บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่าย

4.1.1 ปริมาณไขมันในสาหร่าย

ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *B. braunii* มีปริมาณไขมันมากที่สุด คือ 13.2 ± 0.2 % ส่วนในกลุ่มไดอะตอม *Isochrysis* sp. มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 6.3 ± 0.5 % กลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย *Arthrospira* มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 4.08 ± 0.15 % ในกลุ่มสาหร่ายขนาดใหญ่พบว่าสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 3.65 ± 0.26 % (ตารางที่ 4.1)

Wahbeh (1997) ทดลองนำสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ 4 ชนิดคือ *Ulva lactuca* (Chlorophyta), *Enteromorpha compressa* (Chlorophyta), *Padina pavonica* (Phaeophyta) และ *Laurencia obtuse* (Rhodophyta) มาศึกษาปริมาณไขมัน พบปริมาณไขมันในสาหร่ายสีเขียว *Ulva lactuca* 5.2±1.2 % และ *Enteromorpha compressa* 6.6±2.4 % และสาหร่ายสีน้ำตาลมีปริมาณไขมันทั้งหมดน้อยกว่าชนิดอื่นก็สอดคล้องกับการทดลองของ Matanjun และคณะ (2008) ได้ทำการทดลองโดยใช้สาหร่าย 3 ชนิดมาเป็นตัวแทนสาหร่ายทั้ง 3 ประเภทได้แก่ *Eucheuma cottonii* สาหร่ายสีแดง, *Caulerpa lentillifera* สาหร่ายสีเขียว และ *Sargassum polycystum* สาหร่ายสีน้ำตาล มาทำการหาปริมาณไขมันทั้งหมดโดยผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันทั้งหมด ในสาหร่าย *Sargassum polycystum* (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีน้ำตาลมีปริมาณไขมันน้อยที่สุดคือ 0.29±0.01%

4.1.2 ปริมาณและชนิดกรดไขมันที่พบในสาหร่าย

กรดไขมันที่พบในไซยาโนแบคทีเรียพบกรดไขมันโอเมกาในชนิด C18:2 Linoleic acid ในสาหร่ายทั้งหมด และพบกรดไขมันที่เหมือนกันในไซยาโนแบคทีเรียทุกชนิดคือ Palmitic acid, Palmitoleic acid และ Linoleic acid และสามารถพบ Docosahexaenoic acid หรือ DHA ได้ใน *Mastigocladopsis* โดยกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid (ตารางที่ 4.2) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Matsunaga et al. (1995) ที่บันทึกไว้ว่าไซยาโนแบคทีเรียส่วนมากจะพบ กรดไขมัน C16:1 Palmitoleic acid อยู่อย่างโดดเด่นซึ่งในการทดลองนี้พบ C16:1 Palmitoleic acid ในสาหร่าย *Phormidium* sp. 54.5% และสาหร่าย *Oscillatoria* sp. 54.4% และจัดเป็นกรดไขมันที่มีมากที่สุดกว่ากรดไขมันชนิดอื่น

กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียวทุกชนิดคือ Palmitic acid, Palmitoleic acid และ Oleic acid โดยชนิดกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 22-62 %ของกรดไขมันทั้งหมด โดยพบว่าสามารพพบ EPA ได้ในสาหร่าย *Chlorella* น้ำเค็ม และ *U. intestinalis* และพบ DHA ได้ในสาหร่าย Chlorella ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่าย

	ชนิดสาหร่าย	**ปริมาณไขมันทั้งหมด (%)**
Microalgae		
Cyanobacteria	*Hapalosiphon*	3.5 ± 0.0
	Stigonema	2.3 ± 0.4
	Nostoc	1.6 ±. 0.2
	Fischerella	1.5 ± 0.0
	Phormidium	2.3 ± 0.0
	Arthrospira	4.1 ± 0.1
	Mastigocladopsis	2.1 ± 0.0
	Oscillatoria	2.1 ± 0.0
Green algae	*Chlorella* sp. freshwater	4.5 ± 0.0
	Chlorella -marine	2.1 ± 0.1
	Botryococcus braunii K0	12.2 ± 0.5
	B. braunii K1	12.5 ± 0.5
	B. braunii K2	13.2 ± 0.2
	B. braunii K4	12.3 ± 0.4
	B. braunii K5	10.1 ± 0.4
Prasinophyte	*Tetraselmis* sp.	5.0 ± 0.4
Diatom	*Isochrysis* sp.	6.3 ± 0.5
	Chaetoceros sp.	2.4 ± 0.3
	Thalassiosira sp.	6.0 ± 0.5
Macroalgae		
Green algae	*Ulva*	2.3 ± 0.1
	Caullerpa lentilifera	2.2 ± 0.1
	Enteromorpha	2.1 ± 0.1
	Caullerpa	2.2 ± 0.0
	Cladophora	3.7 ± 0.3
Red algae	*Acanthophora*	2.0 ± 0.0
Brown algae	*Sagussum*	0.5 ± 0.0
	Padina	0.4 ± 0.1

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรดไขมันที่พบในสาหร่ายไดอะตอมทุกชนิดคือ Myristic acid, Palmitic acid, Palmitoleic acid และ Oleic acid โดยชนิดกรดไขมันที่แนวโน้มมีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16-44 %ของกรดไขมันทั้งหมด โดยพบว่าสามารพพบ EPA ได้ในไดอะตอมทั้งสามสกุลคือ *Chaetoceros*, *Isochrysis* และ *Tetraselmis* และพบ DHA ได้ในสาหร่าย *Chaetoceros* และ *Tetraselmis* (ตารางที่ 4.4) ส่วนใน *Acanthophora, Sargassum และ Padina* กรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid สามารถพบ EPA ได้ใน *Acanthophora* และพบ DHA ใน *Sargassum*

การศึกษาของ Hotimchenko (2002) ที่มีการบันทึกไว้ว่าพบกรดไขมัน DHA หรือ C22:6 Docosahexaenoic acid ในสาหร่าย *Ulva fenestrata* อยู่ 1.6 ± 0.1% การศึกษาของ Matanjun และคณะ (2008) ที่บันทึกไว้ว่า สาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum polycystum* มีการพบกรดไขมัน C22:6 Docosahexaenoic acid 0.13%

โดยพบว่าสาหร่ายที่มีกรดไขมันรวม C16-C18 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่เหมาะกับการนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล อยู่ในปริมาณสูงมากกว่า 90 %ได้แก่ *Stigonema, Fischerella, Arthrospira, Nostoc และ B. braunii* ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าสาหร่ายที่เหมาะสมที่จะนำไปศึกษาต่อคือ *B. braunii* เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูงที่สุด และมีชนิดกรดไขมันที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ตารางที่ 4.2 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบในไซยาโนแบคทีเรีย (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

	cyanobacteria							
ชนิดกรดไขมัน	*Phormidium*	*Stigonema*	*Oscillatoria*	*Fischerella*	*Hapalosiphon*	*Arthrospira*	*Nostoc*	*Mastigocladopsis*
C14:0 Myristic acid	0	0	0	0	10.08 ± 0.91	0	0	1.71 ± 0.19
C15:0 Pentadecanoic acid	0	0	0	0	0	0	0	1.25 ± 0.11
C16:0 Palmitic acid	33.7 ± 4.01	26.54 ± 0.66	34.63 ± 3.74	31.96 ± 0.39	24.25 ± 0.41	58.89 ± 38.6	38.2 ± 4.88	40.81 ± 4.86
C16:1 Palmitoleic acid	10.57 ± 1.99	44.95 ± 1.74	8.46 ± 0.87	40.31 ± 1.08	42.44 ± 1.61	4.28 ± 0.75	14.26 ± 1.38	17.78 ± 3.8
C18:0 Stearic acid	22.24 ± 3.77	0	0	0	0	0.97 ± 0.84	0	4.73 ± 0.91
C18:1 Oleic acid	0	15.22 ± 0.77	27.74 ± 1.14	16.01 ± 0.16	12.94 ± 0.36	3.36 ± 0.06	8.18 ± 1.15	14.11 ± 1.92
C18:2 Linoleic acid	11.21 ± 1.34	6.18 ± 0.20	18.51 ± 1.06	11.71 ± 0.54	4.85 ± 0.07	11.21 ± 1.35	12.7 ± 1.32	5.58 ± 1.98
C18:3 γ-Linolenic acid	0	0		0	0	12.16 ± 1.65	0	0
C18:3 α-Linolenic acid	0	0		0	0	0	18.58 ± 2.67	0.87 ± 0.06
C20:4 Arachidonic acid	0	0		0	0	0	0	0
C20:5 Eicosapentaenoic acid	0	0		0	0	0	0	0
C22:6 Docosahexaenoic acid	0	0		0	0	0	0	1.29 ± 0.01
Other	22.2 ± 3.09	7.1 ± 2.42	10.66 ± 4.65	0.025 ± 0.01	5.45 ± 1.52	3.12 ± 2.72	8 ± 11.40	11.86 ± 1.58
Total C16-C18	77.72	92.89	89.34	99.99	84.48	90.87	91.92	83.88

ตารางที่ 4.3 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบในสาหร่ายกลุ่มสาหร่ายสีเขียว (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

	green algae						
ชนิดกรดไขมัน	*Chlorella freshwater*	*Chlorella marine*	*U. intestinalis*	*Cladophra*	*C. racemosa*	*C. lentilifera*	*U. rigida*
C14:0 Myristic acid	2.35 ± 0.41	0	2.23 ± 0.31	17.57 ± 0.51	4.28 ± 0.99	3.89 ± 0.12	1.55 ± 0.08
C15:0 Pentadecanoic acid	0	0	0.62 ± 0.41	0	0	0	1.05 ± 0.33
C16:0 Palmitic acid	21.76 ± 0.66	23.84 ± 0.56	40.55 ± 4.46	50.8 ± 0.91	62.42 ± 8.53	55.68 ± 0.32	46.23 ± 1.05
C16:1 Palmitoleic acid	4.55 ± 0.11	5.74 ± 0.99	3.87 ± 0.44	9.80 ± 0.77	3.55 ± 0.21	5.90 ± 0.06	12.08 ± 3.10
C18:0 Stearic acid	1.01 ± 0.02	2.8 ± 0.03	0	0	0	2.19 ± 0.01	0
C18:1 Oleic acid	14.45 ± 0.37	9.4 ± 0.08	11.57 ± 1.05	21.82 ± 0.39	4.89 ± 0.46	3.83 ± 0.12	15.28 ± 3.11
C18:2 Linoleic acid	14.60 ± 0.22	23.46 ± 0.69	13.82 ± 1.21	0	8.30 ± 0.19	1.64 ± 0.10	1.25 ± 0.23
C18:3 γ-Linolenic acid	1.87 ± 0.03	0	0.83 ± 0.55	0	0	0	5.77 ± 0.24
C18:3 α-Linolenic acid	13.95 ± 0.21	20.42 ± 6.52	7.07 ± 0.42	0	3.15 ± 0.31	0	7.03 ± 1.77
C20:4 Arachidonic acid	0.21 ± 0.02	0.09 ± 0.12	1.95 ± 0.15	0	2.31 ± 0.48	0	0
C20:5 Eicosapentaenoic acid	0	0.09 ± 0.12	0.24 ± 0.16	0	0	0	0
C22:6 Docosahexaenoic acid	0.20 ± 0.04	0.065 ± 0.09	0	0	0	0	0.6
Other	25.04 ± 0.81	14.11 ± 6.54	17.26 ± 6.83	0.02 ± 0.01	11.13 ± 7.59	17.41 ± 0.39	9.14 ± 2.71
Total C16-C18	72.19	85.66	77.71	82.42	82.31	69.24	87.64

