

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของแสงต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไฟโคไซยานินของสาหร่าย

Nostoc commune

Effect of light on polysaccharide protein and phycocyanin content of

Nostoc commune



T104553

โดย

นางสาวกิตติกานต์ กุแก้ว

abn

nr 6730v

เลขหมู่..... 2650
เลขทะเบียน..... 104553
วันเดือนปี..... - 5 พ.ศ. 2552

b..... 12159219
i.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง ผลของแสงต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไฟโคไซยานินของสาหร่าย *Nostoc commune*
Effect of light on polysaccharide protein and phycocyanin content of *Nostoc commune*

ชื่อนักศึกษา นางสาวกิตติกานต์ กุแก้ว

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์)

ภาควิชารับรองแล้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา ทวีกิจการ

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ ๑๐ เดือน พ.ค. พ.ศ. ๒๕๕๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

ผลของแสงต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไฟโคไซยานินของสาหร่าย *Nostoc commune*

Effect of light on polysaccharide protein and phycocyanin content of *Nostoc commune*

ผลของแสงต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไฟโคไซยานินของสาหร่าย *Nostoc commune* โดยเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ , ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และที่ไม่ได้รับแสง กลุ่มละ 6 ซ้ำ เป็นเวลา 30 วัน แล้ววิเคราะห์คลอโรฟิลล์ โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไฟโคไซยานิน และน้ำหนักแห้งทุกๆ 3 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า 4 สภาวะการทดลองแรก คลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 8.76 ± 0.12 , 2.95 ± 0.09 , 2.20 ± 0.17 และ 1.62 ± 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีแซคคาไรด์ภายในเซลล์ 715.59 ± 22.75 , 577.60 ± 11.21 , 561.87 ± 34.99 และ 529.77 ± 37.81 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โพลีแซคคาไรด์ภายนอกเซลล์ และ $24.51 \pm 6.88a$ มิลลิกรัมต่อลิตร โปรตีน 3740.20 ± 145.68 , 3686.53 ± 192.61 , 5206.179 ± 296.66 และ 3357.45 ± 178.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และไฟโคไซยานิน $0.00426 \pm 0.00020c$, $0.00202 \pm 0.00070b$, $0.00080 \pm 0.00055b$ และ $0.00020 \pm 0.00005a$ มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำหนักแห้ง 0.43 ± 0.008 , 0.35 ± 0.01 , 0.24 ± 0.02 และ 0.23 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้กลุ่มที่ไม่ได้รับแสงมีปริมาณต่างๆไม่แตกต่างจากเริ่มต้นการทดลองและตายในที่สุด จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ได้รับแสง 14 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณโปรตีนที่สูงที่สุด กลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ และไฟโคไซยานินที่สูงที่สุด และสภาวะแสงที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ และไฟโคไซยานินที่แตกต่างกัน

คำนิยม

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษเป็นอย่างสูง ที่ช่วยให้คำแนะนำตรวจสอบและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่มอญ พี่โก้ และพี่ก๊ีบที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลองช่วยเหลือให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการทดลอง

ขอขอบคุณพี่ๆประมงทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการหาอุปกรณ์การทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนๆประมงทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือในการทดลอง ขอขอบคุณมิตรภาพที่ดีที่มีให้มาตั้งแต่เข้ามาเรียน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนโดยเฉพาะทุนทรัพย์จนทำปัญหาพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวกิตติกานต์ ฤแก้ว

พฤษภาคม 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลการทดลองและวิจารณ์	22
สรุปผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนในสาหร่าย <i>Nostoc commune</i>	9
2	ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอคจากแหล่งต่างๆ	13
3	ตารางที่ 3 สาหร่ายน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติที่มีการบริโภคเป็นอาหารในประเทศต่างๆ	14
4	ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน <i>N.commune</i> (mean±S.E.)	25
5	ตารางที่ 5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเซลล์สาหร่าย(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน <i>N.commune</i> (mean±S.E.)	28
6	ตารางที่ 6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน <i>N.commune</i> (mean±S.E.)	32
7	ตารางที่ 7 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน <i>N.commune</i> (mean±S.E.)	35
8	ตารางที่ 8 ปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัมลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน <i>N.commune</i> (mean±S.E.)	39
9	ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน <i>N.commune</i> (mean±S.E.)	42
10	ตารางที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ คาร์โบไฮเดรตภายในและภายนอกเซลล์ โปรตีน ไฟโคไซยานิน และน้ำหนักแห้งของ <i>N.commune</i> ภายใต้การเลี้ยงที่สภาวะแสงแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการ ทดลองที่ 30 วัน (เฉลี่ย±SE)	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพที่ 1 (ก) และ (ข) <i>nostoc commune</i>	3
2	ภาพที่ 2 โครงสร้างของไฟโคไซยานิน	4
3	ภาพที่ 3 รงควัตถุและโพลีแซคคาไรด์ที่พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	5
4	ภาพที่ 4 โครงสร้างของกรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน	8
5	ภาพที่ 5 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างโพลีแซ็กคาไรด์	10
6	ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของคาร์โบไฮเดรต	19
7	ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของโปรตีน	21
8	ภาพที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์จากสาหร่าย <i>N.commune</i> ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน	23
9	ภาพที่ 9 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์จากสาหร่าย <i>N.commune</i> ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน	27
10	ภาพที่ 10 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายนอกเซลล์จากสาหร่าย <i>N.commune</i> ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน	29
11	ภาพที่ 11 ปริมาณโปรตีนจากสาหร่าย <i>N.commune</i> ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน	33
12	ภาพที่ 12 ปริมาณไฟโคไซยานินจากสาหร่าย <i>N.commune</i> ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน	36
13	ภาพที่ 13 ปริมาณน้ำหนักรากจากสาหร่าย <i>N.commune</i> ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน	40

คำนำ

สาหร่าย *Nostoc commune* ในปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมในการบริโภค ในการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น อาหาร เครื่องสำอาง ยา เป็นต้น ซึ่งแสงมีความสำคัญต่อการเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc commune* จึงได้มีการศึกษาถึงผลของแสงที่มีต่อปริมาณไฟโคไซยานินและโพลีแซคคาไรด์ในสาหร่าย *Nostoc commune* ว่าสามารถเพิ่มปริมาณของไฟโคไซยานินและโพลีแซคคาไรด์ได้อย่างไร ซึ่งประโยชน์ของไฟโคไซยานินนั้นช่วยต้านอนุมูลอิสระ ล้างพิษในเลือด ฟันฟูเซลล์ และ ประโยชน์ของโพลีแซคคาไรด์นั้นมีฤทธิ์สำคัญในการต้านมะเร็ง และ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ลดการอักเสบ และ ป้องกันอันตรายจากการฉายรังสี ดังนั้นในการศึกษามลของแสงต่อสาหร่าย *Nostoc commune* จึงมีการเลี้ยงโดยใช้ปัจจัยแสงและเวลาที่แตกต่างกันเพื่อดูผลของปริมาณไฟโคไซยานินและโพลีแซคคาไรด์ในสาหร่าย *Nostoc commune* ให้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae)

ดิวิชัน Cyanophyta มีชื่อสามัญคือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือ Cyanobacteria จัดเป็นพืชชั้นต่ำที่เรียกว่า prokaryotic cell สามารถสังเคราะห์แสง ให้ออกซิเจน เปลี่ยนสีของเซลล์ได้ Desikachary (1959) พบว่าเป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสาหร่ายที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ สาหร่ายในกลุ่มนี้ไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ พบได้ทั่วไปทุกแห่งในโลก ทั้งในน้ำจืด ทะเล น้ำพุร้อน และอาจอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นได้ทั้งพืชและสัตว์ (ลัดดา, 2544)

ลักษณะสำคัญของดิวิชัน

สารสีสำหรับการสังเคราะห์แสง (photosynthetic pigments) ประกอบด้วย chlorophyll a ส่วน carotenoids ประกอบด้วย β -carotene และ แซนโทฟิลล์ ได้แก่ myxoxanthin, myxoxanthophyll, phycobiloproteins ประกอบด้วย c-phycoerythrin, c-allophycocyanin และ c-phycoerythrin ผนังเซลล์ (cell wall) มี 2 ชั้น องค์ประกอบคล้าย bacteria gram negative รอบนอก เซลล์มีเมือกใสๆ หุ้มโดยรอบ เรียกว่า sheath อาจมีหรือไม่มีสี และอาจ แบ่งเป็นชั้นๆ หนวด (flagella) ไม่มีหนวดทั้งเซลล์ปรกติและเซลล์สืบพันธุ์ เคลื่อนที่แบบเลื่อนไหล (gliding movement) ผลผลิตจากการสังเคราะห์แสง (photosynthetic product) ได้แก่ แป้ง cyanophycan starch เป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ เรียกว่า cyanophycin granule ลักษณะพิเศษประจำดิวิชันคือ เป็นพืชชั้นต่ำ procaryote สารสีไม่อยู่ในพลาสติด กระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริงและสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (ลัดดา, 2544)

คุณสมบัติพิเศษของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

1. การเคลื่อนที่ (movement) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเคลื่อนที่ 3 แบบคือ แบบเลื่อนไหล (gliding movement) แบบเป็นคลื่น (waving movement) และแบบหมุนเป็นเกลียวหรือควงสวยงาม (spiral movement) สาเหตุของการเคลื่อนไหวของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีสาเหตุมาจาก การยึดหดตัวของเซลล์, การผลิตสารเมือกแล้วถูกปล่อยออกไปในน้ำ, การแลกเปลี่ยนน้ำกับสารละลายภายในเซลล์และเมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม(ลัดดา,2544)

2. การเปลี่ยนแปลงสี (chromatic adaptation) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเปลี่ยนสีได้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสง (wave length) เพื่อให้สัมพันธ์กับความเข้มของแสง (light intensity) เพื่อให้สัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหาร และเพื่อประโยชน์ในการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) (ลัดดา, 2544)

สาหร่ายนอสตอค (*nostoc*)

ชีววิทยาบางประการของสาหร่ายนอสตอค

Nostoc เป็นสาหร่ายแบบเส้นสายโดยแต่ละเซลล์มีรูปร่างคล้ายลูกบิดมาเรียงต่อกันและมีเซลล์พิเศษที่มีผนังหนามากภายในเส้นสายเรียกว่า heterocysts ซึ่งสามารถตรึงก๊าซในอากาศให้เป็นแอมโมเนียมา ต่อมาเมื่อสาหร่ายตายลงและจุลินทรีย์ย่อยสลายแล้วจะช่วยเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนให้กับระบบนิเวศ (อักษร,2525)

อนุกรมวิธานของสาหร่าย *nostoc commune*

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Nostocales

Family Nostocalceae

Genus *nostoc*

Species *nostoc commune*



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) และ (ข) *nostoc commune*

ที่มา: (ก)http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/algaevision/about-algae/images/Nostoc_commune_5646_1.jpg

(ข)<http://homepage2.nifty.com/~houmei/watch/ishikurage.jpg>

Nostoc เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีลักษณะเส้นสายคล้าย *Anabaena* แต่มีเส้นสายที่พันกันยุ่งเหยิง และฝังตัวอยู่ในเมือกหุ้ม ซึ่งเมือกที่ห่อหุ้มอาจมีลักษณะนุ่มหรือแน่น ทำให้มีลักษณะผิวคล้ายแผ่นหนังสามารถสร้างกลุ่มเซลล์ได้ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ สาหร่ายในสกุล *Nostoc* สามารถแพร่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ทั่วไปทั้งในที่แห้งแล้ง เช่น ทะเลทรายโกเบ หรือที่หนาวเย็น เช่น สถานที่ที่เรียกว่า "Polar Deserts" ในขั้วโลกใต้ นอกจากนี้ยังมีผู้สำรวจพบก้อนวุ้นของ *Nostoc* ขนาดใหญ่ น้ำหนักถึง 2.6 กิโลกรัม ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Lund and Lund, 1995)

ชนิด *Nostoc commune* voucher มีลักษณะของทลลัส (thallus) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีแคปซูลเจลใส (hyaline capsular jelly) ห่อหุ้มรวมตัวกันอย่างหนาแน่น (firm) และพันกันยุ่งเหยิง (entangled) ทรัยโคมมีความกว้าง 5-7 ไมครอน เซลล์รูปถัง (barrel-shaped) ถึงค่อนข้างกลม ขนาดกว้าง 6.69 ไมครอน ยาว 8.05 ไมครอน เฮเทอโรซิสต์ (heterocyst) รูปร่างค่อนข้างกลม กว้างประมาณ 7.25 ไมครอน (Desikachary 1959)

สารสี (Photosynthetic pigment)

