รายงานวิชาปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

Pigment production of *Calothrix marchica* cultured in different conditions

โดย

นางสาวประภัสสร แจ้งแสงฟ้า

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Fisheries Science Faculty of Agricultural Technology

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

Pigment production of *Calothrix marchica* cultured in different conditions

นางสาวประภัสสร แจ้งแสงฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา .....

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ชูโชติ)
หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 11 **เดือน** มิ.ย. **พ.ศ.** 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20492

หอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

Pigment production of *Calothrix marchica* cultured in different conditions

T099220

โดย

นางสาวประภัสสร แจ้งแสงฟ้า

ว/ท.
ว๒๕๔ก
๒๕๔๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....99220
วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

Pigment production of *Calothrix marchica* cultured in different conditions

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix marchica* โดยใช้อาหาร 3 สูตร คือ BG-11, N-free medium และ Chlorella medium เพื่อหาสูตรอาหารที่ให้การเจริญเติบโตและปริมาณสารสีมาก ซึ่งก็ คือ สูตรอาหาร BG-11 medium และนำสูตรอาหาร BG-11 มาเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน คือ ความเข้มแสง, อุณหภูมิ และแหล่งไนโตรเจน ซึ่งพบว่าสาหร่าย *C. marchica* สามารถสร้างสารสี carotenoid, chlorophyll, phycoerythrin และ phycocyanin ได้ที่ความเข้มแสง 1680 lux ซึ่งมีปริมาณดังนี้ 1.73±0.03 mg/l, 3689.58±2.17 mg/l, 8.56±0.01 mg/l และ 3.61±0.06 mg/l ตามลำดับ

การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายสามารถสร้างสารสี carotenoid, chlorophyll, phycoerythrin และ phycocyanin ได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณดังนี้ 1.07±0.07 mg/l, 2698.67±0.73 mg/l, 2.51±0.06 mg/l และ 2.97±0.06 mg/l ตามลำดับ

การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ภายใต้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายสามารถสร้างสารสี carotenoid, chlorophyll, phycoerythrin และ phycocyanin ได้สูงสุดที่อาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ซึ่งมีปริมาณดังนี้ 1.73±0.03 mg/l, 1689.58±2.17 mg/l, 8.59±0.01 mg/l และ 3.61±0.06 mg/l ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้มาด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและมีส่วนช่วยเหลือข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่น่ารักทุกคนที่ช่วยและให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจคอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอด

นางสาวประภัสสร แจ้งแสงฟ้า

เมษายน 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	16
ผลการทดลองและวิจารณ์	18
สรุปและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำหนักแห้งในสูตรอาหารต่างกัน	53
2	ปริมาณ astaxanthin ในสูตรอาหารต่างกัน	54
3	ปริมาณ chlorophyll ในสูตรอาหารต่างกัน	55
4	ปริมาณ phycoerythrin ในสูตรอาหารต่างกัน	56
5	ปริมาณ phycocyanin ในสูตรอาหารต่างกัน	57
6	ปริมาณน้ำหนักแห้งที่ความเข้มแสงต่างกัน	58
7	ปริมาณ astaxanthin ที่ความเข้มแสงต่างกัน	59
8	ปริมาณ chlorophyll ที่ความเข้มแสงต่างกัน	60
9	ปริมาณ phycoerythrin ที่ความเข้มแสงต่างกัน	61
10	ปริมาณ phycocyanin ที่ความเข้มแสงต่างกัน	62
11	ปริมาณน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน	63
12	ปริมาณ astaxanthin ที่อุณหภูมิต่างกัน	64
13	ปริมาณ chlorophyll ที่อุณหภูมิต่างกัน	65
14	ปริมาณ phycoerythrin ที่อุณหภูมิต่างกัน	66
15	ปริมาณ phycocyanin ที่อุณหภูมิต่างกัน	67
16	ปริมาณน้ำหนักแห้งในแหล่งไนโตรเจนต่างกัน	68
17	ปริมาณ astaxanthin ในแหล่งไนโตรเจนต่างกัน	69
18	ปริมาณ chlorophyll ในแหล่งไนโตรเจนต่างกัน	70
19	ปริมาณ phycoerythrin ในแหล่งไนโตรเจน	71
20	ปริมาณ phycocyanin ในแหล่งไนโตรเจน	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของ carotene	4
2	โครงสร้างของ astaxanthin	7
3	ปริมาณน้ำหนักแห้งในสูตรอาหารต่างกัน	18
4	ปริมาณ astaxanthin ในสูตรอาหารต่างกัน	20
5	ปริมาณ chlorophyll ในสูตรอาหารต่างกัน	21
6	ปริมาณ phycoerythrin ในสูตรอาหารต่างกัน	22
7	ปริมาณ phycocyanin ในสูตรอาหารต่างกัน	23
8	ปริมาณน้ำหนักแห้งที่ความเข้มแสงต่างกัน	25
9	ปริมาณ astaxanthin ที่ความเข้มแสงต่างกัน	25
10	ปริมาณ chlorophyll ที่ความเข้มแสงต่างกัน	28
11	ปริมาณ phycoerythrin ที่ความเข้มแสงต่างกัน	29
12	ปริมาณ phycocyanin ที่ความเข้มแสงต่างกัน	30
13	ปริมาณน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน	32
14	ปริมาณ astaxanthin ที่อุณหภูมิต่างกัน	33
15	ปริมาณ chlorophyll ที่อุณหภูมิต่างกัน	34
16	ปริมาณ phycoerythrin ที่อุณหภูมิต่างกัน	36
17	ปริมาณ phycocyanin ที่อุณหภูมิต่างกัน	37
18	ปริมาณน้ำหนักแห้งในแหล่งไนโตรเจนต่างกัน	38
19	ปริมาณ astaxanthin ในแหล่งไนโตรเจนต่างกัน	39
20	ปริมาณ chlorophyll ในแหล่งไนโตรเจนต่างกัน	40
21	ปริมาณ phycoerythrin ในแหล่งไนโตรเจน	42
22	ปริมาณ phycocyanin ในแหล่งไนโตรเจน	43

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Calothrix sp.*	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในปัจจุบันปัญหาในเรื่องของสุขภาพมนุษย์เป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากผลกระทบต่าง ๆ จากสภาวะแวดล้อมในโลกนี้นับวันมีแต่เสื่อมโทรมมากยิ่งขึ้น ทำให้มีการค้นคว้าปัจจัยต่าง ๆ ทั้งในด้านอุปโภคและบริโภค อาทิ เช่น อาหาร ยารักษาโรค เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณภาพทั้งในด้านอาหารและยารักษาโรค จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายเป็นแหล่งของอาหารและยารักษาโรคที่มีความสำคัญแหล่งหนึ่ง โดยได้มีการค้นพบรงควัตถุในสาหร่ายหลายชนิด เช่น 1. chlorophyll, 2. carotenoids ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ carotene และ xanthophyll และ 3. phycobilin รงควัตถุเหล่านี้พบอยู่ในสาหร่ายและได้มีการสกัดสารสีออกมาเพื่อนำมาใช้ในการผสมเป็นส่วนประกอบในอาหารและยารักษาโรครวมทั้งในด้าน อื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพและเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพผู้บริโภค

ปัจจุบันได้มีการนำ axtaxanthin มาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นสารประกอบในกลุ่มที่ปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ สามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารและเครื่องดื่ม ครีมเค้ก มาร์การีน ผสมในอาหารอาหารสัตว์น้ำทำให้เกิดสีสรรตามตัวได้ชัดเจน เพิ่มประสิทธิภาพการติดลูกของแม่วัว ใช้เป็นสีผสมในเครื่องสำอางค์ เป็นสีเคลือบเม็ดยา ใช้ป้องกันการเกิดมะเร็งและหลอดเลือดหัวใจตีบตัน ใช้บำรุงสายตาและผิวพรรณ นิยมใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ แสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางอุตสาหกรรม, การเกษตร, การผลิตเครื่องสำอางค์และผลิตภัณฑ์ยา และทางการแพทย์

ประโยชน์ของ phycobilin เช่น ใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนของมนุษย์, ใช้ในด้านการแพทย์, ใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์

Calothrix sp. เป็นสาหร่ายน้ำจืดอยู่ในกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งสามารถผลิต รงควัตถุต่างๆ เช่น chlorophyll, phycobilin, astaxanthin ขึ้นภายในเซลล์ได้โดยปริมาณการผลิตจะขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่สาหร่ายนั้นอาศัยอยู่ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix sp.* เพื่อให้สร้างสารสีได้ในปริมาณมาก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารสีในสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 medium, N-free medium และ Chlorella medium

2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสีในสาหร่ายภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่ต่างกัน คือ ความเข้มแสง, อุณหภูมิ และแหล่งไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

อนุกรมวิธานของสาหร่าย

Division Cyanophyta
Class Cyanophyceae
Order Nostocales
Family Rivulariaceae

1. *Calothrix sp.*

ทรัยโคมอยู่เดี่ยว ๆ เป็นเส้นสายที่มีความกว้างของเซลล์ไม่เท่ากันทั้งสายและตรงโคนมีขนาดใหญ่เรียวเล็กตรงปลาย เซลล์ตรงปลายอาจมนหรือเรียวแหลมเป็นเส้น ไม่แตกแขนงหรือแตกแขนงเทียม แขนงใหม่จะเป็นอิสระจากเส้นสายเดิม มีซีทหุ้มแต่ละทรัยโคม ซีทอาจใสหรือมีสี เฮเทอโรซีสต์ (heterocyst) ส่วนมากอยู่ปลายสุดของทรัยโคม เรียกว่า เบซัลเฮเทอโรซีสต์ (basal heterocyst) แต่บางครั้งพบอยู่กลางทรัยโคม อะคีนีตจะเกิดเดี่ยวหรือหลายเซลล์มักเกิดติดกับเบซัลเฮเทอโรซีสต์ (Desikachary, 1959)

เป็นแพลงก์ตอนชั่วคราว มักขึ้นอยู่บนก้อนหิน กิ่งไม้หรือใบไม้ที่จมน้ำหรือขึ้นบนพืชน้ำอื่นๆ พบทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

ประโยชน์ของ *Calothrix sp.* คือ ใช้ทำปุ๋ยชีวภาพได้เพราะสามารถตรึงไนโตรเจนได้มาก (ขวัญใจ, 2530)

รงควัตถุที่พบในสาหร่าย

รงควัตถุเป็นองค์ประกอบส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมีอยู่หลายชนิด ซึ่งบางชนิดจะพบได้เฉพาะในสาหร่ายไม่พบในพืชชั้นสูง Round (1973) แบ่งรงควัตถุที่พบในสาหร่ายออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. chlorophyll เป็นรงควัตถุสีเขียวเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์แสงสามารถดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินได้มากที่สุดแล้วสะท้อนแสงสีเขียวออกมา chlorophyll แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ chlorophyll a, b, c, d สาหร่ายทุกสายพันธุ์จะพบ chlorophyll a เป็นองค์ประกอบอยู่เสมอ ในขณะที่ chlorophyll อื่นๆ จะพบในสาหร่ายแต่ละชั้น (class) แตกต่างกันไป ซึ่งชนิดของ chlorophyll ที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์นี้ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดจำแนกชั้นของสาหร่ายด้วย chlorophyll a ถือเป็นรงควัตถุหลักที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงเพราะสามารถจับพลังงานแสงและนำไปใช้ได้ด้วยตัวเอง ส่วน chlorophyll อื่นๆ ถือเป็น chlorophyll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วย คือ จะจับพลังงานแสงแล้วส่งต่อให้ chlorophyll a นำไปใช้อีกทอดหนึ่ง chlorophyll ทั้งหมดจะไม่ละลายน้ำแต่จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์

2. carotenoids เป็นรงควัตถุที่พบในธรรมชาติ ทั้งในพืชและสัตว์ โดยรงควัตถุเหล่านี้อยู่ใน plastide ภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ (Fox และ Vevers, 1960) Fox (1957) รายงานว่า พบ carotenoid ภายในคลอโรพลาสต์ของใบไม้ที่มีสีเขียวด้วยแต่จะมองไม่เห็นจนกระทั่ง chlorophyll จางหายไป carotenoid เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นสายยาวด้วย single bond สลับกับ double bond และที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองปลายมีคาร์บอนอะตอมเรียงตัวกันเป็น ring structure ทำให้ carotenoid มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 600 นาโนเมตร carotenoid แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ carotene และ xanthophyll ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานเกิดจากไอโซพีนอยด์ 8 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันเป็น acyclic $C_{40}H_{56}$ carotene (ภาพที่ 1) หลังจากนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น carotene และ xanthophyll ในที่สุด (Pfander, 1992)

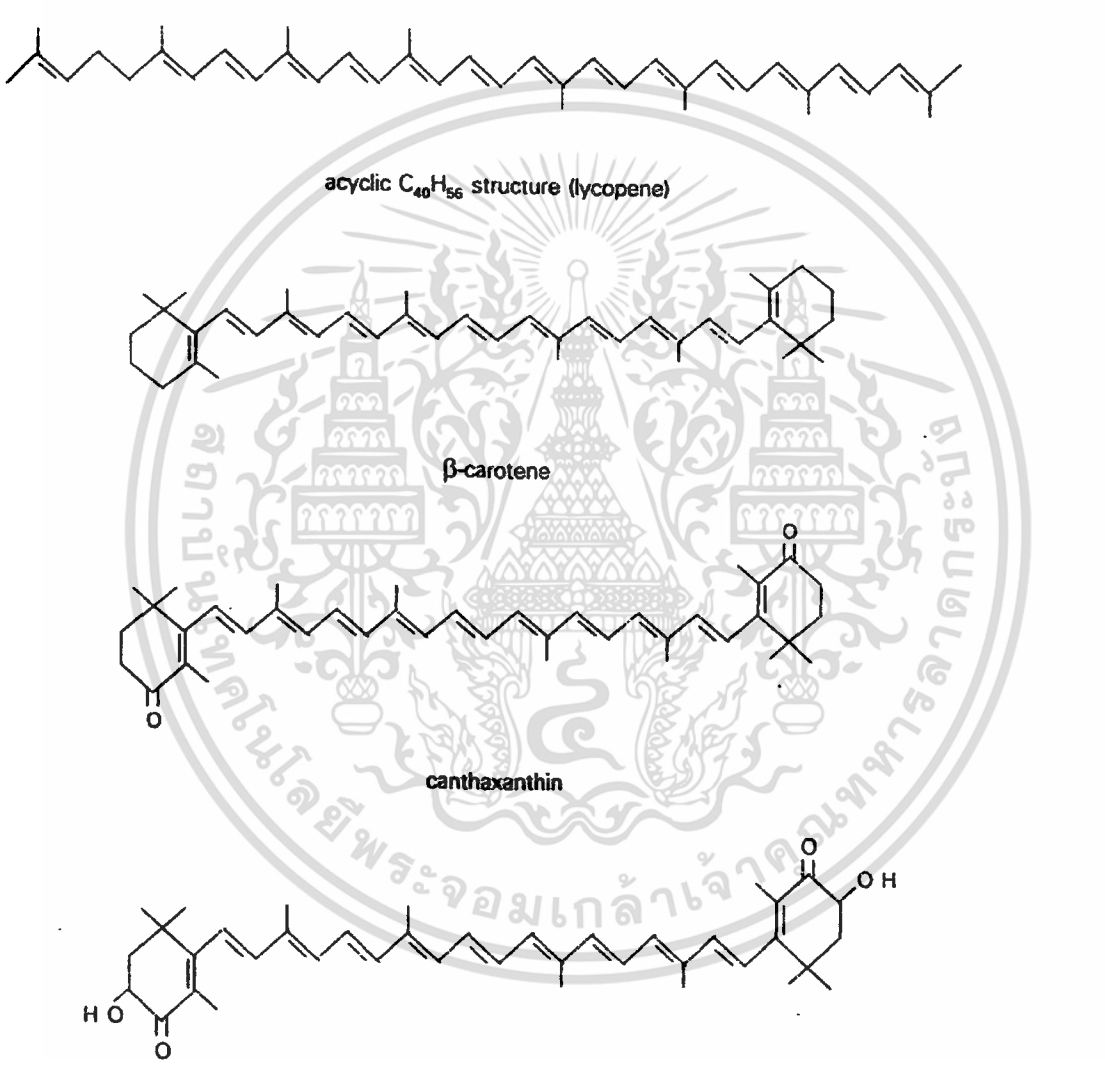
2.1 carotene เป็นโมเลกุลของ acyclic $C_{40}H_{56}$ carotene ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่และที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองปลายจะมีอะตอมของคาร์บอนมาเกาะกันเป็นวงที่เรียกว่า ionone ring ส่วนใหญ่จะมีสีส้ม ตัวอย่างของ carotene ที่สำคัญ คือ β - carotene เพราะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้

2.2 xanthophyll เกิดจากขบวนการออกซิเดชันของ carotene เป็นโมเลกุลที่เกิดจากการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของ carotene โดยออกซิเจนที่เพิ่มเข้ามาจะอยู่ในรูปของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) xanthophyll พบทั่วไปในธรรมชาติในรูป ester อิสระ หรือ carotenoprotein ตัวอย่างของ xanthophyll คือ echinenone, canthaxanthin, astaxanthin เป็นต้น (ภาพที่ 1)

3. phycobilin เป็นรงควัตถุที่มีสีน้ำเงินและสีแดงจะอยู่ร่วมกับโปรตีนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า phycobiliprotein ถือเป็นรงควัตถุประกอบเช่นเดียวกับ carotenoid แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ phycoerythrin และ phycocyanin ซึ่ง phycoerythrin จะดูดจับพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 570 – 580 นาโนเมตร ส่วน phycocyanin จะดูดจับพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 625 – 630 นาโนเมตร phycobilin มี nitrogen เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ละลายน้ำได้ดี (สัมพันธ์, 2529) phycobilin แต่ละชนิดจะอยู่รวมกับโปรตีนอย่างใกล้ชิดมาก (Humm และ Wicks, 1980) กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า phycobiliprotein ในสาหร่าย *Spirulina* phycocyanin จะอยู่รวมกับ phycobiliprotein ชนิดอื่นๆ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น เรียกว่า phycobilisomes (Herrera และคณะ, 1989) ซึ่งจะเกาะอยู่บนผิวด้านนอกของไทลาคอยด์ ภายในไทลาคอยด์มี chlorophyll a บรรจุอยู่ phycobilisomes ทำหน้าที่รับพลังงานรังสีจากแสงส่งให้แก่ chlorophyll a (Bogorad, 1975 อ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Boussiba และ Richmond, 1980) จากการที่ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ phycobilisomes มีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (Van Eykelenburg, 1979) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Myers และ Kratz (1955 อ้างโดย Tel-Or และคณะ, 1980) ที่พบว่า phycocyanin จะมีปริมาณมากขึ้น เมื่อมีแสงจำกัด นอกจากนี้ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน phycocyanin ยังเป็นแหล่งสะสม nitrogen ซึ่งจะให้ธาตุ nitrogen แก่เซลล์สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหาร nitrogen



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ acyclic $C_{40}H_{56}$ carotene, carotene (β - carotene) และ xanthophyll บางชนิด

ที่มา : Pfander (1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Herrera และคณะ (1989) ได้รายงานว่าในการสกัด phycocyanin มวลของสาหร่าย *Spirulina* จะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งคือ phycocyanin ที่ใช้เป็นสีผสมอาหารและตัวบ่งชี้ทางชีวะ ส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่มีโปรตีนสูงใช้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ phycocyanin ที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวะจะเป็น phycocyanin บริสุทธิ์ หรือเกรดวิเคราะห์ การบ่งชี้ทางชีวะ คือ เป็นตัวสืบค้นทางชีวเคมีในเรื่องการตรวจสอบภูมิคุ้มกัน