ตารางที่ 4.4 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบในสาหร่ายกลุ่มสาหร่ายสีแดง สีน้ำตาลและไดอะตอม (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

	red algae	brown algae		diatom		
ชนิดกรดไขมัน	*Acanthophora*	*Sargassum*	*Padina*	*Chaetoceros*	*Isochrysis*	*Tetraselmis*
C14:0 Myristic acid	6.07	7.65 ± 0.69	9.24 ± 0.66	12.72 ± 0.10	17.60 ± 2.0	6.20 ± 0.74
C15:0 Pentadecanoic acid	0	0	1.20 ± 0.37	0.68 ± 0.05	0	1.47 ± 0.18
C16:0 Palmitic acid	65.30 ± 10.71	60.67 ± 5.76	57.45 ± 3.89	28.99 ± 0.9	15.55 ± 2.26	44.14 ± 6.89
C16:1 Palmitoleic acid	0	5.05 ± 0.37	6.54 ± 0.95	26.00 ± 0.89	17.07 ± 8.77	24.49 ± 4.74
C18:0 Stearic acid	0	2.17 ± 0.28	5.76 ± 0.44	0	2.95 ± 0.67	1.10 ± 0.57
C18:1 Oleic acid	14.03 ± 1.88	12.89 ± 2.77	15.05 ± 1.36	17.54 ± 0.88	16.44 ± 6.20	7.14 ± 0.25
C18:2 Linoleic acid	0	2.12 ± 1.27	0	2.85 ± 0.07	1.94 ± 0.70	0
C18:3 γ-Linolenic acid	0	0	0	0	0	1.00 ± 0.54
C18:3 α-Linolenic acid	0	0	0	2.54 ± 0.34	0	0
C20:4 Arachidonic acid	0	0	0	0.86 ± 0.06	2.26 ± 1.78	1.47 ± 1.26
C20:5 Eicosapentaenoic acid	11.1 ± 0.92	0	0	0.85 ± 0.08	3.26 ± 3.43	2.28 ± 1.92
C22:6 Docosahexaenoic acid	0	0.65 ± 0.11	0	1.86 ± 0.71	0	0.58 ± 0.09
Other	6.54 ± 9.22	8.82 ± 2.42	4.79 ± 3.04	5.22 ± 0.31	22.96 ± 3.54	10.15 ± 0.25
Total C16-C18	79.33	82.9	84.8	77.92	53.95	77.87

ตารางที่ 4.5 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบใน *Botryococcus braunii* KMITL 2 (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

Fatty acid	Amount (%)	
	Hexane	Chlroform: methanol
Myristic acid (C14:0)	0.63	0.50
Pentadecanoic acid (C15:0)	-	0.14
Palmitic acid (C16:0)	35.91	32.48
Heptadecanoic acid (C17:0)	-	0.32
Stearic acid (C18:0)	11.52	12.98
Arachidic acid (C20:0)	-	0.15
Behenic acid (C22:0)	-	0.04
Lignoceric acid (C24:0)	-	0.06
Palmitoleic acid (C16:1n7)	2.36	1.91
trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t)	-	0.18
cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	3.14	1.83
trans-Linolelaidic acid (C18:2n6t)	-	7.43
cis-9, 12-Linoleic acid (C18:2n6)	23.36	20.63
gamma-Linolenic acid (C18:3n6)	4.29	4.12
alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	12.84	12.27
Arachidonic acid (C20:4n6)	-	0.04
cis-5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)	1.01	-
Total C16-C18	93.42	94.15

4.2 การศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมัน : การหาสภาวะในการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไขมันสูง

4.2.1 ปริมาณไขมันใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ระยะเวลาการเลี้ยงต่างกันคือ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่าการเลี้ยงที่ 20 วันให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 8.08 ± 0.49 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเลี้ยงที่ 30 และ 40 วัน แต่ไม่แตกต่างกับการเลี้ยง 10 วัน และพบว่าการเลี้ยงที่ 30 วัน ให้ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายแห้งที่สุดคือ 0.9771 ± 0.0719 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเลี้ยงที่ 10 และ 20 วัน แต่ไม่แตกต่างกับการเลี้ยง 40 วัน (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระยะเวลาการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
10	7.68 ± 0.46[c]	0.4143 ± 0.0074[a]	0.0318
20	8.08 ± 0.49[c]	0.6487 ± 0.0186[b]	0.0524
30	5.37 ± 0.33[b]	0.651 ± 0.0719[c]	0.034
40	1.45 ± 0.26[a]	0.9450 ± 0.0351[c]	0.0137

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ความเข้มแสงที่ต่างกันคือ 1.333, 317.5, 726 และ 1, 955 Lux พบว่าความเข้มแสงที่ 1.333 Lux ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 6.2973 ± 0. 2722 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่ 317.5 Lux แต่ไม่แตกต่างกับความเข้มแสงที่ 10 วัน 726 และ 1, 955 Lux และความเข้มแสงที่ 1, 955 Lux ให้ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายสูงที่สุดคือ 2.4862 ± 0.1329 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่ 1.333, 317.5 และ 726 Lux (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
1.333	6.30 ± 0. 27[b]	0.1937 ± 0.0418[a]	0.0122
317.5	4.67 ± 0. 49[a]	0.3721 ± 0.0169[a]	0.0174
726	5.63 ± 0. 42[ab]	0.8154 ± 0.0956[b]	0.0459
1, 955	5.04 ± 0. 45[ab]	2.4862 ± 0.1329[c]	0.1253

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ระยะเวลาการรับแสงที่ต่างกันคือ 24 : 0, 16 : 8, 14 : 10 และ 12 : 12 ชั่งโมง พบว่าระยะเวลาการรับแสงที่ 24 ชั่วโมงให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 11.0851 ± 0.9295 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการระยะเวลาการรับแสงที่ 16 :

8และ 14 : 10 ชั่วโมง แต่ไม่แตกต่างกับระยะเวลาการรับแสง 12 : 12 ชั่วโมง ระยะเวลาการรับแสงที่ 16:8 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 1.1237 ± 0.0964 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการระยะเวลาการรับแสงที่ 24 : 0, 14 : 10 และ 12 : 12 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระยะเวลาการรับแสงที่แตกต่างกัน

Light : Dark (ชม.)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
24 : 0	11.09 ± 0. 46[c]	0.2547 ± 0.0794[a]	0.0282
16 : 8	9.08 ± 0. 49[b]	1.1237 ± 0.0964[c]	0.1020
14 : 10	8.83 ± 0. 49[b]	0.6337 ± 0.0872 [b]	0.0560
12 : 12	7.25 ± 0. 41[a]	0.6501 ± 0.1129[b]	0.0472

(ความเข้มแสง 726 Lux)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ความเค็มที่ต่างกันคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มที่ 10 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 6.6346 ± 0.6856 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 0, 5, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มที่ 15 ppt ให้ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงที่สุดคือ 0.7572 ± 0.0104 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 0, 5 และ 10 ppt แต่ไม่แตกต่างกับความเค็มที่ 20 ppt (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
0	5.09 ± 0.32[a]	0.4148 ± 0.0462[a]	0.0211
5	4.98 ± 0.50[a]	0.4674 ± 0.0832[a]	0.0233
10	6.63 ± 0.34 [b]	0.4896 ± 0.0480[a]	0.0325
15	4.21 ± 0. 49[a]	0.7572 ± 0.0104[b]	0.0319
20	4.41 ± 0.47[a]	0.6909 ± 0.0261[b]	0.0304

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ปริมาณไนโตรเจนที่ต่างกันคือ 200, 100, 50, 25 และ 10 % พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 100 % ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 10.5169 ± 0.5096 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 50 และ 200 % แต่ไม่แตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 25 และ 10% พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 25 % ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 0.4377 ± 0.0373 g/L และไม่แตกต่างนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 200, 100, 50 และ 10 % (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ปริมาณไนโตรเจน (%)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
200	5.18 ± 0.88[a]	0.3284 ± 0.0664[a]	0.0170
100	10.52 ± 0.51[c]	0.3176 ± 0.0496[a]	0.0334
50	8.15 ± 0.79[b]	0.3036 ± 0.0270[a]	0.0248
25	9.66 ± 0.48[bc]	0.4377 ± 0.0373[a]	0.0423
10	9.65 ± 0.42[bc]	0.3138 ± 0.0771[a]	0.0303

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่างกันคือ 200, 100, 50, 25 และ 10 % พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 7.6644 ± 0.4499 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200 % และไม่แตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 100, 50 และ 10% พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 50% ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 0.3894 ± 0.0365 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200, 25 และ 10 % แต่ไม่แตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 100% (ตารางที่ 4.11)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ปริมาณเหล็กที่ต่างกันคือ 250, 200, 150, 100 และ 50 % พบว่าปริมาณเหล็ก ที่ 150% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 8.4254 ± 0.3781 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเหล็กที่ 250 % และไม่แตกต่างกับปริมาณเหล็กที่ 200, 100 และ 50% พบว่าปริมาณเหล็ก ที่ 200% ให้ปริมาณน้ำหนักของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 0.5271 ± 0.0550 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเหล็กที่ 50 % และไม่แตกต่างกับปริมาณเหล็กที่ 250, 150 และ 100% (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ปริมาณฟอสฟอรัส (%)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
200	5.50 ± 0.26[a]	0.3273 ± 0.0354[ab]	0.0180
100	7.35 ± 0.37[b]	0.2483 ± 0.0186[a]	0.0183
50	7.49 ± 0.49[b]	0.3894 ± 0.0365[b]	0.0291
25	7.66 ± 0.45[b]	0.3761 ± 0.0364[b]	0.0288
10	7.32 ± 0.22[b]	0.2887 ± 0.0186[ab]	0.0211

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

ปริมาณเหล็ก (%)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
250	4.80 ± 0.48[a]	0.3273 ± 0.0354[ab]	0.0208
200	7.92 ± 0.50[b]	0.2483 ± 0.0186[a]	0.0417
150	8.43 ± 0.38[b]	0.3894 ± 0.0365[b]	0.0383
100	7.97 ± 0.50[b]	0.3761 ± 0.0364[b]	0.0320
50	7.15 ± 0.35[b]	0.2887 ± 0.0186[ab]	0.0248

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.2 ปริมาณไขมันใน *Mastigocladopsis* sp. ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. ในเวลาที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่าที่ระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 40 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) สูงสุดคือ 0.101±0.006 day^{-1} มีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 10 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.785±0.252 g/L มีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ปริมาณไขมันสูงสุดคือ 0.072±0.013 g/L แต่ในด้านของปริมาณไขมัน พบว่าระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 20 วัน ให้ปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 7.046±0.170 % ซึ่งมีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(p<0.05) และให้ผลผลิตไขมันสูงสุดคือ 6.328±0.256 mg/L/d ซึ่งมีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 10 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะเวลาในการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการเลี้ยง (day)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.064±0.006[a]	0.103±0.032[a]	6.440±0.379[b]	0.006±0.002[a]	4.147±0.397[a]
20	0.090±0.004[b]	0.298±0.084[a]	7.046±0.170[b]	0.025±0.002[a]	6.328±0.256[b]
30	0.095±0.006[b]	1.145±0.056[b]	5.734±0.382[b]	0.067±0.002[b]	5.438±0.365[b]
40	0.101±0.006[b]	1.785±0.252[c]	4.306±0.791[a]	0.072±0.013[b]	4.368±0.276[a]