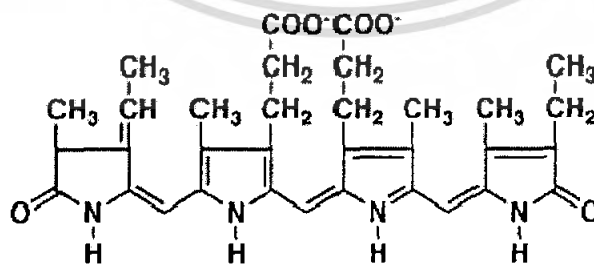
สารสีของสาหร่ายเรียกรวมๆ ว่าบิลิโปรตีน (biliproteins) หรือบางครั้งเรียกว่าไฟโคบิลิโปรตีน (phycobiliprotein) ซึ่งจะพบในกลุ่มสาหร่ายแดง ดิวิชันโรโดไฟต้า (Rhodophyta) กลุ่มสาหร่ายสีเขียวน้ำเงินดิวิชันไซยาโนไฟต้า (Cyanophyta) และดิวิชัน คริปโตไฟต้า (Cryptophyta หรือ Cryptomonadalgalae) สารสีหรือรงควัตถุเหล่านี้ทำหน้าที่ดูดซับแสงโดย ทำงานร่วมกับคลอโรฟิลล์ในการสังเคราะห์แสง สารนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่คือ สีแดง (red phycoerythins) และสีน้ำเงิน (blue phycocyanins) สาหร่ายที่มีการเพาะเลี้ยงแพร่หลาย และนำมาสกัดสารสีน้ำเงินเป็นอุตสาหกรรม เช่น สไปรูลิनाซึ่งสารสีน้ำเงินที่ได้คือรงควัตถุไฟโคไซยานิน ที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 618 นาโนเมตรมีการนำสารสีนี้ไปใช้ในอาหาร ต่างๆ เช่น ไอศกรีม หมากฝรั่ง ผลิตภัณฑ์นม ขนม น้ำผลไม้ชนิดผง ผลไม้แช่แข็ง เครื่องดื่ม เป็นต้น (Dryby, 2001)

1.ไฟโคบิลิน

ไฟโคบิลิน เป็นรงควัตถุที่มีอยู่เฉพาะสาหร่ายสีแดงและสีเขียวแกมน้ำเงินประกอบด้วยรงควัตถุ 2 ชนิดคือ

1.1 ไฟโคอีริทริน (Phycoerythrin) เป็นรงควัตถุสีแดง

1.2 ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) เป็นรงควัตถุสีน้ำเงิน (อักษร, 2525)

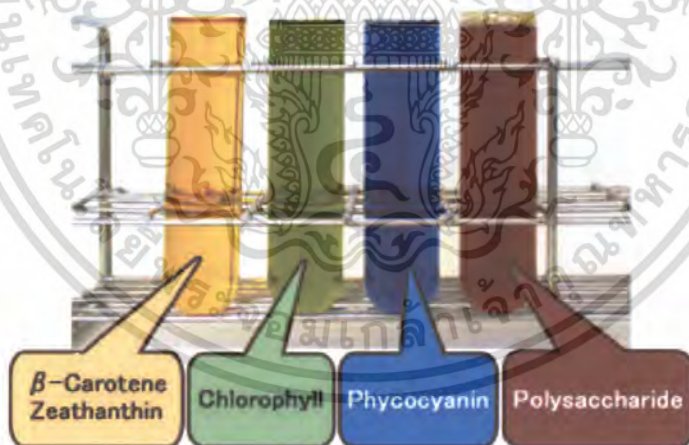


ภาพที่ 2 โครงสร้างของไฟโคไซยานิน

ที่มา : <http://www.kiriya-chem.co.jp/tennen/image/phycocyanin-70.gif>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซี-ไฟโคไซยานิน เป็นรงควัตถุประกอบสีน้ำเงิน (ภาพที่3) ซึ่งจัดอยู่ในพวกรงควัตถุประกอบประเภทไฟโคบิลิน (phycobilin) รงควัตถุประกอบประเภทนี้แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีกคือ ซี-แอลโลไฟโคไซยานิน (c-allophycocyanin) และ ซี-ไฟโคอิริทริน (c-phycoerythrin) (การมีอักษรซีนำหน้าเป็นการชี้ว่าเป็นรงควัตถุที่อยู่ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) ไฟโคบิลินมีในโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างละลายได้ดีในน้ำ ไฟโคบิลินแต่ละชนิดจะอยู่รวมกับโปรตีนอย่างใกล้ชิดมาก กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า ไฟโคบิลิโปรตีน ในสาหร่ายเกลียวทอง ซี-ไฟโคไซยานินจะอยู่รวมกับไฟโคบิลิโปรตีนชนิดอื่น ๆ (ที่สำคัญคือ ซี-แอลโลไฟโคไซยานิน) กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นเรียกว่า ไฟโคบิลิซิม (phycobilisomes) ซึ่งจะเกาะอยู่บนผิวด้านนอกของไทลาคอยด์ (thylakoid) ภายในไทลาคอยด์มีคลอโรฟิลล์เอบรรจุอยู่ ไฟโคบิลิซิมทำหน้าที่รับพลังงานรังสีจากแสงแล้วส่งให้แก่คลอโรฟิลล์เอ (Dryby, 2001) จากการทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ไฟโคบิลิซิมมีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Myers and Kratz (1990) พบว่า ไฟโคไซยานินจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อมีแสงจำกัด นอกจากนี้ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไฟโคไซยานินยังเป็นแหล่งสะสมไนโตรเจน ซึ่งจะทำหน้าที่ให้ธาตุไนโตรเจนแก่เซลล์สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน



ภาพที่ 3 รงควัตถุและโพลีแซคคาไรด์ที่พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ที่มา : <http://www.dic.co.jp/eng/products/lina/images/pigment.jpg>

ในการสกัดไฟโคไซยานิน มวลของสาหร่ายเกลียวทองจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งคือ ไฟโคไซยานินที่ใช้เป็นสีผสมอาหาร และตัวบ่งชี้ทางชีวะ ส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่มีโปรตีนสูง ใช้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ ไฟโคไซยานินที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวะจะเป็นไฟโคไซยานินบริสุทธิ์ หรือเกรตดิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(reagent grade) การเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวเคมี เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวเคมีในเรื่องการตรวจสอบภูมิคุ้มกันโรค การใช้กล้องจุลทรรศน์และการวัดเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากไฟโคไซยานินมีคุณสมบัติเรืองแสงได้ ประเทศที่มีการผลิตไฟโคไซยานินบริสุทธิ์มากกว่าประเทศอื่น ๆ คือ ประเทศอเมริกา ซึ่งราคาขายของไฟโคไซยานินที่สกัดจากสาหร่ายเกลียวทองคือ ไฟโคไซยานินที่ทำเป็นระดับอาหาร (ใช้เป็นสีผสมอาหาร) ซึ่งมีปริมาณ 20% ของน้ำหนักแห้ง มีราคาขาย 130 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ส่วนไฟโคไซยานินที่เป็นเกรดวิเคราะห์มีปริมาณ 7% ของน้ำหนักแห้ง มีราคาขาย 1000-5000 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม (เพยาว์, 2525)

2. แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ (ภาพที่3) เป็นสารประกอบจำพวกไขมัน ประกอบด้วย แคโรทีน (carotene) เป็นรงควัตถุสีแดง และสีส้ม อีกชนิดหนึ่งคือ แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) เป็นรงควัตถุสีเหลืองหรือสีน้ำตาล ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมี β -carotene และ xanthophylls ชนิด myxoxanthin และ oscillaxanthin (ลิตดา, 2539)

3. คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียว (ภาพที่3) ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสงคลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ, บี, ซี, ดี และอี แต่คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นคลอโรฟิลล์ชนิดเอเท่านั้น คลอโรฟิลล์เอจัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้น สามารถดูดแสงด้วยตัวเองส่วนคลอโรฟิลล์ชนิดอื่น ๆ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นสอง (รงควัตถุประกอบ) ซึ่งทำหน้าที่ดูดพลังงานรังสีจากแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบในสาหร่ายโดยทั่วไปปกติมีประมาณ 0.5-1.5 % ของน้ำหนักแห้ง และสามารถเพิ่มสูงได้ถึง 6% ในสาหร่ายที่เลี้ยงไว้ในที่มีแสงอ่อน ๆ (สุมาลี, 2538)

คลอโรฟิลล์มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง จากสูตรโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอ คำนวณได้ว่า คลอโรฟิลล์เอมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณ 8.22% ของน้ำหนักโมเลกุล ในขณะที่โปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในปริมาณ 15.5-18 % (สุมาลี, 2538)

ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

1. ความเข้มแสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ความเข้มแสงในน้ำ ขึ้นกับ สถานะที่ ฤดูกาล เวลาในรอบวัน ระดับความลึกของน้ำ สี ความขุ่น และปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ ความต้องการปริมาณแสงของสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกัน การได้รับปริมาณแสงสูงหรือต่ำเกินไป มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย หรือทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับความเสียหาย ดังนั้นสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีความเข้มแสงเหมาะสม (Trainor, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาของ เจษฎา และคณะ (2538) สาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune* Vaucher) ซึ่งเป็นสาหร่ายที่ชาวบ้านในเขตอำเภอนาเชือกจังหวัดมหาสารคามนำมาบริโภค โดยเชื่อว่ามีสรรพคุณเป็นยาเย็นเพื่อเป็นการอนุรักษ์สายพันธุ์สาหร่ายเห็ดลาบจึงทำการศึกษาวิถีการที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดลาบ รวมไปถึงการพัฒนาในการเพาะเลี้ยงในระดับขยายกลางแจ้ง ซึ่งจากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าสูตรอาหาร BG-11 ดัดแปลง โดยมีส่วนประกอบของ $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ 0.020 กรัม/ลิตร, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.075 กรัม/ลิตร, $CaCl_2$ 0.036 กรัม/ลิตร, กรดซิตตึก 0.006 กรัม/ลิตร, เฟอริกแอมโมเนียมซัลเฟต 0.006 กรัม/ลิตร, EDTA 0.001 กรัม/ลิตร, Na_2CO_3 0.020 กรัม/ลิตร, NaCl 0.200 กรัม/ลิตร, ยูเรีย 0.200 กรัม/ลิตร, และ Trace metal mix A5 ตามสูตรเดิม ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 และค่าความเข้มแสงเท่ากับ 20 ไมโครไฮสไตน์/ตารางเมตร/วินาที ส่งเสริมให้สาหร่ายเห็ดลาบเจริญเติบโตได้ดี โดยที่มีชีวมวลเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 7.91 เท่าหลังจากทำการเพาะเลี้ยง 20 วัน

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีผลต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการละลายน้ำของก๊าซออกซิเจน สาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน เมื่อสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิเหมาะสมสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด (รุ่งนภา, 2543)

3. ความขุ่นของน้ำ

ความขุ่นของน้ำเกิดเนื่องจากมีอนุภาคแขวนลอยอยู่ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสาร อนินทรีย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตในน้ำ อนุภาคแขวนลอยมีผลต่อแสงที่ส่องผ่านลงมาในน้ำ ทำให้เกิดการกระจายของแสง แสงบางส่วนจะถูกดูดซับเอาไว้ ทำให้ปริมาณแสงที่ส่องลงไปด้านล่างลดลง มีผลให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง สาหร่ายจึงเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่

4. ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงคุณภาพของแหล่งน้ำ หากแหล่งน้ำมีคุณภาพดี ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงสาหร่ายก็เจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้าแหล่งน้ำเกิดมลพิษค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมาก สาหร่ายที่มีความทนทานต่อสภาพขาดออกซิเจนจะเจริญเติบโตได้ ในขณะที่สาหร่ายบางชนิดไม่สามารถทนทานได้จึงตายไป

5. ความเป็นกรดเบส

ความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตในน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 6.0-8.0 สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการ

ความเป็นกรดเบสในระดับที่แตกต่างกัน บางชนิดมีความทนทานต่อสภาวะแห้งน้ำที่เป็นกรดจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่โดยทั่วไปสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสภาพเป็นเบส (ลัดดา, 2539)

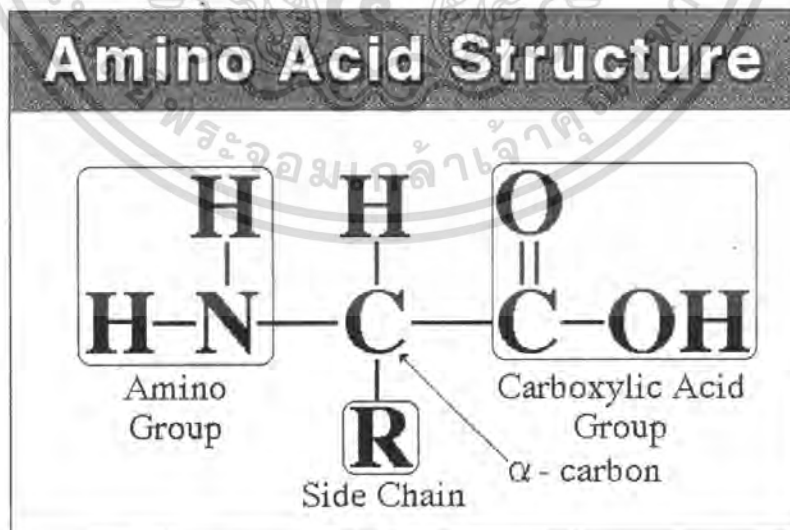
6. ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นเดียวกับพืช สาหร่ายต้องการธาตุอาหารในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะขาดธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่ได้ เราเรียกธาตุอาหารนี้ว่าธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Essential element) มี 16 ชนิด แบ่งเป็นธาตุอาหารหลัก (Macronutrient) 9 ชนิด และธาตุอาหารรอง (Micronutrient) 7 ชนิด ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน เอนไซม์ เป็นต้น ส่วนฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของพลังงานในรูป ATP, ADP, Phospholipid, RNA, DNA เป็นต้น หากสาหร่ายได้รับธาตุอาหารในปริมาณไม่เหมาะสมจะมีผลต่อการเจริญเติบโตได้ (อาภาวรัตน์, 2539)