ประโยชน์ของ chlorophyll

1. กระตุ้นการทำงานของตับให้ดียิ่งขึ้น ส่งเสริมการงอกใหม่ของเซลล์

chlorophyll มีผลทางเร่งประสิทธิภาพของการทำงานของเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ ในร่างกายให้สูงขึ้น ตัวอย่างเช่นในการทดลองเกี่ยวกับกล้ามเนื้อและเส้นประสาท พบว่า chlorophyll ช่วยในการส่งผ่านกระแสสิ่งเร้าไปยังกล้ามเนื้อหรือเส้นประสาทกล้ามเนื้อและเส้นประสาทที่ไม่ยอมทำงานเนื่องจากการอ่อนล้าก็กลับทำงานได้เมื่อมีการให้ chlorophyll

นอกจากนี้ ยังมีผลต่อกล้ามเนื้อหัวใจ คือ ทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจดีขึ้นและระยะการคลายตัวก็นานขึ้น หรือจะพูดได้ว่าเนื่องจากการส่งผ่านกระแสสิ่งเร้าจาก เอเทรียมไปยังเวนตริเคิลช้าลง หัวใจก็เต้นช้าลงและเมื่อกำลังหดตัวสูงขึ้น การทำงานโดยรวมของหัวใจดีขึ้นและเนื่องจากเส้นโลหิตฝอยมีการขยายตัวดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดดีกว่าการเร่งการทำงานของหัวใจเสียอีก ดังนั้นจึงมีทางเป็นไปได้ที่ความดันเลือดจะลดลงด้วย

เชื่อกันว่า chlorophyll ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น ทั้งนี้เพราะมันช่วยกระตุ้นการบีบรูดตัวของลำไส้ อัตราการหายใจและปริมาณอากาศก็เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยขัดขวางการเป็นอัมพาตของปอด

2. ช่วยป้องกันมิให้บาดแผลติดเชื้อ

มีการทดลองใช้ chlorophyll ในการรักษาบาดแผล เพราะเห็นว่ามีคุณสมบัติในการทำให้เซลล์เนื้อเยื่อคึกคักมีชีวิตชีวาและยิ่งเมื่อทำการทดลองการเลี้ยงเนื้อเยื่อไปเรื่อยๆ ก็ยิ่งยืนยันว่ามีผลดีต่อการทำงานของเซลล์เนื้อเยื่อ ตัวอย่างเช่น เมื่อ anaerobic เข้าไปในบาดแผลมันจะมีฤทธิ์มากขึ้นและก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นซึ่ง chlorophyll จะกำจัดกลิ่นนี้ออกไปและยังมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อและทำหน้าที่ในการป้องกันการเกิดของแบคทีเรียดังนั้นจึงป้องกันมิให้แผลติดเชื้อและช่วยให้มีการสร้างเซลล์ขึ้นใหม่อีกด้วยและยังมีคุณสมบัติเป็นสารดูดความชื้นอีกด้วยซึ่งทำให้แผลแห้งและช่วยลดการคัดหลั่ง

3. มีผลในการรักษาแผลเปื่อยในกระเพาะอาหารและการอักเสบของทางเดินอาหาร

chlorophyll ใช้ได้ดีกับโรคหลายโรค เช่น โรคแผลเปื่อยในกระเพาะ,โรคมีกรดมากเกินไปในกระเพาะ โรคกระเพาะอักเสบเรื้อรัง ในกรณีที่มีกรดมากเกินไปในกระเพาะ chlorophyll จะช่วยในการควบคุมความเป็นกรดของน้ำหลั่งในกระเพาะ เช่น ถ้ากิน chlorophyll เข้าไปก็จะไปทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สภาพของเหลวในกระเพาะเกิดความเป็นกลางยิ่งไปกว่านั้น ในกรณีที่เป็นแผลเปื่อยในกระเพาะอาหาร ถ้าทำการทดสอบว่า มีอาการเลือดแฝงในน้ำหลั่งในกระเพาะ เมื่อกินสาหร่ายเกลียวทองติดต่อกันเป็นประจำ อาการเลือดแฝงนี้จะหายไป อาการอื่นๆ เช่น ปวดท้องและคลื่นเหียนซึ่งมักจะพบเสมอในผู้ป่วยโรคดังกล่าวนี้จะหายไปอย่างรวดเร็วเมื่อกิน chlorophyll

ประโยชน์ของ β - carotene

1. ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

นำมาใช้เป็นสีผสมอาหาร ในการผลิตอาหารประเภทต่างๆ และยังเป็นสีในเครื่องดื่มประเภทต่างๆ ที่ไม่มีแอลกอฮอล์ (solf drinks), มาการีน (Margarine), น้ำผลไม้, ขนมปัง, ครีมเค้ก

2. ด้านการเกษตร

ใช้เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เพิ่มสีของไข่แดงให้เข้มขึ้น ใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฉีด β - carotene ให้กับวัวพันธุ์เพศเมียติดลูกได้ดีขึ้น เป็นอาหารผสมสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น เพิ่มสีในกุ้งกุลาดำและป้องกันการเกิดโรคเปลือกสีฟ้า (หัสนัย, 2531)

3. ด้านการผลิตเครื่องสำอางค์และผลิตภัณฑ์ยา

ใช้เป็นสีผสมในการผลิตเครื่องสำอางค์ประเภทสีสันต่างๆ และใช้เป็นสีเคลือบเม็ดยาหรือสีผสมในน้ำยา

4. ด้านการแพทย์

ใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพเป็นสารโปรวิตามินเอ (Provitamin A) ซึ่งใช้ป้องกันและรักษาสภาวะการขาดวิตามินเอ (Ben – Amotz และคณะ, 1991) ใช้ป้องกันการเกิดมะเร็งบางชนิดได้ และยังใช้บำรุงสายตาและผิวพรรณให้เปล่งปลั่ง

โครงสร้างและอนุพันธ์ของ astaxanthin

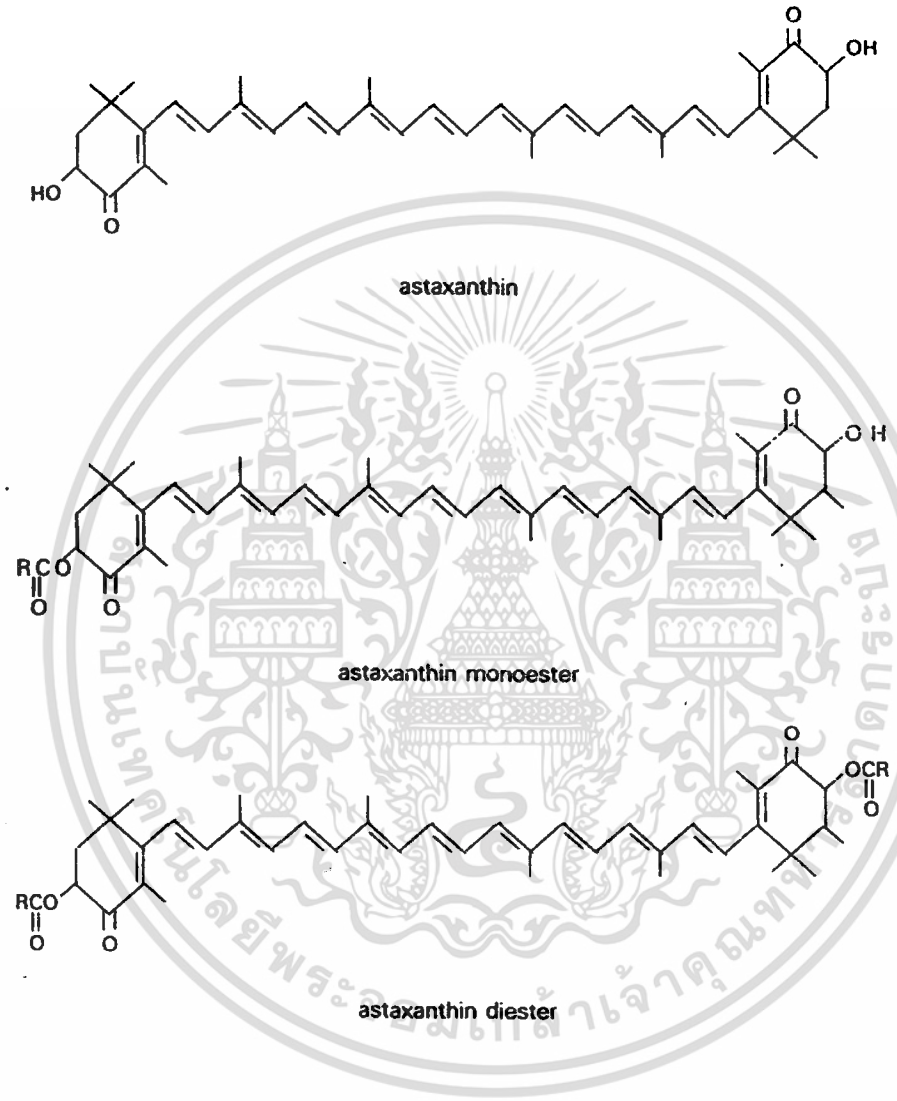
Astaxanthin (3,3'-dihydroxy-β,β-carotene-4,4'-dione) เป็นรงควัตถุสีแดงพวก ketocarotenoid หรือ secondary carotenoid ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานเกิดจากไอโซพีนอยด์ 8 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว โดยแต่ละไอโซพีนอยด์เกิดจากคาร์บอนอะตอมเชื่อมต่อกัน 5 อะตอม ด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่และที่บริเวณส่วนปลายทั้งสองข้างของอะตอมของคาร์บอนจะมาเกาะกันเป็นวงที่เรียกว่า ionone ring หลังจากนั้นจึงมีการเพิ่มออกซิเจน ไฮดรอกซี (OH) หรือ เอสเทอร์ (COOR) เข้าไปข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างทำให้ได้ astaxanthin 3 อนุพันธ์ดังนี้

1. astaxanthin เป็นอนุพันธ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซีอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของ ionone ring
2. astaxanthin monoester เป็นอนุพันธ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซีอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของ ionone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ring ส่วนอีกหนึ่งข้างของ ionone ring จะมีหมู่เอสเทอร์ (COOR) มาเกาะอยู่

3. astaxanthin diester เป็นอนุพันธ์ที่มีหมู่เอสเทอร์มาเกาะอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของ ionone ring ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ astaxanthin ทั้ง 3 อนุพันธ์

ที่มา : Renstrom และคณะ (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของ astaxanthin

1. ใช้ผสมในอาหารสัตว์

astaxanthin เป็นรงควัตถุพื้นฐานที่พบได้ในเนื้อสัตว์จำพวก salmonids ได้แก่ ปลาแซลมอนและปลาเทราท์ และสัตว์จำพวก crustaceans เช่น กุ้ง กั้งและปูต่างๆ ซึ่งตามธรรมชาติแล้วสัตว์เหล่านี้จะได้รับรงควัตถุนี้จากอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้สีของเนื้อสัตว์มีสีสันจืดจางไม่สวยและขายได้ในราคาต่ำ ดังนั้นผู้เลี้ยงจึงนิยมใช้ astaxanthin เติมลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อที่จะทำให้สัตว์น้ำดังกล่าวมีสีสันสวยงามและขายได้ในราคาสูงซึ่งมีคำแนะนำให้ใช้ astaxanthin ประมาณ 20 ไมโครกรัมต่อกรัมของอาหารเลี้ยงปลาแซลมอนเป็นระยะเวลาประมาณ 2-4 เดือน ก็จะทำให้ปลามีสีสันสวยงาม นอกจากจะช่วยในการสร้างสีแล้ว astaxanthin ยังช่วยให้ไข่ของ salmonids มีอัตรารอด ฟักตัวได้ดี และยังกระตุ้นให้มีปลามีการเจริญเติบโตที่ดี

2. ใช้ผสมอาหารมนุษย์

ได้มีการใช้ astaxanthin สังเคราะห์ทาที่ผิวของปูอัดทำให้ปูอัดมีสีแดงน่ารับประทาน แต่จะเพิ่มความปลอดภัยยิ่งขึ้นถ้าได้มีการนำ astaxanthin จากธรรมชาติมาใช้แทน

3. ใช้ในทางการแพทย์

Jyonouchi และคณะ (1991) ได้รายงานว่า astaxanthin สามารถเพิ่มทีเซลล์ (T-helper) ในหนูได้สูงกว่า carotenoid ชนิดอื่นๆ โดยการเพิ่มของทีเซลล์ผู้ช่วยนี้ทำให้หนูมีระบบภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้นนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่ม T-dependent immunogloblulin (Ig) ใน human peripheral bood mononuclear cell

4. การป้องกันภายในเซลล์

โดยธรรมชาติแล้ว astaxanthin มีความสามารถในการจับและทำลายสารพิษต่าง ๆ ซึ่งขบวนการดังกล่าวเป็นการป้องกันและรักษาสภาพของเซลล์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม การเจริญเติบโตและพัฒนาอย่างรวดเร็วของเซลล์นั้น ทำให้เกิดการผลิตสารพิษต่างๆ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่างๆ ที่ได้จากขบวนการทางเคมีในร่างกาย ตัวอย่าง free radicals, lipid peroxides และสารพวก oxidative ต่างๆ นั้น ถ้าไม่ถูกจับและทำลายโดย astaxanthin แล้วสารเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อเซลล์ (Miki, 1991)

5. เป็นแหล่งเก็บออกซิเจนในเซลล์

ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำมากๆ เช่น ในไข่ซึ่งมีการเจริญเติบโตและมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วของเซลล์ พบว่า astaxanthin สามารถช่วยทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อมีการเจริญเติบโตและพัฒนาได้เป็นปกติและเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ในบ่อกุ้งที่มีออกซิเจนต่ำ (Chien และ Jeng, 1992) โดย carotenoid จะช่วยให้การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนออกซิเจนในสภาพออกซิเจนจำกัดดีขึ้น โดยที่น่าสังเกตว่า ลูกปลาที่ต้องพัฒนาในสภาพที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนต่ำ เช่น ในปากแม่ปลา ในดิน มักมีเม็ดสีมากกว่าไข่ที่พัฒนาในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนสูง (Tocan, 1981)

6. สุขภาพและภูมิคุ้มกันโรค

carotenoid มีบทบาทร่วมในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Immune system) เช่น β - carotene สามารถป้องกัน Phagocytic cell จากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและกระตุ้นการทำงานของ T และ B Lymphocyte และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ macrophage, cytotoxic T cell และ natural killer cell ซึ่งสอดคล้องกับ Bendich (1989) รายงานว่า carotenoid นั้นสามารถช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันในสัตว์ได้ การเสริม astaxanthin ในอาหารจะทำให้เม็ดเลือดกุ้งมีปริมาณมากขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียของตัวกุ้งเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อโรคติดเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (มะลิ และคณะ, 2543)

ประโยชน์ของ phycobilin

สาหร่าย *Spirulina* ประกอบด้วย phycocyanin เป็นจำนวนมากและ phycocyanin นั้นเป็นสารให้สีประเภทบิลิรูบินซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของสาหร่าย *Spirulina* ทำให้สาหร่าย *Spirulina* มีสีเขียวแกมน้ำเงิน

1. ใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนของมนุษย์

เนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองมีโปรตีนถึง 65-70 %เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงมีปริมาณกรดนิวคลีอิคน้อย ทั้งยังเป็นแหล่งของวิตามินและเกลือแร่หลายชนิด

2. ใช้ในด้านการแพทย์

Venkataraman (1983) ทำการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติในการลดโคเลสเตอรอลในเลือดของหนูขาวโดยการใช้สาหร่าย *Spirulina* พบว่าเมื่อให้อาหารที่มีโคเลสเตอรอลสูงและน้ำดีแก่หนูขาว เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดโคเลสเตอรอลในเลือดสูงและให้สาหร่าย *Spirulina* พบว่าหลังจากเลี้ยงไปหนึ่งเดือน โคเลสเตอรอลในตับและในเลือดหนูขาวลดลง แต่โคเลสเตอรอลในของเสียจากร่างกายเพิ่มขึ้นและสาหร่าย *Spirulina* ยังป้องกันโรคต่างๆ ได้แก่ เบาหวาน โลหิตจาง โรคตับ

3. ใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์

มีการใช้สาหร่าย *Spirulina* ผสมอาหารปลาคาร์พ พบว่าเป็นการช่วยเร่งสีปลาคาร์พให้สดและมีสีสันมากขึ้น ศึกษาการใช้สาหร่าย *Spirulina* เลี้ยงไก่เนื้อและไก่ไข่ โดยใช้สาหร่ายที่ทำให้แห้งด้วยการตากแดด การใช้สาหร่าย *Spirulina* ในสูตรอาหารไกไข่ที่ระดับ 5 และ 10 % โดยให้อาหารแบบไม่จำกัด ระยะเวลาการให้ผลผลิตไข่ 100 วัน ผลปรากฏว่าคุณภาพไข่ที่ให้สูตรอาหารปกติและสูตรที่มีสาหร่าย *Spirulina* ไม่แตกต่างกันนอกจากสีของไข่แดงซึ่งแตกต่างกันมาก โดยระดับสีของไข่แดงวัดตามมาตรฐานพัดสีของไข่แดงของ La Roche เป็น 4.7, 11.0 และ 12.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอาหารผสมสาหร่าย *Spirulina* ที่ระดับ 0, 5 และ 10 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลของ carotene ที่มีมากในสาหร่าย *Spirulina*

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารสีของสาหร่าย

1. แสง

การเกิดสภาวะที่ทำให้เกิดการสะสม β - carotene ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงสูง (โดยมากกว่าความต้องการในการเจริญเติบโตปกติ) ช่วงเวลาที่ได้รับแสงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ลดปริมาณ chlorophyll a ต่อเซลล์และเพิ่มจำนวนของ β - carotene ต่อเซลล์ ทำให้อัตราส่วนของ β - carotene ต่อ chlorophyll เพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 13 กรัม และจะเปลี่ยนแปลงสีที่มองเห็นจากสีเขียวเป็นสีส้ม ซึ่งจะมีปริมาณ chlorophyll ในเซลล์ต่ำแสดงว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูง (Ben-Amotz และ Avron, 1983; Borowitzka, 1988; Avron และ Ben-Amotz, 1992) ทั้งนี้เนื่องจาก *D. salina* เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มแสงสูงมากจะมีผลต่อการผลิต β - carotene ได้สูงเพื่อยับยั้งแสงขณะเดียวกันสัดส่วนของ chlorophyll ก็ลดลงตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ลดอัตราการสังเคราะห์แสง การปล่อยออกซิเจนก็ต่ำลง จากการเลี้ยงสาหร่าย *D. salina* ที่ความเข้มของแสง 20,000 lux จึงทำให้ปริมาณ carotenoid สูงสุด 80.4 $pg.cell^{-1}$ ที่ความเค็ม 30% (สรวิศ, 2536) ซึ่งในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตดังที่กล่าวมาแล้วจะพบว่าสาหร่ายจะสามารถสะสม β - carotene สูงถึง 20% (w/w) น้ำหนักเซลล์ (Yamaoka และคณะ, 1992)