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ความเข้มแสงที่แตกต่างกันคือ 0, 400, 740 และ 4, 120 Lux พบว่าในความเข้มแสงที่ 0 Lux มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.310±0.098 ต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกับความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และความเข้มแสงที่ 4, 120 Lux ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.200±0.086 g/Lมีความแตกต่างกับความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในด้านของปริมาณไขมัน พบว่าความเข้มแสงที่ 4, 120 Lux ให้ปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 23.31±1.92 % ให้ปริมาณไขมัน 0.295±0.023 g/L และให้ผลผลิตไขมัน 50.697±3.257 mg/L/d ซึ่งมีความแตกต่างกับความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 4.14)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกันคือ 24: 0, 16: 8, 14: 10 และ 12: 12 ชั่วโมง (สว่าง: มืด ชม.) พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสงที่ 14:10 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.076±0.014 /day มีความแตกต่างกับการให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.145±0.155 g/L ไม่มีความแตกต่างกับการให้แสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในวันที่ 30 ของการเลี้ยง ในด้านของปริมาณไขมัน พบว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 16:8 ชั่วโมง ให้ปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 7.114±1.216 % มีความแตกต่างกับการให้แสงที่ 14:10 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และให้ปริมาณไขมันคือ 0.092±0.015 g/L มีความแตกต่างกับการให้แสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และให้ผลผลิตไขมัน 0.319±0.105 mg/L/d ซึ่งมีความแตกต่าง

กับการให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 30 ของการเลี้ยง (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.14 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.310±0.098^{a}	0.220±0.008^{a}	9.86±0.26^{ab}	0.022±0.001^{a}	30.545±9.651^{b}
400	0.170±0.014^{a}	0.415±0.040^{a}	12.90±2.53^{b}	0.054±0.004^{a}	21.969±1.771^{ab}
740	0.165±0.016^{a}	0.430±0.105^{a}	7.12±0.46^{a}	0.033±0.007^{a}	11.779±1.132^{a}
4120	0.217±0.014^{a}	1.200±0.086^{b}	23.31±1.92^{c}	0.295±0.023^{b}	50.697±3.257^{c}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.15 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน

สว่าง : มืด (ชม.)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
16:8	0.056±0.009^{ab}	1.145±0.155^{a}	7.114±1.216^{b}	0.092±0.015^{b}	3.953±0.610^{b}
14:10	0.076±0.014^{b}	1.035±0.190^{a}	3.989±0.291^{a}	0.039±0.006^{a}	3.050±0.559^{ab}
12:12	0.035±0.016^{a}	1.010±0.149^{a}	4.444±1.119^{ab}	0.042±0.007^{a}	1.565±0.706^{a}
24:0	0.067±0.004^{ab}	0.935±0.120^{a}	5.253±0.301^{ab}	0.045±0.004^{a}	3.504±0.203^{b}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันคือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.102±0.027 day^{-1} ไม่มีความแตกต่างกับระดับไนโตรเจนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 50 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.050±0.141 g/L มีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดสูงสุดร้อยละ 7.960±1.288 % ซึ่งมีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10,

25 และ 100 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ให้ปริมาณไขมันสูงสุด 0.077±0.011 g/L ซึ่งมีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แต่ปริมาณไนโตรเจนที่ 200 % กลับให้ผลผลิตไขมันสูงสุดที่ 6.504±1.717 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างกับระดับไนโตรเจนที่ 50 และ 100 % แต่มีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10 และ 25 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.16 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะเวลาในปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.052±0.012^{a}	0.615±0.040^{a}	0.172±0.004^{a}	0.001±0.000^{a}	0.090±0.021^{a}
25	0.091±0.015^{a}	0.985±0.092^{b}	0.144±0.006^{a}	0.001±0.000^{a}	0.131±0.021^{a}
50	0.071±0.013^{a}	1.050±0.141^{b}	7.960±1.288^{c}	0.077±0.011^{c}	5.651±1.012^{b}
100	0.063±0.022^{a}	0.994±0.173^{b}	5.400±0.083^{b}	0.052±0.009^{b}	3.397±1.162^{b}
200	0.102±0.027^{a}	0.837±0.029^{ab}	6.382±0.168^{bc}	0.054±0.001^{b}	6.504±1.717^{b}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันคือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 100 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.165±0.002 day^{-1} ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 50 และ 200 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 10 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.190±0.509 g/L ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และพบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 200 % ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดสูงสุดร้อยละ 4.826±0.144 % ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.036±0.004 g/L ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 7.714±0.090 mg/L/d มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 4.17)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันคือ 50, 100, 150, 200 และ 250 % พบว่าปริมาณเหล็กที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.082±0.009 day^{-1} ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณเหล็กในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และที่ปริมาณเหล็ก 100 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 0.810±0.420 g/L ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณเหล็กในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และปริมาณเหล็กที่

50 % ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดสูงสุดร้อยละ 9.09±2.48 % มีความแตกต่างกับที่ปริมาณเหล็กในระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ปริมาณไขมันกับผลผลิตไขมันสูงสุดอีกด้วย คือ 0.537±0.315 g/L และ 13.529±0.836 mg/L/d ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับปริมาณเหล็กในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.17 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.151±0.003[a]	1.190±0.509[a]	3.308±0.188[a]	0.025±0.004[a]	4.990±0.094[a]
25	0.145±0.003[a]	0.930±0.165[a]	4.420±0.169[b]	0.036±0.003[b]	6.430±0.115[c]
50	0.161±0.002[b]	0.715±0.033[a]	3.619±0.100[a]	0.026±0.001[a]	5.819±0.068[b]
100	0.165±0.002[b]	0.815±0.074[a]	3.777±0.330[a]	0.031±0.003[ab]	6.218±0.058[c]
200	0.160±0.002[b]	0.760±0.087[a]	4.826±0.144[b]	0.036±0.004[b]	7.714±0.090[d]

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.18 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

เหล็ก (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
50	0.067±0.004[a]	0.590±0.185[a]	9.09±2.48[b]	0.537±0.315[b]	13.529±0.836[c]
100	0.063±0.007[a]	0.810±0.420[a]	3.48±0.16[a]	0.033±0.004[a]	2.136±0.236[a]
150	0.069±0.007[a]	0.755±0.053[a]	3.81±0.18[a]	0.029±0.002[a]	2.618±0.249[a]
200	0.082±0.009[a]	0.800±0.018[a]	3.69±0.15[a]	0.029±0.002[a]	3.031±0.334[a]
250	0.063±0.003[a]	0.525±0.076[a]	3.87±0.32[a]	0.072±0.001[a]	8.189±0.426[b]

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. ในความเค็ม ที่ต่างกันคือที่ความเค็มที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มที่ 20 ppt ส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มากที่สุดคือ 0.065±0.011 day^{-1} มีความแตกต่างกับความเค็มที่ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความความเค็มที่ 20 ppt ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 2.445±0.487 g/L มีความแตกต่างกับความเค็มที่ระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านของปริมาณไขมันพบว่าที่ความเค็มที่ 10 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 4.442±0.332 % มีความแตกต่างกับความเค็มที่ระดับ 0, 5 และ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลผลิตไขมันในระดับความเค็มที่ 20 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.072±0.011 g/L มีความแตกต่างกับความเค็มที่ระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และผลผลิตไขมันที่ความเค็ม 20 ppt ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.194±0.034 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างกับความเค็มที่ 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
0	0.021±0.008^{a}	0.540±0.060^{a}	2.609±0.276^{a}	0.014±0.001^{a}	0.056±0.021^{a}
5	0.014±0.005^{a}	0.660±0.116^{a}	3.017±0.351^{b}	0.019±0.002^{a}	0.042±0.015^{a}
10	0.041±0.010^{a}	0.985±0.172^{b}	4.442±0.332^{c}	0.043±0.003^{a}	0.182±0.045^{b}
15	0.004±0.001^{a}	1.505±0.184^{c}	4.085±0.473^{c}	0.061±0.007^{a}	0.020±0.005^{a}
20	0.065±0.011^{b}	2.445±0.487^{d}	2.977±0.482^{d}	0.072±0.011^{b}	0.194±0.034^{b}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.3 ปริมาณไขมันใน *Oscillatoria limnetica* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในของอาหารสูตร *BG-11* ที่มีระยะเวลาการเลี้ยงที่ 10, 20, 30 และ 40 วันพบว่าระยะเวลาการเลี้ยงที่ 40 วันได้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.112±0.010 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะเวลาในการเลี้ยง ปริมาณไขมันที่ 40 วันให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ19.45±0.61 % แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะเวลาการลี้ยงอื่น และที่ผลผลิตไขมัน g/L/d ที่ 40 วันให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 19.45±0.61 g/L/d ซึ่งทุกระยะเวลามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลของการใช้ระยะเวลาการเลี้ยงส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีการ

เจริญเติบโตดี ทำให้มีผลผลิตไขมันสูงขึ้นตามลำดับและส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.20 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในระยะเวลาการเลี้ยงที่ต่างกัน

ระยะเวลาในการเลี้ยง (day)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.036±0.003^{a}	0.280±0.042^{a}	12.53±0.46^{a}	0.031±0.002^{a}	0.338±0.111^{a}
20	0.058±0.002^{b}	0.370±0.010^{ab}	14.20±1.64^{a}	0.053±0.001^{a}	0.651±0.189^{b}
30	0.086±0.004^{c}	1.520±0.526^{b}	14.59±0.61^{a}	0.181±0.053^{ab}	0.911±0.284^{c}
40	0.112±0.010^{d}	1.420±0.531^{ab}	19.45±0.61^{a}	0.275±0.104^{b}	1.807±0.284^{d}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *O. limnetica* ในความเค็มที่ต่างกันคือที่ความเค็มที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (/day) โดยทุกความเข้มข้นของความเค็มมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความเค็มที่ 20 ppt ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 1.590±0.072 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 0 – 5 ppt ปริมาณไขมันที่ความเค็ม 0 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 7.25±1.07 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ทุกระดับของความเค็ม ผลผลิตไขมัน (g/L) ที่ความเค็มทุกๆความเค็มให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเค็มที่ 0 ppt ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.493±0.061 ความเค็มส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน คือเมื่อมีการเพิ่มความเค็ม (ppt) พบว่าให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสาหร่ายและปริมาณไขมันลดลงแต่ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.21)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในความเข้มข้นของไนโตรเจนของอาหารสูตร *BG-11* ที่ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่า ไนโตรเจนไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (/day) โดยทุกความเข้มข้นของไนโตรเจนมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความเข้มข้นที่ 10% ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายต่ำสุด คือ 0.990±0.195 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นอื่น ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 50% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 9.08±1.88 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นไนโตรเจนทุกระดับ

ของความเข้มข้น ผลผลิตไขมัน (g/L) ที่ความเข้มข้นทุกๆความเข้มข้นให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเข้มข้นที่ 50% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.851±0.201 (ตารางที่ 4.22) การลดปริมาณไนโตรเจนลงจะทำให้มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นคาดว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักของสาหร่ายเมื่อสาหร่ายขาดธาตุอาหารจึงมีการยับยั้งหรือลดการเจริญเติบโตลงจึงทำให้สาหร่ายกักกันไขมันไว้มากกว่าที่จะนำมาใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