ประเภทของสารอาหาร

โปรตีน

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลประเภทสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H, O, N เป็นองค์ประกอบสำคัญนอกจากนั้นยังมีธาตุอื่น ๆ เช่น S, P, Fe, Zn ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน โปรตีน เป็นสารพวกพอลิเมอร์ ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากมาย



ภาพที่ 4 โครงสร้างของกรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน

ที่มา : http://www.hcc.mnscu.edu/programs/dept/chem/V.27/amino_acid_structure_2.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาภาวัตน์ และคณะ (2548) กล่าวว่า จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอคจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยพบว่า สาหร่ายนอสตอคปริมาณ 100 กรัม มีโปรตีน 20.26-43.52% อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น เมไทโอนีน ไลซีน โพรลีน ซีรีน ไทโรซีน อะลานีน อยู่อย่างครบถ้วน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนในสาหร่าย *Nostoc commune*

กรดอะมิโน (มิลลิกรัม/100 กรัม)		
Alanine	1658.27	1810.43
Arginine	1015.52	998.85
Aspartic acid	3166.21	2656.94
Cystine	ND	ND
Glutamic acid	2064.97	2613.46
Glycine	1044.1	1107.41
Histidine ³	886.22	360.45
Isoleucine ³	797.14	660.09
Leucine	1374.11	1573.84
Lysine ³	450.09	810.98
Methionine ³	49.33	258.47
Phenylalanine ³	1000.05	915.99
Proline	486.36	745.09
Serine	1186.14	1217.37
Threonine ³	1193.92	1149.2
Tryptophan ³	35.62	113.87
Tyrosine	446.47	660.68

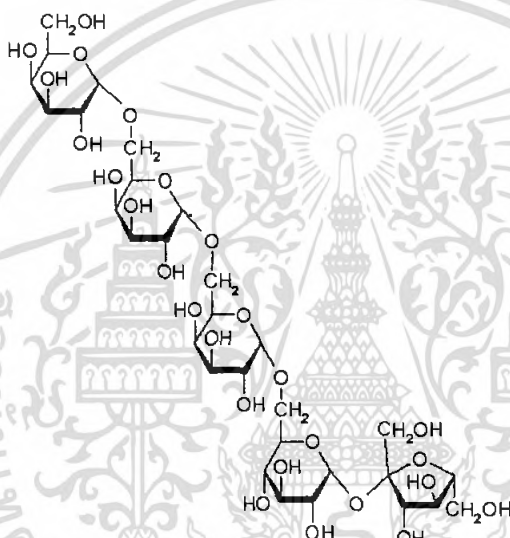
ที่มา : อาภาวัตน์ และคณะ (2548)

คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต คือ สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยปกติอัตราส่วนโดยจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนต่อออกซิเจนเป็น 2:1 ดังนั้นส่วนใหญ่จึงมีสูตรเป็น $(CH_2O)_n$ หรือ $C_n(H_2O)_m$ เมื่อ m คือเลขจำนวนเต็มใดๆ (กรมวิทยาศาสตร์, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยมอนอแซ็กคาไรด์หลายๆ โมเลกุล (ภาพที่5) รวมกันโดยการเกิดพันธะระหว่างกันและกัน หรือพอลิแซ็กคาไรด์เกิดการรวมตัวของมอนอแซ็กคาไรด์หลายๆ โมเลกุล โดยพอลิแซ็กคาไรด์เป็นพอลิเมอร์(Polymer) ส่วนมอนอแซ็กคาไรด์เป็นมอนอเมอร์ (Monomer) และเรียกกระบวนการที่มอนอเมอร์ (สารโมเลกุลเล็กๆ) รวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ (สารโมเลกุลใหญ่) ว่ากระบวนการพอลิแซ็กคาไรด์ว่า กระบวนการคอนเดนเซชัน พอลิเมอไรเซชัน (Condensation polymerization) พอลิแซ็กคาไรด์ที่รู้จักกันดีได้แก่ แป้ง (Starch) ไกลโคเจน (Glycogen) และเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งทั้งแป้งไกลโคเจนและเซลลูโลสต่างก็เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากกลูโคส(มอนอเมอร์) หลายๆ โมเลกุลรวมตัวกัน มีสูตรทั่วไปเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Albert et al.,1994)



ภาพที่ 5 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างโพลีแซ็กคาไรด์

ที่มา:[http://www.steve.gb.com/images/molecules/sugars/verbascose_\(unlabelled\).png](http://www.steve.gb.com/images/molecules/sugars/verbascose_(unlabelled).png)

ผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (photosynthetic product) ได้แก่แป้ง cayanophycean starch เป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ เรียกว่า cyanophycin granule (ลัดดา 2544) นอกจากนี้ ปฐมสุดา (2542) กล่าวว่าจัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ให้ใยอาหารสูงชนิดหนึ่งและยังสามารถนำมาดัดแปลงเพื่อรับประทานควบคู่ไปกับอาหารได้หลากหลายประเภทอีกด้วย

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (โครงการ BRT) และบริษัท อัลโกเทค จำกัด (2548) พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายนอสตอค (*Nostoc ssp.*) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สามารถผลิตสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ได้สูง

อาภรณ์ (2548) กล่าวว่า จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอคจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยพบว่าสาหร่ายปริมาณ 100 กรัม มีใยอาหาร 2.70-43.00% (ตารางที่2) พอลิแซ็กคาไรด์มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สามารถใช้เป็นตัวจับในการดึงเอาโลหะหนักออกจากน้ำหรือชะโลหะหนักที่มีคุณค่าออกจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ De philippis et al.,(2000) กล่าวว่าสาหร่ายนอสตอวยังให้ค่าความหนืดสูงและมีลักษณะเป็น pseudoplastic ใช้ประยุกต์ทางการเกิดสารแขวนลอย การเกิดอิมัลชันหรือสารให้ความข้นเหนียว (thickening agent)

Fischer et al., (1997) ทำการศึกษา *Nostoc insulare* 54.79, *Nostoc calcicola* 79WA01 และ *Nostoc commune* UTEX584 พบน้ำตาลอะราบินอส ฟูโคส กาแลคโตส กลูโคส แมนโนส แรมโนส ไซโลส กรดกาแลคทิโรนิก แต่ไม่พบไรโบส

Gantar et al., (1995) ทำการศึกษา *Nostoc* sp. 221 พบน้ำตาล 4 ชนิด ได้แก่ ฟูโคส กลูโคส แมนโนส และกรดกลูคิวโรนิก

De Philippis et al., (2000) ทำการศึกษา *Nostoc* PCC 25 สายพันธุ์ พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์ของ *Nostoc* ทุกสายพันธุ์เป็น complex anionic heteropolymer ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 6-9 ชนิดในทุกสายพันธุ์ พบกลูโคสและฟูโคส มี 24 สายพันธุ์ พบกาแลคโตส แมนโนส และ แรมโนส และ 7 สายพันธุ์ ที่พบในไรโบสซึ่งมีรายงานน้อยมากที่พบไรโบสในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

จากการศึกษาของ Huang et al. (1998) พบว่าองค์ประกอบหลักของสารพอลิแซ็กคาไรด์ของ *N. commune* จากแหล่งธรรมชาติจะมีกลูโคส ไซโรส และกาแลคโตส ในสัดส่วน 2:1:1 โดยประมาณ

ไขมัน

ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โมเลกุลของไขมัน ประกอบด้วยกรีเซอร์ลิน 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งอาจเป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ ไขมันมีหลายชนิดแล้วแต่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ กรดไขมันมีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1. กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ เช่น กรดไลโนเลอิก มีมากในน้ำมันพืช
2. กรดไขมันที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย เป็นกรดไขมันที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้ มีอยู่ในอาหารไขมันทั่วไป (Albert et al.,1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารสัตว์ และคณะ (2548) กล่าวว่าจากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอค จากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยพบว่าสาหร่ายนอสตอคปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณไขมันเพียง 0.00-1.56% เท่านั้น (ตารางที่2) เป็นสาหร่ายที่โดดเด่นคือแทบไม่มีไขมันเลย

วิตามิน

วิตามินมีอยู่ 2 กลุ่ม

- 1.กลุ่มที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามิน A, D, E และ K
- 2.กลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินซี และวิตามินบีรวม

วิตามินเป็นสารประกอบ ที่พบในสารอาหารต่างๆ ไป แต่พบในปริมาณน้อย (กรมวิทยาศาสตร์,2542)

อาหารสัตว์ และคณะ (2548) กล่าวว่าจากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอค จากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยพบว่าสาหร่ายนอสตอค ประกอบด้วยวิตามินต่าง ๆ ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 (ตารางที่2) นอกจากนี้จากการศึกษาของ ปฐมสุดา (2549) พบว่ามีวิตามินพร้อม ยกเว้นวิตามินซีเท่านั้น

เกลือแร่

เกลือแร่ หมายถึง แร่หรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของอาหารส่วนที่เหลือ เป็นถ้า หลังจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ ร่างกายคนเราต้องการ เกลือแร่แต่ละชนิด แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เกลือแร่หลัก เป็นเกลือแร่ ที่ร่างกายต้องการปริมาณมาก และเกลือแร่ปริมาณน้อย เกลือแร่มีบทบาทและหน้าที่สำคัญใน ร่างกายหลายอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งทำ หน้าที่เป็นโครงสร้างของร่างกาย เป็นองค์ประกอบของ เซลล์เนื้อเยื่อและเส้นประสาท เป็นองค์ประกอบ ของเอนไซม์ ฮอริโมน และวิตามิน นอกจากนี้ เกลือแร่ยังทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อในทุก อวัยวะ จากความสำคัญและหน้าที่ ดังกล่าวนั้น จะเห็นว่า เกลือแร่เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญยิ่งต่อ ร่างกาย ซึ่งร่างกายต้องได้ รับเพียงพอ ร่างกายจึงจะเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่และแข็งแรง อาหารทั่วไปที่ เป็นแหล่งของ เกลือแร่ทั้งชนิดหลักและชนิดปริมาณน้อยแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของอาหาร ตัวอย่าง เกลือแร่ที่มีความสำคัญต่อร่างกายประกอบด้วย แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไอโอดีน เหล็ก แมกนีเซียม สังกะสี ทองแดง และโพแทสเซียม เป็นต้น (กรมวิทยาศาสตร์, 2542)

อาหารสัตว์ และคณะ (2548) กล่าวว่าจากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอค จากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยพบว่าสาหร่ายนอสตอค ประกอบด้วยแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม เหล็ก เป็นต้น (ตารางที่2)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอสตอคจากแหล่งต่างๆ

รายการ(หน่วย)	<i>Nostoc commune</i>				<i>Nostoc flagelliforme</i>		
	แหล่ง		แหล่ง		แหล่ง		
	ธรรมชาติ	เพาะเลี้ยง	ธรรมชาติ	(Jiangsu)	(Peijing)	(Jiangsu)	(Ningxia)
	ดุนลำพัน	(วว.)	(Peijing)	(Jiangsu)	(Peijing)	(Jiangsu)	(Ningxia)
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	10.19	12.97	8.4	14.9	13.8	13.1	12
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	20.26	20.84	18.5	14.6	20.3	20	21
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	16.2	11.4	13.7	15.2	0.6	8	5.4
ไขมันทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	0.02	1.56	0.1	0.2	0	0.3	-1
ใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)	43	2.7	1	3.9	3.9	2	-
วิตามินเอ (ไมโครกรัม/100 กรัม)	2.31	21.4	-	-	-	-	-
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.02	0.43	-	-	-	-	-
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.01	0.13	-	-	-	-	-
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	ND2	ND	-	-	-	-	3.2
แคลเซียม (กรัม/100 กรัม)	3.55	1.54	ND	0.41	2.56	0.77	1.8
เหล็ก (กรัม/100 กรัม)	0.28	0.37	ND	0.29	0.2	0.12	0

ที่มา: อภาภรณ์ และคณะ (2548)