การเจริญเติบโตของ *Dunaliella salina* ที่ช่วงของความเข้มแสงช่วงหนึ่งแล้วจะเพิ่มปริมาณ carotenoid สูงขึ้นตามความเข้มแสงที่สูงขึ้น ปริมาณ carotenoid ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น 4.5 เท่า หรือมากกว่า เมื่อความเข้มโปรตอนของแสงสูงในช่วง 10 – 396 micro Einstein m^{-2} s^{-2} (5,000 – 19,800 lux) ระดับของ chlorophyll a และ b ลดลง เมื่อความเข้มโปรตอนของแสงสูงถึงจุดอิ่มตัว พบว่าปริมาณ β - carotene 0.5% (กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) เมื่อเจริญที่ 1×10^{-3} Jcm^{-2} s^{-1} และ 8% เมื่อเจริญที่ 10^{-2} – 10^{-1} Jcm^{-2} s^{-1} และพบว่าขณะที่สาหร่ายมีสีแดงจะมีอัตราส่วนของ carotenoid ต่อ chlorophyll มากกว่า 6:1 บางสายพันธุ์จะไม่ยอมรับว่าเป็น *D. salina* ถ้าเซลล์ไม่ออกเป็นสีแดงที่ความเค็ม 250 ส่วนในพัน การที่ยืนยันว่าเป็น *D. salina* อย่างแน่นอนจะต้องแยกจากความเค็มมากกว่า 150 ส่วนในพัน ภายใต้สภาวะความเข้มของแสงสูงและเซลล์ออกเป็นสีแดงหรือแยกจากเซลล์เดี่ยวๆ ที่เป็นสีแดงจากน้ำธรรมชาติที่มีความเค็มสูง (Loeblich, 1982)

Shaish และคณะ (1993) รายงานว่าความเข้มของแสงสูงจะทำให้เกิดการสะสม β - carotene ในสาหร่าย *D. bardawil* เนื่องจากกิจกรรมการสังเคราะห์แสงมีการผลิตออกซิเจนเพื่อทำให้เกิดการสะสม β - carotene ในสาหร่าย *D. bardawil*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถเปลี่ยนโพลีเปปไทด์ที่เป็นองค์ประกอบของไฟโคบิลิโซม โดยได้รับอิทธิพลจากคุณภาพของแสงที่ได้รับ จึงสามารถจำแนกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ขึ้นอยู่กับการตอบสนองของไฟโคบิลิโซมต่อแสงที่ได้รับคือ กลุ่มที่หนึ่ง การสังเคราะห์ phycoerythrin และ phycocyanin จะคงที่ไม่อยู่กับสีของแสงที่ได้รับ กลุ่มที่สอง phycoerythrin ถูกควบคุมโดนคุณภาพของแสงหรือสีของแสง โดยในแสงสีเขียวจะสังเคราห์ phycoerythrin ได้สูงกว่าในแสงสีแดง แต่ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์ phycocyanin นั่นคือระดับ phycocyanin ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และกลุ่มที่สาม คุณภาพของแสงมีผลต่อทั้งการสังเคราะห์ phycocyanin และ phycoerythrin คือ ระดับของ phycocyanin จะสูงขึ้น และ phycoerythrin จะลดต่ำลงเมื่อได้รับแสงสีแดง แต่จะเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามเมื่อได้รับแสงสีเขียว

ถ้าสาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มแสงมากเกินไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องจากกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์จะถูกยับยั้ง จากการรายงานของ Falkowski (1980) พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงไว้ในที่มีความเข้มแสงสูงเกินไปจะทำให้การสะสมของปริมาณ chlorophyll ในเซลล์น้อยเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของกลูตามีน (glutamine) ต่อกลูตาเมต (glutamate) มีผลทำให้การสังเคราะห์ ATP ลดลง

Kobayashi และคณะ (1992a) รายงานว่าสาหร่ายเมื่อเจริญในสภาพที่มีการให้แสงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และในสภาพที่มีความเข้มแสงสูง (281 $\mu E/m^2.s$) จะกระตุ้นให้สาหร่ายมีการสร้าง astaxanthin สูงที่สุด และเมื่อให้แสงน้อยกว่า 50 $\mu E/m^2.s$ จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงจากเซลล์ปกติไปเป็น aplanospore ที่ไม่เคลื่อนที่ ทำให้การสร้าง astaxanthin เกิดขึ้นน้อยมาก นอกจากนี้ที่ความเข้มแสงเดียวกันถ้าให้แสงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง จะทำให้การสังเคราะห์ astaxanthin สูงขึ้นกว่าให้แสงที่ 12 ชั่วโมง (12L/12D) ในขณะที่ปริมาณ chlorophyll และปริมาณเซลล์ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีระยะเวลาการให้แสงแตกต่างกัน *Haematococus pluvialis* เจริญอยู่ในสภาพที่มีความเข้มแสงสูงและระยะเวลาให้แสงนาน สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin ได้สูงนั้นน่าจะเป็นเพราะว่าถ้ามีการให้แสงความเข้มสูงตลอด 24 ชั่วโมง เซลล์จะมีกลไกป้องกันตัวเองโดยการสร้าง astaxanthin ออกมาเพื่อป้องกันแสงให้กับเซลล์ นอกจากนี้ยังได้รายงานอีกว่าเมื่อเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* ในสภาพที่มีแสงสีน้ำเงินสาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin ได้สูงกว่าในสภาพที่มีแสงสีแดง คือ ในแสงสีน้ำเงินเมื่อให้ความเข้มแสงน้อยกว่า 20 $\mu E/m^2.s$ สาหร่ายจะมีการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

astaxanthin 48 พิโคกรัมต่อเซลล์ ส่วนแสงสีแดงเมื่อให้ความเข้มแสง 40 $\mu E/m^2.s$ สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin เพียง 48 พิโคกรัมต่อเซลล์

2. อุณหภูมิ

Fan และคณะ (1994) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* ในอาหาร BG-11 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญและถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเจริญจะลดลง

Tjahjono และคณะ (1994) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* NIES 144 ในสภาพ mixotrophic โดยมีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน ความเข้มแสง 2.0 Klux ให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิที่ใช้เพาะเลี้ยงจะใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 20-35 องศาเซลเซียส พบว่าสาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นโดยที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin สูงกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 3 เท่า และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin ที่สูงกว่าที่ 20 องศาเซลเซียส ถึง 2.5 เท่า คือ ที่อุณหภูมิ 33, 30 และ 20 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin เท่ากับ 22.6, 19 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณ chlorophyll และปริมาณเซลล์ของสาหร่ายจะแปรผกผันกับปริมาณการสร้าง astaxanthin บทบาทสำคัญที่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้าง astaxanthin ที่อุณหภูมิสูง คือ ที่อุณหภูมิสูงสาหร่ายจะมีการสังเคราะห์แสงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำจึงมีผลทำให้เซลล์สาหร่ายมีการสร้าง active oxygen ที่เป็นพิษต่อเซลล์โดยการสร้าง astaxanthin ออกมาปริมาณมากเพื่อกำจัด active oxygen ดังกล่าว

3. ปริมาณธาตุอาหาร

Nitrogen แหล่ง nitrogen ที่ดีที่สุดของ *D. salina* คือ ไนเตรทและไนไตรท์มีความต้องการสูงขึ้นตามความต้องการแสงของเซลล์ (Grant, 1967) แพลงก์ตอนพืชนำไนเตรทไปใช้โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ก่อนแล้วนำไปสร้างโครงสร้างในเซลล์ (ลัดดา, 2529) เมื่อมีการขาดแคลน nitrogen สาหร่ายจะพยายามปรับตัวโดยการลด nitrogen ในเซลล์ลงทำให้ปริมาณ nitrogen ในเซลล์ลดลงและเกิดการสะสมคาร์บอน เช่น โพลีแซคคาไรด์ ไขมัน ขึ้น รงควัตถุที่ใช้สังเคราะห์แสงจะลดลงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย

สำหรับสารอาหารพบว่าไนเตรตจัดเป็นรูปแบบของ nitrogen ที่ดีที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella* (Ben-Amotz และ Avron, 1983; Yamaoka และคณะ, 1992) เมื่อมีการจำกัดปริมาณไนเตรตที่ใช้ในการเจริญของสาหร่าย *D. salina* จะทำให้การสะสม β - carotene มากขึ้น (Ben-Amotz และคณะ, 1989) เนื่องจากมีการลดลงของปริมาณ chlorophyll อย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณโปรตีนของเซลล์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella* ในระยะ Logarithmic growth phase ที่ความเข้มข้นของ KNO_3 10% ในสูตร J/1 จะมีปริมาณของ carotenoid สูงสุด 137.2 pg/cell และปริมาณ chlorophyll สูงสุด 26.23 pg/cell แต่ในระยะ stationary phase พบว่า ที่ความเข้มข้น KNO_3 20% มีปริมาณ carotenoid สูงสุด 35.35 pg/cell และที่ความเข้มข้น KNO_3 50% มีปริมาณ chlorophyll สูงสุด 6.068 pg/cell ผลของความเข้มข้น KNO_3 ต่ออัตราส่วนระหว่าง carotenoid / chlorophyll ในระยะ Logarithmic growth phase พบว่าที่ความเข้มข้นของ KNO_3 10% ของสูตร J/1 มีอัตราส่วนสูงสุดเท่ากับ 7.616 และในระยะ stationary phase ที่ความเข้มข้น KNO_3 20% ของสูตร J/1 จะมีอัตราส่วนสูงสุดเท่ากับ 8.812 (สรวิศ, 2536) ไนเตรทเป็นแหล่ง nitrogen ที่ดีที่สุดสำหรับการเลี้ยง *Dunaliella* (Ben-Amotz และ Avron, 1983 ; Yamaoka และคณะ, 1992) ประโยชน์ในการเจริญเติบโตโดยการจำกัดความต้องการ nitrogen จะทำให้ผลผลิต β - carotene สูงสุด (Ben-Amotz และ Avron, 1983 ; Shaish และคณะ, 1991) เมื่อลดความเข้มข้นของไนเตรทจาก 5 mM เป็น 0.5 Mm จะทำให้ความเข้มข้นของ β - carotene เพิ่มขึ้นจาก 0.5% เป็น 5% (Ben-Amotz และ Avron, 1983)

ถ้าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายอื่นๆ ขาดธาตุ nitrogen จะมีผลทำให้รงควัตถุในการสังเคราะห์แสงลดลงซึ่งทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงไปด้วย Allen (1969) กล่าวว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถนำสารประกอบ nitrogen ที่เก็บสะสมไว้มาใช้ได้ จากการทดลองนำ *Oscillatoria splendida* ไปเลี้ยงในอาหารที่ไม่มี nitrogen พบว่ารงควัตถุ phycocyanin ถูกสลายไปเป็น nitrogen ที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้ได้ ทำให้ปริมาณ phycocyanin ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและปริมาณ phycocyanin จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกเมื่อเติม nitrogen ในอาหารและนอกจากนี้ยังมีการสะสมของแป้งและไขมันเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ในสาหร่าย *Spirulina* phycocyanin จะมีปริมาณมากที่สุด เมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีความเข้มข้นของ nitrogen มากเกินพอ (Boussiba และ Richmond, 1980) และได้ศึกษาความเป็นไปได้ของ phycocyanin ในการเป็นแหล่ง nitrogen ภายในเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina* โดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มี nitrogen จากการใส่โซเดียมไนเตรท 2 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ ความเข้มข้นของไนเตรทเท่ากับ 29.4 และ 3.7 มิลลิโมลาร์ พบว่าการเจริญจำเพาะ (ต่อชั่วโมง) อัตราผลผลิต (มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตรต่อชั่วโมง) ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และความเข้มข้นของ chlorophyll (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ในสาหร่ายที่เจริญอยู่ในแต่ละระดับความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณ phycocyanin ในสาหร่ายที่เจริญอยู่ในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนเตรทต่ำกว่ามีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดจึงสรุปได้ว่า phycocyanin มีอยู่เป็นปริมาณมากในเซลล์สาหร่ายและมีการลดปริมาณลงเพื่อให้ธาตุ nitrogen แก่สาหร่าย ซึ่งทำให้สาหร่ายยังคงมีอัตราการเจริญสูงสุด (สำหรับการทดลองครั้งนี้) เมื่ออยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่ไม่มี nitrogen โดยย้ายสาหร่ายซึ่งกำลังเจริญอยู่ในช่วง log phase ในอาหารที่มี nitrogen ตามปกติมายังอาหารที่ไม่มี nitrogen และเริ่มนับเวลาเป็น 0 ชั่วโมง พบว่าในเวลา 48 ชั่วโมง สาหร่ายยังคงมีอัตราการเจริญ (จากค่าน้ำหนักแห้ง) เป็นปกติและได้มวลสาหร่าย (น้ำหนักแห้ง) เพิ่มขึ้นอีก 1 รุ่นในชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นอัตราการเจริญจึงมีค่าต่ำกว่าสาหร่ายในชุดควบคุม ส่วนปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) มีปริมาณคงที่ตลอดเวลา 72 ชั่วโมง (ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้น) ปริมาณ phycocyanin มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ตั้งแต่เริ่มย้ายสาหร่ายมาอยู่ในอาหารที่ไม่มี nitrogen และพร้อมกันนั้นกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลาย phycocyanin ก็มีการเพิ่มขึ้น Boussiba และ Richmond (1980) ได้สรุปผลการทดลองว่าในสภาวะที่ไม่มีธาตุอาหาร nitrogen การสังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์จะถูกยับยั้ง phycocyanin จะเริ่มลดปริมาณลงทันที

ประโยชน์ของสาหร่าย

1. ใช้สาหร่ายเป็นอาหารของมนุษย์

เช่น ชาวชนบทในภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศมีการนำสาหร่ายสีเขียวที่เรียกว่า เทาน้ำ หรือ เทา (*Spirogyra*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เรียกว่าดอกหิน (*Nostoc*) มาทำเป็นอาหาร ในขณะที่ประเทศญี่ปุ่นนิยมนำสาหร่าย *Porphyra* หรือนอริ ซึ่งเป็นสาหร่ายสีแดงมารับประทาน จนปัจจุบันนี้ความนิยมในการบริโภคสาหร่ายนี้ได้แพร่หลายไปในหลายประเทศจนต้องมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้เพื่อเป็นการค้าในประเทศญี่ปุ่นและจีน

2. ใช้สาหร่ายเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

เนื่องจากสาหร่ายมีการเจริญที่คล้ายกับพืช คือ อาศัยพลังงานจากแสงและใช้ธาตุอาหารที่เป็นสารอนินทรีย์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์อาหาร สารอาหารหลายชนิดที่สาหร่ายสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นสารที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ด้วย Borowitzka and Borowitzka (1988) รายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* สามารถผลิตวิตามินบี 12 วิตามิน อี และโปรตีนได้ในปริมาณสูง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำสาหร่ายนี้มาทำเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับมนุษย์

3. ใช้สาหร่ายเป็นอาหารของสัตว์น้ำวัยอ่อน

ในระบบนิเวศน์ตามธรรมชาติสาหร่ายจัดเป็น ผู้ผลิตเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหารสัตว์น้ำประเภท ปลา กุ้งและหอย ในช่วงตัวอ่อนของสัตว์เหล่านี้จะกินสาหร่ายขนาดเล็กๆ ที่ล่องลอยอยู่ในน้ำเป็นอาหาร ดังนั้นเมื่อมีการนำสัตว์เหล่านี้มาเพาะเลี้ยงในเชิงการค้า จึงส่งผลให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นอาหารของสัตว์น้ำด้วย เช่นมีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella*, *Spirulina* เพื่อเป็นอาหารของลูกปลา

4. ใช้สาหร่ายในทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเกษตรกรรมสาหร่ายนำมาใช้ทำปุ๋ยชีวภาพ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนเป็นสารประกอบ nitrogen อื่นๆ ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น *Nostoc*, *Anabaena* เป็นต้น

5. สาหร่ายบางชนิดใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของแหล่งน้ำ

ในแหล่งน้ำเสียโดยทั่วไปมักพบสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Lyngbya* ขึ้นอยู่เป็นจำนวนมากแต่ในขณะเดียวกันสาหร่าย *Scenedesmus*, *Chlorella* ช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากสาหร่ายดังกล่าวจะปล่อยออกซิเจนออกมาทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น

6. ใช้ในทางการแพทย์

สาหร่ายบางชนิด เช่น *Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas pyrenoidosa* สามารถสังเคราะห์สารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ทั้งในแกรม + และ –

7. ผลิตสารมูลค่าสูงจากสาหร่าย

มีสารหลายชนิดที่สาหร่ายผลิตขึ้นและได้ถูกนำมาจำหน่ายเป็นการค้าหรือนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น วุ้น (agar), คาร์ราจีแนน (carrageenen), กรดอัลจินิค (alginic acid) เป็นต้น

โทษของสาหร่าย

เปรียบเทียบระหว่างประโยชน์และโทษของสาหร่ายต่อมนุษย์พบว่าโทษของสาหร่ายจะมีน้อยและส่วนใหญ่จะเป็นโทษที่เกิดทางอ้อม เช่น สาหร่ายบางชนิดเมื่อเจริญมากๆ ในแหล่งน้ำหรือที่เรียกว่า water bloom จะส่งผลให้น้ำมีกลิ่นและรสเปลี่ยนไปทำให้เกิดปัญหาเรื่องน้ำดื่มน้ำใช้ นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิด เช่น *Microcystis* เมื่อมีการเจริญมากๆ มีการสร้างสารพิษออกเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และสัตว์เลี้ยงที่ต้องอาศัยแหล่งน้ำนั้น เมื่อสัตว์เหล่านี้ได้รับสารพิษเข้าไป อาจทำให้ตายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารสี

วัสดุและอุปกรณ์

1. สาหร่าย 1 ชนิด คือ *Calothrix marchica* จากห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

2. สูตรอาหาร BG-11, N-free medium, Chlorella medium อาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

   3.1 เครื่อง Spectrophotometer

   3.2 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4. อุปกรณ์อื่น ๆ

   4.1 หลอดทดลอง

   4.2 ที่วางหลอดทดลอง

   4.3 กระบอกตวง

   4.4 บีกเกอร์

   4.5 ปิเปต

   4.6 จุกยาง

   4.7 ขวดน้ำเกลือ

   4.8 สายยาง

   4.9 แท่งแก้ว

   4.10 ถาดอะลูมิเนียม

วิธีการทดลอง

วิธีการเลี้ยงสาหร่าย

1. นำสาหร่ายจากห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง 1 ชนิด คือ *Calothrix marchica* มาทำการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 medium เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้นในการขยายปริมาตร โดยนำสาหร่ายที่เตรียมมาใส่ลงขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร ที่มีอาหารสูตร BG-11 medium ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและป้องกันไม่ให้สาหร่ายตกตะกอน ทำการเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยมีการให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เตรียมอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix marchica* 3 สูตร คือ BG-11 medium, N-free medium และ Chlorella medium โดยทำการเพาะเลี้ยงในขวดน้ำเกลือที่มีปริมาตร 1 ลิตร ในห้องเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนโดยให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง ทำการวัดการเจริญเติบโตโดยการวัด chlorophyll และวัดน้ำหนักแห้ง *Calothrix marchica* ทำการวัดการเจริญเติบโตทุก ๆ 3 วัน เปรียบเทียบว่าสูตรอาหารใดมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและปริมาณสารสีดีที่สุดแล้วทำการนำสูตรอาหารนั้นมาใช้เลี้ยงสาหร่ายในสภาวะต่าง ๆ

3. เตรียมอาหารสูตร BG-11 ใช้เลี้ยงสาหร่ายในสภาวะต่าง ๆ

3.1 เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน คือ ความเข้มแสง 637 lux , 1680 lux และ แสง UV ทำการวัดการเจริญเติบโตและปริมาณสารสีทุก ๆ 3 วัน

3.2 เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ทำการวัดการเจริญเติบโตปริมาณสารสีทุก ๆ 3 วัน

3.3 เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix marchica* ในสภาวะที่มีแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ $NaNO_3$ และ KNO_3 ทำการวัดการเจริญเติบโตปริมาณสารสีทุก ๆ 3 วัน

