สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย เพื่อผลิตแคโรทีนอยด์

นางสาวบุณยทิพย์ แป้งนวน

นางสาวโสธิดา สนิทวงษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83764
วัน,เดือน,ปี 15 ก.ย. 2551

b 11977541
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Factor affecting growth of *Chlorella* sp. C2M2-4 mutant for carotenoid production.

Miss Bunyathip Pangnuan

Miss Sothida Sanitwong

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายเพื่อผลิตแคโรทีนอยด์

นักศึกษา นางสาวบุณยทิพย์ แป้งนวน
นางสาวโสธิดา สนิทวงษ์

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วีนา ชูโชติ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง	
กรรมการ ผศ.วีนา ชูโชติ	
กรรมการ ดร.จิดาภา ทิน้อย	

.....
(รศ.ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง)
หัวหน้าภาค

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายเพื่อผลิตแคโรทีนอยด์

นักศึกษา บุณยทิพย์ แป้งนวน
โสธิดา สนิทวงษ์

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วีนา ชูโชติ

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์คืออาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงที่ความเข้มกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร โซเดียมไนเตรท 1 กรัมต่อลิตร และพีเอชเริ่มต้น 6.8 ให้แสงต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 2,400 ลักซ์ ทำให้สาหร่ายเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลองมีค่าการดูดกลืนแสง 0.037 ปริมาณเซลล์ 7.0×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร น้ำหนักเซลล์แห้ง 27.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแคโรทีนอยด์ 159.5 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Factor affecting growth of *Chlorella* sp. C2M2-4 mutant for carotenoid production.
Name	Bunyathip Pangnuan Sothida Sanitwong
Department	Applied Biology
Program	Industrial Microbiology
Academic Year	2007
Special Project Advisor	Asst.Prof.Weena Choochote

ABSTRACT

Factors affecting on growth and carotenoid production of *Chlorella* sp. C2M2-4 mutant were studied. It found that modified N-8 medium consisted of glucose 20 g/l $NaNO_3$ 1 g/l and the initial pH of 6.8 under continuous light intensity of 2,400 lux was found to be suitable for the growth and carotenoid production. The highest growth were the absorbance of 0.037, 7.0×10^6 cells/ml, 27.8 mg/l drycell weight and 159.5 μg carotenoid/ g cells (total carotenoid) on day 4 of cultivation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดี ผู้ทำโครงงานพิเศษขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วีนา ชูโชติ และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง และดร.จิดาภา ทิน้อย ที่เป็นประธานกรรมการและกรรมการโครงงานพิเศษ ที่ช่วยในการตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ พี่พงศ์ธร เครือวณิชธรรมและพี่เทอดศักดิ์ ขจรบุญ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือรวมถึงคำปรึกษาในทุกๆด้าน

และขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง เพื่อนๆภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ชั้นปี 4 ทุกคนที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

นางสาวบุณยทิพย์ แป้งนวน

นางสาวโสธิดา สนิทวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สาหร่าย *Chlorella* sp.	3
2.2 ประโยชน์ของสาหร่าย	3
2.3 แคโรทีนอยด์	6
2.4 การสังเคราะห์สารแคโรทีนอยด์	19
2.5 สมบัติของแคโรทีนอยด์	23
2.6 แหล่งของแคโรทีนอยด์	24
2.7 หน้าที่ของแคโรทีนอยด์	25
2.8 ประโยชน์ของแคโรทีนอยด์	26
2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการสร้างแคโรทีนอยด์	27
2.10 การเหนี่ยวนำการผลิตแคโรทีนอยด์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน	30
3.1 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้	30
3.2 สารเคมี	30
3.3 อุปกรณ์	30
3.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	37
4.1 การเจริญเติบโตของสาหร่าย	37
4.2 ผลของปริมาณความเข้มข้นของกลูโคส	39
4.3 ผลของแหล่งไนโตรเจน	48
4.4 ผลของพีเอชเริ่มต้น	57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	66
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก ก.	75
ภาคผนวก ข.	76
ภาคผนวก ค.	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่พบในผักและผลไม้ 10

2.2 ปริมาณการรับประทานเบต้าแคโรทีน 14

4.1 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในวันที่ 4 ของการทดลอง 39

4.2 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2 47

4.3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย 47

4.4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรในวันที่ 4 ของการทดลอง 48

4.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรทและยูเรีย 1 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 56

4.6 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรทและยูเรีย 1 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย 56

4.7 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรท 1 กรัมต่อลิตร 57

4.8 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 ของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2 64

4.9 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0ของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย 64

4.10 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 6.8 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ข-1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร 76

ข-2 แสดงปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตรN-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร 76

ข-3 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 77

ข-4 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 77

ข-5 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 78

ข-6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 78

ข-7 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็น โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 79

ข-8 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็น โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 79

ข-9 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็น โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 80

ข-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจน เป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 80

ข-11 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 81

ข-12ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 81

ข-13 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 82

ข-14 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ข-15 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 83

ข-16 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 83

ข-17 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 84

ข-18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 84

ข-19 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 85

ข-20 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 85

ข-21 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 86

ข-22 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 86

ข-23 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 87

ข-24 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 87

ข-25 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 88

ข-26 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 88

ค-1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ 89

ค-2 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ค-3 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 91
ค-4 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 92
ค-5 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 93
ค-6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 94
ค-7 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 95
ค-8 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 96
ค-9 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้น ของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 97
ค-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 98
ค-11 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 99
ค-12 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 100
ค-13 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ค-14 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 102

ค-15 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 103

ค-16 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 104

ค-17 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 105

ค-18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 106

ค-19 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 107

ค-20 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ8.0 108

ค-21 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 109

ค-22 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 110

ค-23 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 111

ค-24 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ค-25 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 113

ค-26 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 โครงสร้างของไอโซพรีน 7

2.2 โครงสร้างของ Acyclic $C_{40}H_{56}$carotene (lycopene) 7

2. 3 โครงสร้างของเบต้า-แคโรทีน (β-carotene) ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) แคนทาแซนทีน (canthaxanthin) แอสต้าแซนทีน (astaxanthin) และ เอคไคนีโนน (echinenone) 20

2. 4 ขั้นตอนการสังเคราะห์ไลโคพีน (lycopene) 21

2. 5 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ 22

2. 6 ลักษณะการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของคลอโรฟิลล์ a, b และแคโรทีนอยด์ 23

2.7 ขั้นตอนการสังเคราะห์วิตามินเอจากสารเบต้า-แคโรทีน 27

3.1 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) Model HERMLE ZK 380 31

3.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) Model UV-2800A: UNICO 31

3.3 ลักษณะเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่กำลังขยาย 100 เท่า 32

3.4 ลักษณะเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ที่กำลังขยาย 100 เท่า 32

3.5 สาหร่ายในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร 33

3.6 แสดงการสกัดแคโรทีนอยด์ในกรวยแยก 35

4.1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลว สูตร N-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร 38

4.2 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp.C2M2-4 ในอาหารเหลว สูตร N-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร 38

4.3 การเจริญของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข) ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 43

4.4 ปริมาณเซลล์ของ*Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข) ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.5 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 45

4.6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ*Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร 46

4.7 การเจริญของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 52

4.8 ปริมาณเซลล์ของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 53

4.9 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4(ข)
ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 54

4.10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ*Chlorella* sp. C2 (ก) และ*Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร 55

4.11 การเจริญของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8และ 8.0 60

4.12 ปริมาณเซลล์ของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 61

4.13 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น5.0 6.8 และ 8.0 62

4.14 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *Chlorella* sp. C2 (ก) และ *Chlorella* sp. C2M2-4 (ข)
ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดแรกๆ ที่เกิดขึ้นมาบนโลกนี้ มีอายุนับพันล้านปีมาแล้ว มีบทบาทสำคัญทางด้านนิเวศวิทยา และห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตซึ่งสาหร่ายจะเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น (สิริรักษ์, 2525) ในปัจจุบันสาหร่ายถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายหลายด้านในชีวิตประจำวัน เช่น ใช้ผลิตอาหารเสริมสุขภาพ ผลิตสี บำบัดน้ำเสีย การใช้สาหร่ายดูดซับสารอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตอาหารสำหรับสัตว์ รวมทั้งใช้สารสกัดจากสาหร่ายที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ (ดุษณี, 2546)

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิดที่สามารถสร้างอาหารได้ด้วยตนเองจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชทั่วไป มีขนาดเล็กตั้งแต่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่มีความยาวหลายเมตร เช่น สาหร่ายทะเลหลายชนิด สาหร่ายมีรูปร่างหลายแบบ อาจจะเป็นเซลล์เดี่ยว หลายเซลล์มารวมกลุ่มกัน เรียกว่า กลุ่มเซลล์หรือโคโลนี เป็นเส้นสายทั้งแตกแขนง และไม่แตกแขนง เป็นทัลลัสที่คล้ายมีราก ลำต้น และใบคล้ายพืชชั้นสูง แต่ไม่มีระบบท่อลำเลียงดังเช่นพืชชั้นสูง ทุกเซลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อการดำรงชีวิตเหมือนๆ กัน (ยุวดี , 2546)

จากคุณสมบัติในการเจริญเติบโตที่รวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว จึงได้มีการนำมาศึกษาเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ซึ่งสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวที่มีการศึกษากันได้แก่ สาหร่าย *Chlorella* sp. เนื่องจากสามารถเพาะเลี้ยงให้เจริญเติบโตได้ง่าย ให้ผลผลิตสูงภายในระยะเวลาอันสั้น ทนต่อสภาวะต่างๆได้ดี และมีคุณค่าทางอาหารสูง ในช่วงระยะเวลาแรกๆนั้น นักวิทยาศาสตร์จะให้ความสนใจในเรื่องการผลิตเซลล์สาหร่ายเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร โดยได้เริ่มมีการเพาะเลี้ยง *Chlorella* sp. ขนาดใหญ่อย่างจริงจังในประเทศเยอรมัน ซึ่งอยู่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่ความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่คงที่ (กนกอร, 2543)

สำหรับในประเทศไทยได้มีผู้พยายามทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella* เพื่อผลิตเบต้า-แคโรทีนเป็นจำนวนมาก แต่ยังประสบปัญหาเพราะ *Dunaliella* มีอัตราการเจริญต่ำ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ยาก และสามารถเพาะเลี้ยงได้เฉพาะในน้ำทะเล หรือน้ำที่มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์สูง (กนกอร, 2543) ด้วยเหตุนี้การวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายมาทำการเพาะเลี้ยงเพื่อหาสภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ในปริมาณที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ได้แก่ ความเข้มข้นของกลูโคส แหล่งไนโตรเจน คือ โซเดียมไนเตรท โพแทสเซียมไนเตรทและยูเรีย และพีเอชเริ่มต้น

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. หาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย

2. ทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย

3. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 14

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายสามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้สูงสุด

2. ทราบปัจจัยชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สาหร่าย *Chlorella* sp.

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และสามารถสังเคราะห์แสงได้ แตกต่างจากพืชสีเขียวที่มีโครงสร้างในการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเป็นแบบง่ายๆ เช่น สาหร่ายเซลล์เดียวอาจทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์ได้เลย ในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ สาหร่ายหลายชนิดสร้างสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา หรือสปอร์ที่ไม่เคลื่อนที่อยู่ในสปอร์แรงเจียม สาหร่ายเป็นที่น่าสนใจของนักชีววิทยา เพราะสาหร่ายเพียงเซลล์เดียวก็จัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่สมบูรณ์แล้ว ที่สามารถสังเคราะห์แสงและสร้างสารประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลล์ได้ (นงลักษณ์ และคณะ, 2547)

ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ญี่ปุ่นได้อาศัย *Chlorella* sp. เป็นอาหาร นอกจากนี้ *Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายที่นิยมใช้ในการทดลอง เช่น ทดลองเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง ในโครงการอวกาศก็กำลังค้นคว้าเกี่ยวกับ *Chlorella* sp. เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์อวกาศในขณะที่บริษัทอุตสาหกรรมสาหร่าย *Chlorella* sp. แห่งไต้หวันกำลังผลิตผลิตภัณฑ์จากสาหร่าย ได้แก่ *Chlorella* sp. เป็นแผ่น และนม *Chlorella* sp. (จิตรา และคณะ, 2546)

สาหร่าย *Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียว จัดอยู่ใน Division Chlorophyta Class Chlorophyceae Order Chlorellales Family Chlorellaceae พบแพร่กระจายอยู่เป็นอิสระทั่วไป ทั้งในดิน แหล่งน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม อาจจะอยู่เซลล์เดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นโคโลนี เซลล์มีลักษณะกลมหรือรีขนาดแตกต่างกันไป ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-12 ไมโครเมตร บางครั้งพบอาศัยอยู่กับสัตว์อื่น (ยุวดี, 2546) มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้างออโตสปอร์ (autospore) ที่มีจำนวน 4 8 หรือ 16 แต่ละสปอร์มีลักษณะเหมือนเซลล์แม่ทุกประการ มีคลอโรพลาสต์เป็นแบบแถบข้างเซลล์ (parietal) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าประกอบด้วยไทลาคอยด์ (thylakoid) เรียงซ้อนกันเป็นชั้น เรียก กรานา (grana) และมีไพรีนอยด์ 1 อันซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารอยู่บนคลอโรพลาสต์ รงควัตถุสังเคราะห์แสงอยู่ในคลอโรพลาสต์ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แอลฟา เบต้าและแกมมาแคโรทีน รวมทั้งแซนโทฟิลล์หลายชนิด (กาญจนภาชน์ , 2527)

2.2 ประโยชน์ของสาหร่าย

สาหร่ายมีความสำคัญต่อมนุษยชาติในด้านต่างๆทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ด้านระบบนิเวศแหล่งน้ำ

เนื่องจากสาหร่ายดำรงชีวิตด้วยการสังเคราะห์แสงหรือสังเคราะห์อาหารด้วยตัวเอง ในกระบวนการดังกล่าวจะได้ออกซิเจน ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากที่สุด สาหร่ายจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำอย่างสูงยิ่ง นอกจากนั้นยังเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นในแหล่งน้ำ จึงจัดเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ ซึ่งเท่ากับเป็นสิ่งมีชีวิตในลำดับแรกของห่วงโซ่อาหารในน้ำ โดยเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ ลูกกุ้ง ลูกปลา และสัตว์น้ำอื่นๆ (ยุวดี, 2548)

2.2.2 ด้านอาหาร

ชาวจีนเป็นพวกแรกที่ใช้สาหร่ายเป็นอาหาร เช่น *Laminaria* (สาหร่ายสีน้ำตาล) *Gracilaria* (สาหร่ายสีแดง) และ *Nostoc* (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) ส่วนชาวญี่ปุ่นนั้นเป็นชนชาติที่นำสาหร่ายทะเลมาเป็นอาหารมากที่สุดและมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเป็นล่ำเป็นสัน ในปัจจุบันชาติต่างๆในหลายประเทศทั่วโลกรู้จักนำสาหร่ายมาประกอบอาหารทั้งในสภาพสดและแห้ง หากพิจารณาดูถึงคุณค่าอาหารของสาหร่ายแล้วพบว่าไม่สูงมากนัก คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่เป็นพวกย่อยยาก ส่วนโปรตีนมีไม่สูง นอกจากในบางชนิด เช่น *Scenedesmus*, *Chlorella* และ *Spirulina* ดังนั้นสิ่งที่มีประโยชน์ที่ได้นับจากสาหร่าย คือ แร่ธาตุและวิตามิน อาทิเช่น วิตามินเอ วิตามินบี (บี 1 และบี 12) วิตามินซี และวิตามินดี นอกจากนั้นยังมี ไนอาซิน (niacin) กรดแพนโทเทอิก (pantotheic acid) กรดโฟลิก (folic acid) และไอโอดีน (กาญจนภาชน์, 2527)

2.2.3 ด้านอุตสาหกรรม

สาหร่ายหลายชนิด มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ มีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 วุ้น (agar)