ประโยชน์ของสาหร่าย *nostoc*

นอสตอค (*Nostoc commune*) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดหนึ่งที่มีการเจริญเติบโตแบบเป็นเส้นสายมีเมือกห่อหุ้ม บางชนิดดูคล้ายก้อนเยลลี่ ชนิดที่นิยมบริโภคมาก คือ *Nostoc commune* มีการบริโภคในหลายประเทศทั่วโลก เช่น โบลิเวีย, เอกวาดอร์, ฟิจิ, อินโดนีเซีย, ญี่ปุ่น, เม็กซิโก, มองโกเลีย และจีน (ตารางที่ 3) โดยชาวจีนนิยมนำมาทำเป็นขนมหวาน สำหรับประเทศไทยในอดีตเคยมีการบริโภคนอสตอคโดยรู้จักกันในชื่อ ไซหิน หรือ ดอกหิน (อักษร ,2525)

ตารางที่ 3 สาหร่ายน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติที่มีการบริโภคเป็นอาหารในประเทศต่างๆ

Country	Algae
Bolivia	<i>Nostoc commune</i>
Burma	<i>Spirogyra</i> spp.
Chad	<i>Arthrospira platensis</i>
China	<i>Nostoc commune</i> var. <i>flagelliforme</i> <i>Nostoc edule</i> , <i>Prasiola yunnanica</i>
Ecuador	<i>Nostoc commune</i> , <i>N. ellipso sporum</i>
Fiji .	<i>Nostoc</i> spp.
"Himalayas"	<i>Prasiola</i> spp.
India	<i>Lemanea mamillosa</i> , <i>Oedogonium</i> spp., <i>Spirogyra</i> spp.
"Indochina"	<i>Spirogyra</i> spp.
Indonesia (Java)	<i>Nostoc commune</i>
Japan	<i>Aphanothece sacrum</i> , <i>Nostoc commune</i> , <i>N. verrucosum</i> , <i>Prasiola japonica</i>
Mexico	<i>Chroococcus turgidus</i> , <i>Nostoc commune</i> , <i>Phormidium tenue</i> , <i>Spirulina</i> spp.
Mongolia	<i>Nostoc commune</i> , <i>N. edule</i>
Okinawa	<i>Nostoc</i> sp.
Peru	<i>Nostoc pruniforme</i>
Thailand	<i>Nostoc verrucosum</i> , <i>Spirogyra</i> spp., <i>Cladophora</i> spp., <i>Nostochopsis</i> sp.
US (Hawaii)	<i>Enteromorpha</i> spp.
USSR (Siberia)	<i>Nostoc edule</i>

ที่มา : : Lembi and Waaland (1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาภารัตน์ (2548) กล่าวว่า สาหร่ายมุกหยก (ไซ่หินหรือ *Nostoc commune*) เป็นสาหร่ายสกุลนอสตอค ซึ่งมีหลายพันธุ์ แต่ละสายพันธุ์จะมีลักษณะพื้นฐานวิทยาและการเติบโตแตกต่างกัน บางชนิดเป็นแผ่นวุ้น (jelly sheath) บางชนิดเป็นก้อนวุ้น (jelly clump) เพื่อให้ได้สาหร่ายนอสตอคที่มีลักษณะพื้นฐานวิทยาเหมาะสมต่อการยอมรับของผู้บริโภค และง่ายต่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งอาหารไทย อาหารฝรั่ง และอาหารญี่ปุ่น อาทิ การนำมาทำเป็นหน้าแซนวิชรสชาติต่างๆ ใส่ในซูบ เช่น ซูบใส ซูบเต้าหู้ เป็นส่วนผสมในน้ำสลัดหรือใช้บริโภคแทนผักในสลัด เป็นส่วนผสมในสปาเก็ตตี้ ใช้เป็นหน้าซูชิ หรือประกอบอาหารแทนไข่คาร์เวียร์ หรือยาแทนไข่แมงดา ฯลฯ นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาเป็นอาหารขบเคี้ยวและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ศูนย์จุลินทรีย์จึงได้ทำการพัฒนาสูตรอาหารและวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc commune* ในรูปแบบก้อนวุ้นกลม (jelly ball) ในขนาดต่างๆ เชิงพาณิชย์

บัณฑิต (2548) กล่าวว่าผลผลิตจากนอสตอคเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า เนื่องจากเป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าสูง ไม่ว่าจะเป็น โปรตีน หรือ ไฟเบอร์ โดยสามารถผลิตในรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารสด สามารถใช้ประกอบอาหารเหมือนผักสดทั่วไป และในอนาคตจะได้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ ต่อไป เพื่อเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

นงลักษณ์ (2548) กล่าวว่า การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสาหร่ายมุกหยก (ไซ่หินหรือ *Nostoc commune*) ซึ่งเป็นผลงานวิจัยและพัฒนาโดยศูนย์จุลินทรีย์ เพื่อนำไปผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อาทิ คุณค่าทางอาหาร การปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ ปนเปื้อนโดยโลหะหนัก การฝึกอบรมวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมุกหยกแบบเข้มข้น โดยตั้งเป้าการผลิตประมาณ 600 กิโลกรัมต่อเดือน ในช่วงแรกจะเป็นขายแบบอาหารสด ที่ผู้บริโภคจะต้องนำไปประกอบอาหารเอง และจะมีราคาขายไม่เกิน 400-500 บาทต่อกิโลกรัม จากนั้นอาจจะมีการต่อยอดนำไปแปรรูปเป็นอาหารทั้งคาว หวาน เครื่องดื่มและอาหารเสริม

อาภารัตน์ (2548) บอกถึงคุณค่าทางอาหารว่าในสาหร่ายนอสตอคปริมาณ 100 กรัม จะมีโปรตีน 20.26-43.52 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.00-1.56 เปอร์เซ็นต์ โยอาหาร 2.70-43.00 เปอร์เซ็นต์ มีวิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 มีแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม เหล็ก อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น เมไทโอนีน ไลซีน โพรลีนซีรีน ไทโรซีน อะลานีน อยู่อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ยังไม่พบจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงคาดว่าผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ที่ใส่สาหร่ายนอสตอคเป็นส่วนประกอบ จะได้รับความสนใจจากกลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญในการดูแลสุขภาพ

การวิจัยในต่างประเทศค้นพบมาเป็นเวลานานแล้วว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ตรึงไนโตรเจนได้มีบทบาทอย่างสูงในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำ และนาข้าว (Sinha and Häder, 1996) โดยพบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่สามารถเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้ดี

ในพื้นที่แห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง จะเป็นสาหร่ายที่สามารถสร้างเมือกหนา หรือมีแคปซูลเจล (capsularjelly) ห่อหุ้ม เช่น สาหร่ายสกุล *Nostoc* ซึ่งเมือกนี้จะมีความสำคัญในการกักน้ำให้เกิดโครงสร้างของอนุภาคดินที่ดี รวมทั้งช่วยในการรักษาความชื้นไว้ในดินได้เป็นเวลานาน (Flaibani et al., 1989) นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายชนิดที่สายเซลล์ฝังตัวในแผ่นเมือกที่ห่อหุ้ม เช่น *Nostoc commune* จะมีความทนทานต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงกว่าสกุลหรือชนิดอื่นที่ไม่มีเมือกห่อหุ้ม เช่น *Anabaena* sp. (Sinha et al., 1995)

Nostoc บางชนิดรับประทานได้ บางชนิดใช้เป็นยารักษาโรคมะเร็ง โรคเกาต์ ลดโคเลสเตอรอลในซีรัมได้อย่างมีนัยสำคัญในหนูทดลอง ซึ่งคาดว่าความสามารถในการลดโคเลสเตอรอลนี้ น่าจะมาจากใยอาหารของ *Nostoc* (Hori et al., 1994) นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการบำบัดโรคตาบอดในเวลากลางคืน แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก หรืออาการเจ็บป่วยที่ไม่รุนแรงต่างๆ (antitumer) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบของสารพอลิแซ็กคาไรด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. ขวดน้ำเกลือ ขนาด 1000 มล. | 2. ช้อนตักสาร |
| 3. หลอดแก้ว | 4. Volume metric flask |
| 5. บีกเกอร์แก้ว | 6. Vortex mixer |
| 7. แท่งแก้วคนสาร | 8. เครื่องชั่งสาร |
| 9. ปิเปต | 10. Autoclave |
| 11. จุกยาง | 12. Hot air oven |
| 13. จานเลี้ยงเชื้อ | 14. pH meter |
| 15. ฝากรอง | 16. Larmina flow |
| 17. สายออกซิเจน | 18. Spectrophotometer |
| 19. หลอดพลาสติก | 20. water bath |
| 21. คิวเวท(แก้ว) | 22. Dessicater |
| 23. ไมโครปิเปต | 24. ชุด centrifuge |
| 25. กระบอกตวง | 26. ขวดรูปชมพู่ |
| 27. กรวยกรองพลาสติก | 28. น้ำกลั่น |
| 29. lack | 30. กระทั่งฟรอยด์ |

สารเคมี

- | | |
|---|---|
| 1. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1% | 2. Na_2CO_3 5% |
| 3. Folin-Ciocalteu reagent | 4. $\text{NaKC}_4\text{H}_6\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2% |
| 5. NaOH 1 โมล | 6. bovine serum albumin (BSA) |
| 7. glucose | 8. phenol solution |
| 9. Con. H_2SO_4 (AR grade) | 10. metanol |
| 11. HNO_3 | |

วิธีการ

แผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด(Completely Randomized Design, CRD) โดยการเลี้ยงสาหร่าย *N.commune* โดยกำหนดความเข้มข้นแสงที่ต่างกันเป็นชุดการทดลอง(Treatment) ดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (Treatment 1) แสง 24 ชั่วโมง 1350 ± 390 ลักซ์

ชุดการทดลองที่ 2 (Treatment 2) แสง 24 ชั่วโมง 816 ± 269 ลักซ์

ชุดการทดลองที่ 3 (Treatment 3) แสง 24 ชั่วโมง 1350 ± 390 ลักซ์

ชุดการทดลองที่ 4 (Treatment 4) แสง 8 ชั่วโมง 1350 ± 390 ลักซ์

ชุดการทดลองที่ 5 (Treatment 5) ไม่ได้รับแสง

แต่ละชุดการทดลองจะแบ่งเป็นชุดการทดลองละ 6 ข้ำ โดยวัดค่าการเจริญเติบโต(ปริมาณคลอโรฟิลล์, น้ำหนักแห้ง, ปริมาณโปรตีน, ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เซลล์สาหร่าย และปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง

วัดค่าการเจริญเติบโตโดยวัด 3 วันต่อ 1 ครั้ง

ปริมาณคลอโรฟิลล์

1. เก็บสาหร่าย 5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ชุดเซลล์ใส่หลอดทดลอง เติมนีเมทานอล 5 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้ว แล้วปั่นด้วยวอร์เท็กซ์ให้เซลล์แตก
2. นำมาต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 15 นาที
3. วางทิ้งไว้ให้เย็น
4. วัดค่า absorbance ที่ 665 นาโนเมตร

วิธีการคำนวณ

ค่า absorbance $\times 13.90 =$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต : Phenol - Sulphuric method

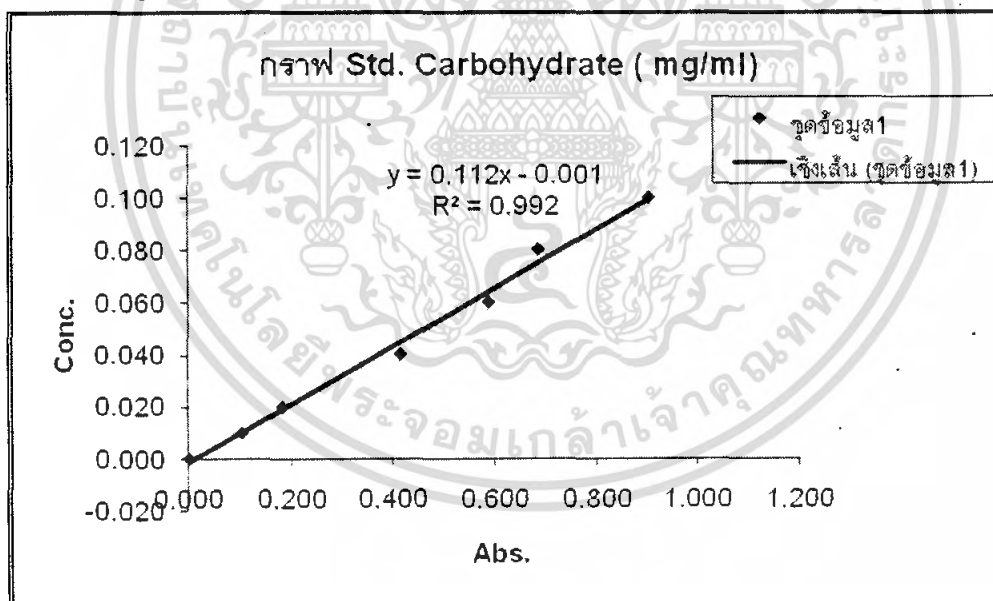
1. เตรียมสาร : สารละลายมาตรฐานของกลูโคส
: สารละลายฟีนอล 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
: กรด H_2SO_4 (AR grade)
2. แบ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตจากเซลล์สาหร่าย โดยเก็บสาหร่าย โดยเก็บสาหร่าย 1 มิลลิลิตร แล้ว
3. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากเซลล์สาหร่าย โดยเก็บสาหร่าย 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำมากรองเซลล์ ชูตเซลล์ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอล 1 มิลลิลิตร แล้วปั่นในวอร์เท็กซ์
5. เติมกรด H_2SO_4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ให้เสร็จภายใน 20 วินาที)
6. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
7. วัดค่า absorbance ที่ 485 นาโนเมตร
8. หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายในน้ำ โดยเก็บน้ำเลี้ยง 0.1 มิลลิลิตร แล้วปั่นในวอร์เท็กซ์
9. ทำการทดลองตามข้อ 5-7
10. เตรียม standard curve : จาก stock ของสารละลายกลูโคส ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ทำเป็นสารละลายเจือจางที่ 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ไมโครกรัมต่อ 1 มิลลิลิตร