การวิเคราะห์ปริมาณสารสีของสาหร่าย

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่าย *Calothrix marchica* ทุก 3 วัน และทำการตกตะกอน (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3500 rpm. อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการวัดการเจริญเติบโตโดยวัดน้ำหนักแห้งและ chlorophyll และทำการวัดรงควัตถุ คือ astaxanthin, phycoerythrin, phycocyanin การวัด phycobilin คือ วัดที่ความยาวคลื่น 455, 564, 592, 618 และ 645 นาโนเมตร และคำนวณค่า phycocyanin โดย

$$R - PE = [(564-592) - (455-592) \times 0.2] \times 0.12$$

คำนวณค่า phycoerythrin โดย

$$C/R - PC = [(618-645) - (592-645) \times 0.51] \times 0.15$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบผลทางสถิติโดยวิธี Duncan

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มต้นทดลองเดือนเมษายน 2547 – มีนาคม 2548

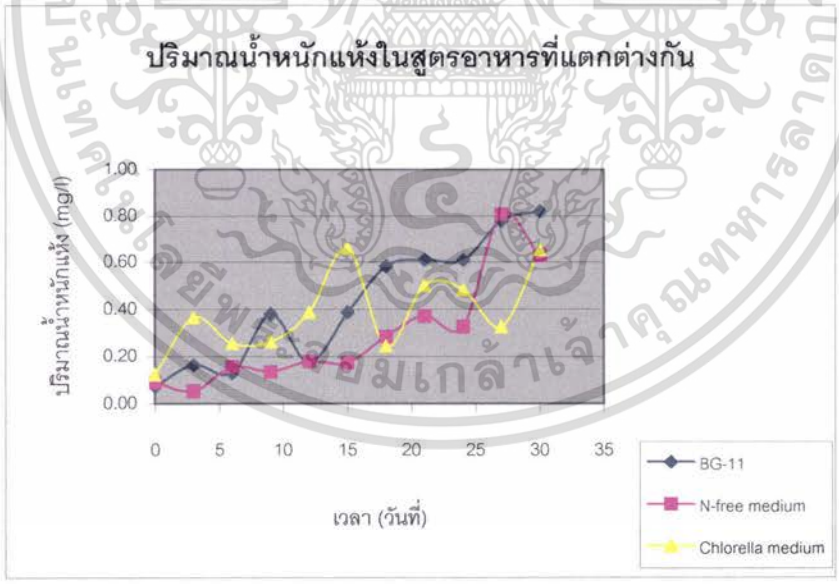
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

99220

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้การเลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน คือ สูตรอาหาร BG-11 medium, N-free medium และ Chlorella medium

1.1 การเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอีก 2 สูตร คือ N-free medium และ Chlorella medium ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 0.82±0.01 mg/l และการเลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 0.81±0.03 mg/l ส่วนการเลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ วันที่ 15 เท่ากับ 0.66±0.01 mg/l (ตารางผนวกที่ 1) ปริมาณน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium และ Chlorella medium นั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ แต่ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium มีปริมาณน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นในวันที่ 30 โดยที่สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิด ในวันที่ 0 การเลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 และ N-free medium ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วนการเลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสูตรอาหาร BG-11 ทำให้มีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 0.82 mg/l

Fan และคณะ (1994) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *Haematococcus pluvialis* ในอาหาร BG-11 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตจะลดลง

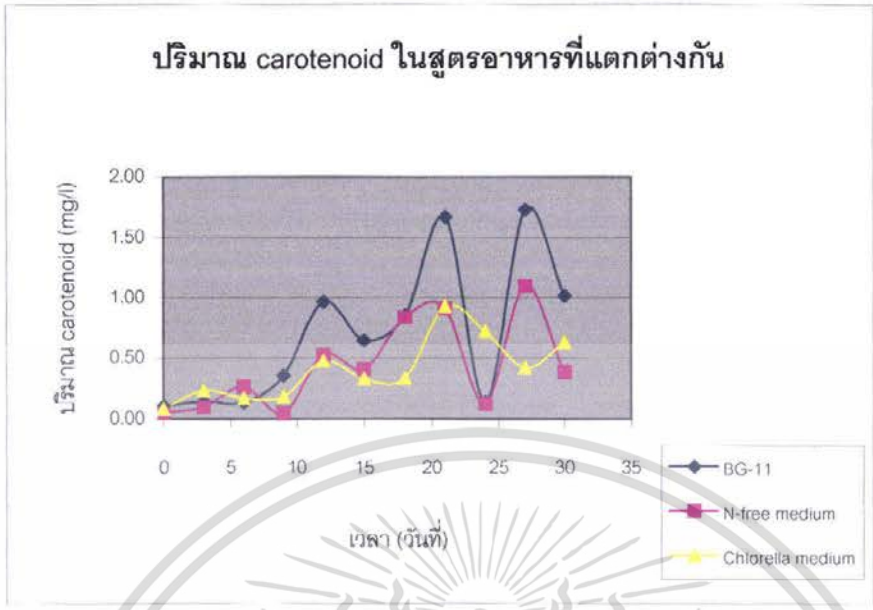
1.2 ปริมาณสารสีของสาหร่าย

1.2.1 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ carotenoid สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอีก 2 สูตร คือ N-free medium และ Chlorella medium ช่วงเวลาที่มีปริมาณ carotenoid มากที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.73 ± 0.03 mg/l และที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium มีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.10 ± 0.06 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium จะมีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 0.93 ± 0.03 mg/l (ตารางผนวกที่ 2) ปริมาณ carotenoid ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 และ N-free medium มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 30 ส่วนปริมาณ carotenoid ที่เลี้ยงในอาหารสูตร Chlorella medium มีการลดลงและกลับมาเพิ่มขึ้นในวันที่ 30 (ภาพที่ 4)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิด ในวันที่ 0 การเลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสูตรอาหาร BG-11 มีปริมาณ carotenoid เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 1.02 mg/l

Harker และคณะ (1996a) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *Haematococcus pluvialis* CCAP 34/7 ในอาหาร BBM modified ที่มีความเข้มข้นของ $NaNO_3$ เข้มข้นต่างๆ กันดังนี้ 0, 0.75, 1.5, 3.0 และ 6.0 มิลลิโมลาร์ พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นของ $NaNO_3$ เข้มข้นต่ำจะกระตุ้นให้ *H. pluvialis* CCAP 34/7 มีการสะสม astaxanthin สูงขึ้น แต่ถ้าในอาหารมีความเข้มข้นของไนเตรทสูงขึ้นการสะสม astaxanthin ภายในเซลล์จะน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 กราฟแสดงปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

1.2.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ chlorophyll สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอีก 2 สูตร คือ BG-11 และ N-free medium ช่วงเวลาที่มีปริมาณ chlorophyll มากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 12122.92±1.66 mg/l และที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 3689.58±2.17 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium จะมีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 4492.86±3.42 mg/l (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณ chlorophyll ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11, N-free medium และ Chlorella medium ซึ่งในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium ให้ปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด (ภาพที่ 5)

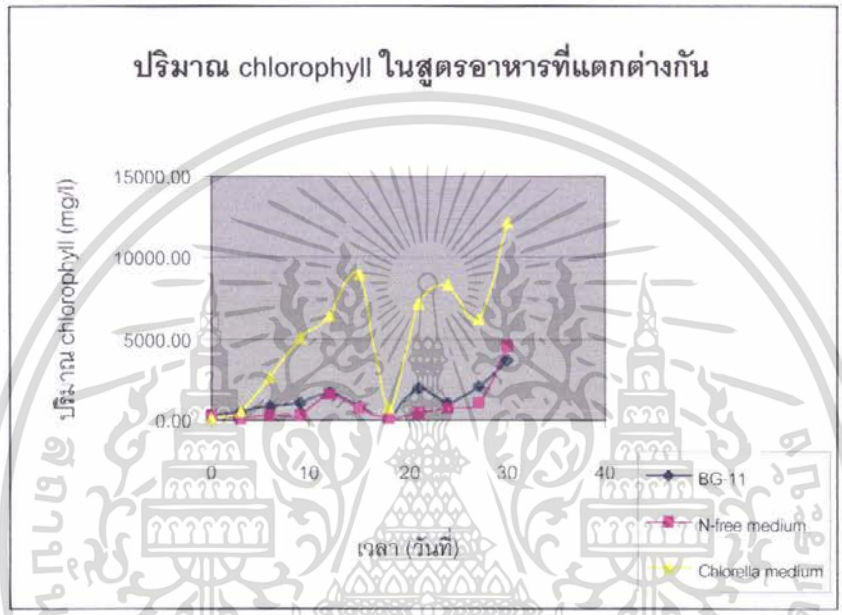
เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดในวันที่ 0 การเลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดนั้นมีสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 และ N-free medium ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วนที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20492

สำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสูตรอาหาร Chlorella medium มีปริมาณ chlorophyll เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 12122.92 mg/l

Goodwin และ Jamikorn (1954) ได้ทดลองเลี้ยง *Haematococcus pluvialis* ในอาหาร Ondratscheck medium พบว่าเซลล์จะเปลี่ยนจากเซลล์สีเขียวเป็นเซลล์สีแดงโดยที่จำนวนเซลล์ไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งการสังเคราะห์ chlorophyll จะน้อยลงและมีการสังเคราะห์ carotenoid ขึ้นในเซลล์



ภาพที่ 5 กราฟแสดงปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

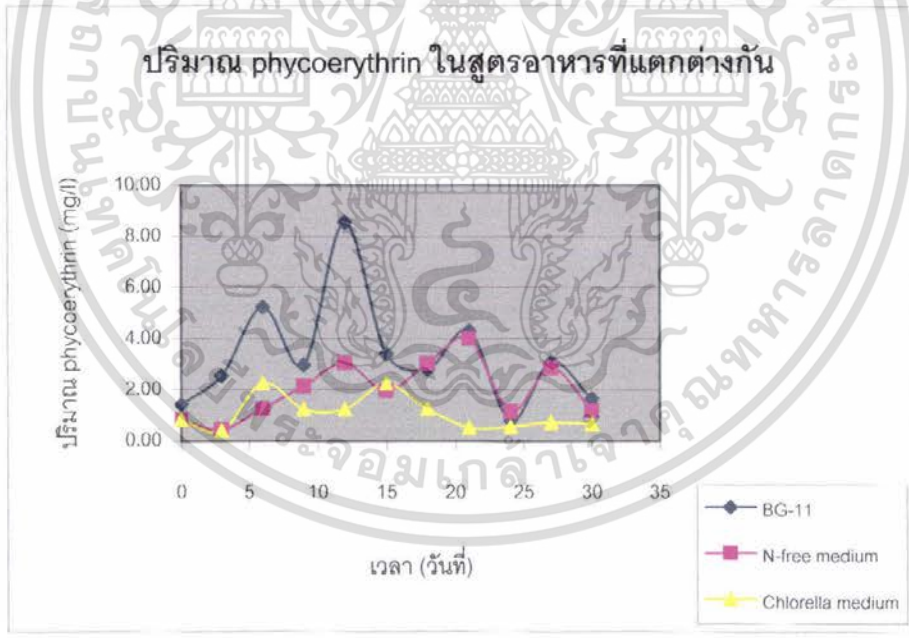
1.2.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอีก 2 สูตร คือ N-free medium และ Chlorella medium ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycoerythrin มากที่สุด คือ วันที่ 12 เท่ากับ 8.56±0.01 mg/l และที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium มีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 4.02±0.02 mg/l ส่วนสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium จะมีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 15 เท่ากับ 2.26±0.00 mg/l (ตารางผนวกที่ 4) ปริมาณ phycoerythrin ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11, N-free medium และ Chlorella medium ซึ่งในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ โดยที่สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 ให้ปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด (ภาพที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดในวันที่ 0 การเลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสูตรอาหาร BG-11 มีปริมาณ phycoerythrin เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 1.67 mg/l

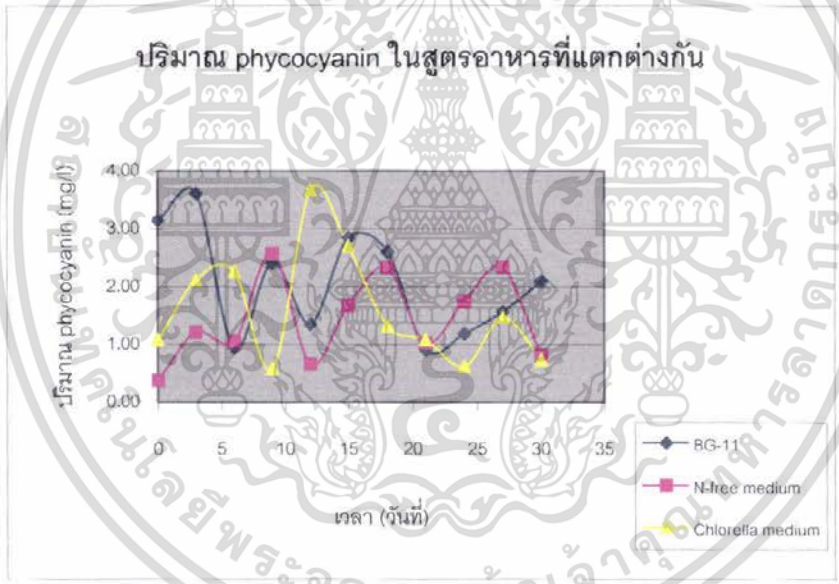
ถ้าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายอื่นๆ ขาดธาตุ nitrogen จะมีผลทำให้รงควัตถุในการสังเคราะห์แสงลดลงซึ่งทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงไปด้วย Allen (1969) กล่าวว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถนำสารประกอบ nitrogen ที่เก็บสะสมไว้มาใช้ได้ จากการทดลองนำ *Oscillatoria splendida* ไปเลี้ยงในอาหารที่ไม่มี nitrogen พบว่ารงควัตถุ phycoerythrin ถูกสลายไปเป็น nitrogen ที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้ได้ ทำให้ปริมาณ phycoerythrin ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและปริมาณ phycoerythrin จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกเมื่อเติม nitrogen ในอาหารและนอกจากนี้ยังมีการสะสมของแป้งและไขมันเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 6 กราฟแสดงปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycocyanin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอีก 2 สูตร คือ N-free medium และ Chlorella medium ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycocyanin มากที่สุด คือ วันที่ 3 เท่ากับ 3.61±0.06 mg/l และที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium มีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 9 เท่ากับ 2.57±0.06 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium จะมีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 12 เท่ากับ 3.68±0.06 mg/l (ตารางผนวกที่ 5) ปริมาณ phycocyanin ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11, N-free medium และ Chlorella medium ซึ่งในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ โดยที่สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 กลับมีปริมาณ phycocyanin เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 30 (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 กราฟแสดงปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดในวันที่ 0 การเลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรนั้นสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N-free medium และ Chlorella ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญแต่ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสูตรอาหาร BG-11 มีปริมาณ phycocyanin เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 2.10 mg/l

ในสาหร่าย *Spirulina* phycocyanin จะมีปริมาณมากที่สุด เมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีความเข้มข้นไนโตรเจนมากเกินพอ (Boussiba และ Richmond, 1980) และพบว่า phycocyanin เป็นแหล่งของโปรตีนสะสม (storage protein) ในเซลล์ของสาหร่าย โดยให้โปรตีนและไนโตรเจนแก่เซลล์ในยามขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน

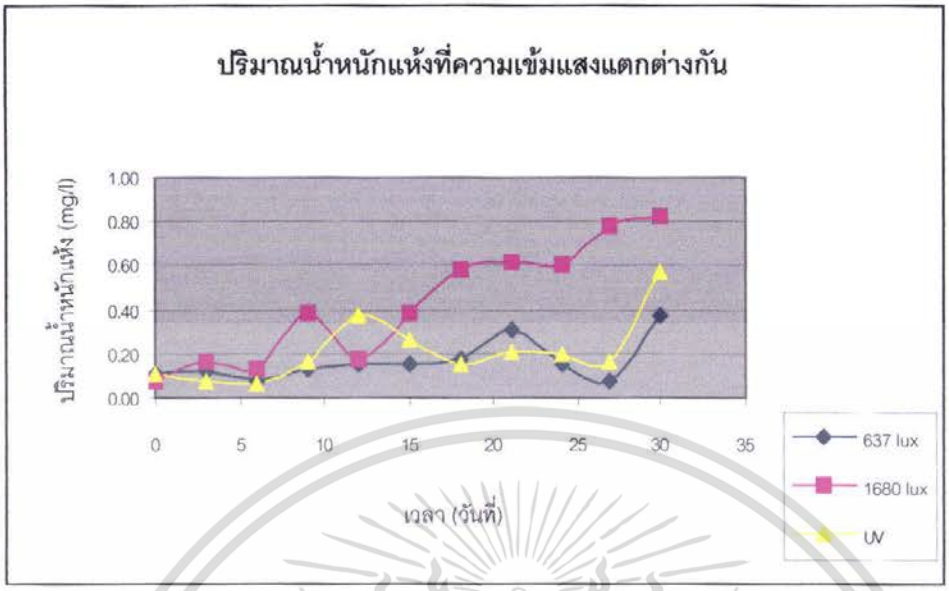
2. การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้การเลี้ยงในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน คือ 637 lux, 1680 lux และ แสง UV

2.1 การเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะการใช้ความเข้มแสง 1680 lux มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสง 637 lux และ แสง UV ช่วงเวลาที่มีปริมาณ น้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 0.82$\pm$0.01 mg/l และที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux มีปริมาณน้ำหนักสูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 0.31$\pm$0.03 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในสภาวะที่ให้แสง UV จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 0.57$\pm$0.07 mg/l (ตารางผนวกที่ 6) ปริมาณน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิด คือ ความเข้มแสง 637 lux, ความเข้มแสง 1680 lux และการให้แสง UV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 8)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงแตกต่างกันในวันที่ 0 การเลี้ยงในสภาวะการให้แสง UV และความเข้มแสง 637 lux ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ที่ความเข้มแสง 1680 lux มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญพอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิด คือ ความเข้มแสง 637 lux, ความเข้มแสง 1680 lux และการให้แสง UV มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสภาวะที่มีความเข้มแสง 1680 lux จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 0.57 mg/l

สาหร่ายสีเขียว ความเข้มแสงที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5-7.5 กิโลลักซ์ ในขณะที่ไดอะตอมและไดโนแฟลกเจลเลตจะอยู่ในช่วง 10-20 และ 25-30 กิโลลักซ์ตามลำดับ (Riley และ Chester, 1971) จากการศึกษาของ สรวิศ และคณะ (2538 ข) พบว่าความเข้มแสงที่เหมาะต่อการเลี้ยง *D. salina* จะอยู่ในช่วง 5,000-15,000 lux และถ้าสาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มแสงมากเกินไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องจากกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์จะถูกยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

2.2 ปริมาณสารสีของสาหร่าย

2.2.1 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ carotenoid สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสง 637 lux และ แสง UV ช่วงเวลาที่มีปริมาณ carotenoid มากที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.73$\pm$0.03 mg/l และที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux มีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 0.42$\pm$0.01 mg/l ส่วนที่เลี้ยงโดยใช้แสง UV จะมีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 0.63$\pm$0.03 mg/l (ตารางผนวกที่ 7) ปริมาณ carotenoid ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux และใช้แสง UV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนปริมาณ carotenoid ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux มีการลดลงในวันที่ 30 (ภาพที่ 9)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงแตกต่างกันในวันที่ 0 การเลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิดนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสภาวะที่มีความเข้มแสง 1680 lux จะมีปริมาณ carotenoid เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 1.02 mg/l