ตารางที่ 4.21 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.068±0.008^{a}	0.700±0.066^{a}	7.25±1.07^{a}	0.050±0.007^{a}	0.493±0.061^{a}
5	0.061±0.004^{a}	0.990±0.093^{a}	5.56±0.52^{b}	0.055±0.005^{a}	0.341±0.023^{b}
10	0.054±0.006^{a}	1.335±0.088^{b}	5.04±0.55^{b}	0.067±0.007^{a}	0.275±0.030^{c}
15	0.059±0.024^{a}	1.395±0.073^{b}	6.25±0.54^{c}	0.087±0.007^{a}	0.370±0.151^{b}
20	0.035±0.004^{a}	1.590±0.072^{b}	3.99±0.53^{d}	0.063±0.008^{a}	0.142±0.016^{c}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
200	0.115±0.004^{a}	1.185±0.185^{a}	4.23±0.19^{a}	0.049±0.008^{a}	0.360±0.112^{a}
100	0.123±0.009^{a}	1.350±0.093^{a}	5.73±0.12^{ab}	0.075±0.004^{a}	0.532±0.180^{a}
50	0.121±0.006^{a}	1.555±0.098^{a}	9.08±1.88^{b}	0.129±0.010^{a}	0.851±0.201^{b}
25	0.089±0.030^{a}	1.140±0.395^{a}	7.55±1.10^{ab}	0.100±0.017^{a}	0.488±0.247^{a}
10	0.100±0.010^{a}	0.990±0.195^{b}	6.94±1.15^{ab}	0.062±0.014^{a}	0.563±0.167^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในความเข้มข้นของฟอสฟอรัสของอาหารสูตร *BG-11* ที่ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่าความเข้มข้นที่ 200% ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 1.345±0.010 (g/L)มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้น 10, 25 และ 50% ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 50% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 9.08±1.88 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทุกระดับของความเข้มข้นให้ ผลผลิตไขมัน (g/L) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ผลผลิตไขมัน ($gL^{-1}day^{-1}$) ที่ความเข้มข้นที่ 100% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.088±0.011 ฟอสฟอรัสไม่ส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมัน (g/L/d) แต่ส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและผลผลิตไขมัน (g/L) เมื่อได้สาหร่ายแห้งมากก็จะได้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.23) จากการทดลองพบว่าที่ฟอสฟอรัสที่ 100% ได้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตเมื่อมีมากเกินไปทำให้มีการเจริญเติบโตมากใช้พลังงานมากแต่เมื่อน้อยจะได้สาหร่ายที่ปริมาณน้อยทำให้ได้ไขมันไม่ดีเท่ากับระดับที่เหมาะสมกับความต้องการในสูตรอาหาร

ตารางที่ 4.23 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
200	0.123±0.002^{a}	1.345±0.010^{c}	5.92±0.49^{a}	0.080±0.001^{bc}	0.559±0.166^{a}
100	0.118±0.002^{a}	1.260±0.050^{c}	7.67±2.05^{a}	0.088±0.011^{c}	0.737±0.164^{a}
50	0.128±0.008^{a}	1.040±0.029^{b}	6.04±0.48^{a}	0.067±0.004^{b}	0.616±0.191^{a}
25	0.103±0.035^{a}	0.825±0.030^{a}	6.07±0.52^{a}	0.047±0.002^{a}	0.627±0.210^{a}
10	0.118±0.006^{a}	0.820±0.034^{a}	6.21±0.09^{a}	0.050±0.002^{a}	0.565±0.188^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันของอาหารสูตร *BG-11* ที่ 50, 100, 150, 200 และ 250% พบว่าความเข้มข้นที่ 250% ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 1.020±0.278 (g/L) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกความเข้มข้น ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นเหล็ก 100% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 6.67±0.29% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของเหล็กทุกระดับ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเข้มข้นที่ 200% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.562±0.188 (ตารางที่ 4.24) เหล็กส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันที่ความเข้มข้น 200% มีการเจริญเติบโตดี

ที่สุดและมีผลผลิตไขมันสูงที่สุดซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นอื่น แต่ส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและ % ของปริมาณไขมัน คาดว่าเหล็กสามารถช่วยดูดซึมไนโตรเจนเมื่อเหล็กมีปริมาณน้อยทำให้ดูดซับไนโตรเจนไปใช้งานไม่ได้จึงเกิดความเครียดและเกิดการสะสมไขมันมากกว่านำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

ระดับเหล็ก (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
250	0.089±0.011^{b}	1.020±0.278^{a}	5.67±0.39^{a}	0.066±0.013^{b}	0.374±0.127^{a}
200	0.112±0.012^{ab}	0.975±0.278^{a}	6.22±0.32^{a}	0.053±0.014^{ab}	0.562±0.188^{b}
150	0.101±0.003^{ab}	0.825±0.074^{a}	5.08±0.66^{a}	0.040±0.003^{ab}	0.405±0.114^{a}
100	0.107±0.005^{b}	0.835±0.102^{a}	6.67±0.29^{a}	0.059±0.004^{b}	0.529±0.167^{b}
50	0.085±0.003^{a}	0.495±0.034^{a}	5.64±0.62^{a}	0.029±0.002^{a}	0.365±0.104^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica.* ในของอาหารสูตร *BG-11* ที่มีความเข้มแสง 0, 400, 740 และ 4120 Lux พบว่าความเข้มแสงที่ 4120 Lux ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.870±0.318 (g/L) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกความเข้มแสง และปริมาณไขมันที่ความเข้มแสง 0 Lux ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 14.64±1.43 % มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงทุกระดับ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเข้มแสง 4120 Lux ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.264±0.084 g/L/d (ตารางที่ 4.25)ความเข้มแสงส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมันที่ความเข้มแสง 0 Lux มีการเจริญเติบโตดีที่สุดและมีปริมาณไขมันสูงที่สุดซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงอื่น แต่งไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและผลผลิตไขมัน

จากการทดลองผลที่ได้นั้นเมื่อแสงที่ 0 Lux มีปริมาณไขมันสูงที่สุดแต่มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะว่าสาหร่ายต้องการแสงไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเมื่อไม่มีแสงทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดและไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงมีการสะสมอาหารและไขมันไว้ทำให้มีปริมาณไขมันมากที่สุด

ตารางที่ 4.25 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณความเข้มแสงต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.026±0.005[a]	0.260±0.042[a]	14.64±1.43[b]	0.039±0.006[a]	0.252±0.080[a]
400	0.029±0.008[a]	2.575±2.089[a]	6.97±1.66[a]	0.048±0.014[a]	0.135±0.030[a]
470	0.038±0.005[ab]	0.660±0.119[a]	5.80±0.45[a]	0.037±0.006[a]	0.166±0.056[a]
4120	0.053±0.008[b]	0.870±0.318[a]	6.61±0.96[a]	0.067±0.018[a]	0.264±0.084[a]

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาเลี้ยง *O. limnetica* ในของอาหารสูตร *BG-11* ที่มีการให้แสงต่างเวลากันที่ 16:8, 14:10, 12:12 และ 24:0 ชั่วโมงพบว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 14:10 ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.7800 ± 0.314 (g/L) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกช่วงเวลาและปริมาณไขมันที่ระยะเวลาที่ 12:12 ชั่วโมงให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 11.79±0.40 % แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะเวลาการให้แสงทุกช่วงเวลา และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ช่วงเวลาที่ 14:10 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อช่วงเวลาที่ 16:8 และ 24:0 (ตารางที่ 4.26) จากระยะเวลาการให้แสงส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน 14:10 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดและแต่ระยะช่วงเวลาที่มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 12:12 เนื่องจากอาหารบางชนิดของสาหร่ายจะทำงานได้ดีในบางสภาวะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและทางกายภาพ โดยเฉพาะกลางวัน-กลางคืน

ตารางที่ 4.26 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในระยะเวลาการให้แสงต่างกัน

ระยะเวลาการให้แสง (ชั่วโมง)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
16:8	0.034±0.010[a]	0.670±0.277[a]	9.06±0.48[a]	0.040±0.004[a]	0.227±0.112[a]
14:10	0.036±0.006[a]	0.780±0.314[a]	10.42±0.36[a]	0.091±0.030[a]	0.297±0.114[b]
12:12	0.059±0.006[a]	0.490±0.066[a]	11.79±0.40[a]	0.054±0.007[a]	0.550±0.187[ab]
24:0	0.077±0.047[a]	0.140±0.318[a]	10.09±0.40[a]	0.014±0.007[a]	0.755±0.482[a]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.2.4 ปริมาณไขมันใน *Botryococcus braunii* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน คือ 0, 400, 740 และ 4120 Lux พบว่าที่ความเข้มแสง 4120 Lux มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.179±0.009 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ 4120 Lux คือ 2.025 ±0.120 กรัม/ลิตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ความเข้มแสง 4120 Lux มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.854±0.875 โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มแสงที่ 740, 400, 0 Lux ความเข้มแสงที่ 4120 Lux ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 1.957±0.616 กรัม/ลิตร และที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 0.280±0.016 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.27)

ตารางที่ 4.27 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
0	0.066±0.002^{a}	0.320±0.021^{a}	6.273±0.733^{a}	0.330±0.094^{a}	0.020±0.001^{a}
400	0.100±0.006^{b}	0.640±0.106^{b}	7.720±0.242$^{a, b}$	0.580±0.190^{a}	0.049±0.008^{b}
740	0.145±0.012^{c}	1.035±0.035^{c}	8.304±0.280^{b}	0.837±0.262^{a}	0.085±0.002^{c}
4120	0.179±0.009^{d}	2.025±0.120^{d}	13.854±0.875^{c}	1.957±0.616^{b}	0.280±0.016^{d}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ระยะเวลาให้แสงแตกต่างกัน คือ 16:8, 14:10, 12:12, 24:0 พบว่าพบว่าที่ระยะให้แสงมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ 24:0 คือ 0.126±0.011 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะให้แสงที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ระยะให้แสง 24:0 มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 16.995±0.062 โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับระยะให้แสงที่ 12:12, 14:10, 16:8 ที่ระยะให้แสง 24:0 มีปริมาณไขมันสูงสุด คือ 1.732±0.491 กรัม/ลิตร และที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด 0.230±0.011 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.28)

ตารางที่ 4.28 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในระยะให้แสงที่แตกต่างกัน

Light : Dark (h)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
16:8	0.101±0.008[a]	1.600±0.074[a]	14.321±0.062[a]	1.175±0.391[a]	0.115 ±0.004[a]
14:10	0.108±0.007[a]	1.665±0.151[a]	15.241±0.872[a]	1.220±0.392[a]	0.127±0.012[a]
12:12	0.125±0.008[a]	1.685 ±0.143[a]	15.942±0.935[a]	1.302±0.355[a]	0.140±0.012[a]
24:0	0.126±0.011[a]	1.820±0.083[a]	16.995±0.062[a]	1.732±0.491[a]	0.230±0.011[b]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ความเค็มแตกต่างกัน คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าที่ความเค็ม 20 ppt มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.106±0.009 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ความเค็ม 15 ppt คือ 2.145±0.110 กรัม/ลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับความเค็มเค็มที่ 20 และ 10 ppt ตามลำดับ ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ความเค็ม 0 ppt มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 9.817±0.386 ที่ความเค็ม 0 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.847±0.109 กรัม/ลิตร และที่ 15 ppt ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.136±0.016 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.29)

ตารางที่ 4.29 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในความความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
0	0.086±0.019[a, b]	0.700±0.057[a]	9.817±0.386[c]	0.847±0.109[b]	0.068±0.001[a]
5	0.063±0.002[a]	1.290±0.107[b]	6.255±0.401[b]	0.397±0.016[a]	0.080±0.008[b]
10	0.076±0.007[a]	2.060±0.108[c]	5.797±0.079[a, b]	0.440±0.045[a]	0.119±0.002[b]
15	0.085±0.004[a, b]	2.145±0.110[c]	6.343±0.592[b]	0.542±0.029[a]	0.136±0.016[c]
20	0.106±0.009[b]	2.125±0.216[c]	4.987±0.230[a]	0.535±0.048[a]	0.106±0.012[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่าที่ระยะเวลาเลี้ยง 40 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.101±0.006 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ 40 วัน คือ 1.055±0.051 กรัม/ลิตร ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ 40 วัน มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 46.563±10.436 ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 4.707±0.305 กรัม/ลิตร และให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.491±0.023 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะเวลาเลี้ยงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.30) จากผลทำให้ทราบได้ว่าที่ 40 วัน สาหร่าย *B. braunii* สามารถเจริญเติบโตได้น้ำหนังเซลล์แห้งมากที่สุด ซึ่งทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มสูงด้วย เนื่องจากสาหร่าย *B. braunii* มีไขมันภายในเซลล์เป็นจำนวนมากอยู่แล้ว เมื่อได้จำนวนเซลล์ที่มากก็จะทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายด้วย