วิธีการคำนวณ

แทนค่าในสมการที่หาจากกราฟมาตรฐาน $Y = 0.112X - 0.001$ เมื่อ X คือค่า absorbance คาร์โบไฮเดรตจากเซลล์สาหร่ายทำเป็นหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในน้ำเลี้ยงทำเป็นหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณไฟโคไซยานิน

1. เก็บสาหร่าย 5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ชูตเซลล์ใส่หลอดทดลองเติม ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 มิล
2. ใส่เม็ดแก้วแล้วปั่นด้วยวอร์เท็กซ์ทำให้เซลล์แตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

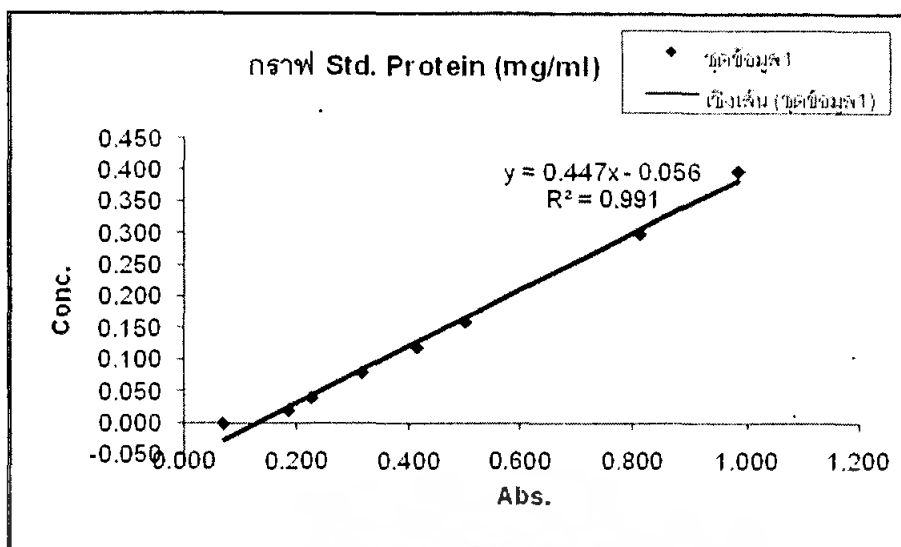
3. เก็บไว้ในที่มีด 1 คืน
4. นำมาทำให้เซลล์แตกโดยการลดอุณหภูมิในตู้เย็นและเพิ่มอุณหภูมิที่อุณหภูมิห้อง โดยการนำเข้าออก 2-3 ครั้ง
5. นำไป centrifuge แยกเซลล์ที่ 3500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
6. เทส่วนใต้นบนออก แล้ววนไปวัดค่า absorbance ที่ 455, 564, 592, 618, 645 นาโนเมตร

ปริมาณโปรตีน : Lowry's method

1. เตรียมสาร : Reagent A : 5% Na_2CO_3
 : Reagent B : 1% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
 : Reagent C : 2% $\text{NaKC}_4\text{H}_6\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
 : Reagent D : ผสมสาร A 50 มิลลิลิตร+สาร C (เตรียมใหม่ ๆ)
 : Folin-Ciocalteu (dilute 1:1 ด้วยน้ำกลั่น)
 : NaOH 1 โมล
2. เก็บสาหร่าย 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ขูดเซลล์ใส่หลอดทดลอง เติม NaOH ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 20 นาที
3. เติมสาร D ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดทดลอง ปั่นด้วยวอร์เท็กซ์ ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที
4. วัดค่า absorbance ที่ 750 นาโนเมตร
5. เตรียม standard curve : จาก stock ของสาร bovine serum albumin(BSA) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำเป็นสารละลายเจือจางที่ 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ไมโครกรัมต่อ 0.5 มิลลิลิตร

วิธีการคำนวณ

แทนค่าในสมการที่หาจากกราฟ มาตรฐาน $Y = 0.447X - 0.056$ เมื่อ X คือค่า absorbance แล้วทำเป็นหน่วย มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของโปรตีน

ค่าน้ำหนักแห้ง

1. อบกระถงฟรอยด์ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นใน dessicater แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. เก็บสาหร่าย 5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ชุดเซลล์ใส่กระถงฟรอยด์ที่อบแล้ว
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น dessicater แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

วิธีการคำนวณ

ค่าน้ำหนักแห้งของสาหร่าย(กรัมต่อลิตร) = กระถง+สาหร่าย(อบแล้ว) – กระถงเปล่า(อบแล้ว)

การวิเคราะห์ผล

นำข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกได้นำมาวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม SPSS version 10 เป็นโปรแกรมในการวิเคราะห์แบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองตามวิธี DMRT (Duncan,s new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูล

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

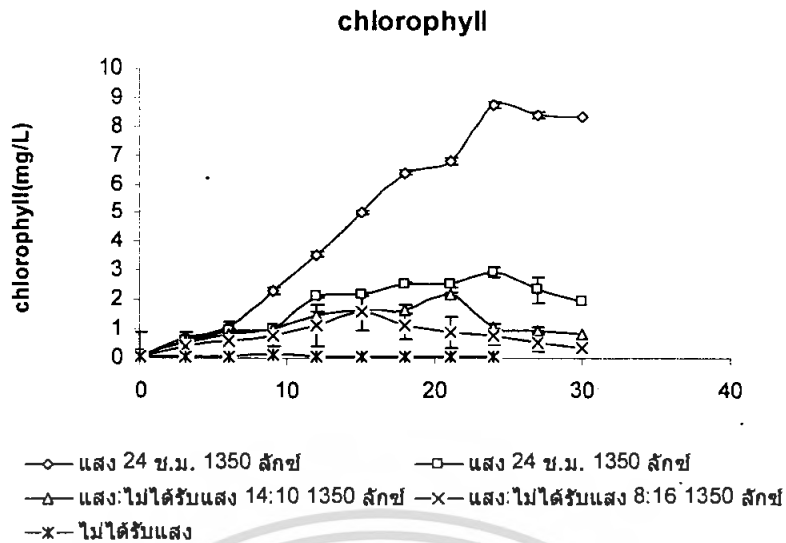
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2550 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปริมาณคลอโรฟิลล์

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ , ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่าแนวโน้มการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ของกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งในวันที่ 24 ของการทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.76 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 8) และเริ่มลดลงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 8.35 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับกลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 10) และพบว่าในกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างจากเริ่มต้นและสามารถหาปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ถึงวันที่ 24 ของการทดลองซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 0.03 ± 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะสาหร่ายตายในระยะเวลาต่อมา นอกจากนี้พบว่ากลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ กลุ่มที่ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ได้รับแสง 8 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ แนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์มีการเพิ่มขึ้นโดยในวันที่ 24 , 21 และ 15 ของการทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.95 ± 0.09 , 2.20 ± 0.17 และ 1.62 ± 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณค่อยๆลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 1.98 ± 0.42 , 0.81 ± 0.07 และ 0.34 ± 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์จากสาหร่าย *N.commune* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวซึ่งเป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสงคลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ, บี, ซี, ดี และอี แต่คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นคลอโรฟิลล์ชนิดเอ เท่านั้นที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบในสาหร่ายโดยทั่วไปปกติมีประมาณ 0.5-1.5 % ของน้ำหนักแห้ง และสามารถเพิ่มสูงได้ถึง 6% ในสาหร่ายที่เลี้ยงไว้ในที่มีแสงอ่อน ๆ อย่างต่อเนื่อง (สุมาลี, 2538) ดังนั้นแสงจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญโดยตรงนอกเหนือจากปริมาณสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากการทดลองจะเห็นว่ากลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่มีความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ลักซ์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงที่สุดถึงวันที่ 24 แล้วค่อยๆลดลงที่เป็นเช่นนี้เพราะในการทดลองในครั้งนี้ไม่ได้เพิ่มปริมาณสารอาหารอย่างต่อเนื่อง โดยที่สารอาหารที่ได้รับครั้งแรกเมื่อเริ่มการทดลองเท่านั้น นอกจากนี้เมื่อเซลล์เริ่มหนาแน่นการสังเคราะห์แสงอาจเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึงและชลบางส่วนอาจตายไป Trainor (1978) รายงานว่าแสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ความเข้มแสงในน้ำขึ้นอยู่กับ สถานที่ ฤดูกาล เวลาในรอบวัน ระดับความลึกของน้ำ สี ความขุ่น และปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้นการได้รับปริมาณแสงสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย หรือทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับความเสียหาย ดังนั้นสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีความเข้มแสงเหมาะสม

การทดลองครั้งนี้ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วิเคราะห์ได้น้อยมากหรือเกือบไม่มีเลยเมื่อเลี้ยงสาหร่ายไปสักระยะหนึ่งซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Patricia et al (1996) ได้ทดลองศึกษาปริมาณของรงควัตถุในสาหร่าย *Nostoc sp.* ภายใต้ช่วงแสงในสภาวะที่แตกต่างกันดังนี้ กลุ่มที่ได้รับแสง 30 ไมโครโอสไต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อย่างต่อเนื่อง กลุ่มที่ได้รับแสง 14 ชม. และกลุ่มที่ไม่ได้

รับแสง พบว่าการเจริญเติบโตในที่มีดเมื่อถึงระยะหนึ่งไม่มีคลอโรฟิลล์เลย และกลุ่มที่ได้รับแสงอย่างต่อเนื่องมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด

จากการศึกษาของ เจษฎา และคณะ (2538) สำหรับสาย *Nostoc commune* ซึ่งจากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าสูตรอาหาร BG-11 ดัดแปลง โดยมีส่วนประกอบของ $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ 0.020 กรัม/ลิตร, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.075 กรัม/ลิตร, $CaCl_2$ 0.036 กรัม/ลิตร, กรดซิติค 0.006 กรัม/ลิตร, เฟอริกแอมโมเนียมซิเตรท 0.006 กรัม/ลิตร, EDTA 0.001 กรัม/ลิตร, Na_2CO_3 0.020 กรัม/ลิตร, $NaCl$ 0.200 กรัม/ลิตร, ยูเรีย 0.200 กรัม/ลิตร, และ Trace metal mix A5 ตามสูตรเดิม ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 และค่าความเข้มแสงเท่ากับ 20 ไมโครไฮสโตไนต์/ตารางเมตร/วินาที ส่งเสริมให้สาย *Nostoc commune* เจริญเติบโตได้ดี โดยที่มีชีวมวลเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 7.91 เท่าหลังจากทำการเพาะเลี้ยง 20 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน *N.commune* (mean±S.E.)