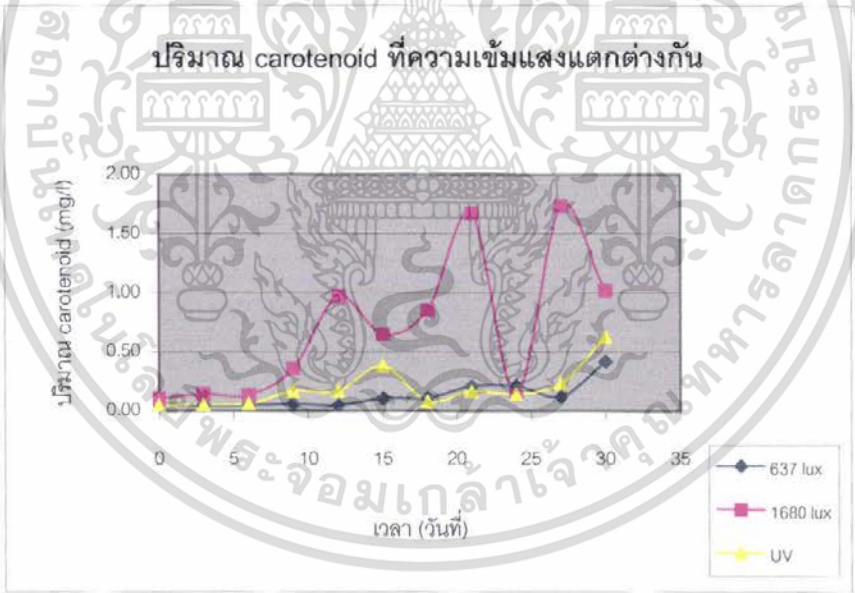
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเลี้ยงสาหร่ายที่ความเข้มแสง 5,000, 10,000 และ 15,000 lux พบว่า *Dunaliella salina* มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณ carotenoid จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มของแสงสูงขึ้นและเซลล์จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม (สรวิศ, 2536)

D. salina เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มสูงมากจะมีผลต่อการผลิตเบตาคาโรทีนได้สูงเพื่อยับยั้งแสงขณะเดียวกันสัดส่วนของ chlorophyll ก็ลดลงตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นทำให้ลดอัตราการสังเคราะห์แสง การปล่อยออกซิเจนก็ต่ำลง จากการเลี้ยงสาหร่าย *D. salina* ที่ความเข้มของแสง 20,000 lux จึงทำให้ปริมาณ carotenoid มีปริมาณสูงสุด 80.4 pg.cell^{-1} (สรวิศ, 2536)

Shaish และคณะ (1993) รายงานว่าความเข้มแสงสูงจะทำให้เกิดการสะสมเบตาคาโรทีนในสาหร่าย *D. bardawil* เนื่องจากกิจกรรมการสังเคราะห์แสงมีการผลิตออกซิเจนเพื่อทำให้เกิดการสะสมเบตาคาโรทีนใน *D. bardawil*

Lee และ Soh (1991) ได้รายงานว่าปริมาณ astaxanthin สูงสุดจะได้จาก *Haematococcus lacustris* ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่องและมีความเข้มแสงสูง



ภาพที่ 9 กราฟแสดงปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

Fan และคณะ (1994) ได้รายงานว่าเมื่อเพาะเลี้ยง *H.pluvialis* ในอาหาร BG-11 และให้ความเข้มแสงสูง (200 และ 400 μE/m^2.s) อัตราการสร้าง astaxanthin จะสูงกว่าในอาหารที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มแสงต่ำ (50 และ 100 $\mu E/m^2.s$) และในอาหารที่มีความเข้มแสงต่ำไม่เกิน 90 $\mu E/m^2.s$ สาหร่ายจะมีเจริญที่ดีมาก

2.2.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ chlorophyll สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสง 637 lux และแสง UV ช่วงเวลาที่มีปริมาณ chlorophyll มากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 3689.58±2.17 mg/l และที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux มีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 858.09±2.85 mg/l ส่วนที่เลี้ยงโดยใช้แสง UV จะมีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 24 เท่ากับ 2449.88±8.26 mg/l (ตารางผนวกที่ 8) ปริมาณ chlorophyll ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิด คือ ความเข้มแสง 1680 lux, ความเข้มแสง 637 lux และการให้แสง UV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 10)

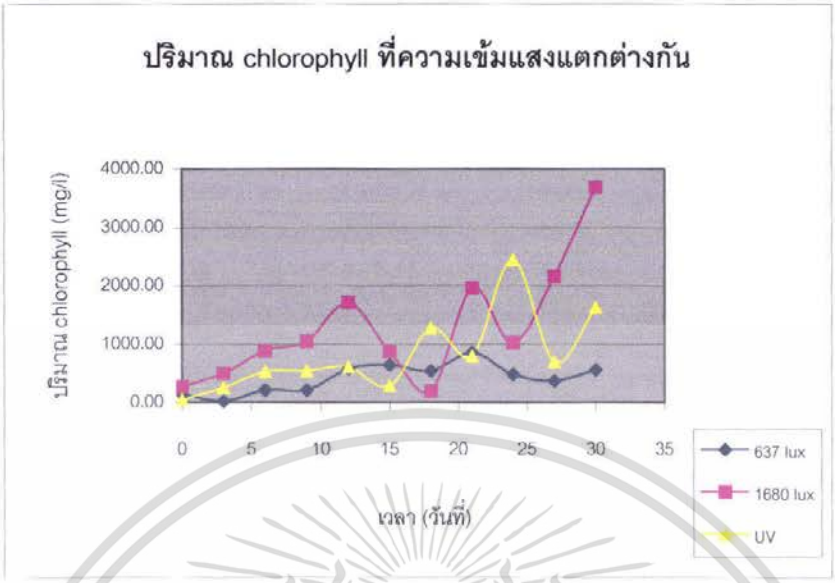
เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงแตกต่างกันในวันที่ 0 การเลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเมื่อเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิดนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสภาวะที่มีความเข้มแสง 1680 lux จะมีปริมาณ chlorophyll เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 3689.58 mg/l

จากการรายงานของ Falkowski (1980) พบว่าสาหร่าย *Dunaliella salina* ที่เลี้ยงไว้ในที่มีความเข้มแสงสูงเกินไปจะทำให้การสะสมของปริมาณ chlorophyll ในเซลล์น้อย เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของกลูตามีน (glutamine) ต่อกลูตาเมต (glutamate) มีผลทำให้การสังเคราะห์ ATP ลดลง

Ben-Amotz และ Avron (1983) รายงานว่า *Dunaliella bardawil* ที่ได้รับความเข้มของแสงสูงเป็นเวลานานหรือถูกยับยั้งการเจริญเติบโต มีผลให้ chlorophyll ต่อเซลล์ลดลงและเบตาคาโรทีนต่อเซลล์เพิ่มขึ้นจึงทำให้อัตราส่วนระหว่างเบตาคาโรทีนต่อ chlorophyll เพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 13 สีของเซลล์มีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มเข้มและปริมาณ chlorophyll a ต่อเซลล์จะลดลง เมื่อมีความเข้มของแสงสูงขึ้นแต่จากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงแสดงให้เห็นได้ว่าปริมาณ chlorophyll a ยังมีค่าสูงอยู่โดยสูงกว่าเซลล์ที่เจริญในแสงที่มีความเข้มของแสงต่ำ

Borowitzka และ Borowitzka (1988) รายงานว่า *D.salina* ปริมาณของ chlorophyll a และ b จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มแสงมากจนถึงจุดอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 กราฟแสดงปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

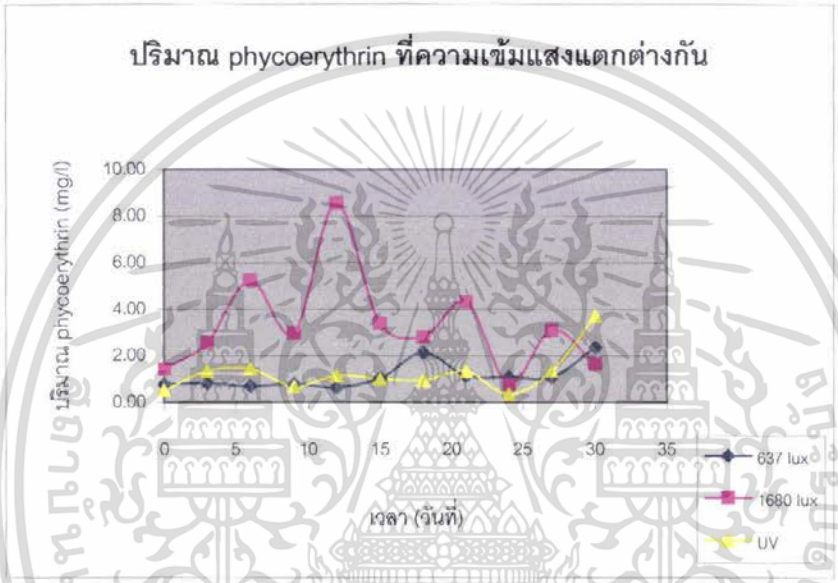
2.2.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสง 637 lux และแสง UV ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycoerythrin มากที่สุด คือ วันที่ 12 เท่ากับ 8.56±0.01 mg/l และที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux มีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 2.37±0.01 mg/l ส่วนที่เลี้ยงโดยใช้แสง UV จะมีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 3.73±0.03 mg/l (ตารางผนวกที่ 9) ปริมาณ phycoerythrin ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 2 ชนิด คือ ความเข้มแสง 637 lux และการใช้แสง UV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 11)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงแตกต่างกันในวันที่ 0 การเลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux และการใช้แสง UV, ความเข้มแสง 637 lux และความเข้มแสง 1680 lux ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่การเลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux และการใช้แสง UV มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญพอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิดนั้นมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสภาวะที่มีการใช้แสง UV จะมีปริมาณ phycoerythrin เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 3.73 mg/l

phycoerythrin จะดูดจับพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 570-580 นาโนเมตร จากการที่ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ phycobilisomes มีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (Van Eykelenburg, 1979) ระดับของ phycoerythrin จะลดต่ำลงเมื่อได้รับแสงสีแดงแต่จะเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามเมื่อได้รับแสงสีเขียว



ภาพที่ 11 กราฟแสดงปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

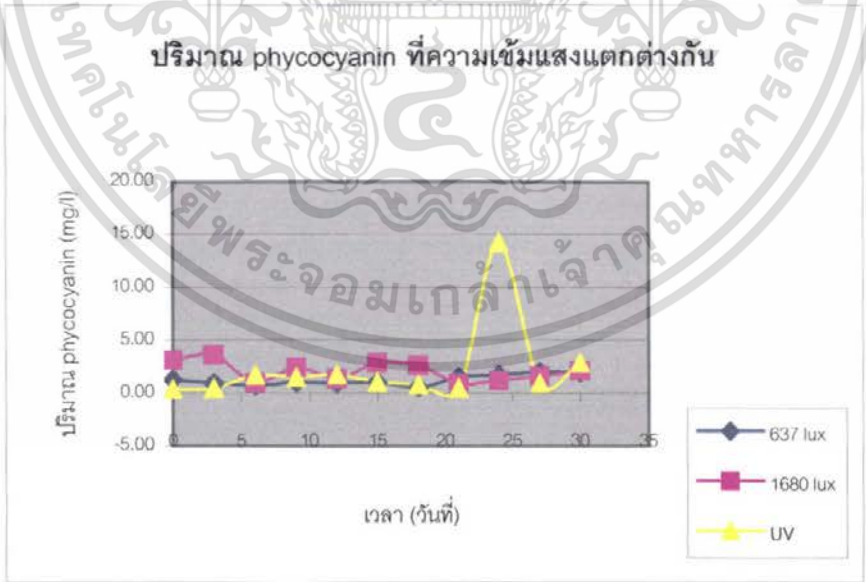
2.2.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะการใช้แสง UV มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycocyanin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสง 637 lux และความเข้มแสง 1680 lux ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycocyanin มากที่สุด คือ วันที่ 24 เท่ากับ 14.27±0.06 mg/l และที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux มีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 2.05±0.13 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux จะมีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 3 เท่ากับ 3.61±0.06 mg/l (ตารางผนวกที่ 10) ปริมาณ phycocyanin ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด คือ ความเข้มแสง 637 lux และความเข้มแสง 1680 lux มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ส่วนสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะที่มีการใช้แสง UV มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 12)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงแตกต่างกันในวันที่ 0 การเลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ชนิด การใช้แสง UV, ความเข้มแสง 637 lux และความเข้มแสง 1680 lux มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 637 lux และความเข้มแสง 1680 lux ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่การเลี้ยงโดยใช้แสง UV มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสภาวะที่มีการใช้แสง UV จะมีปริมาณ phycocyanin เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 2.88 mg/l

จากการที่ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ phycobilisomes มีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (Van Eykelenburg, 1979) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Myers และ Kratz (1955) ที่พบว่า phycocyanin จะมีปริมาณมากขึ้น เมื่อมีแสงจำกัด phycocyanin จะดูดจับพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 625-630 นาโนเมตร ระดับของ phycocyanin จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับแสงสีแดงแต่จะเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามเมื่อได้รับแสงสีเขียว



ภาพที่ 12 กราฟแสดงปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้การเลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส

3.1 การเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุดและเท่ากับที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิที่ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ วันที่ 24 เท่ากับ 0.47±0.01 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 0.44±0.01 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ วันที่ 24 เท่ากับ 0.47±0.01 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 0.37±0.02 mg/l (ตารางผนวกที่ 11) ปริมาณน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 13)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 การเลี้ยงใน 20, 30, และ 35 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่การเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญพอทำการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ไปถึงวันที่ 30 ผลที่ได้ คือ การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอุณหภูมิทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ 20, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญส่วนการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 0.42 mg/l

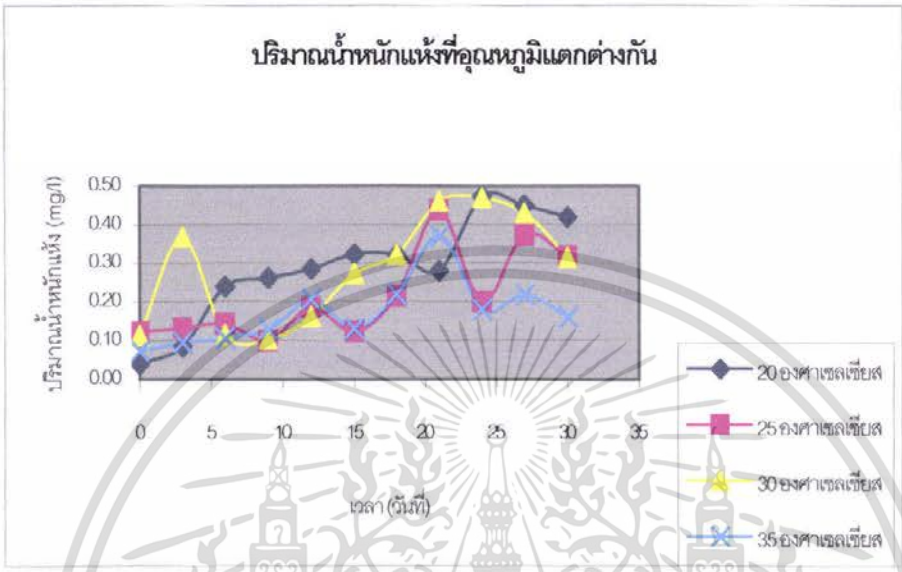
อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* คือ 25-35 องศาเซลเซียส และแม้ดูเหมือนว่าสาหร่าย *Spirulina* จะค่อนข้างชอบอุณหภูมิสูงแต่พบว่าสาหร่าย *Spirulina* ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลานาน (Becker และ Venkataraman, 1984)

Fan และคณะ (1994) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *Heamatococcus pluvialis* ในอาหาร BG-11 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตจะลดลง

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Dunaliella salina* อยู่ในช่วง 20-40 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ซึ่งอุณหภูมิและปริมาณแสงจะแปรผันตามกัน อุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญของ *D. viridis* จะอยู่ในช่วง 14-30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้สาหร่ายตายได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *D. bioculata* และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D.primolecta จะอยู่ในช่วง 25-29 องศาเซลเซียส และ *D. tertiolecta* จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส(Borowitzka 1988)



ภาพที่ 13 กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

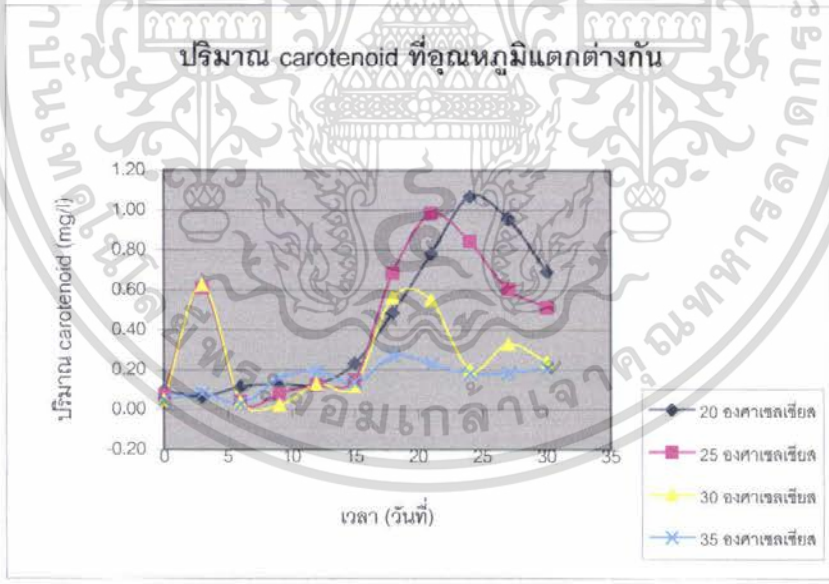
3.2 ปริมาณสารสีของสาหร่าย

3.2.1 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ carotenoid สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิที่ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีปริมาณ carotenoid มากที่สุด คือ วันที่ 24 เท่ากับ 1.07±0.07 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 21 เท่ากับ 0.98±0.02 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 3 เท่ากับ 0.63±0.07 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 18 เท่ากับ 0.27±0.05 mg/l (ตารางผนวกที่ 12) ปริมาณ carotenoid ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 คือ20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 การเลี้ยงใน 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณ carotenoid เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 0.69 mg/l

อุณหภูมิที่ใช้เพาะเลี้ยงจะใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 20-35 องซาเซลเซียส พบว่าสาหร่าย *H. pluvialis* จะมีการสร้าง astaxanthin สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นโดยที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin สูงกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถึง 3 เท่า และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin ที่สูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ถึง 2.5 เท่า คือ ที่อุณหภูมิ 33, 30 และ 20 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin เท่ากับ 22.6, 19 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Tjahjono และคณะ, 1994)

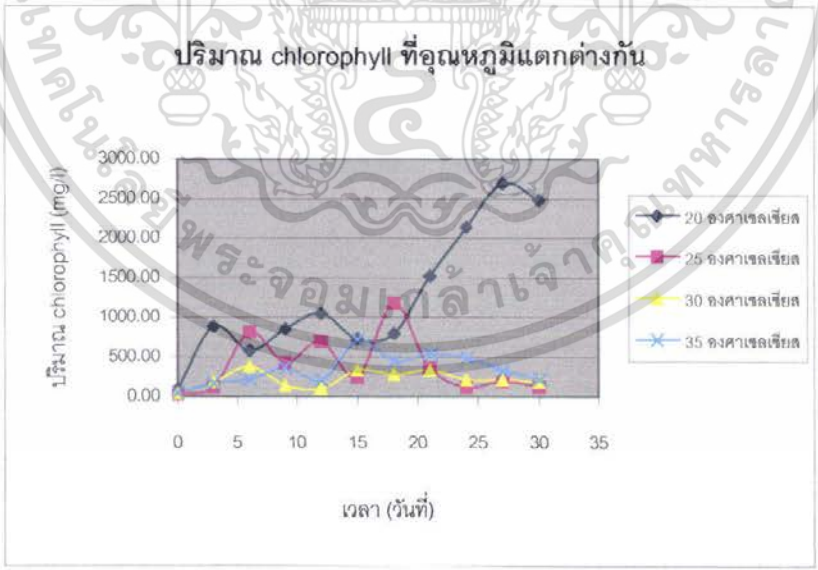


ภาพที่ 14 กราฟแสดงปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ chlorophyll สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิที่ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีปริมาณ chlorophyll มากที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 2698.67±0.73 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 18 เท่ากับ 1180.67±45.24 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 6 เท่ากับ 385.83±1.48 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 15 เท่ากับ 725.27±2.28 mg/l (ตารางผนวกที่ 13) ปริมาณ chlorophyll ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 คือ20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 15)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 การเลี้ยงใน 20, 25, และ 35 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 และ 25, 30 และ 35 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจนกระทั่งเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 ก็ยังให้ผลเหมือนเดิมโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณ chlorophyll เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 2698.73 mg/l



