12	วันที่15	วันที่18	วันที่ 21
0.1	0.4350	0.7100	0.7550	0.5850	0.6100	0.6200	0.7950	0.6350
	0.4750	0.5800	0.6600	0.5100	0.4300	0.4850	0.5050	0.5700
	0.3650	0.5750	0.6400	0.5600	0.5150	0.7100	0.4650	0.4850
0.2	0.4300	0.6250	0.5750	0.7750	0.5200	0.4750	0.5700	0.5100
	0.3450	0.5700	0.4350	0.7400	0.6250	0.6050	0.6750	0.6750
	0.4550	0.5750	0.4550	0.7350	0.7750	0.6250	0.6650	0.7050
0.3	0.3450	0.7700	0.6400	0.7900	0.8250	0.7650	0.7450	0.7250
	0.4600	0.6800	0.6250	0.9050	1.0400	0.8200	0.7100	0.6950
	0.4350	0.7350	0.6200	0.8400	0.8700	1.1450	0.8750	0.9250
ปุ๋ย	0.3750	0.4150	0.5400	0.3800	0.5600	0.6050	0.4350	0.4350
	0.2400	0.3050	0.4800	0.4250	0.5900	0.5100	0.4550	0.5350
	0.3350	0.4300	0.3900	0.4350	0.4850	0.5050	0.4050	0.4800

ตารางผนวกที่ 4 แสดงปริมาณคอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในอามิ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ความเข้มข้น								
อามิ (%)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
0.3	1.075	1.125	2.403	2.131	1.903	2.542	2.251	2.460
	2.340	2.239	2.220	2.498	2.125	2.858	2.485	2.042
	2.308	2.814	2.245	2.220	2.030	3.251	2.833	2.884
0.5	2.125	2.517	3.067	3.023	3.194	3.972	3.554	3.314
	2.220	2.624	2.061	1.518	2.498	2.548	2.118	2.378
	1.998	2.688	3.466	3.295	3.636	2.732	2.346	3.067
0.7	2.302	2.346	3.402	2.061	6.831	5.452	4.516	4.446
	1.821	2.055	1.688	4.591	2.403	2.675	1.935	2.858
	2.492	2.662	1.606	2.624	0.796	3.523	3.238	3.048
น้อย	0.987	1.170	1.227	1.309	1.271	1.233	1.176	1.132
	0.942	1.157	1.183	1.992	1.252	1.36	1.246	1.176
	0.949	1.056	1.252	1.423	1.335	1.442	1.354	1.379

ตารางผนวกที่ 5 แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในอามิ (กรัมต่อลิตร)

ความเข้มข้นอามิ (%)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
0.3	0.3250	0.5500	0.7450	0.6100	1.1000	0.7650	1.0500	0.9750
	0.3800	0.3700	0.6250	0.5750	0.3600	0.5300	0.4900	0.5250
	0.2950	0.3850	0.5250	0.5150	0.5700	0.5400	0.6050	0.7100
0.5	0.4450	0.5850	0.7750	0.8950	0.9350	1.0850	0.9750	0.8900
	0.4350	0.8250	1.0950	1.2050	0.8350	0.9050	0.7550	0.8450
	0.4400	0.5400	0.5000	0.6350	0.6250	0.8650	0.6550	0.6100
0.7	0.4400	0.6600	0.8900	0.6700	1.0600	1.1000	1.0150	0.8700
	0.3400	0.5750	0.8700	0.8850	0.6800	0.6500	0.9850	0.7800
	0.3850	0.5400	1.0600	1.0950	1.3000	0.7700	0.9850	1.0100
น้อย	0.3750	0.4150	0.5400	0.3800	0.5600	0.6050	0.4350	0.4350
	0.2400	0.3050	0.4800	0.4250	0.5900	0.5100	0.4550	0.5350
	0.3350	0.430	0.3900	0.4350	0.4850	0.5050	0.4050	0.4800