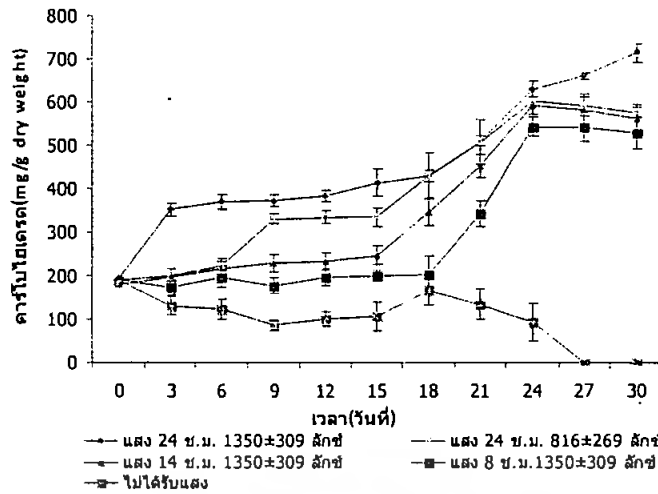
สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>					
	แสง 24 ช.ม. 1350±309	แสง 24 ช.ม. 816±269	แสง 14 ช.ม. 1350±309	แสง 8 ช.ม. 1350±309	ไม่ได้รับแสง
เวลา(วันที่)	ลิกซ์	ลิกซ์	ลิกซ์	ลิกซ์	
0	0.07±0.00b	0.1112±0.00c	0.1112±0.00c	0.0695±0.00b	0.0556±0.00a
3	0.70±0.03e	0.59±0.02d	0.51±0.03c	0.41±0.83b	0.06±0.18a
6	1.09±0.18d	0.93±0.06d	0.83±0.04bc	0.61±0.15b	0.04±0.18a
9	2.32±0.13d	1.00±0.06c	1.03±0.09c	0.76±0.20b	0.12±0.18a
12	3.56±0.12e	2.11±0.05d	1.45±0.08c	1.12±0.36b	0.08±0.18a
15	5.03±0.09d	2.20±0.02c	1.64±0.14b	1.62±0.70b	0.07±0.18a
18	6.42±0.07e	2.57±0.05d	1.68±0.15b	1.0±0.65b	0.05±0.18a
21	6.82±0.10e	2.52±0.05d	2.20±0.17c	0.89±0.42b	0.04±0.18a
24	8.76±0.12e	2.95±0.09d	1.09±0.05c	0.75±0.52b	0.03±0.18a
27	8.40±0.14d	2.34±0.18c	0.97±0.07b	0.51±0.29a	ตาย
30	8.35±0.12d	1.98±0.43c	0.81±0.07b	0.34±0.29b	ตาย

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

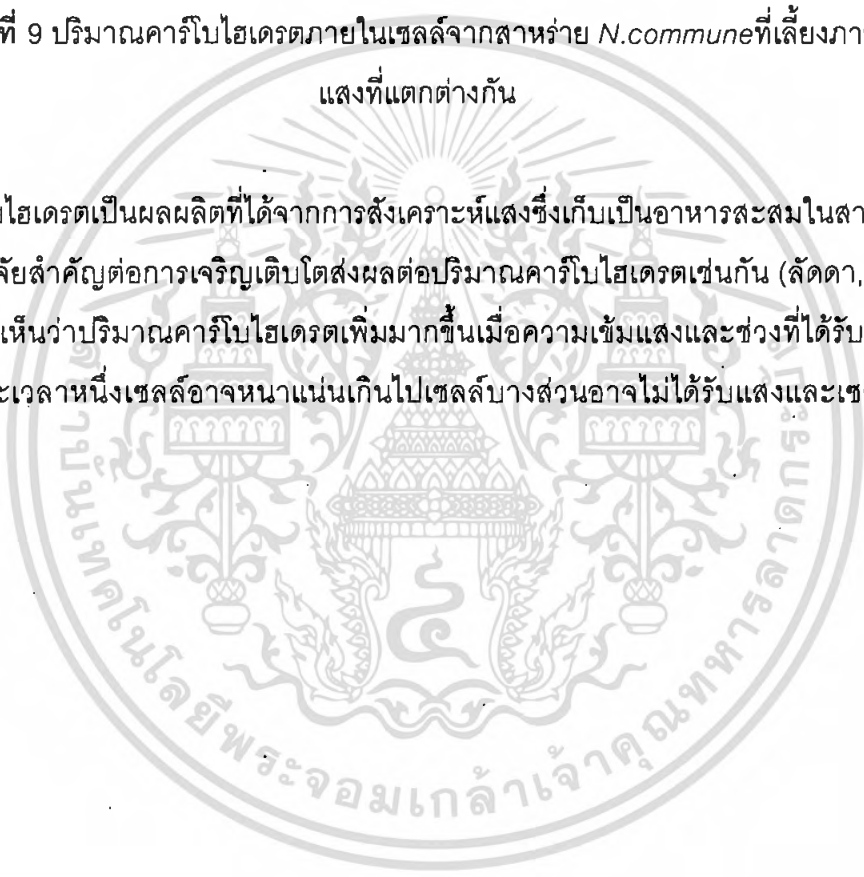
1. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์, ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์, ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์, ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกกลุ่มการทดลอง ยกเว้นในกลุ่มที่ไม่ได้รับแสงซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตใน 4 กลุ่มแรก เมื่อสิ้นสุดการทดลองการทดลองในกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ลักซ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.30 ± 0.006 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 9) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับกลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 5) สำหรับแนวโน้มปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มที่ไม่ได้รับแสงค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจากวันที่เริ่มทำการทดลองและสามารถหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้ถึงวันที่ 24 ของการทดลองซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 529.78 ± 37.81 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เพราะสาหร่ายตายในระยะเวลาต่อมา นอกจากนี้พบว่ากลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ กลุ่มที่ได้รับแสง 14 ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ได้รับแสง 8 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ แนวโน้มของปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีการเพิ่มขึ้นโดยในวันที่ 24 ของการทดลองมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 593.01 ± 21.49 , 584.05 ± 36.37 และ 544.56 ± 34.29 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีค่าเท่ากับ 577 ± 11.21 , 561.87 ± 35 และ 529.78 ± 37.81 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์จากสาหร่าย *N.commune* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน

คาร์โบไฮเดรตเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงซึ่งเก็บเป็นอาหารสะสมในสาหร่ายดังนั้นแสงจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตส่งผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตเช่นกัน (ลัดดา, 2544) จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มแสงและช่วงที่ได้รับแสงมากขึ้น แต่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งเซลล์อาจหนาแน่นเกินไปเซลล์บางส่วนอาจไม่ได้รับแสงและเซลล์บางส่วนตายไป



ตารางที่ 5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเซลล์สาหร่าย(มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน *N.commune* (mean±S.E.)

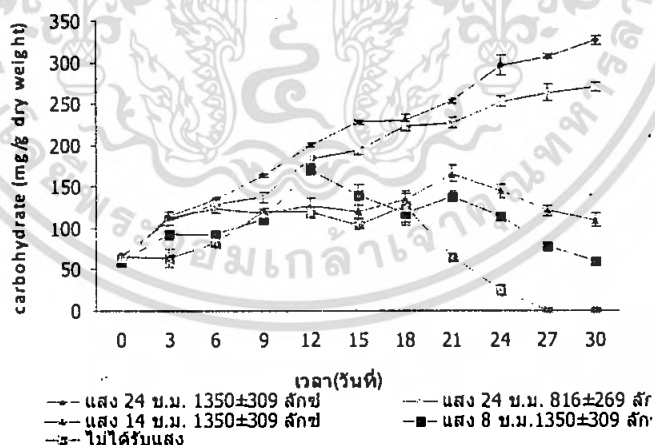
เวลา(วันที่)	สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>				ไม่ได้รับแสง
	แสง 24 ช.ม. 1350±309	แสง 24 ช.ม. 816±269	แสง 14 ช.ม. 1350±309	แสง 8 ช.ม.1350±309	
	ลัทธิ	ลัทธิ	ลัทธิ	ลัทธิ	
0	192.13±0.00c	190.26±0.00b	180.92±0.00a	190.26±0.00b	190.26±0.00b
3	351.82±14.87c	201.08±14.08b	197.37±20.90b	172.19±16.96ab	131.49±22.58a
6	370.16±18.11c	223.24±9.80b	218.19±22.91b	198.34±23.42b	123.69±23.36a
9	373.23±14.05d	331.25±11.06d	229.65±20.71c	178.09±19.34b	85.49±11.60a
12	383.76±14.19d	334.35±15.85c	234.32±17.63b	195.21±17.99b	100.63±17.04d
15	414.28±32.32d	335.33±22.84c	248.18±20.94b	200.07±12.13b	107.54±32.66a
18	430.08±12.24b	431.34±51.58b	345.59±29.84b	201.88±43.97a	167.70±35.72a
21	510.61±11.26c	508.19±51.46c	453.43±27.42c	344±30.37b	134.85±34.96a
24	631.34±18.35b	604.06±30.62b	593.62±18.98b	544.67±21.99b	94.85±43.39a
27	662.59±8.36b	593.01±21.49ab	584.05±36.37a	544.56±34.29a	ตาย
30	715.59±22.74b	577.6±11.21b	561.87±35a	529.78±37.81a	ตาย

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05)

2. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายนอกเซลล์

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์, ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์, ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์, ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อยๆเพิ่มมากขึ้นใน 2 กลุ่มการทดลอง โดยที่กลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์, ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์, และเมื่อสิ้นสุดการทดลองกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 326.773 ± 5.80 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 270.350 ± 4.97 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ภาพที่ 10) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับกลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 10) สำหรับกลุ่มที่ไม่ได้รับแสงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดในวันที่ 18 ของการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 126.110 ± 18.480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อถึงวันที่ 21 ของการทดลองปริมาณคาร์โบไฮเดรตเริ่มลดลงและสามารถหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้ถึงวันที่ 24 ของการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.51 ± 6.88 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะสาหร่ายตายในระยะเวลาต่อมา



ภาพที่ 10 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายนอกเซลล์จากสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน

ผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (photosynthetic product) ได้แก่ แป้ง cyanophycean starch เป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ เรียกว่า cyanophycin granule (ลัดดา, 2544) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าแสงเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งในเซลล์และนอก

เซลล์แม้ว่าในที่ไม่มีแสงปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายนอกเซลล์มีการเพิ่มขึ้นในปริมาณเล็กน้อยเพราะมีการปลดปล่อยคาร์โบไฮเดรตออกสู่นอกเซลล์ก่อนเซลล์จะตายไป

Gantar et al (1995) ศึกษา *Nostoc* sp. 2S9B ที่เลี้ยงในฟลาสก์ขนาด 10 ลิตร อายุ 30 วัน ให้ผลผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 1.40 มิลลิกรัมพอลิแซ็กคาไรด์ต่อลิตรต่อวัน Moore and Tischer (1964) ศึกษา *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงในคอลัมน์ไพเร็กซ์ 2 ลิตร อายุ 12 วัน ให้ผลผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 34.60 มิลลิกรัมพอลิแซ็กคาไรด์ต่อลิตรต่อวัน แต่การศึกษาของ Mehta and Vaidya (1978) ได้ทดลองเลี้ยง *Nostoc* sp. 221 ในฟลาสก์ขนาด 0.25 ลิตร อายุ 20 วัน ให้ผลผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 45.4 มิลลิกรัมพอลิแซ็กคาไรด์ต่อลิตรต่อวัน

นารินทร์และคณะ (2549) ทำการทดลองโดยทำการเตรียมตัวอย่างสาหร่ายที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง จากการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว จากส่วนเฉพาะของเหลวเหนียวภายในกลุ่มเซลล์ และจากอาหารเพาะเลี้ยงเหลว นำมาสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยเอทานอล น้ำร้อน และ EDTA จากผลการทดลองพบว่าส่วนใหญ่การใช้น้ำร้อนสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากตัวอย่างกลุ่มเซลล์จากธรรมชาติจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารแข็งและอาหารเหลว ให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์สูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอลและ EDTA และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปล่อยออกนอกเซลล์ (EPS) บนอาหารแข็งพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายที่เก็บจากแหล่งธรรมชาติที่สกัดด้วยน้ำร้อนให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์สูงกว่าที่สกัดด้วยเอทานอลและ EDTA โดยให้ปริมาณเท่ากับ 12.18 10.40 และ 9.33 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งสาหร่าย ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่านัยสำคัญเท่ากับ 0.05 พบว่า การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยน้ำร้อน เอทานอล และ EDTA ไม่ให้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาของ สุมิตรรา (2546) ศึกษาปริมาณการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Nostoc commune* โดยการเลี้ยงในอาหารสูตร Jaworsky แต่ปรับระดับของโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) เลี้ยงแบบตั้งภาชนะไว้นิ่ง ๆ (static condition) และแบบเขย่าอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง (shaker condition) พร้อมทั้งวัดปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ *Nostoc commune* 24 วันถูกเขย่าในอาหารเลี้ยงนาน 24 วันความเข้มข้น 8,390 ลักซ์ หาน้ำหนักแห้ง ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด และ เอกซ์ตราเซลลูลาร์พอลิแซ็กคาไรด์อายุ 20 วัน น้ำหนักแห้งเซลล์ สูงสุด 300 มิลลิกรัมต่อลิตร อายุ 18 วัน ผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดสูงสุด 25.8 มก.ต่อลิตร และอายุ 15 วันผลิตเอกซ์ตราเซลลูลาร์พอลิแซ็กคาไรด์สูงสุด 37.28 มิลลิกรัมต่อลิตร

Ana and Massimo (2003) ศึกษาผลของ 2 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการไหลเวียนของพลังงานในการตรึงไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรียและความสามารถนำไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์การสังเคราะห์โพลีแซ็กคาไรด์ภายนอกเซลล์ ของสาหร่าย *Nostoc* 3 จีนัส (PCC 7413, PCC 7936 และ PCC 8113) โดยเลี้ยงในสภาวะที่มีสารอาหารที่ประกอบด้วยสาประกอบไนโตรเจน และที่ไม่มีสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนและเลี้ยงในที่มีความเข้มแสงสูง (160 ไมโครโมลลิฟotonต่อตารางเมตรต่อวินาที) และความเข้มแสงต่ำ (70 ไมโครโมลลิฟotonต่อตารางเมตรต่อวินาที) โดยเลี้ยงให้อากาศแบบ Batch culture ที่ความเข้มแสงสูงผลรวมของการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นใน *Nostoc* ทั้ง 3 จีแนส แต่ผลรวมและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำแสดงให้เห็นถึงแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับผลตอบรับจากความสามารถของไนเตรท และพบว่าจีแนส PCC 7413 เป็นเพียงจีแนสเดียวที่มีการปลดปล่อยโพลีแซคคาไรด์ทั้งในอาหารที่มีไนโตรเจนและไม่มีไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณผลรวมของคาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์สูงสุดเท่ากับ 3.5 กรัมต่อลิตร และผลรวมของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 1.8 กรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

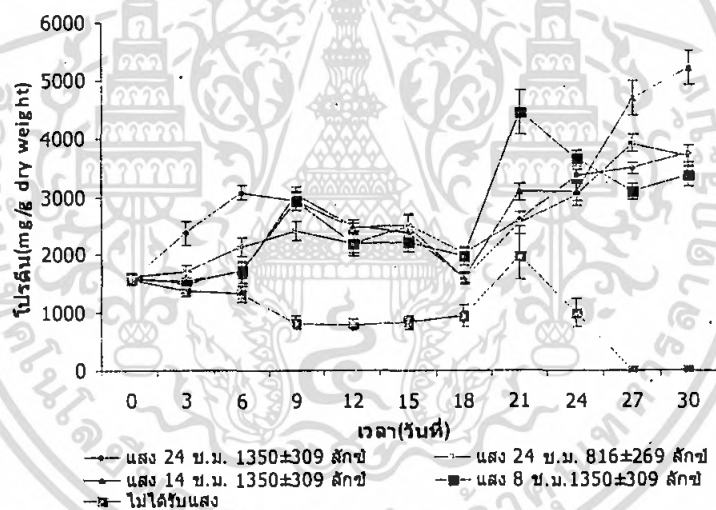
ตารางที่ 6 ปริมาณคาร์บอนไฮเดรตที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน *N.commune* (mean±S.E.)