ภาพที่ 15 กราฟแสดงปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ chlorophyll และปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *H.pluvialis* จะแปรผกผันกับปริมาณการสร้าง astaxanthin ที่อุณหภูมิสูงสาหร่ายจะมีการสังเคราะห์แสงมากกว่าที่อุณหูมิต่ำ (Tjahjono และคณะ, 1994)

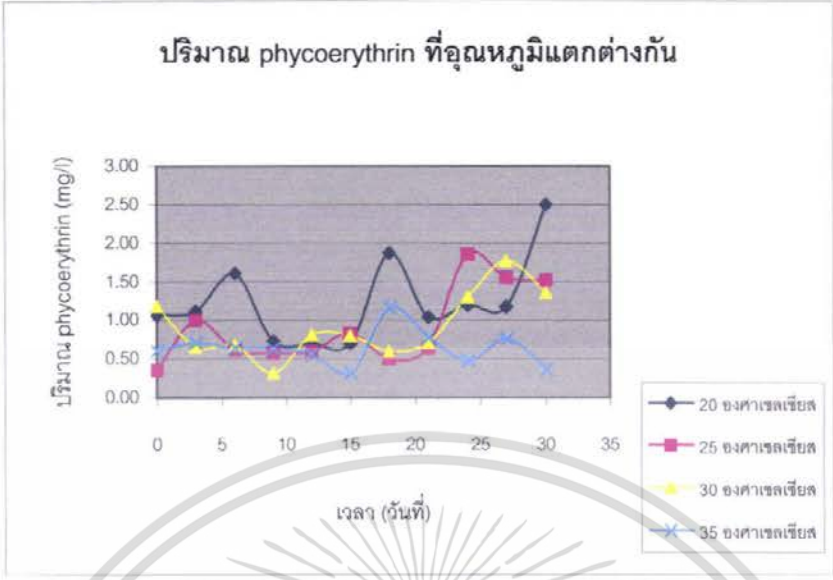
อุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุทำให้ลดปริมาณ chlorophyll a ต่อเซลล์และเพิ่มจำนวนของเบตาคาโรทีนต่อเซลล์ ทำให้อัตราส่วนของเบตาคาโรทีนต่อ chlorophyll เพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 13 กรัม และเปลี่ยนแปลงสีที่มองเห็นจากสีเขียวเป็นสีส้มซึ่งจะมีปริมาณ chlorophyll ในเซลล์ต่ำแสดงว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูง (Ben-Amotz และ Avron, 1983)

3.3.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิที่ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycoerythrin มากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 2.51±0.06 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.86±0.03 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.78±0.02 mg/l ส่วนสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 18 เท่ากับ 1.17±0.10 mg/l (ตารางผนวกที่ 14) ปริมาณ phycoerythrin ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 3 คือ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ส่วนที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 16)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 การเลี้ยงใน 25, 30, และ 35 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญพอทำการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ไปถึงวันที่ 30 ผลที่ได้ คือ การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณ phycoerythrin เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 2.51 mg/l

พบว่า phycoerythrin ในเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina* มีปริมาณมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ (15-17 องศาเซลเซียส) และความเข้มแสงต่ำ เนื่องจากในสภาพเช่นนี้ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะต่ำลง สาหร่ายจึงมีการใช้กรดอะมิโนเป็นปริมาณน้อยทำให้ phycoerythrin มีปริมาณมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 16 กราฟแสดงปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

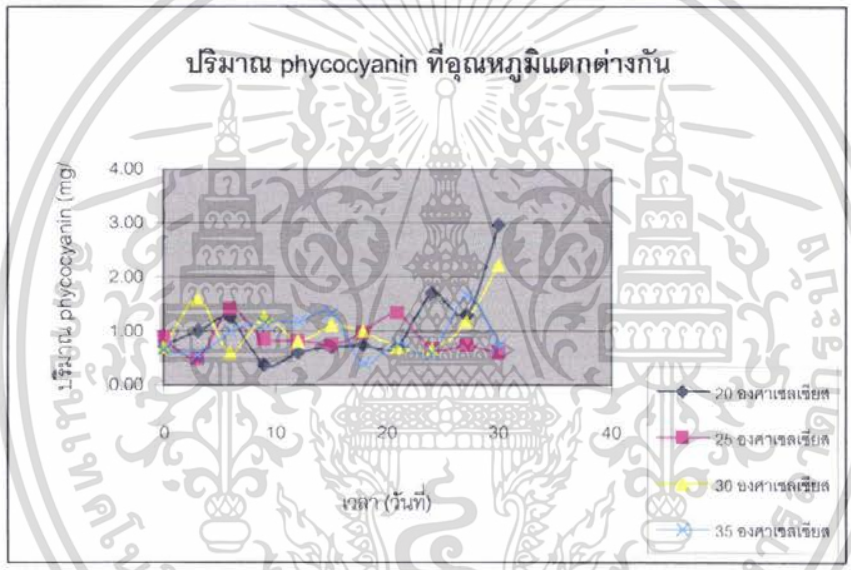
3.3.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycocyanin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิที่ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycocyanin มากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 2.97±0.06 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 6 เท่ากับ 1.41±0.13 mg/l และที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 2.23±0.03 mg/l ส่วนที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.65±0.18 mg/l (ตารางผนวกที่ 15) ปริมาณ phycocyanin ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 และ 30 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 17)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 การเลี้ยงใน 20, 30, และ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่การเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญพอทำการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ไปถึงวันที่ 30 ผลที่ได้ คือ การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอุณหภูมิทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ 20, 30 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญส่วนการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณ phycocyanin เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 2.97 mg/l

ในสาหร่าย *Spirulina* phycocyanin จะมีปริมาณมากที่สุด เมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีความเข้มข้นไนโตรเจนมากเกินพอ (Boussiba และ Richmond, 1980) และพบว่า phycocyanin เป็นแหล่งของโปรตีนสะสม (storage protein) ในเซลล์ของสาหร่าย โดยให้โปรตีนและไนโตรเจนแก่เซลล์ในยามขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน



ภาพที่ 17 กราฟแสดงปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

3. การสร้างสารสีของ *Calothrix marchica* ภายใต้การเลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ $NaNO_3$ และ KNO_3

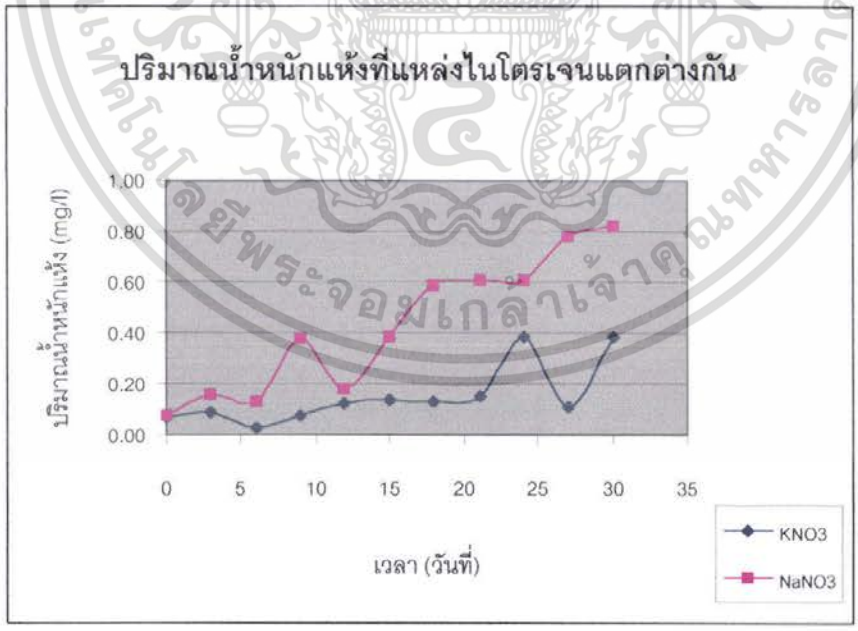
3.1 การเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 0.82 ± 0.01 mg/l และที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ วันที่ 24 เท่ากับ 0.39±0.13 mg/l (ตารางผนวกที่ 16) ปริมาณน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักแห้งสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆโดยปริมาณน้ำหนักแห้งของการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ นั้นให้ปริมาณสูงที่สุด (ภาพที่ 18)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ตั้งแต่วันที่เลี้ยงวันแรกจนกระทั่งการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในวันสุดท้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ทำให้มีหนักแห้งเฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 0.82 mg/l

Nitrogen แหล่ง nitrogen ที่ดีที่สุดของ *D. salina* คือ ไนเตรทและไนไตรท์มีความต้องการสูงขึ้นตามความต้องการแสงของเซลล์ (Grant, 1967) แพลงก์ตอนพืชนำไนเตรทไปใช้โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ก่อนแล้วนำไปสร้างโครงสร้างในเซลล์ (ลัดดา, 2529) เมื่อมีการขาดแคลน nitrogen สาหร่ายจะพยายามปรับตัวโดยการลด nitrogen ในเซลล์ลง ทำให้ปริมาณ nitrogen ในเซลล์ลดลงและเกิดการสะสมคาร์บอน เช่น โพลีแซคคาไรด์ ไขมัน ขึ้น รงควัตถุที่ใช้สังเคราะห์แสงจะลดลงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย



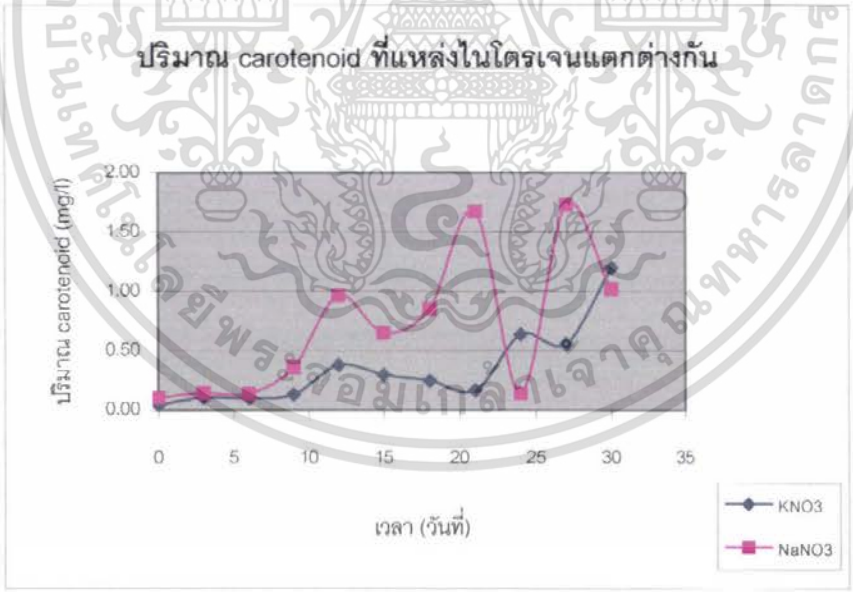
ภาพที่ 18 กราฟแสดงปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ปริมาณสารสีของสาหร่าย

4.2.1 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ carotenoid สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ช่วงเวลาที่มีปริมาณ carotenoid มากที่สุด คือ วันที่ 27 เท่ากับ 1.73±0.03 mg/l และที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 1.20±0.06 mg/l (ตารางผนวกที่ 17) ปริมาณ carotenoid ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มลดลงในช่วงวันที่ 30 และการเลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 19)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 นั้นตั้งแต่การเลี้ยงในวันแรกถึงวันสุดท้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณ carotenoid เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 1.20 mg/l

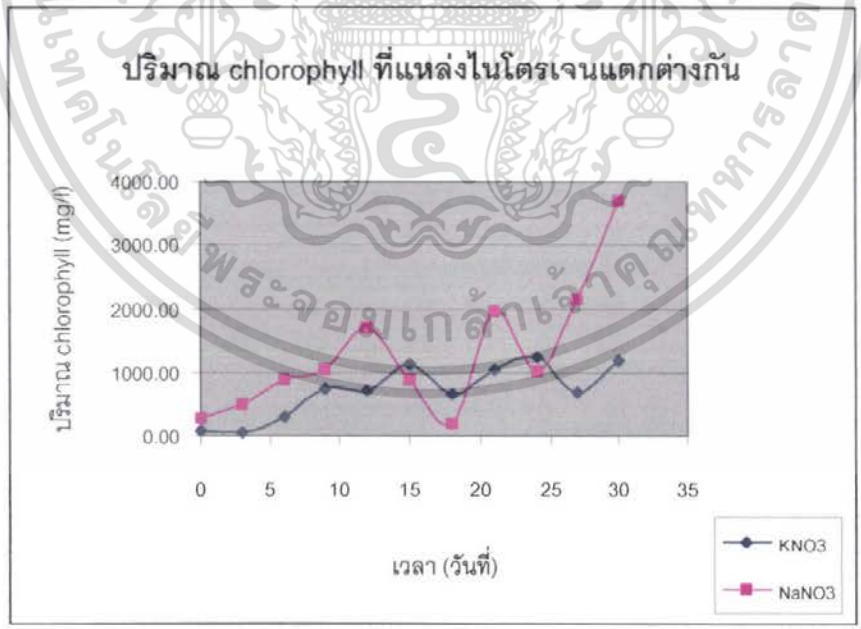


ภาพที่ 19 กราฟแสดงปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boussiba และ Vonshak (1991) ได้ทำการเลี้ยง *H. pluvialis* ในอาหารที่มี $NaNO_3$ เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1.5 กรัมต่อลิตร และ 0.15 กรัมต่อลิตร พบว่าหากอาหารที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงมีความเข้มข้นของไนโตรเจนน้อยคือ 0.15 กรัมต่อลิตร การสร้าง astaxanthin จะสูงในช่วงแรกจากนั้นเมื่อแหล่งไนโตรเจนหมดการสร้าง astaxanthin จะมากขึ้น โดยมีปริมาณที่สูงถึง 65 พิโคกรัมต่อเซลล์ ส่วนในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำสาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin 52 พิโคกรัมต่อเซลล์ เท่านั้น และจะลดลงอีกเมื่อเวลาผ่านไป

4.2.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ chlorophyll สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ช่วงเวลาที่มีปริมาณ chlorophyll มากที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 3689.58±2.17 mg/l และที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด คือ วันที่ 24 เท่ากับ 1254.46±14.22 mg/l (ตารางผนวกที่ 18) ปริมาณ chlorophyll ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่แหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ให้ปริมาณ chlorophyll สูงที่สุด (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 กราฟแสดงปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 นั้นตั้งแต่การเลี้ยงในวันแรกถึงวันสุดท้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีปริมาณ chlorophyll เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 3689.58 mg/l

สำหรับสารอาหารพบว่าไนเตรตจัดเป็นรูปแบบของ nitrogen ที่ดีที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella* (Ben-Amotz และ Avron, 1983; Yamaoka และคณะ, 1992) เมื่อมีการจำกัดปริมาณไนเตรตที่ใช้ในการเจริญของสาหร่าย *D. salina* จะทำให้การสะสม β - carotene มากขึ้น (Ben-Amotz และคณะ, 1989; Tan และคณะ, 1993) เนื่องจากมีการลดลงของปริมาณ chlorophyll อย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณโปรตีนของเซลล์ลดลง

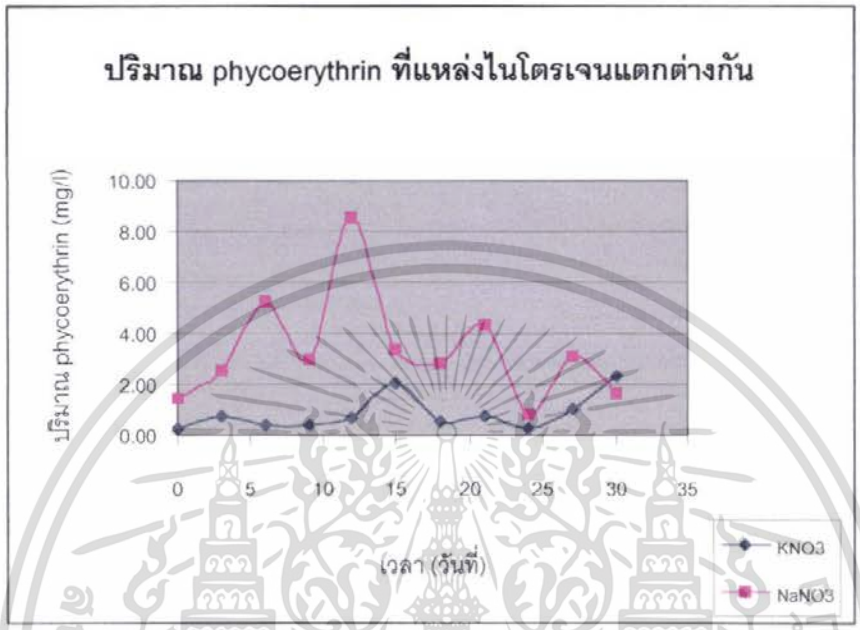
4.2.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycoerythrin มากที่สุด คือ วันที่ 12 เท่ากับ 8.56 ± 0.01 mg/l และที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 2.37 ± 0.44 mg/l (ตารางผนวกที่ 19) ปริมาณ phycoerythrin ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มลดลงส่วนสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยที่สาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ให้ปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุด (ภาพที่ 21)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ซึ่งวันที่เลี้ยงวันแรกถึงวันสุดท้ายโดยมากผลที่ได้ คือ อาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่การเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณ phycoerythrin เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 2.37 mg/l

ถ้าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายอื่นๆ ขาดธาตุ nitrogen จะมีผลทำให้รงควัตถุในการสังเคราะห์แสงลดลงซึ่งทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงไปด้วย (Allen, 1969) กล่าวว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถนำสารประกอบ nitrogen ที่เก็บสะสมไว้มาใช้ได้ จากการทดลองนำ *Oscillatoria splendida* ไปเลี้ยงในอาหารที่ไม่มี nitrogen พบว่ารงควัตถุ phycoerythrin ถูกสลายไปเป็น nitrogen ที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้ได้ ทำให้ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phycoerythrin ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและปริมาณ phycoerythrin จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกเมื่อเติม nitrogen ในอาหารและนอกจากนี้ยังมีการสะสมของแป้งและไขมันเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 21 กราฟแสดงปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