ตารางที่ 4.30 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในระยะเวลาเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา(วัน)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
10	0.059±0.003^{a}	0.695±0.076^{a}	10.474±0.504^{a}	0.625±0.040^{a}	0.072±0.008^{a}
20	0.109±0.011^{b}	0.780±0.016$^{a, b}$	9.529±0.783^{a}	1.045±0.111^{a}	0.074±0.001^{a}
30	0.099±0.009^{b}	0.765±0.045$^{a, b}$	29.933±6.952^{b}	2.967±0.289^{b}	0.229±0.013^{b}
40	0.101±0.006^{b}	1.055±0.051^{b}	46.563±10.436^{c}	4.707±0.305^{c}	0.491±0.023^{c}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ปริมาณเหล็กแตกต่างกัน คือ 50, 100, 150, 200 และ 250% พบว่าที่ปริมาณเหล็ก 250% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.085±0.006 ต่อวัน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่ปริมาณเหล็กที่ 50, 100, 150, 200% โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ที่ปริมาณเหล็ก 200% คือ 0.865±0.028 กรัม/ลิตร ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับที่ปริมาณเหล็กที่ 50, 150, 100, 250% ตามลำดับ ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ปริมาณเหล็ก 250% มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 10.328±0.615 ที่ปริมาณเหล็ก 100% ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.842±0.055 กรัม/ลิตร และที่ปริมาณเหล็ก 200% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.079±0.002 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับที่ปริมาณเหล็ก 250% (ตารางที่ 4.31)

ตารางที่ 4.31 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

เหล็ก (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
50	0.062±0.008[a]	0.575±0.029[a]	9.349±0.748[a]	0.582±0.078[a]	0.053±0.002[a]
100	0.064±0.005[a]	0.675±0.083[a, b]	9.871±0.471[a]	0.842±0.055[b]	0.066±0.008[a, b]
150	0.080±0.003[a]	0.635±0.109[a]	9.524±0.366[a]	0.767±0.029[a, b]	0.060±0.010[a, b]
200	0.081±0.013[a]	0.865±0.028[b]	9.137±0.246[a]	0.745±0.126[a, b]	0.079±0.002[b]
250	0.085±0.006[a]	0.760±0.062[a, b]	10.328±0.615[a]	0.665±0.064[a, b]	0.078±0.006[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 50% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.119±0.005 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ปริมาณไนโตรเจน 25% คือ 1.440±0.086 กรัม/ ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 25% มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.351±0.307 ที่ปริมาณไนโตรเจน 50%ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.745±0.030 กรัม/ลิตร และที่ปริมาณไนโตรเจน 25% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.091±0.005 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.32)

ตารางที่ 4.32 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
10	0.095±0.009[b]	1.030±0.047[a]	4.659±0.197[a]	0.432±0.044[a]	0.048±0.002[a]
25	0.114±0.003[c]	1.440±0.086[b]	6.351±0.307[b]	0.727±0.025[c]	0.091±0.005[d]
50	0.119±0.005[c]	1.285±0.054[b]	6.208±0.275[a, b]	0.745±0.030[c]	0.079±0.003[c]
100	0.102±0.004[b, c]	1.255±0.017[b]	5.327±0.129[a]	0.545±0.023[b]	0.066±0.009[b]
200	0.071±0.005[a]	1.025±0.067[a]	5.320±0.267[a]	0.380±0.027[a]	0.054±0.003[a]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.102±0.002 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ปริมาณฟอสฟอรัส 200% คือ 0.885±0.073 กรัม/ลิตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับที่ปริมาณฟอสฟอรัส 10, 25, 50, 100% ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25% มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 14.547±0.229 ที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25%ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 1.495±0.035 กรัม/ลิตร และที่ปริมาณไนโตรเจน 25% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.123±0.016[b] มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.33)

ตารางที่ 4.33 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
10	0.091±0.006[a, b]	0.880±0.114[a]	13.381±0.441[c]	1.225±0.084[c]	0.117±0.015[a, b]
25	0.102±0.002[b]	0.850±0.116[a]	14.547±0.229[d]	1.495±0.035[d]	0.123±0.016[b]
50	0.088±0.005[a, b]	0.780±0.084[a]	9.961±0.164[a]	0.877±0.058[a]	0.077±0.008[a]
100	0.078±0.005[a]	0.730±0.076[a]	13.777±0.063[c]	1.080±0.070[b, c]	0.100±0.010[b]
200	0.083±0.005[a]	0.885±0.073[a]	11.610±0.199[b]	0.970±0.060[a, b]	0.102±0.008[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.5 ปริมาณไขมันใน *Scenedesmus dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเลี้ยง *S. dimorphus* ในความเข้มข้นของอาหารสูตร chlorella medium ที่ต่างกันคือที่ความเข้มข้น 100, 75, 50, 25 และ10 % พบว่าความเข้มข้นของอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันโดยในทุกความเข้มข้นของอาหารมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของอาหารที่ 100 % ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.930±0.019 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของอาหารที่ทุกระดับของความเข้มข้นอาหาร ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นของอาหารที่ 100 % ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 19.28±0.29 ไม่มีความแตกต่างกันกับที่ความเข้มข้นของอาหาร 75 %, ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นของอาหาร 100 % ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.180±0.003 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความ

เข้มข้นของอาหารที่ทุกระดับของความเข้มข้นอาหาร และที่ผลผลิตไขมันที่ความเข้มข้นของอาหาร 100 % ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 23.34±1.42 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างกันกับที่ความเข้มข้นของอาหาร 75 % (ตารางที่ 4.34)

ตารางที่ 4.34 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ที่ความเข้มข้นของอาหารสูตร chlorella medium แตกต่างกัน

ความเข้มข้นอาหาร(%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.127±0.006 ^{a}	0.655±0.009^{a}	15.24±0.17^{a}	0.098±0.000^{a}	19.44±1.02^{ab}
25	0.116±0.005^{a}	0.750±0.059^{b}	15.75±0.61^{a}	0.123±0.008^{b}	18.33±0.91^{a}
50	0.128±0.010^{a}	0.770±0.017^{b}	15.85±0.22^{a}	0.120±0.001^{b}	20.42±1.61^{ab}
75	0.122±0.004 ^{a}	0.785±0.022^{b}	18.50±0.23^{b}	0.146±0.003^{c}	22.68±0.82^{c}
100	0.121±0.007 ^{a}	0.930±0.019^{c}	19.28±0.29^{b}	0.180±0.003^{d}	23.34±1.42^{c}

(ความเข้มแสง 740 Lux, L:D : 24:0)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ระยะเวลาการรับแสงที่แตกต่างกันคือ 24 : 0, 16 : 8, 14 : 10 และ 12 : 12 ชั่วโมง (Light : Dark ชม.) พบว่า พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสงที่ 16: 8 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.106±0.006 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 2.365±0.047 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมัน พบว่าระยะเวลาการให้แสงไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณไขมันโดยปริมาณไขมันที่ได้ในทุกระยะการให้แสงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณไขมัน ที่ระยะเวลาการให้แสงที่ 16: 8 ชั่วโมง ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 0.374±0.009 g/L ผลผลิตไขมัน ได้ค่าสูงสุด คือ 16.56±0.95 mg/L/d มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.35)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus dimorphus* โดยให้ความเข้มแสงที่แตกต่างกันคือ 0, 400, 740 และ 4, 120 Lux พบว่าที่ความเข้มแสงที่ 4, 120 Lux ต่อวันมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.107±0.010 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 2.810±0.124 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน พบว่าที่ความเข้มแสง 4, 120 Lux มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 19.76±0.28 โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มแสงที่ 400 Lux แต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มแสงที่ 0 Lux ปริมาณไขมันสูงสุด ที่ความเข้มแสง 4, 120 Lux คือ 0.541±0.017 g/L

และที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 21.17±2.05 mg/L/d มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.36)

ตารางที่ 4.35 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกัน

L:D (ชม.)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
24:0	0.086±0.002[a]	1.050±0.017[b]	15.46±0.54[a]	0.163±0.003[a]	13.08±0.31[a]
16:8	0.106±0.006[b]	2.365±0.047[c]	15.57±0.44[a]	0.374±0.009[b]	16.56±0.95[b]
14:10	0.089±0.003[a]	1.250±0.052[ab]	15.10±0.23[a]	0.191±0.006[a]	13.97±0.51[a]
12:12	0.076±0.005[a]	1.180±0.098[a]	15.54±0.42[a]	0.180±0.013[a]	11.76±0.90[a]

(ความเข้มแสง 740 Lux)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.36 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.0318±0.004[a]	0.750±0.028[a]	18.49±0.37[a]	0.139±0.005[a]	5.87±0.83[a]
400	0.044±0.004[a]	0.985±0.083[ab]	19.68±0.19[b]	0.185±0.013[b]	8.74±0.90[a]
740	0.040±0.006[a]	1.105±0.081[b]	19.17±0.19[ab]	0.199±0.004[b]	7.84±1.29[a]
4, 120	0.107±0.010[b]	2.810±0.124[c]	19.76±0.28[b]	0.541±0.017[c]	21.17±2.05[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดที่สุดคือ 0.123±0.007 ต่อวัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10 % ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนที่ 25, 50 และ 100 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และที่ปริมาณไนโตรเจนที่ 200 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.045±0.037 g/L ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 100 % ปริมาณไขมัน พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 10 % มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 20.33±0.41 โดย

ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไนโตรเจนที่ 50 % ปริมาณไขมันสูงสุดที่ปริมาณไนโตรเจน 50 % คือ 0.184±0.007 g/L ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันที่ปริมาณไนโตรเจน 50 % ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 21.14±1.50 mg/L/dมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.37)

ตารางที่ 4.37 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.077±0.007^{a}	0.855±0.041^{a}	20.33±0.41^{c}	0.169±0.005^{a}	15.67±1.47^{a}
25	0.115±0.004^{b}	0.885±0.026^{a}	18.30±0.39^{b}	0.165±0.004^{a}	21.06±0.73^{b}
50	0.115±0.008^{b}	0.970±0.048^{ab}	18.38±0.34^{b}	0.184±0.007^{a}	21.14±1.50^{b}
100	0.120±0.004^{b}	1.040±0.060^{b}	16.84±0.54^{a}	0.174±0.009^{a}	20.36±0.80^{b}
200	0.123±0.007^{b}	1.045±0.037^{b}	16.79±0.32^{a}	0.178±0.004^{a}	20.72±1.23^{b}

(ความเข้มแสง 740 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.132 ±0.002 ต่อวัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน และที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.345±0.009 g/L ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 100 % ปริมาณไขมันพบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 10 % มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 19.35±1.20 โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25 % ปริมาณไขมันสูงสุดที่ปริมาณฟอสฟอรัส 100 % คือ 0.192±0.006 g/L มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25 % ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 20.65±0.51 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 10 % (ตารางที่ 4.38)