เวลา(วันที่)	สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>				ไม่ได้รับแสง
	แสง 24 ช.ม. 1350±309	แสง 24 ช.ม. 816±269	แสง 14 ช.ม. 1350±309	แสง 8 ช.ม. 1350±309	
	ลักร์	ลักร์	ลักร์	ลักร์	
0	55.865±0.00a	65.954±0.00c	67.075±0.00d	59.228±0.00b	65.95±0.00c
3	114.72±4.15c	107.99±4.66b	112.48±2.52c	92.11±5.07b	63.71±10.52a
6	133.40±3.98c	128.92±4.89c	122.75±4.29c	93.05±3.79b	81.27±1.93a
9	163.29±2.19c	136.95±6.16b	118.08±5.05a	110.05±6.02a	120.51±2.60a
12	200.10±2.16c	184.03±2.98c	127.61±8.63ab	170.95±42.75abc	118.83±5.56a
15	227.94±3.00d	193.19±3.83c	120.51±7.92ab	139.57±14.77a	104.26±5.75a
18	229.99±7.90c	222.89±5.01b	134.15±7.58a	118.08±7.45b	126.11±18.48a
21	253.16±2.66e	226.82±6.32d	165.91±9.53c	137.89±4.85b	65.207±6.36a
24	295.76±11.69e	252.79±6.78d	144.61±8.30c	113.78±4.46a	24.51±6.88a
27	307.34±3.43d	263.81±9.79c	120.88±5.82b	77.54±3.40a	ตาย
30	326.773±10.52d	270.350±1.93c	109.486±2.60b	60.349±5.56a	ตาย

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05)

ปริมาณโปรตีน

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ , ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่า 4 กลุ่มการทดลองแรก มีปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3740.2 ± 145.69 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย (ภาพที่ 11) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับกลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่) และพบว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับแสงสามารถหาปริมาณโปรตีนได้ถึงวันที่ 24 ของการทดลองมีค่าสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1004.26 ± 254.93 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย



ภาพที่ 11 ปริมาณโปรตีนจากสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน

อาภารัตน์ และคณะ (2548) กล่าวว่า จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนอ สตอคจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยพบว่า สาหร่ายนอ สตอคปริมาณ 100 กรัม มีโปรตีน 20.26- 43.52% อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น เมไทโอนีน ไลซีน โพรลีน ซีรีน ไทโรซีน อะลานีน อยู่อย่างครบถ้วน จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มแสงและช่วงเวลาที่ ได้รับแสงมากขึ้นด้วย Ana and Massimo (2003) กล่าวว่า การพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ ของ exopolysaccharide (EPS) ของสาหร่ายขึ้นอยู่กับปัจจัยในการเลี้ยงซึ่งจะส่งผลต่อการควบคุมการ

สังเคราะห์ของ EPS และการกำหนดสภาวะการเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงที่สุด การเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงส่งผลต่อการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจะส่งผลปริมาณคลอโรฟิลล์และโปรตีนด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

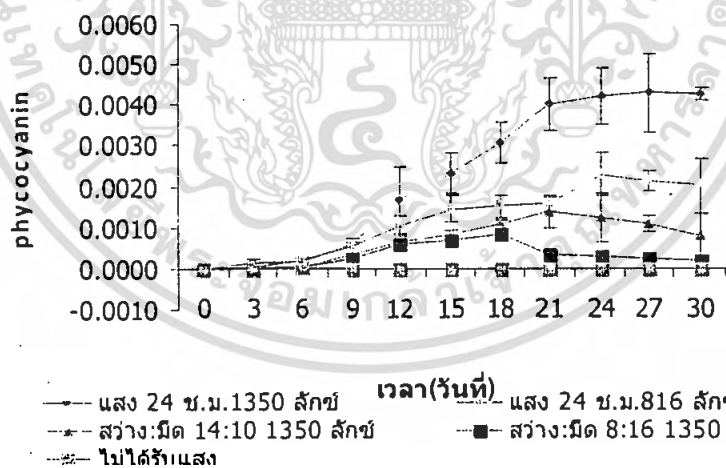
ตารางที่ 7 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่าย) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน *N.commune* (mean±S.E.)

เวลา(วันที่)	สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>				
	แสง 24 ช.ม. 1350±309	แสง 24 ช.ม. 816±269	แสง 14 ช.ม. 1350±309	แสง 8 ช.ม.1350±309	ไม่ได้รับแสง
	ลิกซ์	ลิกซ์	ลิกซ์	ลิกซ์	
0	1570.67±c	1622.85±c	1585.58±b	1622.85±c	1585.58±b
3	2383.96±200.51b	1710.93±98.37a	2167.64±175.87a	1481.62±115.61a	1375.22±110.18a
6	3075.95±123.80c	2143.71±167.38b	1699.6±168.83ab	1745.87±144.60ab	1317.32±135.95a
9	2922.32±148.73c	2409.9±158.29b	3044.6±135.15c	2933.44±168.41c	821.16±126.40a
12	2471.4±83.93b	2201.72±168.67b	2484.62±133.73b	2203.15±214.65b	796.42±92.34a
15	2521.61±199.73b	2490.32±191.90b	2383.72±114.122b	2233.58±168.40b	830.9±130.27a
18	2031.66±93.80b	1604.24±112.30b	1610.52±85.50b	1975.11±167.74b	958.64±189.80a
21	2619.16±112.42ab	2552.68±180.65ab	3082.60±156.13b	4449.46±370.78c	1974.32±388.14a
24	3378.65±89.36b	3043.50±190.78b	3094.50±163.12b	3669.63±128.34c	1004.26±254.93a
27	3497.68±96.14ab	3916.7±153.60b	4691.91±293.35c	3100.94±129.63a	ตาย
30	3740.2±145.69a	3686.53±192.62a	5206.18±396.67b	3357.45±178.36a	ตาย

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05)

ปริมาณไฟโคไซยานิน

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ , ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่าแนวโน้มของปริมาณไฟโคไซยานินค่อยเพิ่มมากขึ้นทุกกลุ่มการทดลองยกเว้นกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง โดยกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดในวันที่ 27 ของการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0043 ± 0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 12) และลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.00426 ± 0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับกลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 10) สำหรับกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์กลุ่มที่ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ลักซ์ และกลุ่มที่ได้รับแสง 8 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดในวันที่ 18 ของการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.00085 \pm 0.00008b$, มิลลิกรัมต่อลิตร และค่อยๆลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ $0.00020 \pm 0.00005a$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้กลุ่มที่ไม่ได้รับแสงมีการสังเคราะห์ไฟโคไซยานินน้อยมาก หรือถือว่าไม่มีการสังเคราะห์เลย



ภาพที่ 12 ปริมาณไฟโคไซยานินจากสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน

จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณของไฟโคไซยานินจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นเมื่อได้รับแสงและช่วงที่ได้รับแสงมากขึ้น แต่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งจะเริ่มลดลง ซึ่ง Sarada et al (1999) กล่าวว่าความสามารถในการสร้างรงควัตถุจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการเจริญ ทั้งความเข้มแสง ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปริมาณสารอาหารรวมทั้งอุณหภูมิ ซึ่งจากการทดลอง Myers and Kratz (1990) พบว่า ไฟโคไซยานินจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อได้รับแสงจำกัด นอกจากนี้ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไฟโคไซยานินยังเป็นแหล่งสะสมไนโตรเจน ซึ่งจะทำหน้าที่ให้ธาตุไนโตรเจนแก่เซลล์สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Dryby (2001) กล่าวว่าจากการที่ไฟโคไซยานินทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ไฟโคไซยานินมีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงและช่วงเวลาที่ได้รับแสงเพิ่มขึ้น

Ana and Massimo (2003) ได้ศึกษาผลของ 2 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการไหลเวียนของพลังงานในการตรึงไนโตรเจนของไซยาโนแบคทีเรียและความสามารถนำไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์ต่อการสังเคราะห์โพลีแซคคาไรด์ภายนอกเซลล์ ของสาหร่าย *Nostoc* 3 จีโนส (PCC 7413, PCC 7936 และ PCC 8113) โดยเลี้ยงในสภาวะที่มีสารอาหารที่ประกอบด้วยสาประกอบไนโตรเจน และที่ไม่มีสารประกอบไนโตรเจนและเลี้ยงในที่มีความเข้มแสงสูง (160 ไมโครโมลล์โฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) และความเข้มแสงต่ำ (70 ไมโครโมลล์โฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) โดยเลี้ยงให้อากาศแบบ Batch culture การเจริญเติบโตของรงควัตถุทั้งคลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอีริทริน แสดงให้เห็นถึงแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับผลตอบรับจากความสามารถของไนโตรเจน คือที่มีความเข้มแสงสูงและในอาหารที่มีไนโตรเจนจะมีรงควัตถุมากกว่าที่เลี้ยงในอาหารที่มีแสงต่ำและในอาหารที่ไม่มีไนโตรเจน

ราเชนทร์ และ คณะ (2550) ศึกษาความแตกต่างของสาหร่ายเกลียวทอง 10 สายพันธุ์จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ *Spirulina platensis* (SP1 SP4 SP6 SP13 SP21 ATT SA4 SA5 และ Burma1) และ *Spirulina maxima* เพื่อคัดสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้สกัดไฟโคไซยานิน โดยศึกษาลักษณะทั่วไปของเซลล์สาหร่าย ปริมาณไฟโคไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการสกัดได้ด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (freeze-thawed) และวิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิก โดยเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการด้วยอาหารเหลว Zarrouk เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ความหนาของผนังเซลล์มีขนาดระหว่าง 46.80 – 164.80 นาโนเมตร ความยาวของเซลล์มีขนาดระหว่าง 192.10 – 321.19 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวมีขนาดระหว่าง 21.00 – 39.92 ไมโครเมตร ระยะช่วงเกลียวมีขนาดระหว่าง 28.94 – 90.39 ไมโครเมตร และความหนาของเซลล์มีขนาดระหว่าง 8.49 – 12.28 ไมโครเมตร ทุกสายพันธุ์มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณไฟโคไซยานินทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ SA5 SP6 Burma1 และ SP1 มีปริมาณไฟโคไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด (ร้อยละ 16.58 16.05 15.98 และ 15.98 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้งตามลำดับ) ส่วน SA4 มีปริมาณไฟโคไซยานินทั้งหมดต่ำที่สุดในกลุ่ม (ร้อยละ 12.94 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง) ความสามารถในการสกัดไฟโคไซยานินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่าการสกัดด้วยวิธีแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส SP13 Burma1 SP1 ATT SA4 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SA5 เป็นสายพันธุ์ที่สกัดได้ง่ายที่สุด ในขณะที่ SP21 สกัดได้ยากที่สุด ส่วนการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก SP13 สกัดได้ง่ายที่สุด ในขณะที่ SP21 สกัดได้ยากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

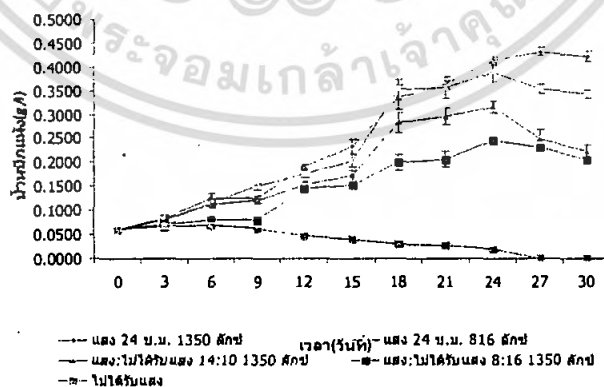
ตารางที่ 8 ปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัมลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน *N.commune* (mean±S.E.)