ได้มาจากการสกัดสาหร่ายสีแดง เช่น *Gelidium* spp. และ *Gracilaria* spp. วุ้นใช้ประกอบอาหารจำพวกขนมหวาน หรือใช้ทำอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความนิ่มและข้นในพวกแยม ลูกอม ไอศกรีม เนย มายองเนส กันสนิมในอาหารกระป๋อง ผสมเบียร์และทำไวน์ให้มีสีใส ใช้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ เช่น ยาระบาย แคปซูลยา ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น ครีม โลชั่น น้ำมันใส่ผม ใช้ย้อมเส้นด้ายให้ทองง่ายขึ้น เคลือบกระดาษ เคลือบฟิล์ม ทำกาว หมึกพิมพ์ เป็นต้น (ยุวดี, 2548)

2.2.3.2 คาร์ราจีนีน(carrageenin)

ได้มาจากการสกัดสาหร่ายสีแดงเช่นเดียวกัน มีคุณสมบัติคล้ายวุ้นแต่ต้องใช้ความเข้มข้นมากกว่า การใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับวุ้น (กาญจนภาชน์ , 2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 อัลจินหรืออัลจิเนต (algin หรือ alginate)

ได้มาจากสารสกัดสาหร่ายสีน้ำตาลบางชนิดเช่น *Laminaria* spp., *Macrocystis* spp., *Ascophyllum* spp. และ *Fucus* spp. เป็นต้น สารดังกล่าว เป็นสารที่ทำให้เกิดความเหนียว ใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการให้เกิดความเหนียว เช่นใส่ในอาหาร เครื่องสำอาง เวชภัณฑ์ สีทาบ้านและอื่นๆ (ยุวดี, 2548)

2.2.3.4 ไดอะตอมไมท์ หรือไดอะคอมมาเซียสเอิร์ท (diatomite หรือ diatomaceous earth)

ได้มาจากไดอะตอมที่ตายแล้วมาทับถมกัน กลายเป็นซากเหลือของผนังเซลล์ซึ่งเป็นซิลิกาที่ไม่สลาย เกิดในสมัยเทอเทียรี(tertiary) และควอเทอนารี (quaternary) นำมาใช้เป็นเครื่องกรองในโรงงานอุตสาหกรรม ฉนวนกันความร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้เป็นผงขัดเงาในโลหะต่างๆ หรือส่วนประกอบของยาสีฟัน ในภาคเหนือมีมากที่อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง (กาญจนภาชน์, 2527)

2.2.4 ด้านเกษตรกรรม

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนมาเป็นแอมโมเนีย ซึ่งเป็นปุ๋ยในนาข้าว หรือแหล่งเกษตรกรรมอื่นๆได้ ทำให้ได้ปุ๋ยชีวภาพซึ่งช่วยให้ผลผลิตดีขึ้น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena azollae* อาศัยอยู่ในใบของแหนแดง จึงใช้แหนแดงเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวได้เช่นเดียวกัน (ยุวดี, 2548)

2.2.5. ด้านการแพทย์

สาหร่ายบางชนิดสามารถใช้เป็นยารักษาโรคได้ ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.2.5.1 ยาสมุนไพร

ในประเทศจีนตอนใต้ ใช้สาหร่ายสีแดง *Digenia simplex* เป็นยาถ่ายพยาธิและรักษาโรคตานขโมย ใช้สาหร่ายสีน้ำตาลพวก *Sargassum* spp. รักษาโรคคอพอก ใช้สาหร่ายสีแดง *Chondrus crispus* (iris moss) รักษาโรคท้องร่วง โรคทางเดินปัสสาวะ และลำไส้อักเสบ ในประเทศญี่ปุ่นมีการสกัดสารจากสาหร่าย *Spirulina* sp. นำมารักษาโรคมะเร็งบางชนิด ประชาชนแถวลุ่มน้ำน่าน ใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostochopsis* sp. หรือ ที่เรียกว่า “ลอน” หรือ “ไข่หิน” แก้โรคร้อนใน (กาญจนภาชน์, 2527)

2.2.5.2 ยาปฏิชีวนะ

สาหร่ายบางชนิดสามารถสร้างสารต้านการเจริญของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ เช่นสาร Chlorellin จากสาหร่าย *Chlorella* spp. นอกจากนั้นยังมีสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอมบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการพบสารเพิ่มภูมิคุ้มกันในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น *Nostoc* spp. สามารถสร้างสารเพิ่มภูมิคุ้มกันในโรคเอดส์ สาหร่ายบางชนิดสร้างสารที่เป็นภูมิคุ้มกันในโรคมะเร็ง (ยุวดี, 2548)

2.2.6 ด้านบำบัดน้ำเสีย

ในการกระบวนการบำบัดน้ำเสียนั้น สารอินทรีย์ซึ่งมากับน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็น สารอนินทรีย์ เช่น ฟอสเฟต ไนเตรท แอมโมเนียม และอื่นๆ สาหร่ายสามารถใช้สารอนินทรีย์เหล่านี้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ลดลง พร้อมกันดังนั้น แหล่งน้ำจะมีออกซิเจนเพิ่มขึ้น จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย มีผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้น (ยุวดี, 2548)

2.2.7 ด้านการใช้เป็นสิ่งมีชีวิตติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ

เนื่องจากสาหร่ายหลายชนิดสามารถเจริญในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพต่างกัน ตัวอย่างเช่น *Euglena* spp. และ *Oscillatoria* spp. สามารถเจริญได้ในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง หรือน้ำคุณภาพไม่ดี ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวกลุ่มเดสมิดส์ เช่น *Cosmarium* spp. หรือ *Staurastrum* spp. เจริญในน้ำที่มีสารอาหารน้อย หรือน้ำที่มีคุณภาพดี ซึ่งจะนำไปสู่การใช้สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ติดตามตรวจสอบสภาวะแวดล้อมทางน้ำได้อีกทางหนึ่ง นอกจากการตรวจสอบคุณภาพของน้ำทางกายภาพหรือเคมี ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอยู่แล้ว (กาญจนภาชน์, 2527)

2.2.8 ด้านการผลิตสารที่มีประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมหลายชนิด

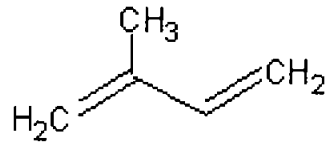
ปัจจุบันได้มีการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายมากขึ้น เช่น เอนไซม์หลายชนิด และบางชนิดมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม ด้านอาหาร เครื่องสำอาง และเวชภัณฑ์ต่างๆ (ยุวดี, 2548)

2.3 แคโรทีนอยด์ (carotenoid)

2.3.1 สารแคโรทีนอยด์ (carotenoid)

สารแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นรงควัตถุที่พบแพร่หลายในธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ โดยสารแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลือง ส้ม ชมพูและแดง เป็นสารประกอบเตเตระเทอร์พีนส์ (tetraterpenes) ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม ประกอบด้วยหมู่ไอโซพรีน (isoprene group) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม (รูปที่2.1) มาเชื่อมต่อกัน 8 หมู่ด้วยพันธะคู่ เกิดเป็น C_{40} เรียก ไลโคพีน (lycopene) โดยโครงสร้างหลักประกอบด้วย acyclic $C_{40}H_{56}$carotene (รูปที่ 2.2) และสมบัติการดูดกลืนแสงของสารแคโรทีนอยด์ขึ้นอยู่กับสายของ conjugated double bond ที่ทำหน้าที่เสมือนโครโมฟอร์ (chromophore)

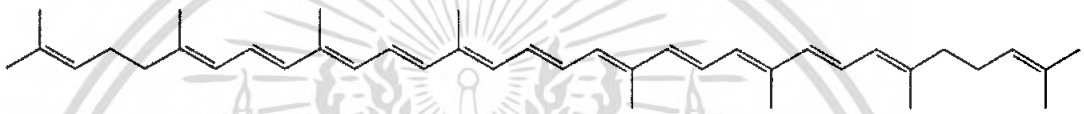
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Isoprene

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไอโซพรีน

ที่มา : www.food-info.net/uk/qa/qa-fi69.htm



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ Acyclic $C_{40}H_{56}$carotene (lycopene)

ที่มา : www.lipidmaps.org/data/get_lm_lipids_dbgif.ph

2.3.2 ความสำคัญของแคโรทีนอยด์

ถ้ากล่าวถึงแคโรทีนอยด์แล้ว คงไม่มีใครปฏิเสธว่าไม่รู้จักเพราะว่าสามารถหาได้จากแหล่งอาหารจำพวกผัก ผลไม้ที่มีสีส้ม แดง และส้มแดง เช่น แครอท นอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในน้ำมันและตัวทำลายอินทรีย์ต่างๆ โดยแคโรทีนอยด์เป็นโปรวิตามินเอ และสลายตัวได้ง่าย จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยเฉพาะเมื่อละลายอยู่ในน้ำมัน นอกจากผักผลไม้สีส้มแดงแล้ว ยังพบในผักผลไม้สุกหลายชนิด ได้แก่ กล้วย พริก มันเทศ มะเขือเทศ โดยอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์จะมีผลต่อสีของผลไม้ เช่น แคโรทีนอยด์ในผลส้มจะมีผลต่อสีของน้ำส้ม ซึ่งจะผันแปรขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความแก่อ่อน และวิธีการแปรรูปที่ใช้ (http://www.tistr-foodprocess.net)

นมแม่เป็นแหล่งอาหารที่ดีที่สุดสำหรับเด็ก เพราะว่าแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในนมแม่ ส่งเสริมภูมิคุ้มกัน ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการติดเชื้อโรคในร่างกายมนุษย์ แคโรทีนอยด์จะพบอยู่ในเนื้อเยื่อและของเหลวต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ ซึ่งรวมไปถึงเลือดและน้ำนม เบต้า-แคโรทีนเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหลักในน้ำนมแม่มีอยู่ถึงร้อยละ 25 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ส่วนแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆที่พบในนมแม่ ได้แก่ แอลฟา-แคโรทีน แกมมา-แคโรทีน ไลโคพีน และลูทีน จากการศึกษาพบว่าแคโรทีนอยด์เป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับเด็กทารก โดยจะพบแคโรทีนอยด์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่น้ำนมแม่โดยเฉพาะส่วนหัวน้ำนม หรือที่เรียกว่า คอรอสตรัม (http://www.wyethnutrition.co.th)

ข้อมูลการวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญทั้งในและต่างประเทศบ่งชี้ว่าปัญหาสุขภาพที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับสารที่เรียกว่าอนุมูลอิสระ ที่ทำปฏิกิริยาโยงใยในร่างกายได้มากมาย ก่อให้เกิดการอักเสบ การทำลายเนื้อเยื่อ เกิดต้อกระจกในผู้สูงอายุ โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โดยเฉพาะโรคมะเร็งและโรคหัวใจ อนุมูลอิสระนี้มาจากภายนอกและภายในร่างกาย ได้แก่มลพิษในอากาศ จากควันบุหรี่ แสงแดด รังสีแกมมา คลื่นความร้อน ส่วนที่มาจากภายในร่างกายเกิดจากกระบวนการเผาผลาญของออกซิเจนภายในเซลล์ หรือเกิดจากย่อยทำลายเชื้อแบคทีเรียของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้ (http://www.tistr-foodprocess.net)

การวิจัยพบว่าสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี และเบต้า-แคโรทีน สารทั้ง 3 ตัวนี้สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ โดยวิตามินซีซึ่งละลายน้ำได้ จะทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระในเซลล์ที่เป็นของเหลว ป้องกันการถูกอนุมูลอิสระทำลาย ส่วนวิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน จะช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ ส่วนวิตามินเอ ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันที่อยู่ในรูปของเบต้า-แคโรทีน หรือแคโรทีนอยด์ซึ่งมีในอาหารธรรมชาติประมาณ 600 ชนิด ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระ (http://www.bloggang.com)

สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีมากในผักผลไม้หลายชนิด โดยเฉพาะที่มีสีเขียว แดง แสด และเหลือง เช่น ผักใบสีเขียวเข้ม ได้แก่ ผักขม ผักคะน้า ผักตำลึง ผักบุ้ง ผักผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น ฟักทอง แครอท มะเขือเทศ มะม่วงสุก มะละกอสุก เป็นต้น วิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำมัน และมีมากในน้ำมันพืชทั่วไป เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันตอกคำฝอย เป็นต้น ในผักและผลไม้มีวิตามินอีค่อนข้างน้อยส่วนวิตามินซีมีมากในผักและผลไม้สดทั่วไป (http://www.bloggang.com)

ผลไม้ที่พบสารเบต้า-แคโรทีนมากที่สุด 10 อันดับแรก คือ มะม่วงน้ำดอกไม้สุกมี 873 ไมโครกรัมต่อผล รองลงมาได้แก่ มะเขือเทศราชินีมี 639 ไมโครกรัมต่อผล มะละกอสุกมี 532 ไมโครกรัมต่อผล แคนตาลูปเหลืองมี 217 ไมโครกรัมต่อผล มะปรางหวานมี 230 ไมโครกรัมต่อผล มะยงชิดมี 207 ไมโครกรัมต่อผล สับปะรดภูเก็ตมี 150 ไมโครกรัมต่อผล แตงโมมี 122 ไมโครกรัมต่อผล ส้มสายน้ำผึ้งมี 101ไมโครกรัมต่อผล และลูกพลับมี 93 ไมโครกรัมต่อผล (http://www.bloggang.com)

ผลไม้ที่มีวิตามินอีสูงสุด 10 อันดับแรก ได้แก่ ขนุนหนังมี 2.38 มิลลิกรัมต่อผล มะขามเทศมี 2.29 มิลลิกรัมต่อผล มะม่วงเขียวเสวยดิบมี 1.52 มิลลิกรัมต่อผล มะเขือเทศราชินีมี 1.34 มิลลิกรัมต่อผล มะม่วงเขียวเสวยสุกมี 1.23 มิลลิกรัมต่อผล มะม่วงน้ำดอกไม้สุกมี 1.1 มิลลิกรัมต่อผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะม่วงยายกล่ำสุกมี 0.97 มิลลิกรัมต่อผล กล้วยไข่มี 0.47 มิลลิกรัมต่อผล แก้วมังกรเนื้อสีชมพูมี 0.59 มิลลิกรัมต่อผล และสตรอเบอรี่มี 0.54 มิลลิกรัมต่อผล (http://www.bloggang.com)

ผลไม้ที่มีวิตามินซีมากที่สุด 10 อันดับแรก คือ ฝรั่งกลมสาลี่มี 187 มิลลิกรัมต่อผล ฝรั่งไร้เมล็ดมี 151 มิลลิกรัมต่อผล มะขามป้อมมี 111 มิลลิกรัมต่อผล มะขามเทศมี 97 มิลลิกรัมต่อผล เงาะโรงเรียนมี 76 มิลลิกรัมต่อผล ลูกพลับมี 73 มิลลิกรัมต่อผล สตรอเบอรี่มี 66 มิลลิกรัมต่อผล มะละกอแขกดำสุกมี 55 มิลลิกรัมต่อผล พุทรากับแอปเปิ้ลมี 47 มิลลิกรัมต่อผล และส้มโอขาวกับแดงกวามี 48 มิลลิกรัมต่อผล (http://www.bloggang.com)

ในกลุ่มของกล้วยต่างๆ 24 สายพันธุ์ มีทั้งเนื้อสีขาว สีเหลือง สีเหลืองอมแสด จากการศึกษาพบว่า กล้วยไข่พม่ามีสารเบต้าแคโรทีนสูงสุด คือ 528 ไมโครกรัมต่อผล รองลงมาคือกล้วยงาช้างมี 520 ไมโครกรัมต่อผล กล้วยไข่โนนสูงมี 397 ไมโครกรัมต่อผล กล้วยนางพญามี 393 ไมโครกรัมต่อผล กล้วยไข่มี 271ไมโครกรัมต่อผล และกล้วยหักมุกนวลมี 270 ไมโครกรัมต่อผล (http://www.bloggang.com)