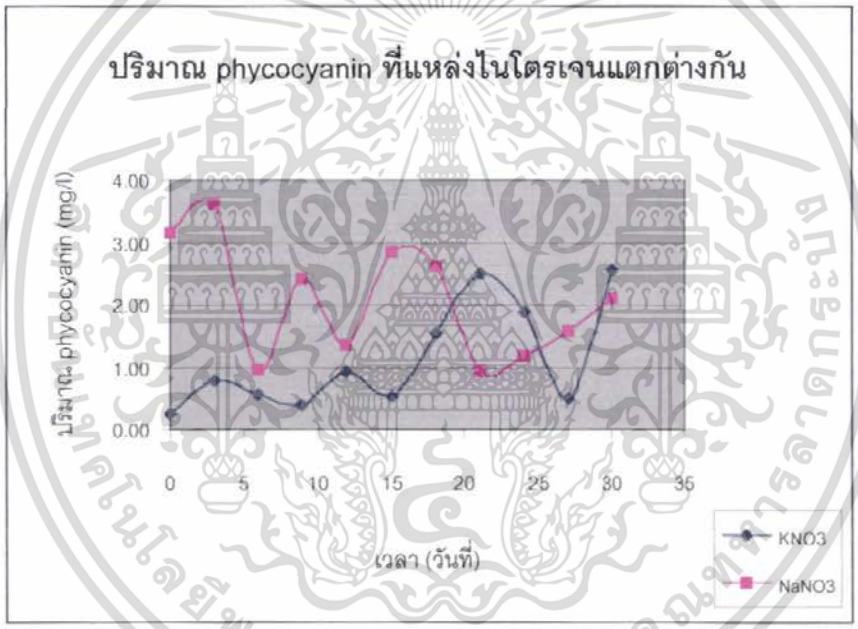
4.2.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ผลการวิเคราะห์พบว่า *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ มีแนวโน้มว่าจะได้ปริมาณ phycocyanin สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ช่วงเวลาที่มีปริมาณ phycocyanin มากที่สุด คือ วันที่ 6 เท่ากับ 3.61 ± 0.06 mg/l และที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุด คือ วันที่ 30 เท่ากับ 2.55 ± 0.54 mg/l (ตารางผนวกที่ 20) ปริมาณ phycocyanin ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 22)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin ของสาหร่าย *C. marchica* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 นั้นในวันที่เลี้ยงวันแรกโดยที่การเลี้ยงอาหารทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่พอเลี้ยงไปถึงวันที่ 30 การที่เลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่การที่เลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 ทำให้มีปริมาณ phycocyanin เฉลี่ยวันสุดท้ายสูงสุดคิดเป็น 2.55 mg/l

จากการที่ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ phycobilisomes มีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (Van Eykelenburg, 1979) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Myers และ Kratz (1955) ที่พบว่า phycocyanin จะมีปริมาณมากขึ้น เมื่อมีแสงจำกัด นอกจากนี้ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน phycocyanin ยังเป็นแหล่งสะสมไนโตรเจนซึ่งจะให้ธาตุไนโตรเจนแก่สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน phycocyanin จะดูดจับพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 625-630 นาโนเมตร



ภาพที่ 22 กราฟแสดงปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ในสาหร่ายเกลียวทอง phycocyanin จะมีปริมาณมากที่สุด เมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีความเข้มข้นของ nitrogen มากเกินพอ (Boussiba และ Richmond, 1980) และได้ศึกษาความเป็นไปได้ของ phycocyanin ในการเป็นแหล่ง nitrogen ภายในเซลล์ของสาหร่ายเกลียวทอง โดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มี nitrogen จากการใส่โซเดียมไนเตรท 2 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ ความเข้มข้นของไนเตรทเท่ากับ 29.4 และ 3.7 มิลลิโมลาร์ พบว่าการเจริญจำเพาะ (ต่อชั่วโมง) อัตราผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิต (มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตรต่อชั่วโมง) ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และความเข้มข้นของ chlorophyll (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ในสาหร่ายที่เจริญอยู่ในแต่ละระดับความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณ phycocyanin ในสาหร่ายที่เจริญอยู่ในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนเตรทต่ำกว่ามีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดจึงสรุปได้ว่า phycocyanin มีอยู่เป็นปริมาณมากในเซลล์สาหร่ายและมีการลดปริมาณลงเพื่อให้ธาตุ nitrogen แก่สาหร่าย

สาหร่าย *Calothrix marchica* สามารถผลิตสารสี phycoerythrin ได้ปริมาณมากที่สุดภายใต้การเลี้ยงในความเข้มแสงที่ 1680 lux ซึ่ง phycoerythrin จะดูดจับพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 570-580 นาโนเมตร จากการที่ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุประกอบ ทำให้ phycobilisomes มีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (Van Eykelenburg, 1979) ระดับของ phycoerythrin จะลดต่ำลงเมื่อได้รับแสงสีแดงแต่จะเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้ามเมื่อได้รับแสงสีเขียว

ข้อมูลของการเจริญเติบโตและปริมาณสารสีเพิ่มขึ้นหรือลดลงสาเหตุอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในบางช่วงอาจสูงหรือต่ำเกินไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเนื่องจากในบางช่วงเวลาที่ไม่ได้มีการเปิดเครื่องปรับอากาศพบว่าภายในห้องเลี้ยงสาหร่ายค่อนข้างที่จะร้อนอุณหภูมิไม่คงที่ นอกจากนี้อาจเกิดจากสาเหตุที่ปั๊มออกซิเจนมีความแรงไม่พอหรือบางครั้งไฟเกิดดับหลายครั้งทำให้ไม่มีออกซิเจนให้สาหร่ายจึงทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตลดลงและสาเหตุที่ปั๊มออกซิเจนมีความแรงไม่พอทำให้เซลล์สาหร่ายเกิดการกระจายตัวไม่ดีมีการเกาะกลุ่มกันมากขึ้นทำให้สาหร่ายได้รับสารอาหารไม่ทั่วถึงจึงทำให้การเจริญเติบโตไม่คงที่และอาจเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทำการทดลองเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Calothrix marchica* ในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 สูตร คือ BG-11, N-free medium และ Chlorella medium จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งพบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 ปริมาณเฉลี่ย คือ 0.82±0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 ปริมาณเฉลี่ย คือ 1.73±0.03 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium ปริมาณเฉลี่ย คือ 12122.92±1.66 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 ปริมาณเฉลี่ย คือ 8.56±0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสูตรอาหาร Chlorella medium ปริมาณเฉลี่ย คือ 3.68±0.06 mg/l

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ ความเข้มแสง 637 lux, ความเข้มแสง 1680 lux และแสง UV จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งพบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux ปริมาณเฉลี่ย คือ 0.82± 0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux ปริมาณเฉลี่ย คือ 1.73±0.03 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux ปริมาณเฉลี่ย คือ 3689.58±2.17 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในสภาวะความเข้มแสง 1680 lux ปริมาณเฉลี่ย คือ 8.56±0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงโดยการใช้แสง UV ปริมาณเฉลี่ย คือ 14.27± 0.06 mg/l

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 อุณหภูมิ คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งพบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และเลี้ยงในอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.47±0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณเฉลี่ย คือ 1.07±0.07 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณเฉลี่ย คือ 2698.67±0.73 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณเฉลี่ย คือ 2.51±0.06 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสี phycocyanin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณเฉลี่ย คือ 2.97±0.06 mg/l

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. marchica* ในอาหารสูตร BG-11 ที่มีแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ อาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ และอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน KNO_3 จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งพบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ปริมาณเฉลี่ย คือ 0.82±0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี carotenoid พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ปริมาณเฉลี่ย คือ 1.73±0.03 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ปริมาณเฉลี่ย คือ 1689.58±2.17 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycoerythrin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ปริมาณเฉลี่ย คือ 8.59±0.01 mg/l จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสี phycocyanin พบปริมาณมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจน $NaNO_3$ ปริมาณเฉลี่ย คือ 3.61±0.06 mg/l

สาหร่าย *Calothrix marchica* สามารถผลิตสารสี phycoerythrin ได้ปริมาณมากที่สุดภายใต้การเลี้ยงในความเข้มแสงที่ 1680 lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ขวัญใจ สุขขี. 2530. การศึกษาทางสัณฐานวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวกที่มีเฮเทอโรซีสต์สกุล *Calothrix* ในอาหารผสมที่มีฟอสฟอรัสต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2 น.

มะลิ บุณยรัตผลิน, กิจการ ศุภมาตย์ และ ชูศักดิ์ บริสุทธิ์. 2543. ระบบภูมิคุ้มกันโรคในกุ้งกุลาดำ : VIII. ผลของสารสี (astaxanthin) ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด ระบบภูมิคุ้มกันโรค และความต้านทานโรคในกุ้งกุลาดำ. *วารสารสงขลานครินทร์* 22 : 7 น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2529. แพลงก์ตอน. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 289 น.

สรวิศ เผ่าทองสุข. 2536. การเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยง *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) เพื่อผลิตเบตาคาโรทีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 356 น.

สรวิศ เผ่าทองสุข, สุชนา วิเศษสังข์ และเปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2538 ข. ผลของความเข้มแสง ปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตและ pH ต่ออัตราการเจริญและปริมาณคาโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Dunaliella salina*. *วารสารวาริชศาสตร์* 1(2) : 177-184.

สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. 2529. สรีรวิทยาของพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 330 น.

หัสนัย กองแก้ว. 2531. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. *วารสารการประมง* 41 (4) : 381-385.

Allen, M.M. and Smith, A.J. 1969. Nitrogen cholorosis in blue-green algae. Arch. Microbiolo. 69(114) : 45-48

Becker, E.W. and L.V. Venkataraman. 1984. Production and Utilization of the Blue-green algae *Spirilina* in India, pp. 105-125. *In* j. Coombs and D.O. Hall (eds.). A reprint from Biomass, An International Journal. Elsevier Applied Science Publishers, England.

Ben-Amotz, A., I. Sussmann and M. Avron. 1991. Glycerol production by *Dunaliella* Experientia 38 : 49 – 52.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ben-Amotz, A. and M. Aron. 1983. On the facter which determine massive β-carotene accumulation in the halotolerant algae *Dunaliella bardawil*. Plant Physiol. 72 : 593-597.

Ben-Amotz, A. and A. Shaish. 1992. Betacarotene biosynthesis, pp. 205-216. *In* M. Avron and A. Ben-Amotz (eds.). *Dunaliella*: Physiology, Biochemistry, and Biotechnology. CRC Press, Inc Boca Raton, Florida.

Ben-Amotz, A., A. Shaish and M. Avron. 1989. Mode of action of the accumulate β-carotene of *Dunaliella bardawil* in protecting the alga against damage excess irradiation. Plant Physiol. 91 : 1040-1043.

Bendich, A. 1989. Carotenoids and the immune response. J. Nutr. 119 : 112-115.

Bogorad, L. 1975. Phycobiliproteins and complementary chromatic adaptation. Ann. Rev. Plant Physiolo. 26 : 369-401.

Bogorad, L. 1975. Phycobiliproteins and complementary chromatic adaptation, p. 143. **อ้างโดย** S. Boussiba and A.E. Richmond. 1980. C-phycocyanin as a storage protein in the blue-green alga *Spirulina platensis*. Arch. Microbiol. 125 : 143-147.

Borowitzka, M.A. 1988. Vitamins and fine chemicals from micro-algae, pp. 153-196. *In* M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka (eds.). Micro-Algae Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge.

Borowitzka, M.A. and L.J. Borowitzka. 1988. *Dunaliella*, pp. 27 – 58. *In* M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka (eds.). Micro. Biotech. Cambridge University Press, Cambride. **อ้างโดย** รวมทรัพย์ ชำนาญธนา. 2540. **การเลี้ยง *Dunaliella salina* ในช่วงระยะเวลาที่ให้แสงแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 8 น.**

Boussiba, S. and A.E. Richmond. 1980. C-phycocyanin as a storage protein in the blue-green alga *Spirulina platensis*. Arch. Microbiol. 125 : 143-147.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boussiba, S. and A. Vonshak. 1991. Astaxanthin accumulation in the green alga *Haematococcus pluvialis.* Plant Cell Physiology 32(7) : 1077-1082.

Chien, Yew-Hu and Shu-Ching Jeng. 1992. Pigmentation of Kuruma prawn, *Penaeus japonicus* Bate, by various pigment sources and levels and feeding regimes. Aquaculture 102 : 333-346

Desikachary, T.V. 1959. Cyanophyta. India Council of Agriculture Research, New Delhi. 621 p. **อ้างโดย** ขวัญใจ สุขขี. 2530. การศึกษาทางสัณฐานวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวกที่มีเฮเทอโรซีสต์สกุล *Calothrix* ในอาหารผสมที่มีฟอสฟอรัสต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2 น.

Falkwski, P.G. 1980. Light-shade adaptation in marine phytoplankton, pp. 99-119. *In* P.G. Falkoski (ed.). Primary Productivity in the Sea. Plenum Press, New York.

Fan, L., A. Vonshak and S. Boussiba. 1994. Effect of temperature and irradiance on growth of *Haematococcus pluvialis* (Chlorophyceae). J. Phycology 30 : 829-833.

Fox, H.M. 1957. The pigment of fishes, pp. 365-385. *In* M.E. Brown (ed.). Physiology of Fish. Academic Press, New York

Fox, H.M. and G. Vevers. 1960. The Nature of Animal Colours. Sidgwick and Jackson Limited, London. 270 p.

Gomez-Pinchetti, J.L., Z. Ramazanov, A. Fontes and G. Garcia-Reina. 1992. Photosynthetic characteristics of *Dunaliella salina* (Chlorophyceae, Dunaliellales) in relation to β-carotene content J. appl. Phycol. 4 : 11-15. **อ้างโดย** รวมทรัพย์ ชำนาญธนา. 2540. การเลี้ยง *Dunaliella salina* ในช่วงระยะเวลาที่ให้แสงแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 8 น.

Goodwin, W. and M. Jamikron. 1954. Studies in carotenogenesis. II. Carotenoid synthesis in the alga *Haematococcus pluvialis.* Biochem J. 57 : 376-381.

Grant, B.R. 1967. Action of light on marine and nitrite assimilation by the marine Chlorophyta, *Dunaliella tertiolectc* (Butcher). J. Gen. Microbiol. 54 : 327-336.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harker, M., A.J. Tsavalos and A.J. Young. 1996a. Factors responsible for astaxanthin formation in the Chlorophyte *Haematococcus pluvialis*. Bioresources Technol. 55 : 207-214.

Herrera, A., S. Boussiba, V. Napolene and A. Hohlberg. 1989. Recovery of c-phycocyanin from the cyanobacterium *Spirulina maxima*. J. Appl. Phycol. 1 : 325-331.

Humm, H.J. and S.R. Wicks. 1980. Introduction and Guide to the Marine Blue-green Algae. A Wiley-Interscience Publication, New York. 194 p.

Jyonouchi, H., RJ Hill, Y Tomita and RA Good. 1991. Studies of immunomodulating actions of carotenoids. I. Effect of β-carotenoid and astaxanthin on murine lymphocyte functions and cell surface marker expression in *in vitro* culture system. Nutrition and Cancer 16 : 93-105.

Kobayashi, M., T. Kakizono., N. Nishio and S. Nagai. 1992a Effects of light intensity light quality and illumination cycle on astaxanthin formation in a green alga, *Haematococcus pluvialis*. J. Ferment. Bioeng. 74 : 61-63.

Lee, Y.K. and C.W. Soh. 1991. Accumulation of astaxanthin in *Haematococcus lacutris* (Chlorophyta). J. Phycology 27 : 575-577.

Loeblich, L.A. 1982. Photosynthesis and pigment influenced by light intensity and salinity in the halophile *Dunaliella salina* (Chlorophyta). J. Mar. Biol.Ass., UK. 62 : 493 – 508.

Shaish, A., A Ben-Amotz and M. Avron. 1991. Production and selection of high beta-carotene mutants of *Dunaliella badawil* (Chlorophyta). J. Phycol. 27 : 652 – 656.

Miki, W. 1991. Biological functions and activities of animal carotenoids. Pure & Appl. Chem. 63 : 141-161.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Myers, J. and K.A. Kratz. 1955. Relation between pigment content and photosynthetic characteristics in a blue-green alga, p. 614. **อ้างโดย** E. Tel-Or, S. Boussiba and A.E. Richmond. Products and chemical from *Spirulina platensis*, pp. 611-618. In G. Shelef and C.J. Soeder (eds.). Algae Biomass. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam.

Pfander,. H. 1992. Carotenoids : an overview. Methods in Enzymology 213 : 3-13.

Rentrom, B., G. Borch, O.M. Skulberg and S.Liaaen-Jensen. 1981. Optical purity of (3S, 3'S)-astaxanthin from *Haematococcus pluvialis.* Phytochemistry 20 : 2561-2564.

Richmond, A. 1986 a. Microlgae of economic potential, pp. 199-243. *In* A. Richmond (ed.). CRC Handbook of Microalgae Mass Culture. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Riley, J. B. and R. Chester. 1971. Introduction to Marine Chemistry. Academic Press, New York. 490 p.

Round, F.E. 1973. The Biology of the Algae. St. Martin's Press, New York. 278 p.

Shaish, A., M. Avron, U. Pick and A. Ben-Amotz. 1993. Are active oxygen species involved in induction of betacarotene in *Dunaliella bardawil.* Planta 190:363-368.

Tjahjono, E.A., Y. Hayama, T. Kakizono, Y. Terade, N. Nishio and S. Nagai. 1994. Hyper-accumulation of astaxanthin in a green alga, *Haematococcus pluvialis* at elevated temperatures. Biotech. Letters 16 : 133-138.

Tocan, A.G.J. 1981. Speculative review of possible carotenoid function in fish. Prog. Fish - Cult 43 : 205-208.

Van Eykelenburg, C. 1979. The ultrastructure of *Spirulina platensis* in relation to temperature and light intensity. Antonie van Leeuwenhoek 45 : 369-390.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Venkataraman, L.V. 1983. A monograph on *Spirulina platensis* Department of Science and Technology, India. 100 p. **อ้างโดย สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา. 2533. คุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**

Yamaoka, Y., O. Takimura, H. Fuse, K. Kaminura, E. Manabe, H. Takano and N. Hirano. 1992. Effect of various environmental factors of β-carotene production by *Dunaliella salina*. Hokkokugaku 70 : 25-28.