ตารางที่ 4.38 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.105±0.003 [a]	0.820±0.033 [a]	19.35±1.20 [c]	0.147±0.007 [a]	20.49±0.62 [c]
25	0.116±0.002 [b]	0.825±0.029 [a]	17.80±0.54 [c]	0.146±0.004 [a]	20.65±0.51 [c]
50	0.123±0.002 [b]	1.040±0.029 [b]	15.06±0.32 [b]	0.156±0.004 [ab]	18.67±0.30 [b]
100	0.123±0.005 [b]	1.260±0.049 [c]	14.94±0.53 [b]	0.192±0.006 [c]	18.42±0.37 [b]
200	0.132±0.002 [c]	1.345±0.009 [c]	12.70±0.23 [a]	0.172±0.001 [b]	16.86±0.25 [a]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันคือ 50, 100, 150, 200 และ 250 % พบว่าที่ปริมาณเหล็กที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.120±0.006 ต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณเหล็กที่ 250, 150 และ100 % แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณเหล็กที่ 10 % ที่ปริมาณเหล็กที่ 250 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.715±0.012 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมันพบว่าที่ปริมาณเหล็ก 250 % มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 24.67±0.49 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันและมีปริมาณไขมันสูงสุดที่ปริมาณเหล็กคือ 0.430±0.004 g/L มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันที่ปริมาณเหล็ก 250 % ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 27.21±0.34 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเหล็กที่ 200 % (ตารางที่ 4.39)

ตารางที่ 4.39 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

เหล็ก(%)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
50	0.090±0.001 [a]	0.900±0.028 [a]	15.09±0.47 [a]	0.136±0.004 [a]	13.60±0.17 [a]
100	0.117±0.004 [b]	1.335±0.222 [b]	15.44±0.15 [a]	0.203±0.003 [b]	18.03±0.62 [b]
150	0.113±0.004 [b]	1.335±0.009 [b]	19.24±0.08 [b]	0.256±0.001 [c]	21.75±0.94 [c]
200	0.120±0.006 [b]	1.290±0.028 [b]	21.39±0.35 [c]	0.271±0.003 [d]	25.69±1.32 [d]
250	0.113±0.001 [b]	1.715±0.012 [c]	24.67±0.49 [d]	0.430±0.004 [e]	27.21±0.34 [d]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยมีความเค็มที่แตกต่างกันคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าที่ความเค็มที่ 5 ppt มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.077±0.002 ต่อวัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ที่ความเค็มที่ 10 ppt ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 2.495±0.046 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมันพบว่าที่ความเค็มที่ 5 ppt มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 14.27±0.23 โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 10 และ 15 ppt และความเค็มที่ 10 ppt มีปริมาณไขมันสูงสุดที่ 0.298±0.003 g/L มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันความเค็มที่ 5 ppt ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 12.37±1.34 mg/L/d มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับความเค็ม (ตารางที่ 4.40)

ตารางที่ 4.40 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.076±0.006 ^{b}	1.475±0.043 ^{a}	13.29±0.16 ^{c}	0.193±0.004 ^{b}	10.22±0.85 ^{bc}
5	0.086±0.009 ^{b}	1.580±0.056 ^{a}	14.27±0.23 ^{d}	0.229±0.006 ^{c}	12.37±1.34 ^{c}
10	0.075±0.001 ^{b}	2.495±0.046 ^{c}	11.80±0.22 ^{b}	0.298±0.003 ^{d}	8.92±0.18 ^{b}
15	0.077±0.002 ^{b}	2.022±0.105 ^{b}	11.96±0.29 ^{b}	0.244±0.011 ^{c}	9.22±0.27 ^{b}
20	0.056±0.002 ^{a}	1.365±0.167 ^{a}	10.81±0.06 ^{a}	0.157±0.013 ^{a}	6.12±0.22 ^{a}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3 การเพาะเลี้ยงระดับมหมวล

การทดลองเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงขนาดความจุ 1000 ลิตร โดยใช้ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ซึ่งเป็นสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดนอกห้องปฏิบัติการ ผลพบว่าปริมาณไขมันลดลงจากที่ได้ในห้องปฏิบัติการมาก และการเลี้ยงโดยเพิ่มปริมาณเหล็กให้ไขมันมากที่สุดคือ 8.70±0.01 % แต่การเลี้ยงในสูตรอาหาร chlorella medium ปกติให้ผลผลิตไขมันสูงที่สุดคือ 2.44±0.04 mg/L/D (ตารางที่ 4.41) และเมื่อทดลองนำไปเลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้าที่ใช้สำหรับพืชทั่วไปคือสูตร 16-16-16 (ตารางที่ 4.42) และสูตร 18-12-6 (ตารางที่ 4.43) ผลพบว่าเมื่อเลี้ยงในสูตรปุ๋ยสูตร 18-12-6 ที่ 5 g/L สาหร่ายให้ไขมันมากถึง 44.83±2.10 % ส่วนการเลี้ยงในสูตรปุ๋ย16-16-16 ที่ 4 กรัมต่อลิตรให้ผลผลิตไขมันสูงที่สุด 52.35±3.68 mg/L/D

ตารางที่ 4.41 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกันเมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล

	μ(/days)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ไขมัน (%)	ผลผลิตไขมัน(g/L)	lipid(mg/L/D)
Control	0.04±0.00[a]	8.08±0.18[b]	8.11±0.02[a]	0.46±0.01[a]	2.44±0.04[a]
ลด N 2 เท่า	0.02±0.00[b]	6.36±0.29[d]	6.38±0.01[c]	0.14±0.00[d]	0.36±0.00[d]
เพิ่ม Fe 2.5 เท่า	0.02±0.00[b]	8.68±0.33[a]	8.70±0.01[a]	0.37±0.00[b]	1.05±0.02[b]
ลด P 10 เท่า	0.02±0.00[b]	6.76±0.13[c]	6.78±0.01[b]	0.22±0.01[c]	0.76±0.00[c]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.42 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปุ๋ยสูตร 16-16-16 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล

g/l	μ(/days)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ไขมัน (%)	ผลผลิตไขมัน (g/L)	lipid(mg/L/D)
4	0.16±0.00[b]	2.67±0.12[d]	32.14±3.38[a]	0.86±0.16[a]	52.35±3.68[a]
8	0.32±0.00[a]	6.42±0.03[c]	7.17±1.53[b]	0.46±0.10[c]	23.20±1.21[b]
12	0.12±0.00[c]	9.09±0.11[b]	5.05±0.30[c]	0.46±0.03[c]	6.18±0.95[c]
16	0.15±0.00[b]	13.35±0.46[a]	5.02±0.18[c]	0.67±0.02[b]	7.70±0.88[c]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.43 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ใน18-12-6 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล

g/l	μ(/days)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ไขมัน (%)	ผลผลิตไขมัน (g/L)	lipid(mg/L/D)
2.5	0.10±0.00[b]	1.02±0.04[d]	17.36±2.69[b]	0.18±0.02[d]	17.16±1.33[b]
5	0.05±0.00[c]	2.71±0.10[c]	44.83±2.10[a]	1.22±0.02[a]	21.55±1.54[a]
10	0.15±0.00[a]	3.95±0.11[b]	11.71±2.36[c]	0.46±0.05[c]	18.05±1.05[b]
15	0.06±0.00[c]	7.20±0.24[a]	11.00±1.04[c]	0.79±0.03[b]	6.92±0.89[c]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

แสงจัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย ภายในเซลล์ของสาหร่ายจะมีรงควัตถุหลักคือคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งจะใช้พลังงานแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ได้มาจากน้ำ หรือแหล่งให้ไฮโดรเจนอื่นๆ เพื่อสร้างอาหารสำหรับใช้ในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามแสงอาจมีผลต่อการเจริญเติบของสาหร่ายได้มากขึ้นหรือน้อยลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ได้รับแสงความเข้มแสง และคุณภาพแสงที่เหมาะสม และนอกจากแสงจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยตรงแล้วยังมีบทบาทในด้านการกระตุ้นหรือลดการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการทางสรีรวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียอีกด้วย

สาหร่ายสีเขียวมีช่วงความเข้มแสงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-7.5 กิโลลักซ์ ถ้าสาหร่ายได้รับความเข้มแสงมากเกินไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องจากกระบวนการต่างๆภายในเซลล์ถูกยับยั้ง ส่งผลให้การสะสมปริมาณสารภายในเซลล์เกิดความเปลี่ยนแปลงเพราะมีผลทำให้การสังเคราะห์ ATP ลดลง โดยความเข้มแสงที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายซึ่งอาจมาจากลักษณะของถิ่นที่อยู่ที่แตกต่างกันในธรรมชาติ

การเลี้ยงสาหร่าย *Botryococcus braunii* ที่ความเข้มแสงสูงมีผลต่อการสังเคราะแสงของเซลล์สาหร่าย เมื่อมีปริมาณแสงมาก การสังเคราะแสงก็จะมากขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตมากสูงขึ้นและส่งผลให้ปริมาณไขมันสูงขึ้น เนื่องจากสาหร่าย *Botryococcus braunii* มีการสะสมไขมันภายในเซลล์มากอยู่แล้ว เมื่อมีปริมาณเซลล์มากจึงทำให้ปริมาณไขมันสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li และ Qin. (2005) ที่ได้ศึกษาสาหร่าย *Botryococcus braunii* สามสายพันธุ์จากจีน (CHN) , สหราชอาณาจักรอังกฤษ (UK) และ ญี่ปุ่น (JAP) ที่ 3 ระดับความเข้มแสงที่ 60,100 และ 300 W/m^2 ถูกใช้ในการทดลองกับ *B. braunii* สามสายพันธุ์ สำหรับดูการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน ในแต่ละความเข้มแสงมีการทำซ้ำ 3 ซ้ำใน flask 250 ML แสงใช้หลอด cool fluorescent ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ความเข้มแสงต่างกัน ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C พบว่าสายพันธุ์เจริญเติบโตที่เร็วที่สุดที่ CHN ที่ 60 W/m^2 และเจริญเติบโตช้าที่สุดที่ 300 W/m^2 ($p < 0.05$) ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับสาหร่าย *B.braunii* ทั้งสามสายพันธุ์คือที่ความเข้มแสง 60 W/m^2 โดยมีอัตราการเจริญดีที่สุดในทุกสายพันธุ์ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มแสงจะพบว่าในสายพันธุ์ CHN มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ในขณะที่บางสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ JAP การเพิ่มความเข้มแสงกลับทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

สายพันธุ์ CHN ปริมาณไขมันสูงที่ 60 และ 100 W/m^2 ในขณะที่ปริมาณไขมันจากสายพันธุ์ UK สูงสุดที่ 60 W/m^2, และต่ำสุดที่ 300 W/m^2 เมื่อแสงถึง 300 W/m^2 ไขมันไม่แตกต่างกันระหว่างสามสายพันธุ์ ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับสาหร่าย *B.braunii* ทั้งสามสายพันธุ์ต่อปริมาณไขมันในแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันไป เช่น ในสายพันธุ์ JAP เมื่อมีการเพิ่มความเข้มแสงจะพบว่า ที่ 60 W/m^2 ถึง 300 W/m^2 เป็นช่วงความเข้มแสงที่สาหร่ายสายพันธุ์นี้สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยมีปริมาณไขมันสูงสุดที่ความเข้มแสง 100 W/m^2 และเมื่อเลี้ยงที่ความเข้มแสงสูง 300

W/m^2 ปริมาณไขมันลดลง ในขณะที่สายพันธุ์ UK การเพิ่มความเข้มแสงจาก 60 W/m^2 ที่เป็นความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเป็น 100 W/m^2 กลับทำให้มีปริมาณไขมันลดลง