ใน 1 วันคนเราควรบริโภคผลไม้ให้ได้ วันละ 4 ส่วน โดย 1 ส่วนของผลไม้ หากเป็นผลไม้ขนาดเล็ก เช่น องุ่น ลิ้นจี่ ลำไย เท่ากับ 6-8 ผล ผลไม้ขนาดกลาง เช่น ส้ม ชมพู่ กล้วย น้อยหน่า เท่ากับ 1-2 ผล ส่วนผลไม้ขนาดใหญ่ เช่น แตงโม สับปะรด มะละกอ จะเท่ากับ 6-8 ชิ้นพอคำ อย่างไรก็ดีในกลุ่มที่ต้องคุมปริมาณน้ำตาล โดยเฉพาะผู้ที่เป็นเบาหวาน อาจต้องเลือกผลไม้ที่รสไม่หวาน ในอเมริกาได้แนะนำให้ผู้ชายบริโภคแคโรทีนอยด์วันละ6 มิลลิกรัม ในคนไทยแนะนำให้บริโภควิตามินอีวันละ 6-15 มิลลิกรัม และวิตามินซีวันละ 40-90 มิลลิกรัม (http://www.bloggang.com)

2.3.3 ชนิดและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบเททระเทอร์ปีนส์ (teraterpenes) ที่มีคาร์บอน 40 อะตอม โครงสร้างของเททระเทอร์พีนส์เกิดจากไอโซพรีน (isoprene) ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม มาต่อกัน 8 โมเลกุล เกิดเป็น C_{40} เรียกว่า ไลโคพีน (lycopene) (กนกอร, 2543)

แคโรทีนอยด์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานเกิดจากไอซีนอยด์ 8 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันเป็น acyclic $C_{40}H_{56}$ carotene หลังจากนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นแคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ในที่สุด (สุดสายชล, 2541)

2.3.3.1 แคโรทีนเป็นโมเลกุลของ acyclic $C_{40}H_{56}$ carotene ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่ และที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองปลายจะมีอะตอมของคาร์บอนมาเกาะเป็นวงที่เรียกว่า ionone ring ตัวอย่างของแคโรทีน คือ เบต้าแคโรทีน

เบต้า-แคโรทีน (β-carotene)

แคโรทีน ได้ชื่อจากแครอท เพราะเป็นสารสีเหลืองส้มที่มีมากในแครอท อาจเรียกว่า "Carrot factor" (http://www.bloggang.com) แคโรทีน คือ สารสำคัญที่ร่างกายนำไปสร้างวิตามินเอ โดยมนุษย์ได้รับวิตามินเอจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ จากสัตว์ เช่น ตับ และน้ำนม สารแคโรทีนมีกว่าห้าร้อยชนิด รวมเรียกว่าแคโรทีนอยด์ แหล่งของเบต้าแคโรทีนจะพบได้ในผัก และผลไม้ที่มีสีส้มเหลือง หรือแดง เพราะเบต้าแคโรทีน คือ ตัวการทำให้พืชผัก และผลไม้มีสีสรรดังกล่าว เช่น แครอท ฟักทอง หน่อไม้ฝรั่ง ข้าวโพดอ่อน แตงโม แคนตาลูป มะละกอสุก และผักที่มีสีเขียว เช่น บรอคโคลี มะระ ผักบุ้ง ต้นหอม ผักคะน้า ผักตำลึง เป็นต้น (เหตุที่มีสีเขียวเพราะสีของเบต้าแคโรทีนถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบัง) (สุภาณี, 2540)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่พบในผักและผลไม้

ที่มา Ning Xia Red Science

http://www.ningxiawolfberry.net/science.html

ในทางวิทยาศาสตร์ เราค้นพบว่า สูตรโครงสร้างทางเคมี ของเบต้าแคโรทีน เป็นสูตรโครงสร้างทางเคมีที่มีขนาดใหญ่มาก ซึ่งเมื่อเรารับประทานเข้าไปในร่างกาย ตับ จะทำหน้าที่เปลี่ยนโมเลกุลของเบต้าแคโรทีน ดังกล่าวให้กลายเป็น วิตามินเอ (vitamin A) และสำหรับเบต้าแคโรทีน 1 โมเลกุล จะสามารถให้ วิตามิน เอ 2 โมเลกุล

เบต้า-แคโรทีน และแคโรทีนอยด์จากธรรมชาติ แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบตามธรรมชาติที่มีอยู่ในผัก ผลไม้ ซึ่งเป็นส่วนที่มีสีส้มของผักผลไม้นั้น แคโรทีนอยด์มีหลายชนิด เช่น อัลฟา-แคโรทีน ลูทีน ซีแซนทิน แต่ที่รู้จักกันดีคือ เบต้าแคโรทีน แคโรทีนอยด์แต่ละชนิดต่างก็มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่แตกต่างกันและทำงานสนับสนุนกัน ดังนั้นนอกจากเราจะต้องรับประทานผัก ผลไม้ ในปริมาณที่สูงแล้วยังต้องให้ได้หลากหลายชนิดเพื่อให้ได้แคโรทีนอยด์ครบทุกชนิด (http://www.yalor.yru.ac.th/~dolah/notes)

ประวัติความเป็นมาของเบต้าแคโรทีน

- ค.ศ.1967 สถาบันมะเร็งแห่งชาติสหรัฐฯ พบว่า เรตินอล ซึ่งเป็นวิตามินเอ ระงับมะเร็งทางเดินหายใจในหนูได้ (http://www.green-x.com)
- ค.ศ.1970 อิสราเอล นอร์เวย์ ญี่ปุ่น จีน ฝรั่งเศส ชี้ว่าคนที่ทานอาหารที่มีวิตามินเอสูงจะลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งบางชนิดได้ เช่น มะเร็งกระเพาะ ลำไส้ คอหอย ปอด และกระเพาะปัสสาวะ(http://www.green-x.com)
- ค.ศ.1981 ริชาร์ด ปีโต และคณะ พบว่าเบต้า-แคโรทีนไม่ใช่วิตามินเอที่ยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งได้ โดยลดอาการโรคมะเร็งในปอด ซึ่งพบว่าผู้ที่ทานผักที่มีแคโรทีนน้อยที่สุดจะเสี่ยงต่อมะเร็งปอดเป็น 7 เท่าของคนที่ทานมากที่สุดในกลุ่ม (http://www.green-x.com)
- ค.ศ.1981 นิตยสารชื่อดังทางการแพทย์ The Lancet ได้ตีพิมพ์ผลงานของ ดร.ริชาร์ด เชเคลล์ นักระบาดวิทยา มหาวิทยาลัยเท็กซัส ซึ่งค้นพบว่า สารป้องกันมะเร็งที่แท้จริงคือเบต้าแคโรทีนในพืชนั่นเอง เบต้าแคโรทีนสามารถลดอุบัติการโรคมะเร็งในปอดได้ แม้แต่ในผู้ที่สูบบุหรี่หลายปีแล้วก็ตาม ยิ่งกว่านั้นพวกเขาพบว่า คนที่ทานพืชผักที่มีแคโรทีนน้อยที่สุดจะเสี่ยงต่อมะเร็งในปอดเป็นเจ็ดเท่าของคนที่ทานมากที่สุดในกลุ่ม (http://www.green-x.com)
- ดร.โดโรธี แมคเคอราส คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทลัยเท็กซัส พบว่าหลังจากเลิกบุหรี่ 2-9 ปี ผู้ได้รับสารแคโรทีนต่ำมีโอกาสเป็นมะเร็งกล่องเสียง 5.5 เท่าของผู้ที่ได้รับสารแคโรทีนสูง (http://www.green-x.com)
- จากการทดลองของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดพิสูจน์ได้ว่า Squamous Carcinoma Cells (มะเร็งที่ผิวของเนื้อเยื่อในปอดซึ่งถูกกระตุ้นจากการสูบบุหรี่) ที่ตัดจากก้อนเนื้อ แคโรทีนลดการขยายตัวของก้อนมะเร็งในปอด และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในการต้านมะเร็ง (http://www.vcharkarn.com)
- มหาวิทยาลัยทัฟท์ส แสดงว่าเบต้าแคโรทีนจะเปลี่ยนแปลงในกระแสเลือด หลังรับประทานเข้าไปจะสะสมไว้ในปอด ตับ ไต และชิ้นไขมันกลายเป็นกรดเรติโนอิกทันทีที่ร่างกายต้องการซึ่งกรดเรติโนอิกใช้เป็นสารต้านมะเร็งในสหรัฐอเมริกา (http://www.vcharkarn.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- งานวิจัยของมหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปกิ้นส์ ที่มีชื่อเสียงในวงการแพทย์ได้ตีพิมพ์ใน New England Journal of Medicine พบว่า ปริมาณเบต้า-แคโรทีนสามารถพยากรณ์ความเสี่ยงต่อมะเร็งในปอดได้ โดยพบว่ากลุ่มคนที่มีเบต้า-แคโรทีนต่ำสุด มีโอกาสเป็นมะเร็งเป็น 2.2 เท่าของกลุ่มคนที่มีเบต้า-แคโรทีนสูงสุด และปริมาณเบต้า-แคโรทีนมีความสัมพันธ์กับการเกิด Squamous Cell Carcinoma (มะเร็งที่ผิวของเนื้อเยื่อในปอดซึ่งถูกกระตุ้นจากการสูบบุหรี่) (http://www.green-x.com)
- ในเมือง Kampala ประเทศ Uganda เบต้า-แคโรทีนสามารถลดอัตราการตายของทารกที่ได้รับเชื้อ HIV ช่วงอายุ 14 สัปดาห์ ถึง 12 เดือน
- การบริโภคเบต้า-แคโรทีนสังเคราะห์ในขนาดสูงมากๆ 50 มิลลิกรัมต่อวัน พร้อมกับวิตามินเอขนาด 25,000 หน่วยสากลแทนการป้องกันมะเร็ง จะเป็นการกระตุ้นมะเร็งในคนสูบบุหรี่ ถึงร้อยละ 42 แต่ถ้าเลิกบุหรี่และทานเบต้า-แคโรทีนสูงจะช่วยลดความเสี่ยงจากมะเร็งได้ร้อยละ 20 (http://www.green-x.com)
- แต่ในกลุ่มคนที่สูบบุหรี่หรือดื่มแอลกอฮอล์ หรือคนที่สัมผัสอยู่กับสารก่อมะเร็ง (carcinogens) อื่นๆ ที่พบในโรงงานอุตสาหกรรม แคโรทีนจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคโรทีนอาจเป็นสารก่อมะเร็งร่วม (co-carcinogen) (http://www.green-x.com)
- ในกรณีของมะเร็งบางชนิดคือ มะเร็งปอด เคยมีงานวิจัยที่ส่งผลขัดแย้งกับคำกล่าวข้างต้น เพราะผลการวิจัยกลับพบว่า มันทำให้เกิดมะเร็งมากขึ้น (http://www.green-x.com)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเบต้า-แคโรทีน (http://www.pha.narak.com)

1. Alpha Tocopherol, Beta Carotene Cancer Prevention Study (ATBC) ทำการทดลองโดยให้ผู้ชายที่สูบบุหรี่ 29,000 คน กินอาหารเสริมที่เป็นเบต้า-แคโรทีนเป็นเวลา 5-8 ปี ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่กินอาหารเสริม จะมีแนวโน้มเกิดมะเร็งมากขึ้นร้อยละ 18 เทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้กิน

2. Beta Carotene and Retinol Efficacy Trial (CARET) ทำการทดลองโดยให้ผู้ชายและผู้หญิงที่สูบบุหรี่ (หรือได้รับควันหรือสารพิษจากบุหรี่) 18,000 คน กินอาหารเสริมที่เป็นเบต้าแคโรทีนเป็นเวลา 4 ปีผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่กินอาหารเสริม จะมีแนวโน้มเกิดมะเร็งมากขึ้นร้อยละ 28 เทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้กิน

3. Physicians' Health Study ทำการทดลองในแพทย์ชาย 22,000 คน (ในกลุ่มนี้มีร้อยละ11ที่สูบบุหรี่) กินอาหารเสริมที่เป็นเบต้า-แคโรทีน เป็นเวลา 12 ปี ผลการศึกษาพบว่าการได้รับสารนี้ ไม่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็ง และไม่ส่งผลต่อการป้องกันมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของเบต้าแคโรทีน (http://www.sudipan.net)

- ดูแลรักษาผิวพรรณอันเป็นส่วนของร่างกายที่ดีที่สุดที่จะทำให้ทราบว่าอนุมูลอิสระมีผลต่อเราแล้วหรือยัง เช่น ผิวเริ่มเหี่ยวย่น ไม่ผ่องใส
- ลดความเสี่ยงต่อภาวะมะเร็ง อนุมูลอิสระมีผลเกี่ยวข้องกับมะเร็งเนื้อร้าย การลดปริมาณอนุมูลอิสระเท่ากับลดความเสี่ยงของมะเร็ง ทั้งยังพบว่าเบต้าแคโรทีนให้ผลกระตุ้นเซลล์ภูมิต้านทานในร่างกายที่ชื่อ ที-เฮลเปอร์ ให้ทำงานต้านสิ่งแปลกปลอมได้ดีขึ้น ให้ผลดีกับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อมะเร็ง
- บำรุงสุขภาพของดวงตา เบต้าแคโรทีนเมื่อโดนย่อยสลายที่ตับแล้วจะได้วิตามินเอ ซึ่งร่างกายนำไปใช้สร้างสารโรดอฟซินในดวงตาส่วนเรตินา ทำให้ตามีความสามารถในการมองเห็นในตอนกลางคืนได้ และยังลดความเสื่อมของเซลล์ของลูกตา ลดความเสี่ยงต่อการเป็นต้อกระจกด้วย
- ชะลอความแก่ เบต้าแคโรทีนให้ผลในการลดความเสื่อมของเซลล์จากอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดกระบวนการแก่
- ช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ และ การเจริญเติบโต
- ช่วยเพิ่มภูมิต้านทานของร่างกาย ทำให้แผลหายเร็วขึ้น

สำหรับผลข้างเคียงที่อาจเป็นผลเสียต่อร่างกายจากเบต้าแคโรทีน ขณะนี้ยังไม่พบ แม้จากการวิจัยพบว่าวิตามินเออาจเป็นพิษได้ถ้ารับประทานในปริมาณที่สูงกว่า 25,000 หน่วยสากล (IU) ต่อวัน แต่ไม่พบว่าเบต้า-แคโรทีนมีความเป็นพิษ เมื่อรับประทานในปริมาณสูง ส่วนการมีปฏิกิริยากับสารอื่นไม่พบรายงานว่ามีปฏิกิริยาของเบต้า-แคโรทีนกับยาสมุนไพร รวมทั้งผลิตภัณฑ์เสริมอาหารใตๆ (http://www.sudipan.net)

ปัจจุบันมีการผลิตเป็นแคปซูลออกมาวางจำหน่ายมีการโฆษณาว่าสามารถป้องกันมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจ หลอดเลือต ป้องกันการเกิดต้อกระจก ช่วยชะลอความแก่ เป็นต้น

เบต้าคาโรทีนแบบแคปซูลเข้ามาในวงการอาหารเสริมได้ไม่นานก็เริ่มเกิดปัญหา เมื่อกลุ่มนักวิจัยชาวฟินแลนด์ ดร.โอเมนส์ (G.S. Omenn) และคณะทำการศึกษาวิจัยบทบาทของการเสริมเบต้า-แคโรทีน ในการป้องกันมะเร็งโดยทดลองในคนที่สูบบุหรี่จัด ทำการศึกษาโดยดูผู้ที่สูบบุหรี่จัดและได้รับเบต้า-แคโรทีนแล้ว ความเสี่ยงต่อมะเร็งปอดจะลดลงบ้างหรือไม่ จากการทดลองที่ได้ทำติดต่อกันนานร่วม 6 ปี ผลการศึกษาออกมาแทนที่จะช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็งปอดตามที่คาดการณ์ไว้กลับกลายเป็นว่าบรรดาผู้ที่สูบบุหรี่จัดที่ได้รับการเสริมเบต้าแคโรทีน เป็นมะเร็งมากกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 แซนโทฟิลล์ เป็นโมเลกุลที่เกิดจากการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของแคโรทีน ชนิดที่พบกระจายตัวอยู่ในธรรมชาติมากที่สุด ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) อิชินีโนน (echinenone) แคนทาแซนธิน (canthaxanthin) และแอสต้าแซนธิน (astaxanthin) เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการรับประทานเบต้าแคโรทีน