" *Calothrix* " 2003. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.google.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

วันที่	BG-11	N-free medium	Chlorella medium
0	0.08±0.02 [a]	0.09±0.02 [a]	0.12±0.05 [b]
3	0.16±0.02 [b]	0.05±0.01 [a]	0.37±0.03 [c]
6	0.13±0.01 [a]	0.16±0.01 [b]	0.26±0.02 [c]
9	0.38±0.01 [c]	0.06±0.03 [a]	0.26±0.02 [b]
12	0.18±0.02 [a]	0.18±0.01 [a]	0.39±0.01 [b]
15	0.39±0.02 [b]	0.17±0.05 [a]	0.66±0.01 [c]
18	0.58±0.02 [c]	0.29±0.02 [b]	0.25±0.02 [a]
21	0.61±0.01 [c]	0.37±0.00 [a]	0.50±0.04 [b]
24	0.61±0.01 [c]	0.33±0.01 [a]	0.49±0.04 [b]
27	0.78±0.01 [b]	0.81±0.03 [b]	0.33±0.03 [a]
30	0.82±0.01 [c]	0.63±0.01 [a]	0.65±0.01 [b]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

วันที่	BG-11	N-free medium	Chlorella medium
0	0.11±0.03 [a]	0.05±0.04 [a]	0.09±0.04 [a]
3	0.15±0.04 [a]	0.10±0.04 [a]	0.24±0.02 [b]
6	0.14±0.04 [a]	0.27±0.05 [b]	0.17±0.02 [ab]
9	0.36±0.02 [c]	0.05±0.03 [a]	0.19±0.05 [b]
12	0.97±0.06 [b]	0.53±0.01 [a]	0.48±0.04 [a]
15	0.65±0.03 [b]	0.41±0.02 [a]	0.33±0.05 [a]
18	0.85±0.05 [b]	0.84±0.01 [b]	0.34±0.03 [a]
21	1.67±0.01 [b]	0.91±0.02 [a]	0.93±0.03 [a]
24	0.14±0.02 [a]	0.13±0.01 [a]	0.73±0.05 [b]
27	1.73±0.03 [c]	1.10±0.06 [b]	0.42±0.01 [a]
30	1.02±0.01 [c]	0.39±0.03 [a]	0.63±0.03 [b]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

วันที่	BG-11	N-free medium	Chlorella medium
0	269.87±1.46[b]	284.63±1.12[b]	73.79±1.12[a]
3	497.57±1.00[b]	147.58±2.10[a]	506.00±0.28[b]
6	887.61±1.70[b]	366.85±0.87[a]	2675.48±1.56[c]
9	1045.73±0.49[b]	278.30±1.90[a]	5062.11±1.04[c]
12	1705.64±0.64[a]	1551.73±1.16[a]	6472.58±1.82[b]
15	874.96±0.96[b]	708.40±2.27[a]	8939.33±0.44[c]
18	193.12±0.59[b]	72.74±0.78[a]	700.39±0.07[c]
21	1960.75±2.68[b]	455.40±1.07[a]	7231.58±4.29[c]
24	1026.76±0.63[b]	704.18±1.22[a]	8374.30±1.46[c]
27	2154.72±0.82[b]	1045.73±2.55[a]	6217.48±0.87[c]
30	3689.58±2.17[a]	4492.86±3.42[b]	12122.92±1.66[c]

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

วันที่	BG-11	N-free medium	Chlorella medium
0	1.44±0.48 [a]	0.82±0.06 [a]	0.85±0.10 [a]
3	2.57±0.17 [b]	0.45±0.46 [a]	0.41±0.08 [a]
6	5.24±0.05 [c]	1.27±0.67 [a]	2.28±0.10 [b]
9	2.99±0.05 [c]	2.14±0.07 [b]	1.25±0.05 [a]
12	8.56±0.01 [c]	3.06±0.09 [b]	1.26±0.17 [a]
15	3.41±0.01 [c]	1.97±0.03 [a]	2.26±0.00 [b]
18	2.81±0.06 [b]	3.03±0.05 [b]	1.26±0.13 [a]
21	4.33±0.09 [b]	4.02±0.02 [b]	0.54±0.30 [a]
24	0.80±0.06 [b]	1.16±0.11 [c]	0.58±0.07 [a]
27	3.11±0.10 [b]	2.87±0.05 [b]	0.74±0.08 [a]
30	1.67±0.16 [c]	1.19±0.13 [b]	0.68±0.04 [a]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

วันที่	BG-11	N-free medium	Chlorella medium
0	3.15±0.04 [c]	0.38±0.16 [a]	1.09±0.06 [b]
3	3.61±0.06 [c]	1.22±0.38 [a]	2.13±0.08 [b]
6	0.95±0.15 [a]	1.06±0.24 [a]	2.26±0.17 [b]
9	2.41±0.05 [b]	2.57±0.06 [b]	0.58±0.18 [a]
12	1.35±0.20 [b]	0.66±0.40 [a]	3.68±0.06 [c]
15	2.84±0.02 [c]	1.67±0.06 [a]	2.71±0.04 [b]
18	2.61±0.11 [b]	2.34±0.16 [b]	1.32±0.13 [a]
21	0.92±0.28 [a]	1.03±0.11 [a]	1.09±0.33 [a]
24	1.19±0.12 [b]	1.75±0.18 [c]	0.62±0.06 [a]
27	1.57±0.30 [a]	2.34±0.09 [b]	1.48±0.16 [a]
30	2.10±0.05 [b]	0.82±0.23 [a]	0.74±0.17 [a]

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เข้มแสงแตกต่างกัน

วันที่	637 lux	1680 lux	UV
0	0.11±0.05 [b]	0.08±0.02 [a]	0.11±0.04 [b]
3	0.12±0.03 [b]	0.16±0.02 [c]	0.07±0.04 [a]
6	0.07±0.06 [a]	0.13±0.01 [b]	0.07±0.05 [a]
9	0.13±0.03 [a]	0.38±0.01 [c]	0.17±0.06 [b]
12	0.15±0.04 [a]	0.18±0.02 [a]	0.37±0.09 [b]
15	0.15±0.05 [a]	0.39±0.08 [c]	0.27±0.02 [b]
18	0.17±0.05 [a]	0.58±0.02 [b]	0.16±0.05 [a]
21	0.31±0.03 [b]	0.61±0.01 [c]	0.20±0.05 [a]
24	0.16±0.04 [a]	0.61±0.01 [c]	0.20±0.03 [b]
27	0.07±0.07 [a]	0.78±0.01 [c]	0.16±0.08 [b]
30	0.37±0.07 [a]	0.82±0.01 [c]	0.57±0.07 [b]

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

วันที่	637 lux	1680 lux	UV
0	0.06±0.02[a]	0.11±0.03[a]	0.05±0.04[a]
3	0.05±0.04[a]	0.15±0.04[a]	0.06±0.03[a]
6	0.05±0.01[a]	0.14±0.04[a]	0.07±0.03[a]
9	0.06±0.02[a]	0.36±0.02[c]	0.17±0.07[b]
12	0.05±0.03[a]	0.97±0.06[b]	0.17±0.05[a]
15	0.11±0.03[a]	0.65±0.03[c]	0.38±0.03[b]
18	0.11±0.03[a]	0.85±0.05[b]	0.09±0.05[a]
21	0.21±0.04[a]	1.67±0.01[b]	0.17±0.07[a]
24	0.21±0.03[b]	0.14±0.02[a]	0.15±0.06[a]
27	0.12±0.02[a]	1.73±0.03[c]	0.23±0.04[b]
30	0.42±0.01[a]	1.02±0.01[c]	0.63±0.03[b]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

วันที่	637 lux	1680 lux	UV
0	141.26±0.81 [b]	269.87±1.46 [c]	50.60±0.89 [a]
3	25.30±3.33 [a]	497.57±1.00 [c]	255.11±0.60 [b]
6	210.83±4.78 [a]	887.61±1.70 [c]	531.30±2.47 [b]
9	210.83±2.19 [a]	1045.73±0.49 [c]	541.84±2.88 [b]
12	575.58±1.21 [a]	1705.64±0.64 [b]	611.42±1.41 [a]
15	640.93±1.53 [b]	874.96±0.96 [c]	288.84±2.27 [a]
18	546.06±2.56 [b]	193.12±0.59 [a]	1275.54±6.35 [c]
21	858.09±2.85 [a]	1960.75±2.68 [b]	796.95±1.03 [a]
24	480.70±2.56 [a]	1026.76±0.63 [b]	2449.88±8.26 [c]
27	366.85±1.75 [a]	2154.72±0.82 [c]	699.97±3.95 [b]
30	560.82±0.67 [a]	3689.58±2.17 [c]	1631.85±2.22 [b]

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

วันที่	637 lux	1680 lux	UV
0	0.78 ± 0.05^{ab}	1.44 ± 0.48^{b}	0.54 ± 0.12^{a}
3	0.83 ± 0.05^{a}	2.57 ± 0.17^{c}	1.34 ± 0.04^{b}
6	0.70 ± 0.12^{a}	5.24 ± 0.05^{c}	1.44 ± 0.09^{b}
9	0.80 ± 0.11^{a}	2.99 ± 0.05^{b}	0.68 ± 0.06^{a}
12	0.66 ± 0.09^{a}	8.56 ± 0.01^{c}	1.15 ± 0.12^{b}
15	1.04 ± 0.05^{a}	3.41 ± 0.01^{b}	1.02 ± 0.02^{a}
18	2.13 ± 0.04^{b}	2.81 ± 0.06^{c}	0.95 ± 0.05^{a}
21	1.14 ± 0.02^{a}	4.33 ± 0.09^{b}	1.34 ± 0.08^{a}
24	1.10 ± 0.03^{c}	0.80 ± 0.06^{b}	0.36 ± 0.17^{a}
27	1.09 ± 0.09^{a}	3.11 ± 0.10^{c}	1.34 ± 0.05^{b}
30	2.37 ± 0.01^{b}	1.67 ± 0.16^{a}	3.73 ± 0.03^{c}

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

วันที่	637 lux	1680 lux	UV
0	1.28±0.00 [b]	3.15±0.04 [c]	0.40±0.07 [a]
3	0.92±0.08 [b]	3.61±0.06 [c]	0.49±0.16 [a]
6	0.76±0.09 [a]	0.95±0.15 [a]	1.71±0.04 [b]
9	1.00±0.13 [a]	2.41±0.05 [c]	1.49±0.09 [b]
12	0.93±0.16 [a]	1.35±0.20 [b]	1.75±0.04 [c]
15	0.99±0.10 [a]	0.84±0.02 [b]	1.06±0.07 [a]
18	0.57±0.19 [a]	2.61±0.11 [b]	0.80±0.10 [a]
21	1.50±0.06 [c]	0.92±0.28 [b]	0.46±0.26 [a]
24	1.73±0.04 [b]	1.19±0.12 [a]	14.27±0.06 [c]
27	2.05±0.13 [b]	1.57±0.30 [b]	0.94±0.08 [a]
30	1.96±0.20 [a]	2.10±0.05 [a]	2.88±0.06 [b]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (mg/l) *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิแตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	0.04±0.03 [a]	0.12±0.03 [c]	0.11±0.02 [c]	0.07±0.03 [b]
3	0.09±0.02 [a]	0.13±0.01 [b]	0.37±0.03 [c]	0.09±0.04 [a]
6	0.24±0.01 [c]	0.14±0.04 [b]	0.12±0.03 [a]	0.11±0.03 [a]
9	0.26±0.01 [c]	0.10±0.02 [a]	0.10±0.06 [a]	0.13±0.01 [b]
12	0.29±0.01 [d]	0.19±0.01 [b]	0.16±0.02 [a]	0.21±0.02 [c]
15	0.32±0.03 [c]	0.12±0.05 [a]	0.27±0.04 [b]	0.13±0.05 [a]
18	0.32±0.02 [b]	0.22±0.03 [a]	0.32±0.02 [b]	0.22±0.03 [a]
21	0.28±0.01 [a]	0.44±0.01 [c]	0.46±0.02 [d]	0.37±0.02 [b]
24	0.47±0.01 [b]	0.20±0.01 [a]	0.47±0.01 [b]	0.18±0.05 [a]
27	0.45±0.01 [c]	0.37±0.03 [b]	0.43±0.03 [c]	0.22±0.05 [a]
30	0.42±0.02 [c]	0.32±0.03 [b]	0.22±0.05 [b]	0.16±0.02 [a]

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิแตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	0.10±0.03^{a}	0.08±0.03^{a}	0.05±0.02^{a}	0.05±0.03^{a}
3	0.07±0.03^{a}	0.61±0.01^{b}	0.63±0.07^{b}	0.08±0.03^{a}
6	0.11±0.02^{b}	0.04±0.04^{ab}	0.04±0.10^{ab}	0.03±0.02^{a}
9	0.13±0.01^{b}	0.08±0.03^{b}	0.02±0.04^{a}	0.16±0.03^{c}
12	0.13±0.01^{a}	0.12±0.07^{ab}	0.13±0.08^{ab}	0.19±0.05^{b}
15	0.23±0.04^{b}	0.15±0.05^{a}	0.12±0.02^{a}	0.14±0.04^{a}
18	0.49±0.05^{b}	0.68±0.04^{d}	0.56±0.05^{c}	0.27±0.05^{a}
21	0.78±0.02^{c}	0.98±0.02^{d}	0.55±0.07^{b}	0.23±0.04^{a}
24	1.07±0.07^{c}	0.84±0.03^{b}	0.20±0.03^{a}	0.18±0.02^{a}
27	0.96±0.02^{d}	0.61±0.05^{c}	0.33±0.02^{b}	0.19±0.03^{a}
30	0.69±0.03^{d}	0.51±0.03^{c}	0.24±0.06^{b}	0.21±0.03^{a}

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิแตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	94.88±1.72^{c}	33.73±1.66^{a}	46.38±1.42^{ab}	56.93±0.84^{b}
3	889.72±0.44^{c}	118.07±2.35^{a}	185.53±2.19^{b}	172.88±2.27^{b}
6	584.01±0.60^{c}	813.82±3.01^{d}	385.83±1.48^{b}	223.48±1.29^{a}
9	858.09±1.73^{c}	430.10±2.94^{b}	143.37±1.22^{a}	371.07±1.90^{b}
12	1049.95±1.67^{d}	695.75±2.83^{c}	103.31±0.95^{a}	215.05±1.56^{b}
15	729.48±1.91^{b}	240.35±1.63^{a}	339.44±3.90^{a}	725.27±2.28^{b}
18	801.17±2.79^{a}	1180.67±45.24^{a}	282.52±3.58^{a}	455.40±2.07^{a}
21	1524.33±3.04^{c}	366.85±1.44^{a}	337.33±2.80^{a}	543.95±1.78^{b}
24	2142.07±2.32^{a}	118.07±0.89^{a}	212.94±2.39^{a}	499.68±1.23^{b}
27	2698.67±0.73^{c}	193.97±1.89^{a}	215.05±2.83^{a}	341.55±2.40^{b}
30	2485.73±0.83^{c}	126.50±1.49^{a}	189.75±1.66^{ab}	227.70±3.16^{b}

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิแตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	1.07±0.05^{c}	0.36±0.19^{a}	1.18±0.02^{c}	0.61±0.03^{b}
3	1.12±0.15^{b}	1.00±0.15^{b}	0.66±0.08^{a}	0.72±0.12^{a}
6	1.61±0.03^{b}	0.62±0.21^{a}	0.68±0.01^{a}	0.65±0.05^{a}
9	0.73±0.11^{c}	0.58±0.03^{b}	0.32±0.11^{a}	0.64±0.08^{ab}
12	0.70±0.06^{ab}	0.60±0.15^{a}	0.82±0.11^{b}	0.56±0.08^{a}
15	0.70±0.12^{b}	0.83±0.11^{b}	0.80±0.11^{b}	0.33±0.10^{a}
18	1.88±0.05^{a}	0.50±0.03^{a}	0.60±0.03^{a}	1.17±0.10^{b}
21	1.04±0.10^{b}	0.65±0.14^{a}	0.72±0.10^{a}	0.78±0.18^{a}
24	1.20±0.05^{b}	1.86±0.03^{d}	1.30±0.04^{c}	0.49±0.08^{a}
27	1.18±0.14^{b}	1.56±0.12^{c}	1.78±0.02^{c}	0.77±0.10^{a}
30	2.51±0.06^{d}	1.52±0.04^{c}	1.36±0.09^{b}	0.38±0.05^{a}

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิแตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	0.72±0.05[a]	0.90±0.11[b]	0.72±0.08[a]	0.68±0.04[a]
3	1.01±0.08[b]	0.49±0.05[a]	1.58±0.12[c]	0.55±0.16[a]
6	1.28±0.12[c]	1.41±0.13[c]	0.60±0.13[a]	1.01±0.04[b]
9	0.37±0.06[a]	0.87±0.04[b]	1.27±0.09[c]	1.16±0.09[c]
12	0.59±0.24[a]	0.82±0.02[b]	0.81±0.02[b]	1.18±0.07[c]
15	0.69±0.14[a]	0.73±0.16[a]	1.12±0.06[b]	1.32±0.08[b]
18	0.76±0.24[b]	0.97±0.14[b]	1.01±0.10[b]	0.40±0.21[a]
21	0.71±0.29[a]	1.34±0.09[b]	0.70±0.23[a]	0.79±0.08[a]
24	1.72±0.06[b]	0.67±0.09[a]	0.68±0.17[a]	0.61±0.07[a]
27	1.29±0.11[b]	0.76±0.09[a]	1.19±0.16[b]	1.65±0.18[c]
30	2.97±0.06[c]	0.58±0.23[a]	2.23±0.03[b]	0.76±0.14[a]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้ง (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

วันที่	KNO_3	$NaNO_3$
0	0.07±0.07 [a]	0.08±0.02 [a]
3	0.09±0.08 [a]	0.16±0.02 [a]
6	0.03±0.08 [a]	0.13±0.01 [b]
9	0.07±0.05 [a]	0.38±0.01 [b]
12	0.13±0.05 [a]	0.18±0.02 [b]
15	0.14±0.05 [a]	0.39±0.08 [b]
18	0.13±0.07 [a]	0.58±0.02 [b]
21	0.15±0.11 [a]	0.61±0.01 [b]
24	0.39±0.13 [a]	0.61±0.01 [b]
27	0.11±0.05 [a]	0.78±0.01 [b]
30	0.39±0.02 [a]	0.82±0.01 [b]

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ carotenoid (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

วันที่	KNO_3	$NaNO_3$
0	0.04 ± 0.04^{a}	0.11 ± 0.03^{b}
3	0.11 ± 0.05^{a}	0.15 ± 0.04^{b}
6	0.10 ± 0.02^{a}	0.14 ± 0.04^{b}
9	0.13 ± 0.07^{a}	0.36 ± 0.02^{b}
12	0.38 ± 0.05^{a}	0.97 ± 0.06^{b}
15	0.30 ± 0.09^{a}	0.65 ± 0.03^{b}
18	0.25 ± 0.03^{a}	0.85 ± 0.05^{b}
21	0.17 ± 0.04^{a}	1.67 ± 0.01^{b}
24	0.64 ± 0.06^{a}	0.14 ± 0.02^{b}
27	0.56 ± 0.04^{a}	1.73 ± 0.03^{b}
30	1.20 ± 0.06^{a}	1.02 ± 0.01^{b}

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ chlorophyll (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

วันที่	KNO_3	$NaNO_3$
0	75.90±2.90[a]	269.87±1.46[b]
3	54.82±5.01[a]	497.57±1.00[b]
6	301.49±9.26[a]	887.61±1.70[b]
9	756.89±8.49[a]	1045.73±0.49[a]
12	725.27±7.47[a]	1705.64±0.64[b]
15	1121.63±16.21[a]	874.96±0.96[a]
18	664.13±7.13[a]	193.12±0.59[b]
21	1049.95±15.95[a]	1960.75±2.68[b]
24	1254.46±14.22[a]	1026.76±0.63[a]
27	676.78±1.84[a]	2154.72±0.82[b]
30	1199.64±0.92[a]	3689.58±2.17[b]

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycoerythrin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

วันที่	KNO_3	$NaNO_3$
0	0.27 ± 0.20^{a}	1.44 ± 0.48^{b}
3	0.76 ± 0.18^{a}	2.57 ± 0.17^{b}
6	0.40 ± 0.36^{a}	5.24 ± 0.05^{a}
9	0.43 ± 0.27^{a}	2.99 ± 0.05^{b}
12	0.69 ± 0.07^{a}	8.95 ± 0.01^{b}
15	2.04 ± 0.03^{a}	3.41 ± 0.01^{b}
18	0.52 ± 0.38^{a}	2.81 ± 0.06^{b}
21	0.74 ± 0.43^{a}	4.33 ± 0.09^{b}
24	0.25 ± 0.31^{a}	0.80 ± 0.06^{a}
27	1.02 ± 0.38^{a}	3.11 ± 0.10^{a}
30	2.37 ± 0.44^{a}	1.67 ± 0.16^{b}

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ phycocyanin (mg/l) ของสาหร่าย *Calothrix marchica* ที่เลี้ยงในแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

วันที่	KNO_3	$NaNO_3$
0	0.26 ± 0.24^{a}	3.15 ± 0.04^{a}
3	0.79 ± 0.22^{a}	3.61 ± 0.06^{b}
6	0.55 ± 0.53^{a}	0.95 ± 0.15^{a}
9	0.40 ± 0.04^{a}	2.41 ± 0.05^{a}
12	0.94 ± 0.31^{a}	1.35 ± 0.20^{a}
15	0.53 ± 0.26^{a}	2.84 ± 0.02^{b}
18	1.54 ± 0.36^{a}	2.61 ± 0.11^{a}
21	2.51 ± 0.46^{a}	0.92 ± 0.28^{b}
24	1.88 ± 0.08^{a}	1.19 ± 0.12^{b}
27	0.52 ± 0.18^{a}	1.57 ± 0.30^{a}
30	2.55 ± 0.54^{a}	2.10 ± 0.05^{b}

ตัวอักษร (a,b,c) **ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น** 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Calothrix sp.*

ที่มา : www.google.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้