Khotimchenko *et al.* (2005) ที่ศึกษาถึงผลของความเข้มแสงต่อปริมาณไขมันในสาหร่ายสีแดงขนาดเล็ก *Tichocarpus crinitus* ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 3 สัปดาห์ ที่ความเข้มแสง 70 – 80 % photosynthetically active radiation (PAR) คือปริมาณแสงช่วงที่ความยาวคลื่น 400-700 nanometer และ 8 – 10 % ของ PAR ที่ความเข้มแสง 70 – 80 % ของ PAR น้ำหนักสดของสาหร่าย 3.4±0.3 mg/g ส่วนความเข้มแสง 8 – 10 % ของ PAR จะได้ 4.2±0.5 mg/gจากการวิเคราะห์ไขมันแต่ละชนิดซึ่งมีทั้ง glycolipids, phospholipids และ neutral lipids กลุ่มไขมันหลักที่สำคัญคือ glycolipids มี 57.5–62.7% ของปริมาณไขมันทั้งหมด ผลการทดลองที่ได้ปริมาณไขมันแต่ละชนิดในทั้งสองความเข้มแสงมีปริมาณที่ต่างกันที่ความเข้มแสง 70-80% ให้ปริมาณไขมันชนิด TG, MGDG สูงกว่า ส่วนที่ความเข้มแสง 8-10% ให้ปริมาณไขมันชนิด DGDG, SQDG, PC และ PG สูงกว่า ไขมันแต่ละชนิดมีประโยชน์คือเป็นโครงสร้างของเยื่อเซลล์ (Lipid bilayer) เป็นแหล่งให้พลังงานและเป็นแหล่งกำเนิดกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับสาหร่าย

Solovchenko *et al.* (2008) ทำการศึกษาถึงผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *P. incisa* ในที่ๆมีความเข้มแสงแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 14 วัน ได้แก่ ความเข้มแสงต่ำ (35 μmol photon/m^2/s) ความเข้มแสงปานกลาง (200 μmol photon/m^2/s) และความเข้มแสงที่สูง (400 μmol photon/m^2/s) โดย daylight fluorescent lamps และให้อากาศอย่างสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิ 25°C อาหารที่ใช้เลี้ยงคือ BG-11 ผลที่ได้คือความเข้มแสงที่สูงที่สุด 400 μmol photon/m^2/s มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.47 mg DW/day เพราะในความเข้มแสงที่สูงที่สุด 400 μmol photon/m^2/s จะทำให้สาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายให้เพิ่มสูงขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ying et al. (2001) โดยเลี้ยง marine diatoms 6 ชนิด แล้วนำมาเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่ได้ที่ความเข้มแสง 5000 Lux และ 1500 Lux โดยเลี้ยงใน flask ขนาด 3 ลิตร ในสูตรอาหาร f/2 medium ที่อุณหภูมิ 22±1 °C และความเค็มที่ 28 ppt พบว่าปริมาณไขมันของ *Chaetoceros gracilis* B13, *Phaeodactylum tricornutum* B118, *Phaeodactylum tricornutum* B221 และ *Cylindrotheca fusiformis* B211 ที่ความเข้มแสง 1500 Lux ให้ปริมาณไขมันสูง คือร้อยละ 10.78 ± 2.69, 5.93 ± 1.03, 13.38 ± 1.80 และ15.93 ± 0.91 ตามลำดับ สาเหตุที่เลี้ยงในความเข้มแสงต่ำแล้วให้ปริมาณไขมันสูง เพราะในความเข้มแสงต่ำสาหร่ายจะความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้มีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาให้แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยจะใช้สังเคราะห์แสงทำให้เซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้นและสาหร่าย *Botryococcus braunii* มีปริมาณไขมันภายในเซลล์มาก ทำให้เมื่อมีการเจริญเติบโตมาก ปริมาณไขมันก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meseck *et.al.* (2005) เรื่องระยะเวลาการให้แสงต่อการเจริญเติบโต และสารอาหารของสาหร่าย *Tetraselmis chui* (สายพันธุ์ PLY429) โดยเลี้ยงในอาหารสูตร E/4 ที่ มีลักษณะความเข้มข้นของ

สารอาหารคล้ายกับสูตรอาหาร Guillard's f/2 ควบคุมความเป็น กรด-ด่าง และอุณหภูมิที่ 18 °C ในระยะเวลาเลี้ยง 28 วัน โดยช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่างกันคือ 24 : 0, 16 : 8, 12 : 12 และ 8 : 16 ชั่วโมง (Light : Dark ชม.) พบว่าระยะเวลาการให้แสงที่นาน อย่าง 24 : 0 ชั่วโมง มีอัตราการแบ่งเซลล์ต่อวันสูงสุด 0.61±0.04 และจำนวนเซลล์สุดท้ายเท่ากับ 2.833 ± 0.141x106 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยผลผลิตที่ได้มากกว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 16 : 8, 12 : 12 และ 8 : 16 ชั่วโมง

ระยะเวลาที่สาหร่ายได้รับแสง (Photoperiod) มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วในการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กระยะเวลาการให้แสงในการเลี้ยงไม่ควรจะต่ำเกิน 16 ชั่วโมง การมีช่วงมืดและสว่างเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากในช่วงมืดจะมีการเมตาบอลิซึมเกิดขึ้น และในสภาพที่ให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง จะบังคับให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงตลอดเวลาเกิดความจำเป็น (รวมทรัพย์, 2540) แต่อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการให้แสงอาจมีความเหมาะสมต่อสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

Ho *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาสาหร่าย *Porphyridium cruentum* ที่เลี้ยงโดยให้แสง (Light :Dark) 6:8, 12:12 และ 18:6 ชั่วโมง เลี้ยงในที่มืดที่ให้กลูโคสและกลีเซอรอล ใน Erlenmeyer flasks 500 ml ที่ 30 C ความเข้มแสงที่ 10-25 μmol/m^2/s ในอาหารสูตร f/2 medium ระยะเวลา 25 วัน พบว่าการให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมง ให้ปริมาณไขมันสูงสุดคือ 19.9 (%,w/w) เนื่องจากธาตุอาหารบางชนิดในสาหร่ายจะทำงานได้ดีในสภาวะที่มีแสงหรือไม่มีแสงที่ต่างกันไป เช่น จากกระบวนการตรึงไนโตรเจน (N_2-fixation) ซึ่งในการบวนการนี้จะต้องอาศัยเอนไซม์ไนโตรจีเนส ขึ้นอยู่กับ genus/spicies และสภาพทางกายภาพ เช่น กลางวัน/กลางคืนด้วย โดยเอนไซม์ไนโตรจีเนสจะสามารถทำงานได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สมถวิล และ อมรรัตน์ (2550) ได้ทำการวิเคราะห์ไขมันในสาหร่ายสีเขียว *Nannochloropsis oculata* ที่เลี้ยงโดยให้ระยะเวลาการให้แสง : ไม่ให้แสงแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 12:12, 14:10, 18:6 และ 24:0 ชั่วโมง พบว่า *Nannochloropsis oculata* ที่เลี้ยงที่ 24:0 ชั่วโมง ให้ปริมาณไขมันสูงสุดที่ 1.84 ± 0.21 %น้ำหนักแห้ง เพราะในการรับแสงตลอด 24 ชั่วโมง *Nannochloropsis oculata* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Botryococcus braunii* เนื่องจากในน้ำทะเลมีธาตุอาหารอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้สาหร่ายดึงเอาธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งทำให้เซลล์มีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตไขมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากความเค็มที่สูงส่งผลต่อเซลล์สาหร่าย ทำให้มีการสร้างคาร์โบไฮเดรตขึ้นมาป้องกันเซลล์มากขึ้น คาร์โบไฮเดรตที่มากส่งผลให้ให้ไขมันเพิ่มขึ้น โดยคาร์โบไฮเดรตที่มากถูกเปลี่ยนเป็นไขมันสะสมในเซลล์

Rao et al. (2007) ทำการศึกษาความเค็มในสาหร่าย *Botryococcus braunii* โดยเลี้ยงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml ใช้อาหาร Chu 13 medium 200 ml มีการเติม Sodium chloride ในอัตราตั้งแต่ 17-85 mM เลี้ยงเป็นเวลา 2 อาทิตย์ นำหัวเชื้อ B. *braunii* 20% (v/v) เก็บที่อุณหภูมิ 26±1 °C ความเข้มแสงที่ 1.2±0.2 klux ให้แสงสลับมืด 16:8 ทุกวันเป็นเวลา 2 อาทิตย์

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พบว่า B. *braunii* สามารถเจริญเติบโตได้ทุกความเค็มที่ทดสอบ (17-85 mM) ชีวมวลเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเค็มและชีวมวลสูงสุดคือ 17 mM และ 34 mM และภายใต้ความเค็มที่ 34-85 mM จะทำให้มีส่วนประกอบของไขมันในส่วนของ palmitic acid เพิ่มขึ้นเป็น 1.7-2.25 เท่า และมี oleic acid เพิ่มเป็น 2 เท่า ตามลำดับ

Takagi et al. (2006) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella teriolecta* ATCC 30929 ในอาหาร NORO medium ในระดับความเข้มข้น NaCl ที่ 0.5 และ 1.0 M โดยเลี้ยงใน flsak ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C และความเข้มแสง 150 μmol m-2s-1 พบว่าจากการเลี้ยงที่ให้ NaCl ที่ 1.0 M ให้ปริมาณไขมันร้อยละ 67 % สูงกว่าที่ระดับความเข้มข้น NaCl ที่ 0.5 M ให้ปริมาณไขมันร้อยละ 60 โดยที่ระดับความเข้มข้น NaCl ที่ 0.5 M มี Tricylglycerides (TG) ในไขมัน 40.8 %น้อยกว่าที่ความเข้มข้น NaCl ที่ 1.0 M มี Tricylglycerides (TG) ในไขมัน 56.6 %

ความเข้มข้นเกลือสูงนำไปสู่กลไกการปรับตัวของสาหร่ายเพื่อให้มีชีวิตอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ ในสภาวะดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายในทางสรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย โดยพบว่าสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมากจะสะสมสารอาหารเช่น กรีเซอรอล น้ำตาลแมนนิทอล (Mannitol) และ glycerol galatoside เมื่อต้องการความคุมน้ำและเกลือในเซลล์ (Osmoregulatory) ในการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของความเค็มหรือความดันออสโมติก (osmotic pressure) จากสภาพแวดล้อม ความเค็มที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสาหร่าย (Hu, 2004)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไขมันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 9.95±0.34 % ได้จากการเพาะเลี้ยงในความเค็ม 10 ppt อัตราผลผลิตที่สูงสุดของไขมัน คือ 0.049 กรัมต่อลิตรพบที่ระดับความเค็มนี้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าที่ความเค็มสูงกว่า 10 ppt ไม่ได้กระตุ้นให้เกิดการสะสมไขมันในสาหร่ายสายพันธุ์นี้ และมีความเป็นไปได้ว่าเซลล์สาหร่ายอาจจะเก็บสะสมพลังงานเพิ่มขึ้นสำหรับการขับเกลือในรูปของ Na+ ในเซลล์เพื่อรักษาสมดุลออสโมติก (Vonshak และ Torzillo, 2004) จากนั้นจะลดปริมาณของอาหารที่สะสม (ไขมัน)