สถาบัน	แนะนำให้รับประทานเบต้าแคโรทีน/วัน	
	IU (หน่วยสากล)	mg. (มิลลิกรัม)
สำนักงานอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา	2,886	5.2
สถาบันมะเร็งของสหรัฐอเมริกา	3,330	6
สำนักงานอาหารและยาแห่งประเทศไทย	2,664	4.8
Professor Antheny Dep Lock ชาวอังกฤษ	8,325	15

ที่มา: สุภาณี (2540)

ลูทีนและซีแซนทีน

ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) เป็นสารธรรมชาติจัดอยู่ในกลุ่มของสารรงควัตถุที่มีสีในตระกูลของสาร แคโรทีนอยด์ แต่มีความแตกต่างจากแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นตรงที่จะไม่เปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอ ลูทีนและซีแซนทีนมีในเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์หลายจุดด้วยกัน ส่วนของร่างกายที่มีสารลูทีนและซีแซนทีน ได้แก่ ในลูกตา คือ ที่เลนส์ตา และจอรับภาพของตา คือ เรตินา ตรงตำแหน่ง จุดรับภาพของลูกตา (macula) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สำคัญที่สุดในจอตาเรตินา เพราะเป็นจุดที่รูปภาพและแสงส่วนมากจะมาตกบริเวณนี้ เป็นส่วนที่จอตารับภาพได้ชัดที่สุดนั่นเอง ในธรรมชาติแล้วแม้จะมีแคโรทีนอยด์มากกว่า 600 ชนิด แต่มีเพียง 20 ชนิดเท่านั้นที่พบในมนุษย์ และมีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่พบในจุดรับภาพของลูกตา (macula) คือ ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) ในจอตาทั้งคู่ทำหน้าที่ช่วยกรองหรือป้องกันรังสีจากแสงแดดที่เป็นอันตรายต่อดวงตา และช่วยปกป้องเซลล์ของจอประสาทตาไม่ให้ถูกทำลายโดยการลดอนุมูลอิสระและกรองแสงสีน้ำเงินที่จะทำลายดวงตา (http://www.giffarine.co.th)

ในสารลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) นี้ มีคุณสมบัติแตกต่างจากแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น โดยจะไม่เปลี่ยนเป็นวิตามินเอ สามารถพบได้ในเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์หลายจุดได้แก่ ในเลนส์ตา และจอรับภาพของตา (retina) โดยจะช่วยกรองหรือป้องกันรังสีจากแสงแดดที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายต่อดวงตา ปกป้องเซลล์ของจอประสาทตาไม่ให้ถูกทำลายโดยการลดอนุมูลอิสระและกรองแสงสีน้ำเงินที่จะทำลายดวงตา นอกจากนี้ ลูทีน และซีแซนทีนยังพบได้ใน ตับ ตับอ่อน ไต ต่อมหมวกไต และเต้านม แต่ก็เป็นสารที่ร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ นอกจากนี้ลูทีนและซีแซนทีนยังช่วยป้องกันโรคหลายชนิด อาทิเช่น โรคต้อกระจก โรคจอรับภาพเสื่อม โรคหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งเป็นสารที่เหมาะกับผู้ใช้สายตามาก ผู้สูงอายุ ผู้ที่ทำงานอยู่หน้าจอคอมพิวเตอร์ หรืออยู่กับแสงสว่างจ้า กลางแดด ผู้ที่ต้องขับรถกลางคืนบ่อยๆ ผู้ที่โดนแฟลช ดูโทรทัศน์มากและนาน ผู้ป่วยเบาหวาน โรคหัวใจ รวมทั้งมะเร็งเต้านม (Asia Pacific Food Industry Thailand, 2006)

ลูทีนและซีแซนทีน กับโรคต้อกระจก

กลไกของการที่ลูทีนและซีแซนทีนช่วยลดหรือป้องกันการเกิดต้อกระจกได้นั้นเป็นเพราะเป็นคุณภาพของสารเองที่จะลดกลไกการเกิดความเสื่อมเกิดของโรคต้อกระจกโดยตรง (J. Nutr, 2000) นอกจากนี้ก็ยังพบว่าทั้ง ลูทีน และซีแซนทีน ต่างก็มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงในโรคที่เกิดจากการมีสารอนุมูลอิสระสูงได้ (Biophys and Acta,1991) มีการค้นพบที่ชัดเจนว่า การได้รับแสงเป็นประจำได้ก่อให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระใน กระจกตาและจอตาได้จริง มีผลทำให้เกิดออกซิเดชั่นของโปรตีนและไขมันในเลนส์ตา ทำให้เกิดความเสื่อมของเลนส์ตาและก่อให้เกิดต้อกระจกในผู้สูงอายุได้(Ocular photosensitization, 1986) จึงเป็นเหตุผลที่ชัดเจนว่าทำไมสารลูทีนและซีแซนทีน จึงสามารถลดความเสี่ยงของโรคต้อกระจกและโรคของจอตา คือ โรคจุดรับภาพเสื่อม ซึ่งมีกลไกการเกิดโรคจากความเสื่อมและอนุมูลอิสระได้เช่นกัน ในเรื่องของต้อกระจก ได้มีการวิจัยวัดความขุ่นของเลนส์ตา ระดับของลูทีนและซีแซนทีน ในกระแสเลือด ในกลุ่มผู้สูงอายุต่างๆ พบว่า การมีระดับของลูทีนและซีแซนทีน ในกระแสเลือดสูงจะผกผันกับความขุ่นของเลนส์ตาในผู้สูงอายุ เป็นการวิจัยของจักษุแพทย์ และผู้วิจัยสรุปว่าลูทีนและซีแซนทีนน่าจะลดการเกิดความเสื่อมของเลนส์ตาในผู้สูงอายุได้จริง (Arch Ophthalmol, 2002) ยังมีการวิจัยว่าการรับประทานลูทีนในปริมาณสูง เพิ่มความสามารถในการมองเห็น ของผู้ป่วยที่เป็นต้อกระจกไปแล้ว การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยที่ดีมาก และทำการทดลองเป็นเวลานานถึงสองปีทีเดียว (Nutrition, 2003) การวิจัยที่ยิ่งใหญ่ถึงคุณประโยชน์ของลูทีน และซีแซนทีน ทำในอเมริกา สองงานวิจัย งานวิจัยแรกทำที่ Harvard School of Public Health, Boston ในผู้ชาย 36,644 คน ที่ได้รับอาหารเสริมและวิตามินต่างๆ พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเป็น ลูทีน และซีแซนทีนจะลดความเสี่ยงของโรคต้อกระจกถึงร้อยละ19 (J.Clin.Nutr, 1999) และอีกงานวิจัยทำที่ University of Massachusetts ทำในสุภาพสตรี ถึง 50,461 คน เป็นการวิจัยทำนองเดียวกัน แต่ทำในผู้หญิงเท่านั้น พบว่า ลูทีน และซีแซนทีน จะลดความเสี่ยงของโรคต้อกระจกถึงร้อยละ 22 (J.Clin.Nutr, 1999) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำที่ University of Wisconsin-Madison Medical School ในผู้สูงอายุ 43-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84 ปี จำนวน 1,354 คน พบว่า ลดอุบัติการณ์ของต้อกระจกที่เกิดตรงกลางเลนส์ (nuclear cataracts) ได้ประมาณร้อยละ50 ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูงมาก (Am J Epidemiol, 1999) เนื่องจากมีงานวิจัยที่ชัดเจนมากมายถึงขนาดนี้จึงเป็นที่ยอมรับว่าลูทีน และ ซีแซนทีนลดอุบัติการณ์โรคต้อกระจกในผู้สูงอายุได้จริง

ลูทีนและซีแซนทีนกับโรคจุดรับจอภาพเสื่อม

นอกจากลูทีนและซีแซนทีนจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต้อกระจกแล้ว ยังพบว่ามีประโยชน์ในการรักษาโรคจุดรับภาพเสื่อมซึ่งมีหลายๆ การศึกษาสนับสนุนข้อมูลดังกล่าวโดยพบว่า ถ้าปริมาณลูทีนและซีแซนทีนในลูกตาลลดน้อยลงจะพบความเสี่ยงมากขึ้นในเป็นโรคจุดรับภาพเสื่อม (Adv Pharmacol, 2007) และความเสี่ยงในการเป็นโรคจุดรับภาพเสื่อมจะลดลง หากมีปริมาณ แอลลูทีนและซีแซนทีนในเลือดสูงขึ้น (Arch Opthamol, 2002 and JAMA, 1994) แสดงให้เห็นว่า การบริโภคอาหารที่มีลูทีน และซีแซนทีนสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้

ลูทีนกับมะเร็งเต้านม

ในการวิจัยของพยาบาล Nurse's Health Study, Zhang และคณะ พบว่ามีคนที่บริโภคอาหารที่มีลูทีนและซีแซนทีน ปริมาณมากอาจลดอุบัติการณ์ของโรคมะเร็งเต้านมในสตรีช่วงหมดประจำเดือนได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าเปอร์เซนต์การลดอุบัติการณ์จะไม่มากนัก แต่ก็น่าสนใจอย่างยิ่ง (J. Natl, 1999) ในทำนองที่สอดคล้องกัน ก็มีผู้วิจัยพบว่า ลูทีนลดอุบัติการณ์มะเร็งเต้านมได้จริงในสตรีกลุ่มที่มีความเสี่ยงคือมีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม (Am.J.Epidemiol, 2001) ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้จากกลไกของตัวลูทีนเองเพราะพบว่าสารลูทีนมีคุณสมบัติยับยั้งการก่อมะเร็งได้ด้วยกลไกหลายชนิด เช่น มีผลต่อการเกิด mutagens 1-nitropyrene and aflatoxin B1 (Mutagen,1997 และ Mutat, 1997) และมีผลต่อยีนที่มีผลต่อ T-cell transformations (Nutr, 1999)

ลูทีน และซีแซนทีน กับโรคหลอดเลือดหัวใจ

โรคหลอดเลือดหัวใจ สาเหตุหลักมักเกิดจากการที่เส้นเลือดมีการหนาตัวตีบแคบลง จากการมีตะกอน ทางการแพทย์เรียกว่า พล๊าค (plaque) ในผนังเส้นเลือด ทำให้เส้นเลือดตีบแคบทั่วไป เพียงแต่บริเวณที่สำคัญที่ต้องการเลือดมากที่สุดตลอดเวลาคืออวัยวะที่ไม่มีการหยุดพัก คือหัวใจ เป็นจุดที่เกิดปัญหาได้ก่อน ทำให้มีการขาดเลือดไปเลี้ยงหัวใจ ผู้ป่วยมักมีอาการเจ็บแน่นหน้าอก อาจมีหัวใจเต้นผิดจังหวะ หรือกล้ามเนื้อหัวใจตายจนหัวใจวาย หรือหัวใจหยุดเต้นและถึงแก่กรรมโดยฉับพลันได้ บางรายอาการทางหัวใจไม่มาก แต่เมื่อหัวใจเต้นผิดจังหวะนานๆ ก็อาจจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เลือดไปเลี้ยงสมองไม่พอ มีอัมพาตแขนขาอ่อนแรง หรืออัมพาตครึ่งซีก ตามมาได้ สาเหตุที่สำคัญที่ก่อให้เกิดพลัคในผนังเส้นเลือดคือภาวะไขมันในเลือดสูงและมีสารอนุมูลอิสระในผนังเส้นเลือดก่อให้เกิดการแทรกซึมของไขมันโคเลสเตอรอลลงไปสะสมในผนังเส้นเลือดทำให้เกิดพลัคและมีการตีบตันได้ งานวิจัยพบว่า ลูทีนสามารถลดกลไกการเกิดพลัคดังกล่าวได้ (Atherosclerosis, 2000) พบว่าในผู้ที่บริโภคอาหารที่มีลูทีนสูงจะลดอัตราการเป็นโรคหัวใจขาดเลือด และโรคหลอดเลือดตีบในสมองอย่างมีนัยสำคัญ (J. Am. Med และ J. Nutr, 1999)

กล่าวโดยสรุป ลูทีนและซีแซนทีน จึงเป็นสารอาหารธรรมชาติที่มีคุณประโยชน์เป็นที่เชื่อถือได้ ในหลายโรคด้วยกัน มีความปลอดภัย และเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค

ไลโคพีน

ไลโคพีน (lycopene) ซึ่งเป็นสารจำพวกแคโรทีนอยด์ฟังชื่อคล้ายๆ เบต้า-แคโรทีน (หรือวิตามินเอ) แต่จริงๆ ไม่ใช่วิตามินเอ เราสามารถพบ ไลโคพีนในผลไม้ต่างๆ ที่มีสีแดง เช่น แตงโม แอปริคอต ส้มที่มีสีแดง และฝรั่งที่มีสีแดง พบว่าไลโคพีน มีฤทธิ์ที่สำคัญคือ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรง โดยแรงกว่าเบต้าแคโรทีน(วิตามินเอ) 2 เท่า และแรงกว่าวิตามินอี ถึง 10 เท่า การที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แรงจะทำให้ลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด ทั้งนี้เพราะจะป้องกันไขมันตัวร้ายที่มีชื่อว่า แอลดีแอล (LDL) ไม่ให้มาทำลายหลอดเลือด จึงมีผลทำให้ลดการอุดตันหลอดเลือดต่าง ๆ ได้ และลดการอุดตันของหลอดเลือดที่เลี้ยงหัวใจได้ นอกจากนี้ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไลโคพีนยังสามารถป้องกันมะเร็งได้ เป็นเรื่องดีที่ไลโคพีนสะสมในอวัยวะบางอย่าง เช่น สะสมในตับ ปอด ต่อมลูกหมาก ลำไส้ใหญ่ และผิวพรรณ จึงสามารถช่วยป้องกันมะเร็งในตับ ปอด ต่อมลูกหมาก ลำไส้ใหญ่ และผิวได้

มีผลการวิจัยของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างแคโรทีนอยด์กับความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งต่อมลูกหมาก พบว่าแคโรทีนอยด์ที่มีผลลดความเสี่ยงได้ชัดเจนที่สุดเป็นแคโรทีนอยด์ ที่ชื่อว่าไลโคพีน พบว่าผู้ที่รับประทานไลโคพีนวันละมากกว่า 6.5 มิลลิกรัม สามารถลดความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็งต่อมลูกหมากได้ถึงร้อยละ21 เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่รับประทานน้อย และมีงานวิจัยที่พบว่าสามารถลดการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งหลังจากรับประทานไลโคพีน 10 มิลลิกรัมวันละ 1 ครั้ง

จากการวิจัยพบว่าร้อยละ 25 ของผู้ที่ชอบรับประทานมะเขือเทศจำนวนมากๆ เป็นประจำจะลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งลำไส้ถึงร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับผู้ที่รับประทานบ้าง การทดลองนี้มีความสำคัญทางสถิติมาก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวกับการลดความเสี่ยงของการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
83764

มะเร็งเต้านมอีกด้วย การรับประทานมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการผลิต จะให้ปริมาณไลโคพีนมากกว่าจากการรับประทานชนิดสดทั้งผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสกัดด้วยน้ำมันจะได้ปริมาณไลโคพีนออกมามากขึ้น

มะเขือเทศที่เราบริโภคกันอยู่ในสลัดรวมทั้งในซอสต่างๆในสปาเกตตีนั้นเป็นสารต่อต้านการเกิดของโรคมะเร็ง จากการค้นพบโดยบังเอิญของ Avtar Handa ศาสตราจารย์เฉพาะทางด้านผลไม้แห่งมหาวิทยาลัยเพอร์ดู มลรัฐอินเดียนา (Purdue University, IN) ร่วมกับหน่วยค้นคว้าวิจัยทางการเกษตรแห่งกระทรวงเกษตรของสหรัฐฯ พบว่ามะเขือเทศนั้นประกอบไปด้วยสารไลโคพีน (lycopene) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดของโรคมะเร็งและโรคหัวใจ และจัดว่าเป็นหนึ่งในสารจำพวกแคโรทีน (carotene) ที่มีลักษณะสีแดง สีส้ม และสีเหลือง ซึ่งมักพบได้ตามผักและผลไม้บางจำพวกเช่นพวกมะเขือเทศ ผลไม้จำพวกส้มเกลี้ยง (grapefruit) แตงโม ฝรั่ง และพริก (http://www.stkc.go.th)