เวลา(วันที่)	สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>				ไม่ได้รับแสง
	แสง 24 ช.ม. 1350±309	แสง 24 ช.ม. 816±269	แสง 14 ช.ม. 1350±309	แสง 8 ช.ม.1350±309	
	ลักร์	ลักร์	ลักร์	ลักร์	
0	0.00000a	0.00000a	0.00000a	0.00000a	0.00000a
3	0.00017±0.00006b	0.00005±0.00003a	0.00004±0.00003a	0.00001±0.00001a	0.00001±0.00001a
6	0.00019±0.00008b	0.00018±0.00007b	0.00004±0.00002a	0.00003±0.00002a	0.00003±0.00002a
9	0.00060±0.00002c	0.00054±0.00021bc	0.00032±0.00007bc	0.00023±0.00002ab	0.00000a
12	0.00167±0.00082b	0.00103±0.00023ab	0.00066±0.00009ab	0.00061±0.00005ab	0.00000a
15	0.002333±0.00050c	0.001441±0.00032b	0.00084±0.00009b	0.00069±0.00007ab	0.00000a
18	0.003073±0.00050c	0.001522±0.00030b	0.001097±0.00011b	0.00085±0.00008b	0.00000a
21	0.00402±0.00070c	0.00158±0.00022b	0.00136±0.00036b	0.00032±0.00013a	0.00000a
24	0.00420±0.00070c	0.00230±0.00054b	0.00124±0.00058ab	0.00028±0.00010a	0.00000a
27	0.00430±0.00010c	0.00214±0.00026b	0.00109±0.00021ab	0.00024±0.00055a	ตาย
30	0.00426±0.00020c	0.00202±0.00070b	0.00080±0.00055b	0.00020±0.00005a	ตาย

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05)

น้ำหนักแห้ง

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ คือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ , ได้รับแสง 14 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ , ได้รับแสง 8 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่าแนวโน้มปริมาณน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง ยกเว้นกลุ่มที่ไม่ได้รับแสง โดยกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดในวันที่ 27 ของการทดลองโดยที่กลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.43 ± 0.008 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 13) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.42 ± 0.012 กรัมต่อลิตรและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับกลุ่มการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 10) และกลุ่มที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 0.35 ± 0.01 กรัมต่อลิตรและลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.29 ± 0.05 กรัมต่อลิตร สำหรับกลุ่มที่ได้รับแสง 14 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และกลุ่มที่ได้รับแสง 8 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดในวันที่ 21 และ 24 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.24 ± 0.02 และ 0.23 ± 0.01 กรัมต่อลิตรและค่อยๆลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีน้ำหนักแห้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.20 ± 0.02 และ 0.16 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้กลุ่มที่ไม่ได้รับแสงมีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างต่อเนื่องจากการเริ่มต้นการทดลองและสามารถหาปริมาณน้ำหนักแห้งได้ถึงวันที่ 24 ของการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.02 ± 0.005 กรัมต่อลิตรและตายในระยะเวลาต่อมา



ภาพที่ 13 ปริมาณน้ำหนักแห้งจากสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาของ สุมิตรา (2546) ศึกษาปริมาณการผลิตโพลีแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Nostoc commune* โดยการเลี้ยงในอาหารสูตร Jaworsky แต่ปรับระดับของโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) เลี้ยงแบบตั้งภาชนะไว้หนึ่ง ๆ (static condition) และแบบเขย่าอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง (shaker condition) พร้อมทั้งวัดปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ *Nostoc commune* 24 วันถูกเขย่าในอาหารเลี้ยง นาน 24 วันความเข้มข้น 8,390 ลักซ์ หาน้ำหนักแห้ง และ เอกซ์ตราเซลลูลาร์พอลิแซ็กคาไรด์อายุ 20 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งเซลล์สูงสุด 3 กรัมต่อลิตร จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่าความเข้มข้นที่ใช้ในการ ทดลองเพียง 1350 ลักซ์ และ 816 ลักซ์เท่านั้นจึงมีปริมาณของน้ำหนักแห้งที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.43 ± 0.008 กรัมต่อลิตรในกลุ่มที่ได้รับแสงตลอด 24 ชั่วโมงที่ความเข้มข้น 1350 ลักซ์ จะเห็นว่าปริมาณของ น้ำหนักแห้งแตกต่างจากการศึกษาของ สุมิตรา (2546) อย่างมากเพราะความเข้มข้นที่ใช้แตกต่างกัน มากและจำนวนวันที่เก็บเซลล์ของการทดลองในครั้งนี้ที่ได้ปริมาณมากที่สุดแตกต่างกันถึง 7 วัน จะเห็น ได้ว่าความเข้มข้นและช่วงของเวลาที่ได้รับแสงส่งผลต่อปริมาณของเซลล์สาหร่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน *N.commune* (mean±S.E.)

สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>					
	แสง 24 ช.ม. 1350±309	แสง 24 ช.ม. 816±269	แสง 14 ช.ม. 1350±309	แสง 8 ช.ม.1350±309	
เวลา(วันที่)	ลัทธิ	ลัทธิ	ลัทธิ	ลัทธิ	ไม่ได้รับแสง
0	0.06±0.000a	0.06±0.000b	0.06±0.000c	0.06±0.000d	0.06±0.000e
3	0.087±0.004a	0.083±0.006a	0.080±0.007a	0.073±0.006a	0.067±0.008a
6	0.127±0.010b	0.120±0.006b	0.113±0.008b	0.080±0.007a	0.070±0.007a
9	0.127±0.004e	0.150±0.007d	0.120±0.005c	0.080±0.007b	0.063±0.003a
12	0.190±0.006d	0.176±0.010cd	0.153±0.008bbc	0.147±0.011b	0.047±0.004a
15	0.233±0.015a	0.203±0.012a	0.173±0.011b	0.153±0.008b	0.04±0.005a
18	0.337±0.023c	0.353±0.020c	0.283±0.022d	0.200±0.020b	0.030±0.004a
21	0.363±0.010d	0.356±0.022d	0.297±0.017c	0.207±0.016b	0.027±0.004a
24	0.413±0.008d	0.390±0.020d	0.317±0.013c	0.247±0.007b	0.020±0.005a
27	0.433±0.008c	0.353±0.010b	0.250±0.019a	0.230±0.004a	ตาย
30	0.423±0.012c	0.343±0.010b	0.223±0.012a	0.207±0.004a	ตาย

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05)

ตารางที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ คาร์โบไฮเดรตภายในและภายนอกเซลล์ โปรตีน ไฟโคไซยานิน และ น้ำหนักแห้งของ *N.commune* ภายใต้การเลี้ยงที่สภาวะแสงแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 30 วัน (เฉลี่ย±SE)

	สภาวะแสงที่แตกต่างกันในการเลี้ยงสาหร่าย <i>N.commune</i>				ไม่ได้รับแสง
	แสง 24 ช.ม.	แสง 24 ช.ม.	แสง 14 ช.ม.	แสง 8 ช.ม.	
	1350±309	816±269	1350±309	1350±309	
	ลักร์	ลักร์	ลักร์	ลักร์	
คลอโรฟิลล์					
(มิลลิกรัมต่อ					0.03±0.007a
ลิตร)	8.35±0.12d	1.98±0.42c	0.81±0.07b	0.34±0.29b	(วันที่ 24)
คาร์โบไฮเดรต					
ภายในเซลล์					
(มิลลิกรัมต่อ					94.85±43.39a
กรัมน้ำหนัก					(วันที่ 24)
แห้ง)	715.59±22.74b	577.6±11.21b	561.87±35a	529.78±37.81a	
คาร์โบไฮเดรต					
ภายนอกเซลล์					
(มิลลิกรัมต่อ					24.51±6.88a
ลิตร)	326.773±10.52d	270.350±1.93c	109.486±2.60b	60.349±5.56a	(วันที่ 24)
โปรตีน (มิลล					
กรัมต่อ	3740.2	3686.53	5206.18	3357.45	1004.26
มิลลิลิตร)	±145.69a	±192.62a	±396.67b	±178.36a	±254.93a
					(วันที่ 24)
ไฟโคไซยานิน					
(มิลลิกรัมต่อ	0.00426	0.00202	0.00080	0.00020	0.00000a
กรัมน้ำหนักแห้ง	±0.00020c	±0.00070b	±0.00055b	±0.00005a	(วันที่ 24)
น้ำหนักแห้ง					
(กรัมต่อลิตร)	0.423±0.012c	0.343±0.010b	0.223±0.012a	0.207±0.004a	0.020±0.005a
					(วันที่ 24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

การเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc commune* ภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน คือ ที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ ที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 816 ± 269 ลักซ์ ที่ได้รับแสง 14 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ ที่ได้รับแสง 8 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ และที่ไม่ได้รับแสง เป็นเวลา 30 วัน พบว่าที่ ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันที่ 24 โพลีแซคคาไรด์ภายในเซลล์และนอกเซลล์ และโปรตีนที่ได้รับแสง 14 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ ในวันที่ 30 และไฟโคไซยานิน และน้ำหนักรวมในวันที่ 27 ของการทดลองมีปริมาณที่สูงที่สุด จะเห็นได้ว่าที่ ได้รับแสง 24 ชั่วโมงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 1350 ± 309 ลักซ์ มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ และไฟโคไซยานินที่สูงที่สุด และสภาวะแสงที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณโพลีแซคคาไรด์ และไฟโคไซยานินที่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ปฐมสุดา สำเร็จ. 2549. โยอาหารจากป่าคุณลำพัน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 196 ถนนพหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
- พเยาว์ เหมือนวงศ์ญาติ. 2525. สีธรรมชาติและสีสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทสวิตาการพิมพ์ จำกัด, หน้าที่ 9-13
- รุ่งนภา พิทักษ์ตันสกุล. 2543. ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดในแหล่งยูโทรฟิคและสภาพที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท กรุงเทพฯ
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543. คู่มือการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .133 หน้า
- อักษร ศรีเปล่ง. 2525. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- De Philippis, R., C. Faraloni, M.C. Margheri, C. Sili, M. Herdman and M. Vincenzini. 2000. Morphological and biochemical characterization of the exocellular investments of polysaccharide-producing Nostoc from the Pasteur Culture Collection. World J. Microbiol & Biotechnol. 16: 655-661.
- Desikachary, T. V. 1959. Cyanophyta. Botany Department, University of Madras., Published by Indian Council of Agricultural Research New Delhi, p. 686.
- Dryby M, Westergaard N and Stapelfeldt H. Light and heat sensitivity of red cabbage extract in soft drink model systems. Food Chemistry 2001 ; 72 : 431-437
- Fischer, D., U.G. Schlosser and P. Pohl. 1997. Exopolysaccharide production by cyanobacteria grown in closed photobioreactors and immobilized using white cotton towelling. J. Appl. Phycol. 9: 205-213.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Flaibani, A., Y. Olsen and T.J. Painter. 1989. Polysaccharides in desert reclamation: compositions of exocellular proteoglycan complexes produced by filamentous blue-green and unicellular green edaphic algae. *Carbohydr. Res.* 190: 235-8.
- Gantar, M., P. Rowell, N.W. Kerby and I.W. Sutherland. 1995. Role of extracellular polysaccharide in the colonization of wheat (*Triticum vulgare* L.) roots by N-fixing cyanobacteria. *Biol. Fertil. Soils.* 19: 41-48.
- Hori, K., G. Ishibashi and T. Okita. 1994. Hypocholesterolemic effect of blue-green alga, ishikurage (*Nostoc commune*) in rats fed atherogenic diet. *Plant Foods Hum. Nutr.* 45: 63-70.
- Huang, Z., Y. Liu, B.S. Paulsen and D. Klaveness. 1998. Studies on polysaccharides from three edible species of *Nostoc* (cyanobacteria) with different colony morphologies: comparison of monosaccharide compositions and viscosities of polysaccharides from field colonies and suspension cultures. *J. Phycol.* 34: 962-968.
- inha, R.P., H.D. Kumar, A. Kumar and D-P. H?der. 1995. Effects of UV-B irradiation on growth, survival, pigmentation and nitrogen metabolism enzymes in cyanobacteria. *Acta Protozool.* 34: 187-92.
- Lembi, C.A. and J.B. Waaland. 1988. *Algae and Human Affairs*. Cambridge University Press, New York. 590 p.
- Lund, H.C. and J.W.G. Lund. 1995. *Freshwater Algae their Microscopic World Explored*. Biopress Limited, England. pp. 234-237.
- Sinha, R.P. and D-P. H?der. 1996. Photobiology and ecophysiology of rice field cyanobacteria. *Photochem. Photobiol.* 64: 887-96.

Sinha, R.P. and D-P. H?der. 1996. Photobiology and ecophysiology of rice field cyanobacteria. Photochem. Photobiol. 64: 887-96.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้