การเพิ่มขึ้นของความเค็มตั้งแต่ 0 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหารนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตมวล 1.6 เท่าของมวลชีวภาพในสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย โดยในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของมวลชีวภาพในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเค็มสูง 15 ppt (0.76±0.01 กรัมต่อลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับ 0-10 ppt ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเค็มกระตุ้นการเจริญเติบโตในสายพันธุ์สาหร่ายนี้ การค้นพบนี้คล้ายกับรายงานของ Becker (1994) ที่พบว่าบางสายพันธุ์ของสาหร่ายน้ำจืดสามารถเพาะเลี้ยงได้ดีขึ้นในน้ำทะเลมากกว่าในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายปกติ Becker (1994) รายงานว่าน้ำทะเลในแหล่งธรรมชาตินั้นอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุหลัก และจุลธาตุอาหาร เป็นที่ต้องการสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้ำจืดหลายชนิด

เมื่อไซยาโนแบคทีเรีย ได้รับความเค็มจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลงทำให้มีการสะสมไขมันไว้ในเซลล์มากกว่านำไปใช้ในการเจริญเติบโต Khatoon *et al.* (2010) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย (*Oscillatoria* sp.) ใช้ระดับความเค็ม 6 ระดับ 0, 15, 20, 25, 30 และ 35

มิลลิกรัมต่อลิตร ในแต่ละการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการลดความเค็ม (ต่ำกว่า 30 g/L) ทำการ diluted น้ำทะเลกับน้ำกลั่น (MilliQ, Millipore, Germany) ในขณะที่ความเค็มสูง (35 g/L) จนกระทั่งได้ความเข้มข้นที่ต้องการ ทำการเลี้ยงใน Conway medium ที่อุณหภูมิ 28°C ความเข้มข้นแสงที่ 31.9 μE $m^{-2}s^{-1}$ สลับแสง-มืด 12 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าระดับความเค็มที่แตกต่างแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ การเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* sp. ที่ดีที่สุดคือ 25 g/L ปริมาณไขมันใน *Oscillatoria* sp. สูงสุด 25-35 g/L ดังนั้นระดับความเค็มที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* sp. คือ 25 g/L แต่ในทางกลับกันปริมาณไขมันใน *Oscillatoria* sp. จะมีปริมาณไขมันมากที่ระดับความเค็มสูง

ปริมาณเหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของรงควัตถุ,โปรตีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ สาหร่ายจะดูดซึมในรูป Fe^{+2} หรือ Fe^{+3} ถ้าหากขาดจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และรูปร่างเซลล์ (สุนีรัตน์, 2549) โดยเหล็กเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการดูดซึมไนโตรเจน Liu et al. (2008) ศึกษาผลของความเข้มข้นเหล็กในการสะสมไขมันใน *C. vulgaris* โดยเลี้ยงในอาหาร F/2-Si medium ที่อุณหภูมิ 20±2 ºC ภายใต้ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s โดยเปิดไฟสว่าง 14 h และปิดไฟ 10 h เลี้ยงจนเจริญเติบโตถึงระยะ late-exponential ที่ความเข้มข้นเหล็ก 2.22×10^{-6}mol/l หลังจากนั้นนำมาเลี้ยงใน flasks 250 ml แต่ละ flasks เลี้ยงที่ 200 ml ที่ Chelated iron อย่างเช่น เติม FeCl $6H_2O$/EDTA จำนวน 5 ระดับ คือ 0, 1.2×10^{-8}, 1.2×10^{-7}, 1.2×10^{-6}, 1.2×10^{-5} mol L^{-1} ตามลำดับ วิเคราะห์ไขมันด้วยสีย้อม Nile Red และสกัดไขมันจาก Chloroform/methanol (2/1,v/v) และชั่งน้ำหนัก พบว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติม $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้นจาก 1.2×10^{-8} ถึง 1.2×10^{-6} mol L^{-1} เจริญเติบโตดีที่สุดและได้ความหนาแน่นเซลล์สูง แม้การเพาะเลี้ยงที่เติมด้วย Fe^{3+} 1.2×10^{-5} mol L^{-1} แสดงการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะแรกจนถึงวันที่ 19 เริ่มเจริญเติบโตช้าลงและคงที่ก่อน ทรีทเม้นท์อื่นๆ ความหนาแน่นเซลล์ระยะสุดท้ายการเพาะเลี้ยงที่เสริมด้วยความเข้มข้น Fe^{3+} สูง มีความหนาแน่นเซลล์ระยะสุดท้ายต่ำกว่าความเข้มข้น Fe^{3+} ต่ำ

ปริมาณไนโตรเจนจะมีผลต่อน้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่าย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย โดยในปกติไนโตรเจน มีหน้าที่หลักในการสังเคราะห์แสง เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารหลายชนิดภายในเซลล์ เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลิอิก สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานเอมไซม์ (สุนีรัตน์ ,2549) ในสภาวะที่มีการขาดไนโตรเจนหรือมีการจำกัดปริมาณไนโตรเจน จะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุของเซลล์ ในส่วนของอาหารสะสมจะเกิดการสะสมของสารประกอบคาร์บอนในปริมาณเพิ่มขึ้น อย่างเช่น พวกไขมัน หรือ โพลีแซคคาไรด์ เป็นผลให้เกิดการสะสมไขมันภายในเซลล์เพิ่มขึ้น (Hammond และ Glatz, 1988)

Xin et al.(2010) ในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ผลของไนโตรเจนต่อ ปริมาณไขมัน โดยมีระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน(NO_3–N)แตกต่างกันที่ 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร, 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร , 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร , 15.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ 25.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีระดับความเข้มข้นไนโตรเจน

เริ่มต้นที่ 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร ในอาหารสูตร BG-11 ระยะเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 25 °C ให้แสงสว่าง:มืดในอัตรา 14:10 ชั่วโมง ความเข้มแสง 55–60 μmol photons m^{-2} s^{-1} พบว่าที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร ให้ปริมาณไขมันสูงสุดถึง 30 %

Widjaja et al. (2009) ทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* ในสูตรอาหาร Fitzgerald ในสภาพอาหารปกติ 4 ลิตร ให้แสง fluorescent 18 w 4 หลอด โดยเตรียมเป็นแนวตั้งระยะห่างจากเชื้อ 20 cm ให้แสงอย่างต่อเนื่อง ให้แสงเฉลี่ยที่ 30 μE/(m^2s) วัดปริมาณค่า optical density of cell โดยวัดค่าความดูดกลืนแสงที่ 682 nm ทุก 24 ชั่วโมง เก็บเกี่ยวเซลล์ที่ระยะใกล้ linear โดยความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ 1.1 × 10^7 cell/ml หลังจากนั้นตรวจสอบผลกระทบของการทำให้ขาดไนโตรเจน โดยเตรียมการเลี้ยง 1 ลิตร ที่ใกล้ระยะ linear แล้วเจือจางความเข้มข้นของไนโตรเจนให้ลดลงโดยทำให้เป็น 3 ลิตร และดำเนินการเลี้ยงสำหรับ 7 และ 17 วัน แล้วเก็บเกี่ยวโดยเปรียบเทียบปริมาณไขมันรวมระหว่างสูตรอาหารปกติและสูตรอาหารขาดไนโตรเจน ที่อัตราการไหลเวียน CO_2 20 ml/min โดยเลี้ยงภายใต้สูตรอาหารปกติ 15 และ 20 วัน หลังจากนั้นเปลี่ยนไปเลี้ยงในอาหารที่ขาดไนโตรเจน 7 และ 17 วัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น เพราะในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลง ทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

การ Converti et al. (2009) ได้ทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *C. vulgaris* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 1.500, 0.750 และ 0.375 g/L ตามลำดับ ในสูตรอาหาร Bold's Basal Medium โดยให้ นำไปเลี้ยงใน Erlenmeyer flask 2 ลิตร นาน 14 วัน ให้ความเข้มแสง 70.0 μE$m^{-2}$$s^{-1}$ (ตารางที่ 4) ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.375 g/L มีผลทำให้ *C. vulgaris* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.31 ± 0.51% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียด จึงทำให้มีปริมาณไขมันสูงและไขมันที่มาจากขบวนการ metabolism โดยสาหร่ายจะเปลี่ยนอาหารสะสมจากแป้งเป็นไขมันแทน

เมื่อเทียบกับการทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Nannochloropsis oculata* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 0.300, 0.150 และ 0.075 g/L ตามลำดับ ในสูตรอาหาร Guillard นำไปเลี้ยงใน Erlenmeyer flask 2 ลิตร นาน 14 วัน ให้ความเข้มแสง 70.0 μE/m^2/s ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.075 g/L มีผลทำให้ *N. oculata* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.86 ± 0.59% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดจะทำให้มีปริมาณไขมันสูงและไขมันที่มาจากขบวนการ metabolism โดยสาหร่ายจะเปลี่ยนอาหารสะสมจากแป้งเป็นไขมันแทน แต่สาเหตุที่ในการทดลองปริมาณไนโตรเจนที่ 100% มีปริมาณไขมันดีที่สุด คาดว่า *Hapalosiphon* sp. เป็นสาหร่ายกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งมี heterocyst ที่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศเองได้ ดังนั้นเมื่อมีการลดปริมาณไนโตรเจนลงจึงไม่มีผลต่อปริมาณไขมันใน *Hapalosiphon* sp.

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต มีบทบาทต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก รวมทั้งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยให้ค่ากรด-เบส ค่อนข้างคงที่ ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลต่อการเจริญเติบโต คือ โปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์-เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่แป้งหรือ

คาร์โบไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ลัดดา,2540) ผลที่มักเกิดขึ้นในการตอบสนองต่อความเครียดจากสารอาหารของเซลล์สาหร่ายคือ เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) ของเซลล์ เมื่อฟอสฟอรัสที่จำนวนจำกัดจะทำให้มีการลดลงของปริมาณโปรตีน และค่อนข้างเพิ่มการสะสมของไขมันและคาร์โบไฮเดรต (Bertilsson et al., 2003) สำหรับฟอสฟอรัสที่มีจำกัดสามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน โปรตีน, ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตได้

โดยสอดคล้องกับรายงานของ Xin et al.(2010) ในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ผลของฟอสฟอรัส (PO_4-P) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมันโดย มีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกันที่ 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ในอาหารดัดแปลงสูตร BG-11 ระยะเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 25 ºC ให้แสงสว่าง:มืดในอัตรา 14:10 ชั่วโมง ความเข้มแสง 55–60 μmol photons/m^2 /s พบว่าที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 2.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ได้ปริมาณชีวมวลของสาหร่ายสูงสุดคือ 0.98 ± 0.12 x10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรต่อวัน ที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ให้ปริมาณไขมันสูงสุดถึงร้อยละ 53 ต่อน้ำหนักแห้งสาหร่าย แต่ได้ปริมาณชีวมวลของสาหร่ายค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกันกับไนโตรเจนที่ 2.5 มิลลิลิตรต่อลิตร คือ 0.26 ± 0.01 x10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

การที่ลดความเข้มข้นของอาหารลงจากสูตรปกติ เมื่อสารอาหารทุกกลุ่มลดลงไม่ว่ากลุ่มธาตุอาหารหลักเช่นพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกลุ่มธาตุอาหารรองเช่น เหล็ก แมงกานีส ฯลฯ เป็นผลให้สาหร่ายได้รับสารอาหารน้อยลงการเจริญเติบโตจึงลดลงไป ในส่วนของปริมาณไขมัน การที่สารอาหารน้อยลงจะส่งผลให้สาหร่ายนั้นลดการนำเอาพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโต เกิดการสะสมอาหารมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันสูงขึ้นด้วย โดยสังเกตได้จากที่ระดับความเข้มข้นของอาหารที่ 50, 25 และ 10 % ยังคงมีปริมาณไขมันที่ดี โดยปริมาณไขมันนั้นไม่ได้ลดลงไปตามความเข้มข้นของอาหารที่น้อยลง