ถึงแม้ว่าสารไลโคพีนจะก่อให้เกิดประโยชน์หลายประการอยู่ก็ตาม แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่าการบริโภคสารไลโคพีนผ่านทางวิตามินสำเร็จรูปนั้นไม่ก่อให้เกิดผลในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเหมือนกับที่บริโภคผ่านทางผักและผลไม้โดยตรง อีกทั้งวิตามินบางประเภท เช่น เบต้าแคโรทีนยังมีผลข้างเคียงในการก่อให้เกิดโอกาสในการเป็นโรคมะเร็งต่อผู้บริโภคที่สูบบุหรี่อีกด้วย ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามที่จะนำเอาเทคโนโลยีทางด้านชีววิทยาเข้ามาช่วยเพิ่มสารไลโคพีนตามธรรมชาติ โดยฉีดหน่วยพันธุกรรมของยีสต์ (yeast gene) เข้าไปในมะเขือเทศเพื่อก่อให้เกิดเอนไซม์ไปกระตุ้นให้เกิดการผลิตสารไลโคพีนที่มากขึ้นในมะเขือเทศ นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังหวังว่าการเพิ่มคุณค่าทางอาหารโดยใช้เทคโนโลยีทางชีววิทยาเข้าช่วยนั้นจะสามารถทำได้มากยิ่งขึ้นในอาหารประเภทอื่นในอนาคตอีกด้วย (http://www.stkc.go.th)

2.3.3.3 แคโรทีนอยด์ชนิดอื่น (อรพรรณ, 2532)

- รีโทร-แคโรทีนอยด์ (retro-carotenoid) หมายถึง แคโรทีนอยด์ที่เกิดการเคลื่อนย้ายพันธะภายในโมเลกุล เช่น โรโดแซนทิน (rhodoxanthin) ซึ่งทำให้ผลไม้ผลเล็กๆ บางชนิดมีสีแดง

-โฮโม-แคโรทีนอยด์ (homo-carotenoid) หมายถึง แคโรทีนอยด์ที่ประกอบด้วย C_{40} ตามปกติ แต่มีกลุ่มอะตอมของคาร์บอนเพิ่มเข้าไป 1-2 ชุด ที่ C-2 หรือ C-2' เช่น ดีคาร์พรีโน-แซนทีน (decaprenoxanthin) และแบคเทอริโอรูเบอริน (bacterioruberin) แคโรตินอยด์ที่ประกอบด้วย C_{45} และ C_{50} เหล่านี้มักพบในแบคทีเรียบางชนิด

-เอโป-แคโรทีนอยด์ (apo-carotenoid) หมายถึง แคโรทีนอยด์ที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 40 อะตอม โดยการดึงบางส่วนออกจากปลายโมเลกุลข้างเดียว หรือ ทั้ง 2 ข้าง เช่น เบต้า-ซิตร้ายูริน (ß-citraaurin; C_{30}) ซึ่งทำให้เกิดสีส้มในผลไม้รสเปรี้ยว (citrus fruit) บางชนิด

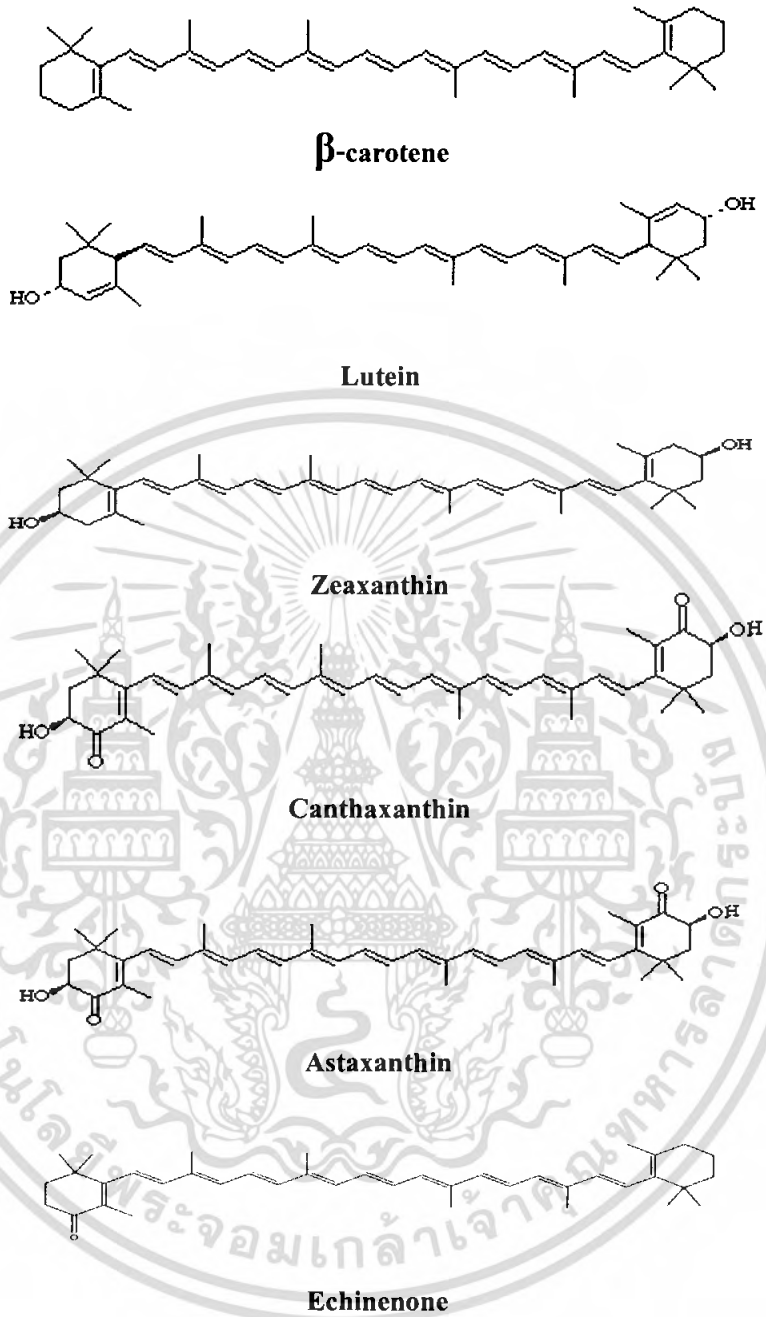
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-นอร์-แคโรทีนอยด์ (nor-carotenoid) หมายถึง แคโรทีนอยด์ที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 40 อะตอม โดยการสูญเสียคาร์บอน 1 อะตอม หรือกลุ่มเล็กๆ เท่านั้น ออกไปจากภายในโมเลกุล เช่น แอคตินิโออีรีทริน (actinioerythrin) เป็นเม็ดสีม่วงในดอกไม้ทะเล (sea anemone) ซึ่งสูญเสียคาร์บอนที่ C-2 และ C-2'

2.4 การสังเคราะห์สารแคโรทีนอยด์ (Britton และคณะ, 2001)

สารแคโรทีนอยด์เป็นไขมันในกลุ่มเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ที่เป็นสารประกอบ อะไซคลิค (acyclic) และไซคลิค (cyclic) ไม่ละลายน้ำ โดยสร้างจากเทอร์พีนอยด์คาร์บอน 5 อะตอม ที่เชื่อมกับไอโซเพนทีนิลไดฟอสเฟต (isopentenyl diphosphate : IPP) แล้วจะเปลี่ยนจากไอโซเพนทีนิลไดฟอสเฟตไปเป็นเจอรานิลเจอรานิลไพโรฟอสเฟต (geranylgeranyl pyrophosphate : GGPP) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 20 อะตอม จากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันของเจอรานิลเจอรานิลไพโรฟอสเฟต 2 โมเลกุล เกิดเป็นไฟโตอีน (phytoene) โดยเอนไซม์ไฟโตอีนซินเทส (phytoene synthase) ไฟโตอีนจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน (dehydrogenation) ดึงเอาหมู่ไฮโดรเจนออกเกิดเป็นไฟโตฟลูอิน (phytofluene) ซีตาแคโรทีน (zeta-carotene) และนิวโรสปอร์รีน (neurosporene) แล้วจึงเกิดเป็นไลโคพีน (lycopene) (รูปที่ 2.4) ไฟโตอีนจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นไลโคพีน ซึ่งไลโคพีนจะเป็นสารตั้งต้น (precursor) ในกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์หลายชนิด (รูปที่ 2.5) เช่น การเกิดปฏิกิริยาไซไคลเซชัน (cyclization) ที่ปลายโมเลกุลเกิดเป็นโมเลกุลของแคโรทีน หลังจากที่เกิดปฏิกิริยาไซไคลเซชันโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นสารแคโรทีนอยด์ในกลุ่มของแซนโทฟิลล์ ด้วยการเติมหมู่ออกซิเจนเพิ่มเข้าไปในโมเลกุล เช่น หมู่ไฮดรอกซี (hydroxy) หรือคีโตน (ketone) เป็นต้น

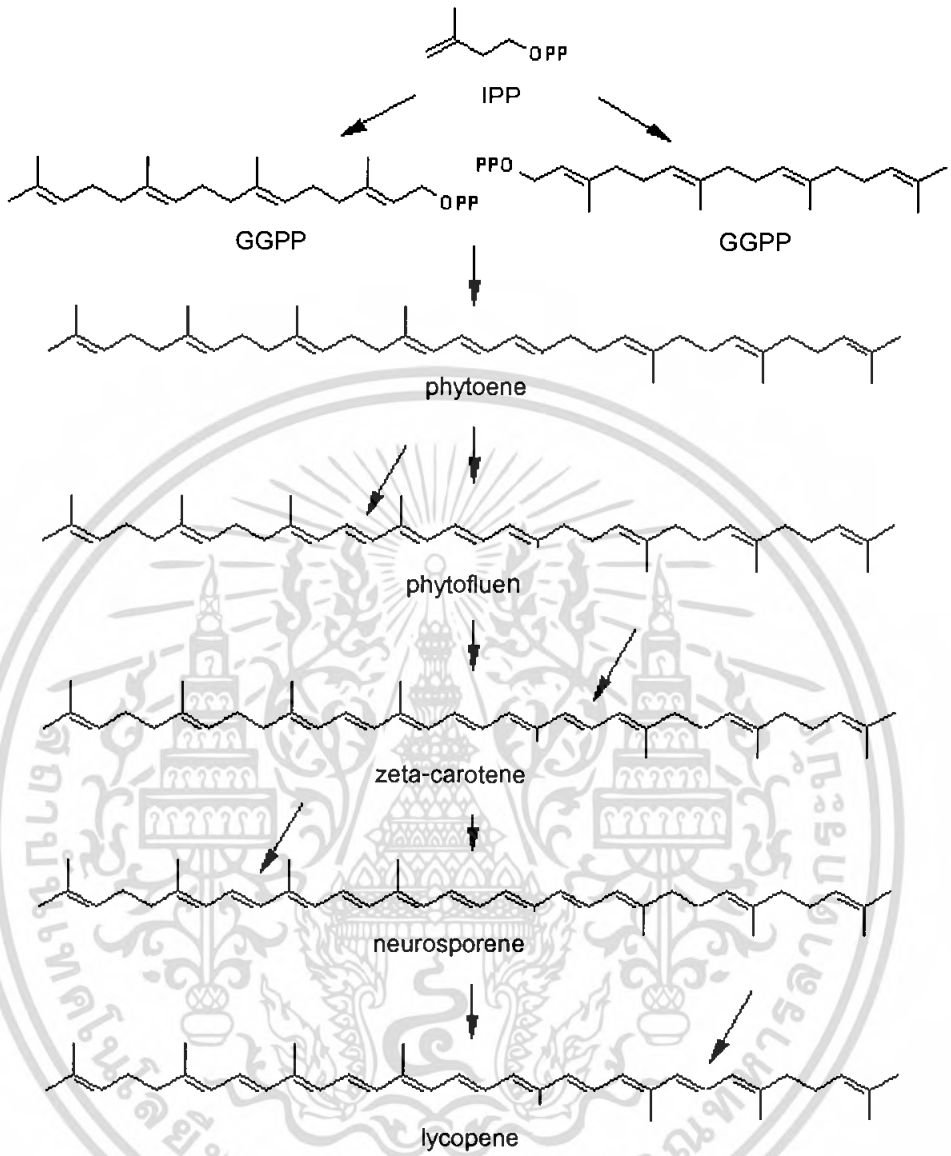
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 3 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีน (β-carotene) ลูทีน (lutein) ซีแซนทีน (zeaxanthin) แคนทา-แซนทีน (canthaxanthin) แอสต้าแซนธิน (astaxanthin) และเอคไคนีโนน (echinenone)

ที่มา : www.food-info.net/uk/caro/stru.htm

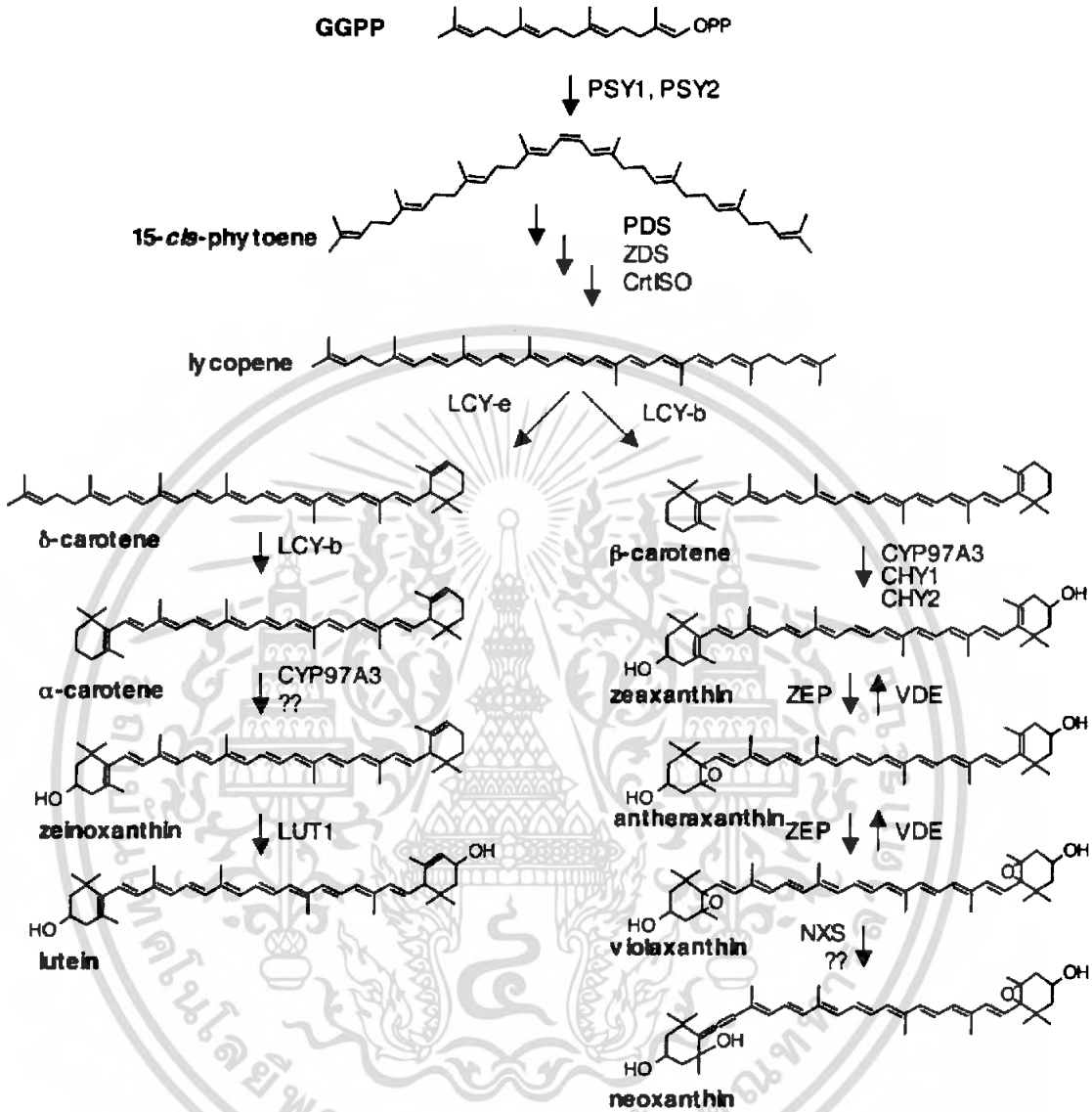
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 4 ขั้นตอนการสังเคราะห์ไลโคพีน (lycopene)

ที่มา : http://dcb-carot.unibe.ch/Biosynth.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 5 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์

ที่มา : www.biomedcentral.com/1471-2229/6/13/figure/F1

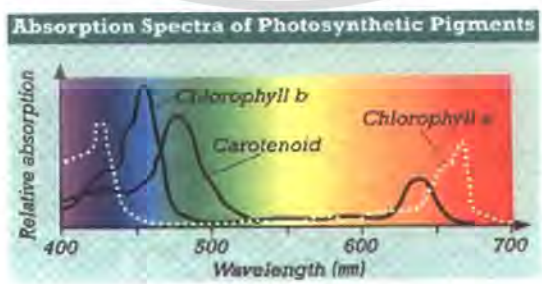
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สมบัติของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงสามารถละลายในไขมันและตัวทำละลายไขมัน (lipid solvent) เช่น อะซิโตน (acetone) แอลกอฮอล์ (alcohol) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethylether) และคลอโรฟอร์ม (chloroform) นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (nonpolar solvents) เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) และเฮกเซน (hexane) ยกเว้นแคโรทีนพวกที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated carotene) เช่น ไฟโตอีน (phytoene) ไฟโตฟลูอีน (phytofluene) และแกมมาแคโรทีน ซึ่งไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (Goodwin, 1984) การสกัดแคโรทีนอยด์ออกมาจากเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตทำได้โดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ และสารละลายผสมของตัวทำละลายผสมทั้งสองชนิด (กนกอร, 2543)

แคโรทีนอยด์มีส่วนในการสังเคราะห์แสง โดยเป็นตัวช่วยในการถ่ายทอดพลังงานรังสีที่รับไปยังคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์เป็นสารละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ สำหรับแคโรทีนละลายได้ดีในปิโตรเลียมอีเทอร์ ส่วนแซนโทฟิลล์ละลายได้ดีในเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 90 แซนโทฟิลล์จะละลายอยู่ในเมทานอล ส่วนแคโรทีนจะยังคงอยู่ในปิโตรเลียมอีเทอร์ แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นเบต้าแคโรทีน ซึ่งประกอบด้วย $C_{40}H_{56}$ มีน้ำหนักโมเลกุล 536.9 ให้สีม่วงแดง ถ้าอยู่ในสารละลายพวกไขมันจะให้สีเหลืองอ่อนถึงส้ม ถ้าอยู่ในสารละลายน้ำจะให้สีส้ม (โฆษิต, 2540)

แคโรทีนอยด์พบได้ทั่วไปทั้งในพืชและสัตว์ แต่สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ขึ้นมาเองได้ จึงต้องได้รับจากพืชหรือสัตว์ที่เป็นอาหารโดยตรงและสามารถเก็บเม็ดสีเอาไว้ในตัวของมันหรืออาจเปลี่ยนเป็นรงควัตถุรูปอื่นได้ (http://www.bloggang.com) รงควัตถุเหล่านี้อยู่ในพลาสติด (plastid) ภายในไซโตรพลาสซึมของเซลล์ แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองแดง โดยธรรมชาติจะดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและเขียวได้ดีที่สุด และจะปล่อยแสงสีเหลืองและแดงออกมาจึงเห็นเป็นสีเหลือง ส้ม หรือแดง (วราทิพย์, 2540)



รูปที่ 2. 6 ลักษณะการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของคลอโรฟิลล์ a b และแคโรทีนอยด์

ที่มา : 68.90.81.6/ScienceTAKS/Photosynthesis.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แหล่งของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นเม็ดสีที่มีการกระจายในธรรมชาติมากที่สุด พบทั่วไปในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ แต่สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ขึ้นมาเองได้ จึงต้องได้รับจากพืชหรือสัตว์ที่เป็นอาหารโดยตรง

2.6.1สัตว์

แคโรทีอยด์ทำให้เกิดสีสันในสัตว์ได้ ยกเว้นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น ทำให้เนื้อปลามีสีสันสวยงาม ทำให้ขนนกมีสีเหลืองถึงแดง และยังพบในแมลง สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์มีกระดูกสันหลัง น้ำเค็มเกือบทุกชั้น รวมทั้งพบในฟองน้ำทะเลด้วย (กนกอร , 2543)

2.6.2 พืช

ในคลอโรพลาสต์ของเนื้อเยื่อที่มีสีเขียว จะประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ นอกจากนั้นยังพบเม็ดสีแคโรทีนอยด์ในโครโมพลาสต์ (chromoplast) ทำให้เกิดสีในดอกไม้และผลไม้ ตามปกติจะไม่ค่อยพบแคโรทีนอยด์ในรากพืช แต่พบว่า มีเบต้าแคโรทีน และแอลฟาแคโรทีนปริมาณมากในหัวแครอท (บัญญัติ,2532)

2.6.3 แบคทีเรีย

แคโรทีนอยด์ที่พบส่วนใหญ่เป็นแซนโทฟิล์มากกว่าแคโรทีน โดยพบอยู่ที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่ไม่สังเคราะห์แสงบางสายพันธุ์ และพบได้มากในแบคทีเรียสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากแคโรทีนอยด์มีสาระสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง (อรพรรณ, 2532)

2.6.4 รา

ราส่วนใหญ่สังเคราะห์แคโรทีนอยด์ไม่ได้ ยกเว้นราชั้นต่ำ (lower fungi) โดยสังเคราะห์ขึ้นที่ไมซีเลียม (mycelium) สำหรับเห็ดพบแคโรทีนอยด์ในเห็ดชันเทอเรล (chanteelle) ส่วนในยีสต์พบ ได้ในยีสต์สีแดงสกุล *Rhodotorula* ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาแคโรทีน โทรูลีน และ โทลูลาร์โฮดิน และยีสต์ *Phaffia* สังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ได้แก่ แอสต้าแซนทิน (กนกอร, 2543)

2.6.5 สาหร่าย

พบว่าทุกดิวิชั่นของสาหร่ายจะสร้างเบต้าแคโรทีนอยด์ ยกเว้นใน Cryptophyta ที่สร้างแอลฟาแคโรทีน (บัญญัติ, 2532) สำหรับแซนโทฟิลล์นั้นจะแตกต่างออกไป

สาหร่ายสีเขียวเป็นสาหร่ายที่สามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ โดยมีรงควัตถุที่สำคัญ คือ คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) และแคโรทีนอยด์ (อรพรรณ, 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หน้าที่ของแคโรทีนอยด์

หน้าที่ของแคโรทีนอยด์ในเนื้อเยื่อต่างๆ นั้น เป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงนั่นเอง ดังนั้นแคโรทีนอยด์จึงมีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ป้องกันแสง (photoprotection) และรับแสง (photoreception) รวมทั้งทำให้เกิดสีสันที่สวยงามขึ้นอีกด้วย

2.7.1 การสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ แคโรทีนอยด์เป็นเม็ดสีชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องในขบวนการนี้โดยทำหน้าที่รับพลังงานแสง แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ และรงควัตถุอื่นๆ จะรวมตัวกันอยู่เป็นโครมาโตฟอร์ (chromatophore) บนเยื่อของเซลล์แบคทีเรียหรือรวมกันเป็นแผ่น เรียกว่า ไทลาคอยด์(thylakoid) อันเป็นส่วนหนึ่งของคลอโรพลาสต์ในสาหร่ายและพืชสีเขียวทั่วๆไป เมื่อคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมมากระทบกับโมเลกุลของแคโรทีนอยด์และเม็ดสีอื่นๆ จะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลมีพลังงานสูงขึ้นพอที่จะวิ่งหลุดออกจากโมเลกุล เรียกว่า excited electron ซึ่งจะไปรีดิวซ์สารประกอบอื่นๆต่อไปในกระบวนการสังเคราะห์แสง (อรพรรณ, 2532)

2.7.2 การป้องกันแสง

เซลล์ของพืชชั้นสูง แบคทีเรีย และราจะถูกทำลายได้โดยผ่านกระบวนการทำให้โมเลกุลของออกซิเจนถูกกระตุ้น (excited oxygen molecule) แคโรทีนอยด์ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกัน ซึ่งสามารถระงับโมเลกุลออกซิเจนที่ถูกกระตุ้นเหล่านั้นได้ (กนกอร, 2543)

2.7.3 การรับแสง

ในขบวนการมองเห็นภาพขึ้นอยู่กับกลุ่มเม็ดสีที่ไวต่อแสง เรียกว่า โรดอปซิน (rhodopsin) ซึ่งอยู่ที่เรตินาของตวงตา โรดอปซินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างออปซิน (opsin) กับ 11-cis-retinaldehyde โดยสารประกอบทั้งสองนี้เป็นไอโซเมอร์ของวิตามินเอ ซึ่งมาจากเบต้าแคโรทีนนั่นเองถ้าขาดวิตามินเอ ปริมาณโรดอปซินในเรตินาจะลดลงทำให้มองไม่เห็นในตอนกลางคืน หรือในทีที่มีแสงสลัว (สิรินทร์และคณะ, 2523)

2.7.4 ทำให้เกิดสีในเนื้อเยื่อต่างๆ

แคโรทีนอยด์ทำให้เกิดสีขึ้นในเนื้อเยื่อต่างๆ ทั้งในสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้เอง และในสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ไม่ได้ ซึ่งสีสันต่างๆ ที่เรามองเห็นอาจเป็นสีที่เกิดแคโรทีนอยด์เพียงชนิดเดียว หรืออาจเป็นสีผสมที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแคโรทีนอยด์กับรงควัตถุชนิดอื่นก็ได้ สำหรับสัตว์เมื่อได้รับแคโรทีนอยต์ปริมาณมากๆ มักเกิดการสะสมใต้ผิวหนัง เช่น ไก่จะสะสมลูทีนไว้ใต้ผิวหนังจนทำให้ผิวมีสีเหลืองเข้ม ถ้าได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของสาหร่ายสีเขียวร้อยละ 5 (อรพรรณ, 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ประโยชน์ของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์นับเป็นรงควัตถุที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ได้แก่

2.8.1 ใช้เป็นสีผสมอาหาร

ใช้เป็นสีผสมอาหาร โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน โดยใช้ผสมในอาหารประเภทไขมันต่างๆ เช่น เนยแข็ง เนยเหลว มาร์การีน น้ำมันพืช และผลิตภัณฑ์มักกะโรนี เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มประเภทน้ำส้ม และอาหารประเภทอื่น โดยใช้เบต้าแคโรทีนที่ถูกปรับปรุงและสังเคราะห์คือ แคนทาแซนทีน และอะโปแคโรทีนอยด์ ซึ่งสามารถละลายหรือกระจายตัวในน้ำได้ (Britton, 1983)

2.8.2 ใช้เป็นอาหารสัตว์

ส่วนใหญ่จะใช้แซนโทฟิลล์ โดยมักเข้าไปสะสมในไข่แดงของสัตว์ โดยไม่มีการเปลี่ยนรูป โดยทั่วไปแคโรทีนอยด์ที่ใช้มักเป็นผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ที่ได้มาจากกระบวนการทางเคมีอินทรีย์มากกว่ามาจากพืช แต่อย่างไรก็ตามตั้งแต่ปี ค.ศ. 1956 ก็ได้มีความพยายามที่จะผลิตแคโรทีนอยด์โดยวิธีการหมัก ทั้งนี้ในการทำอาหารสัตว์สามารถจะใช้วิธีชีวมวลเป็นแหล่งสีได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องนำไปสกัดแยกแคโรทีนอยด์ออกมา เช่น สาหร่ายสีเขียว นอกจากจะเป็นแหล่งสีแล้วยังให้โปรตีนและวิตามินแก่สัตว์อีกด้วย (อรพรรณ, 2532)

2.8.3 เป็นสารตั้งต้นโปรวิตามินเอ (provitamin A)

สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์บางชนิด เช่น เบต้าแคโรทีน คริปโตแซนทีน และลูทีน มีคุณสมบัติเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (provitamin A) (รูปที่ 2.7) โดยสารเบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นวิตามินเอที่สำคัญที่สุด โดยโมเลกุลของเบต้าแคโรทีนจะถูกตัดตรงกลางด้วยเอนไซม์ให้กลายเป็น 2 โมเลกุลของเรตินอลดีไฮด์ (retinaldehyde) ภายในลำไส้และตับของสัตว์ จากนั้นจะเปลี่ยนเรตินอลโดยเอนไซม์เรตินอล รีดักเทส (ratinal reductase) (กนกอร, 2543)

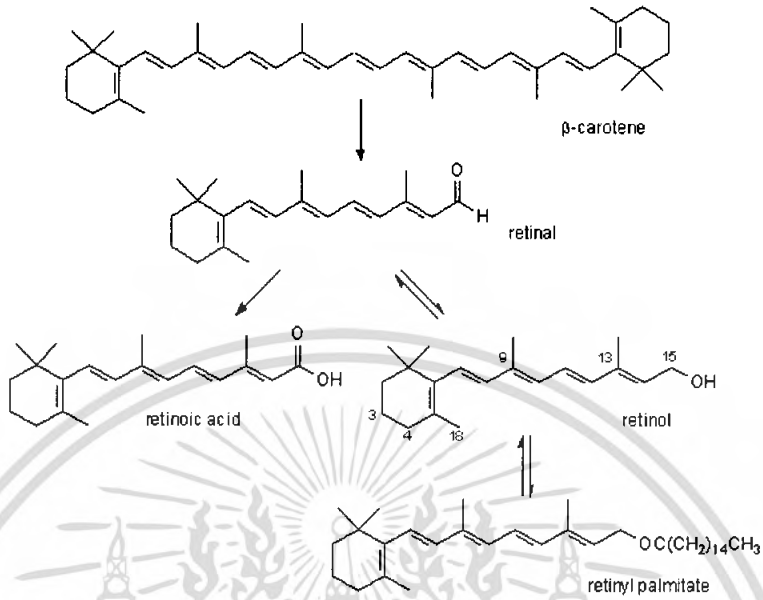
2.8.4 ใช้ในทางเภสัชกรรม

เนื่องจากเบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ จึงสามารถใช้ในการป้องกันและปรับสภาพการขาดวิตามินเอได้ นอกจากนี้ใช้เป็นสารป้องกัน (protective agent) เพื่อปกป้องผิวหนังจากอาการคัน ไหม้ และเป็นผื่น ซึ่งเกิดจากการรับแสงแดดของคนไข้ที่เป็นโรคไวต่อแสง (Frossberg และคณะ, 1959)

ในการผลิตยาจะใช้แคโรทีนอยด์ เช่น เบต้า-แคโรทีน และแคนทาแซนทีนเป็นสีผสมในน้ำตาลที่เคลือบบนเม็ดยา ผสมลงเจลาตินที่ใช้ทำแคปซูล (Munzel และ Fuller, 1969)

จากการศึกษาแอสตาแซนธินช่วยปกป้องผิวหนังจากรังสีไวโอเลตซึ่งก่อให้เกิดโรคมะเร็งและเพิ่มการต่อต้านการติดเชื้อจากไวรัส แบคทีเรีย และปรสิต (Lorenz และ Cysewski, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการสังเคราะห์วิตามินเอจากสารเบต้าแคโรทีน

ที่มา : www.lipidlibrary.co.uk/Lipids/isoprene/index.htm

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการสร้างแคโรทีนอยด์

2.9.1 แหล่งคาร์บอน

แหล่งคาร์บอนจำเป็นอย่างยิ่งในการสังเคราะห์ตัวเซลล์ยีสต์ ส่วนใหญ่ใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ แหล่งคาร์บอนมีหลายประเภท เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แอลกอฮอล์ เป็นต้น ตัวอย่างกลุ่มเคมีบริสุทธิ์ (chemical refined carbon sources) เช่น น้ำตาล แป้ง เป็นต้น นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าวัตถุดิบทางธรรมชาติที่ให้คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ข้าวโอ๊ต (oats) ข้าวบาร์เล่ย์ (barley) ข้าวโพด (corn) ข้าว (rice) น้ำตาลจากกากอ้อย (sugar cane molasses) และหางนมจากชีส (cheese whey) (Buzzini และ Martini., 2000; Bhosale และ Gadre., 2001)

2.9.2 ผลของพีเอช

ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต เมตาบอลิซึม อุณหภูมิ ค่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อไม่ได้เพียงแต่ส่งผลในด้านการสังเคราะห์สารเท่านั้น แต่จะส่งผลต่ออัตราการเจริญของเชื้อด้วย โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 จะมีผลทำให้การเจริญและอัตราการผลิตแคโรทีนอยด์ของเชื้อมากที่สุด ซึ่งเปลี่ยนแปลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์แคโรทีนอยด์ที่ผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า พีเอช และความเข้มข้นเซลล์สูงสุดควบคู่กันไป (Aksu และ Tugba Eren., 2007)

2.9.3 ไนโตรเจน

ธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน โคเอนไซม์ กรดนิวคลีอิก และคลอโรฟิลล์ ธาตุไนโตรเจนจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่าย รูปแบบของธาตุอาหารไนโตรเจนที่สาหร่ายทั่วไปนำมาใช้เป็นสาหร่ายทั่วไปนำมาใช้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ได้แก่ รูปไนเตรท(NO_3) ไนไตรท์ (NO_2) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4) แต่ถ้ามีการใช้แหล่งไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไอออน มากกว่า 1 มิลลิโมล เป็นอาหารสำหรับสาหร่าย จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายลดลงอย่างรวดเร็วและสาหร่ายถูกยับยั้งการเจริญเติบโต และความเข้มข้นของ ไนไตรต์ควรต่ำกว่า 1 มิลลิโมล เพราะถ้ามีความเข้มข้นของไนไตรต์ควรมากกว่า 1 มิลลิโมล อาจมีผลยับยั้งการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน (จันทนา, 2546)

2.10 การเหนี่ยวนำการผลิตแคโรทีนอยด์

2.10.1 รังสีแกมม่า

รังสีแกมม่าเป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอ็กซเรย์ ทำให้เกิดการไอออไนเซชั่นได้ รังสีแกมม่าเกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของเรดิโอนิวไคลด์ในปฏิกิริยาการสลายตัวนิวเคลียสของเรดิโอนิวไคลด์ ซึ่งมีสภาวะไม่เสถียรจะพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สภาวะเสถียร โดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีแอลฟาหรือรังสีเบต้า และตามด้วยการสลายตัวให้รังสีแกมม่าเรดิโอนิวไคลด์ ที่นิยมใช้เพื่อการให้รังสีแกมม่า คือ โคบอลต์-60 และซีเซียม-157 เนื่องจากฉายรังสีได้ทั้ง 2 แบบ คือ การฉายรังสีแบบเฉียบพลัน คือการให้รังสีในปริมาณสูง และให้รังสีเสร็จสิ้นในระยะเวลาสั้น (สิรินุช, 2540)

Schroeder และ Johnson (1995) พบว่า ยีสต์สายพันธุ์ดั้งเดิมที่พบในธรรมชาติสามารถผลิตแอสต้าแซนธินได้ในปริมาณที่น้อยมาก คือ 200-300 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ จึงมีการศึกษาและปรับปรุงสายพันธุ์ยีสต์โดยใช้ แอนติ้มัยซิน (antimycin) ไนโตรโซกัวนีดีน (nitrosoguanidine, NTG) รังสียูวี (UV) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เบต้า-ไอโอโนน (β-ionone) และดูโรควิโนน (duroquinone) (An และคณะ, 1989; Lewis และคณะ, 1990; Fang and Chen, 1993; Schroeder and Johnson, 1993; Schroeder และคณะ, 1996; Bon และคณะ, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 สารเคมี

Daraseliya และ Daushvili (1982) รายงานว่าการเติมเอทานอล เมทานอลไอโซ โพรนอล และเอทิลีนไกลคอล ลงในอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จะช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์ แคโรทีนอยด์

Maragalith และ Meyday (1968) รายงานว่า เอทานอลกระตุ้นการสร้างใหม่เบต้า-แคโรทีน และโทลูอีนในยีสต์ *Rhodotorula glutinis*

Halliwell และ Gutteridge (1992) พบว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะกระตุ้นการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์โดย *Chlorella zofinginnis* ในที่มืดและเกิดแอสต้าแซนธินเพิ่มขึ้น

Ma และChen (2001) ได้ศึกษาพบว่าสาหร่าย *Chlorococcum* sp. มีการผลิตแอสต้าแซนธินเพิ่มขึ้นในที่มืดเมื่อ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.1 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน

3.1 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้

สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 (P47011) สายพันธุ์แม่ ได้จากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายได้จากการนำสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 (P47011) สายพันธุ์แม่มาฉายด้วยรังสีแกมม่า

3.2 สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol 95%)
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
3. ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethylether)
4. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
5. โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (Na_2SO_4 anhydrous)

3.3 อุปกรณ์

1. เครื่องแก้ว เช่น ฟลาสก์ บีกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปตต์ และอื่นๆ
2. ไมโครปิเปตต์ (micropipett) ขนาด 5 มิลลิลิตร
3. ตู้ปลอดเชื้อ
4. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง (autoclave) Model HA-300 MIV: HIRAYAMA
5. เครื่องเขย่า (Platform Shaker) Orbital shaker: Gallankamp
6. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectophotometer) Model UV-2800A: UNICO
7. เครื่องเขย่าสาร (vortex)
8. กรวยแยก (separatory funnel)
9. กระดาษกรอง (glass microfibre filters) Whatman GF/C 0.45 ไมครอน
10. ชุดกรองต่อกับปั๊ม (suction pump)
11. ตู้อบลมร้อน (oven)
12. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) Model HERMLE ZK 380
13. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) Model 215: Denver Instrument
14. เครื่องวัดความเข้มแสง (lux meter)
15. อ่างน้ำร้อน (water bath) Clifton Unstirred Bath

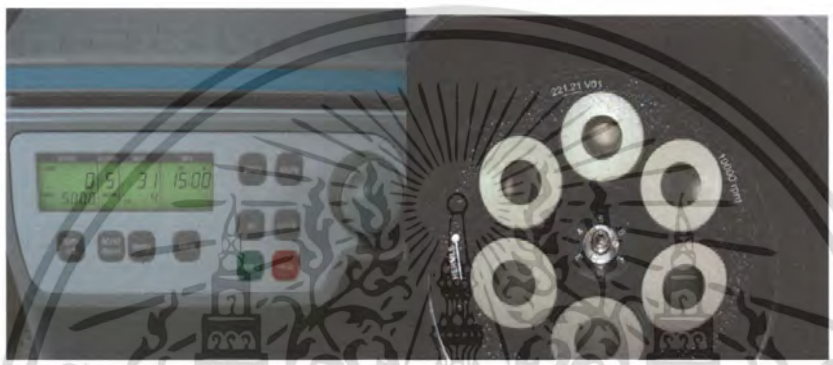
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. โถดูดความชื้น (desiccator) Doran: Vakuumfest

17. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Adventurer: Ohaus

18. กล้องจุลทรรศน์ (microscope) Model CH-2 Olympus

19. สไลด์สำหรับนับเซลล์ (haemacytometer) Improved Neubauer, deep 1/10 mm: Boeco Germany



รูปที่ 3.1 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) Model HERMLE ZK 380

รูปที่ 3.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) Model UV-2800A: UNICO

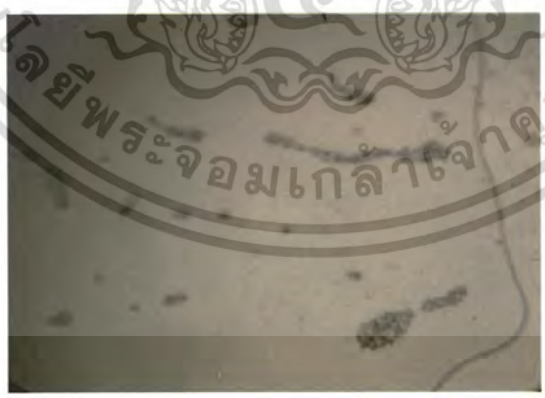
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp.

นำสาหร่าย *Chlorella* sp. 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย (รูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ) จากหลอดอาหารเอียง นำมาเตรียมเป็นหัวเชื้อ โดยใช้สาหร่าย 1 หลอดอาหารเอียงมาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร N-8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องภายใต้แสงฟลูออเรสเซ็นต์ที่มีความเข้มแสง 2,400 ลักซ์ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

รูปที่ 3.3 ลักษณะเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 3.4 ลักษณะเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ที่กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การศึกษาการเจริญของสาหร่าย

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลว สูตร N-8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่หัวเชื้อ 10 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวางบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 180 รอบต่อนาที โดยให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 2,400 ลักซ์ อย่างต่อเนื่องประมาณ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และศึกษาการเจริญด้วยวิธีการนับจำนวนเซลล์โดยใช้สไลด์สำหรับนับเซลล์ (haemacytometer) และวัดค่าการดูดกลืนแสงใช้ตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร

รูปที่ 3.5 สาหร่ายในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.4.2.1 การนับจำนวนเซลล์

นำสไลด์สำหรับนับเซลล์ (haemacytometer) และกระจกปิดสไลด์มาเช็ดให้สะอาด โดยวางกระจกปิดสไลด์บนแท่นที่วางกระจกปิดสไลด์ แล้วหยดตัวอย่างสาหร่าย 1 หยด ใส่ในช่องตัวอย่าง (loading port) ตัวอย่างจะกระจายไปทั่วช่องสำหรับนับ (chamber) ควรหยดตัวอย่างให้เต็มทั้ง 2 ช่อง แล้ววางแผ่นสไลด์สำหรับนับเซลล์ทิ้งไว้ให้เซลล์จมลงสู่พื้นสไลด์ ประมาณ 4-6 นาที จากนั้นนับเซลล์สาหร่ายและรายงานผลเป็น จำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตร

วิธีคำนวณ

จำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตร = ค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ใน 1 ช่องใหญ่ × ค่าไดลูชันแฟคเตอร์ของช่องใหญ่ (2×10^7) × ไดลูชันแฟคเตอร์ของความเจือจางที่นำมานับ

3.4.2.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสง

นำตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตรไปวัดค่าการเจริญด้วยเครื่องดูดกลืนแสง (spectophotometer) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 การหาน้ำหนักแห้งของเซลล์

นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman GF/C 0.45 ไมโครเมตรโดยก่อนกรองนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วนำกระดาษกรองที่มีตัวอย่างอยู่ข้างบนไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นหาน้ำหนักแห้งของเซลล์ได้จากผลต่างระหว่างน้ำหนักกระดาษกรองก่อนกรองและหลังกรอง

3.4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ (KMITT, 1996)

3.4.3.4.1 นำเซลล์สาหร่ายปริมาตร 20 มิลลิลิตรไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แยกเอาส่วนน้ำทิ้ง ล้างน้ำกลั่น 2 ครั้ง

3.4.3.4.2 เติมเอทานอล (เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์) 10 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร (เข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เขย่าให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.4.3.4.3 สกัดในอ่างน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

3.4.3.4.4 นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที นาน 5 นาที

3.4.3.4.5 ใส่สารสกัดลงในกรวย

3.4.3.4.6 เติมไดเอทิลอีเทอร์ 25 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 90 กรัมต่อลิตร) 10 มิลลิลิตร

3.4.3.4.7 เขย่า ปล่อยทิ้งไว้จนแยกชั้น

3.4.3.4.8 ไขชั้นสีเขียวออกช้าๆ

3.4.3.4.9 เติมโซเดียมคลอไรด์ (90 กรัมต่อลิตร) 10 มิลลิลิตร ลงในชั้นสีเหลือง ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3.4.3.4.1 - 3.4.3.4.9 จนกระทั่งสารละลายชั้นล่างมีลักษณะแยกใสไม่มีสี

3.4.3.4.10 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์จากสูตร

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)} = \frac{Abs_{450} \times 25 \times 1000}{260 \times \text{นน.แห้ง (มิลลิกรัมกรัม)}}$$

หมายเหตุ : Abs_{450} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

25 คือ ปริมาตรไดเอทิลอีเทอร์ที่มีแคโรทีนอยด์ก่อนวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงการสกัดแคโรทีนอยด์ในกรวยแยก

3.4.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย เพื่อผลิตแคโรทีนอยด์

3.4.3.1 ผลของปริมาณความเข้มข้นของกลูโคส

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในอาหารสูตร N-8 ที่ดัดแปลงด้วยการเติมกลูโคสที่ระดับความเข้มข้น 10 20 และ 30กรัมต่อลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยให้แต่ละฟลาสก์บรรจุอาหารเหลว 100 มิลลิลิตร ที่ใส่หัวเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที โดยให้แสงต่อเนื่องด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 2,400 ลักซ์ ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 7 วัน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการเจริญโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง นับจำนวนเซลล์ หาน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์

3.4.3.2 ผลของแหล่งไนโตรเจน

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp.C2M2-4 สายพันธุ์กลายในอาหารสูตร N-8 ที่ดัดแปลงโดยการเติมกลูโคสที่ระดับความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.1 และนำมาศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนด้วยการเติมโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) โซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$) และ ยูเรีย ที่ระดับความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุอาหารเหลว 100 มิลลิลิตรที่ใส่หัวเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตแคโรทีนอยด์ โดยกำหนดให้โพแทสเซียมไนเตรทเป็นตัวควบคุม จากนั้นนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ให้แสงต่อเนื่องด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 2,400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักซ์ ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 7 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่างเพื่อวัดการเจริญโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง นับจำนวนเซลล์ หาน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์

3.4.4.3 ผลของพีเอชเริ่มต้น

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในอาหารสูตร N-8 ที่มีการดัดแปลงโดยการเติมกลูโคสที่ระดับความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.1 และความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจนที่ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.2 แล้วจึงปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 ในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุอาหารเหลว 100 มิลลิลิตรที่ใส่หัวเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ให้แสงต่อเนื่องด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 2,400 ลักซ์ ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 7 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่างเพื่อวัดการเจริญโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง นับจำนวนเซลล์ หาน้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์

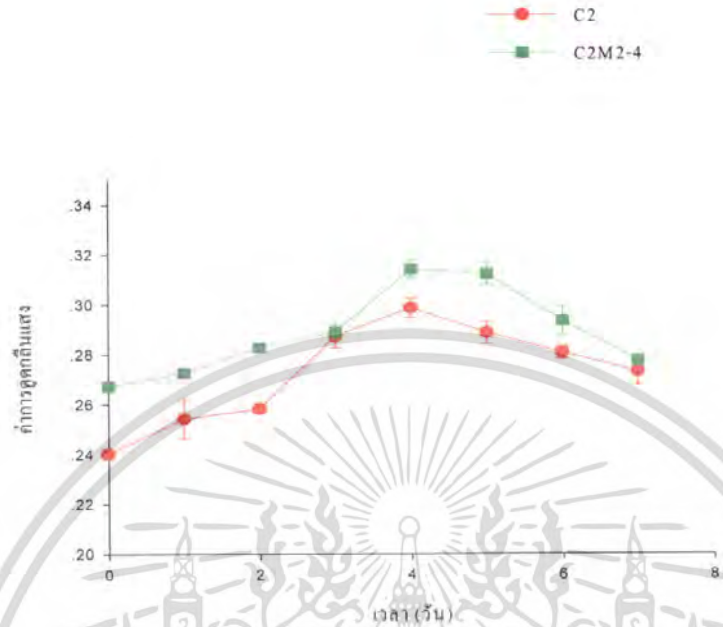
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

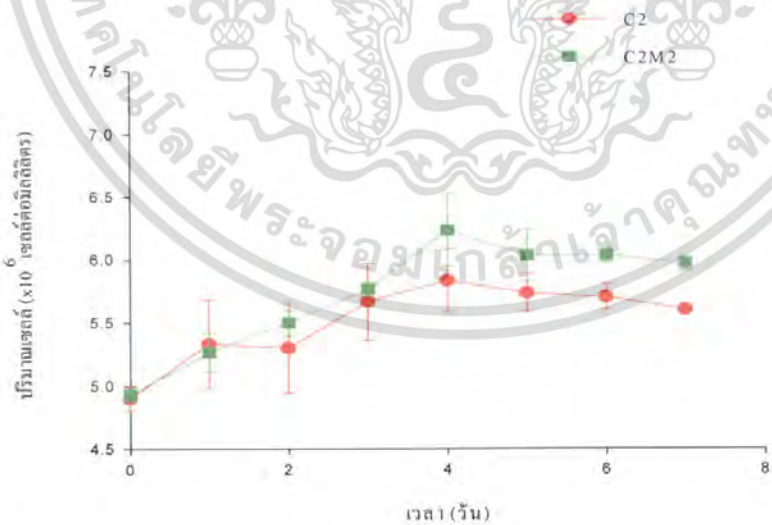
4.1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp.

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ในอาหารเหลว สูตร N-8 ดัดแปลงที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่หัวเชื้อ 10 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร พบว่าการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกๆ และจะสูงสุดในช่วงวันที่ 4 ของการทดลองซึ่ง C2M2-4 เจริญดีกว่า C2 โดยมีค่าดูดกลืนแสง 0.314 และ0.299 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$) (ภาพที่ 4.1) และปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 มากกว่า *Chlorella* sp. C2 ซึ่งในวันที่ 4 ของการทดลองมีปริมาณเซลล์สูงสุดเป็น 6.3×10^6 และ 5.8×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และหลังจากนั้นปริมาณเซลล์จะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากเซลล์จะเจริญได้ดีในระยะที่อัตราการเจริญเท่ากับอัตราการตาย (stationary phase) และเมื่อทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ไปเรื่อยๆจะทำให้อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงหมดมีผลทำให้เซลล์ขาดอาหารและตายในที่สุด ซึ่งทำให้การเจริญและปริมาณเซลล์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 4.2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gil-Hwan An และคณะ (2001) พบว่ายีสต์สายพันธุ์กลายจะเจริญได้ดีในระยะที่อัตราการเจริญเท่ากับอัตราการตาย (stationary phase) โดยมีน้ำหนักเซลล์สูงสุด 36 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 40 มิลลิกรัมแคโรทีนอยด์ต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกันก็จะเห็นว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายมีการเจริญที่ดีกว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 เช่นกัน จึงได้นำสาหร่าย C2M2-4 มาศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของกลูโคส แหล่งไนโตรเจน และพีเอชเริ่มต้นที่มีผลต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.2 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp.C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในวันที่ 4 ของการทดลอง

สาหร่าย *Chlorella* sp.	ค่าการดูดกลืนแสง (560 นาโนเมตร)	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
Chlorella sp. C2	0.299^b	5.8^a
Chlorella sp. C2M2-4	0.314^a	6.3^a

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2 ผลของปริมาณความเข้มข้นของกลูโคส

การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของกลูโคสที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในอาหารสูตร N-8 ดัดแปลงที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร พบว่าการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.072 รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.037 และ 0.024 ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร ในช่วงแรกของการทดลองจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร และจะสูงสุดในช่วงวันที่ 4 ของการทดลอง แต่หลังจากนั้นที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตรจะให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงต่ำกว่ากลูโคสความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร แต่ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร จะพบว่า ในช่วง 2 วันแรกของการทดลองจะมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร แต่หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดในช่วงวันที่ 4 ของการทดลองเช่นเดียวกันเป็น 0.072 ต่อวัน และหลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย พบว่า ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.095 รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.056 และ 0.030 ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตรจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในช่วงวันที่ 3 ของการทดลอง จะมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าที่ความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลูโคส 30 กรัมต่อลิตร แต่หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตรและจะสูงสุดในช่วงวันที่ 4 ของการทดลอง แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งวันสุดท้ายของการทดลอง ในขณะที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิดร ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ ความเข้มข้น 10 และ 30 กรัมต่อลิตร โดยค่าการดูดกลืนแสงจะสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเป็น 0.095 หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน (ภาพที่ 4.3)

ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด มีปริมาณเซลล์ 11.0×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร มีปริมาณเซลล์ 10.5×10^6 และ 8.9×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ในช่วง 3 วันแรกของการทดลอง จะมีปริมาณเซลล์น้อยกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร แต่หลังจากนั้นปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรพบว่าในช่วง 2 วันแรกปริมาณเซลล์จะน้อยกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร แต่หลังจากนั้นปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณเซลล์สูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเป็น 11.0×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นปริมาณเซลล์จึงลดลงเรื่อยๆ ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด มีปริมาณเซลล์ 14.5×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร มีปริมาณเซลล์ 10.4×10^6 และ 10.2×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร จะมีปริมาณเซลล์ใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตรจะมีปริมาณเซลล์สูงกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร ปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะมีปริมาณเซลล์สูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเป็น 14.5×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นปริมาณเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณเซลล์น้อยกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร ในวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.4)

น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด มีน้ำหนักแห้ง 53.6 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้ง 51.4 และ 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร พบว่าในช่วง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันแรกของการทดลองจะมีน้ำหนักเซลล์แห้งน้อยกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร แล้วหลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลอง แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็วจนน้ำหนักเซลล์แห้งต่ำสุดในวันสุดท้ายของการทดลอง ส่วนที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเซลล์แห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงสุดในวันที่ 4 เช่นเดียวกัน หลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจะค่อยๆ ลดลงเช่นกัน และเมื่อให้ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเซลล์แห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดเป็น 62.3 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจึงลดลงอย่างรวดเร็ว สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด มีน้ำหนัก 62.3 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้ง 59.7 และ 39.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ในช่วง 3 วันแรกของการทดลองน้ำหนักเซลล์แห้งจะน้อยกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร แต่หลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดในวันที่ 4 แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเซลล์แห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและจะลดลงในช่วงหลังวันที่ 4 ของการทดลอง และเมื่อให้ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรน้ำหนักเซลล์แห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเป็น 53.6 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากวันที่ 4 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.5)

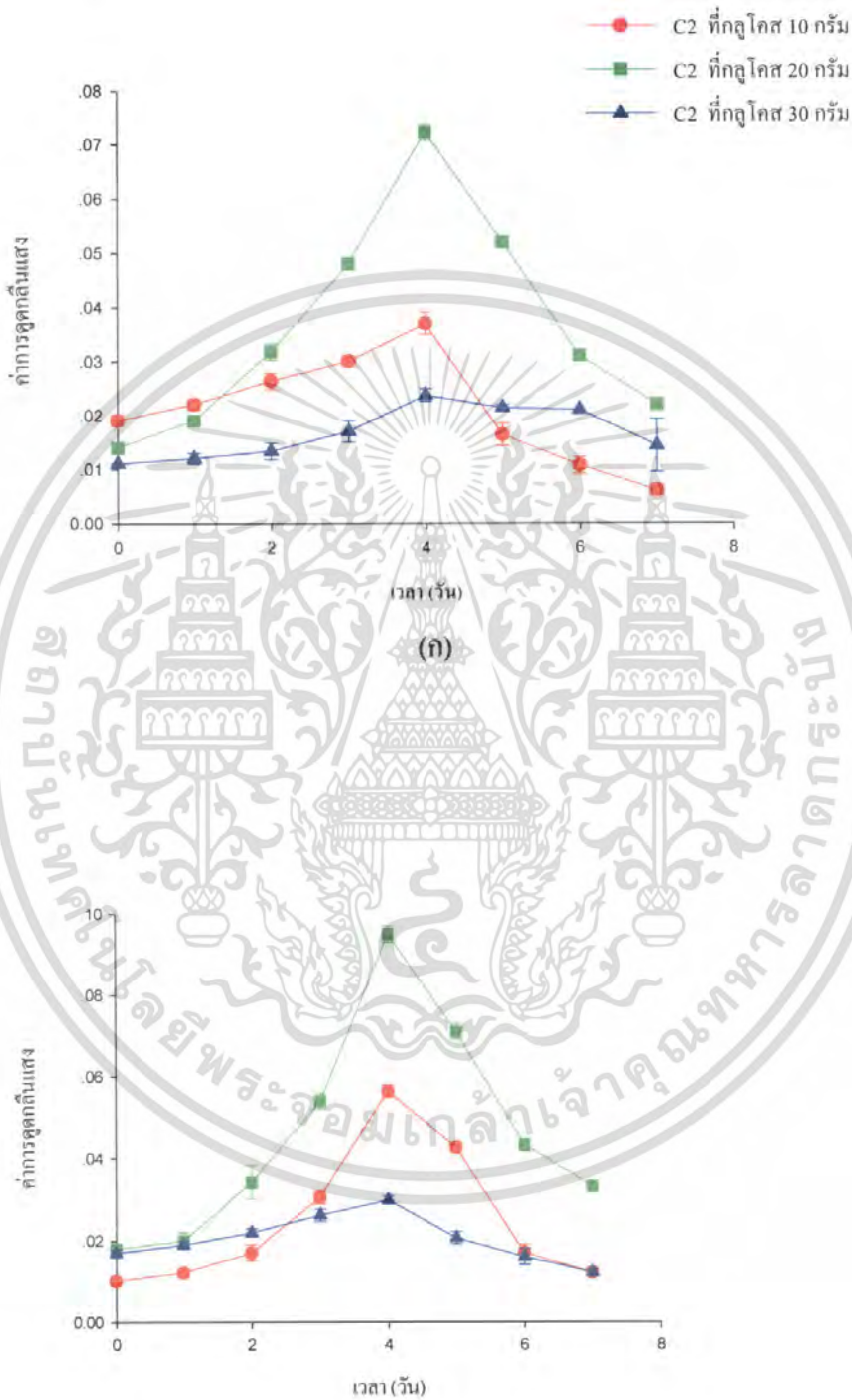
ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เจริญดีที่สุด มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 111.6 และ 170.6 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ รองลงมาคือความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 91.8 และ 105.4 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 90.6 และ 94.7 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความเข้มข้นของกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ปริมาณแคโรทีนอยด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่างรวดเร็วจนเห็นได้ชัด แต่ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรปริมาณแคโรทีนอยด์ในช่วง 3 วันแรกของการทดลองจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยมีปริมาณแคทีนอยด์น้อยสุดเมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร แต่หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเป็น 170.6 และ 111.6 ไมโครกรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัมเซลล์ ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเห็นได้ชัดในวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.6)

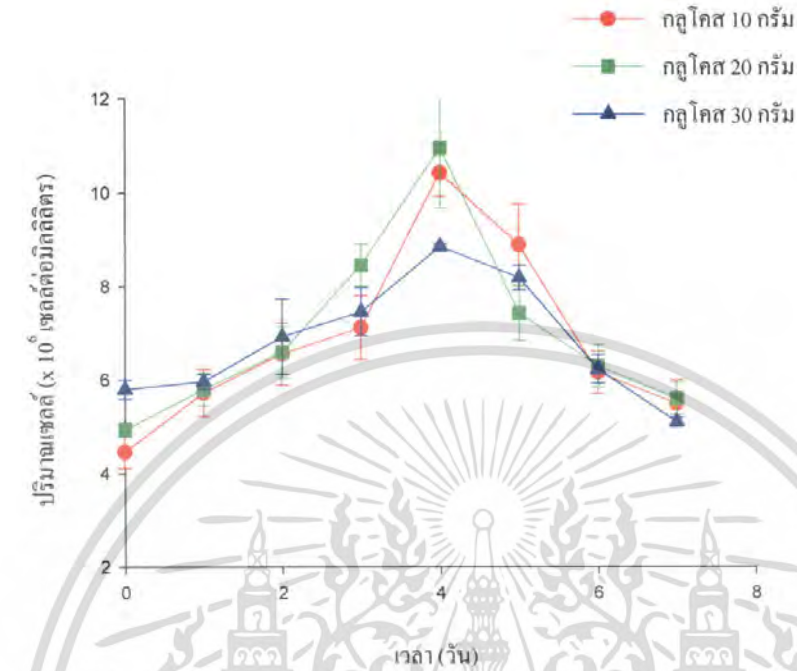
จากผลการทดลอง พบว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรมีการเจริญดีกว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 และ 30 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)ของทั้งสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย (ตารางที่ 4.2 และ 4.3) ซึ่งการใช้ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรจะให้ค่าการดูดกลืนแสง ปริมาณเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xian-Ming Shi และคณะ (1999) ที่ศึกษาความเข้มข้นของกลูโคสที่มีผลต่อการผลิตลูทีนของสาหร่าย *Chlorella protothecoides* ที่อธิบายว่าที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10-40 กรัมต่อลิตรจะให้อัตราการเจริญสูงสุดและเมื่อให้ความเข้มข้นของกลูโคสสูงกว่านี้จะเป็นการยับยั้งการเจริญของเซลล์และส่งผลให้อัตราการเจริญต่ำลง นอกจากนี้ Po-Fung Ip และ Feng Chen (2004) ศึกษาการผลิตแอสต้าแซนธินโดยสาหร่าย *Chlorella zofingiensis* ในที่มืด พบว่าเมื่อเติมความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรสาหร่ายจะมีอัตราการเจริญ ปริมาณเซลล์ และปริมาณแอสต้าแซนธิน สูงสุดเป็น 0.031 ต่อชั่วโมง 0.44 กรัมต่อกรัม และ 10.3 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แต่เมื่อเติมกลูโคสเพิ่มเข้าไปจนมีความเข้มข้นของกลูโคส 60 กรัมต่อลิตร จะเป็นการยับยั้งการเจริญของเซลล์ทำให้มีอัตราการเจริญและปริมาณเซลล์ลดลงเป็น 0.024 ต่อชั่วโมง และ 0.32 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วน Namkyu Sun และคณะ (2004) พบว่ายีสต์สายพันธุ์กลายจะผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงกว่ายีสต์สายพันธุ์ธรรมชาติเมื่อใช้แหล่งคาร์บอนเป็นกลูโคสที่มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 1 ซึ่งจะให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เป็น 3.3 มิลลิกรัมต่อยีสต์ 1 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบผลการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย เจริญดีกว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

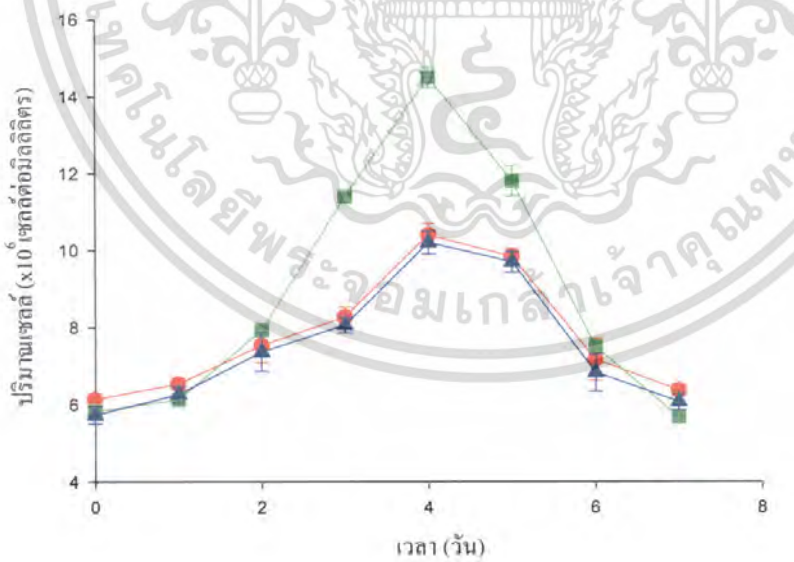


ภาพที่ 4.3 การเจริญของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



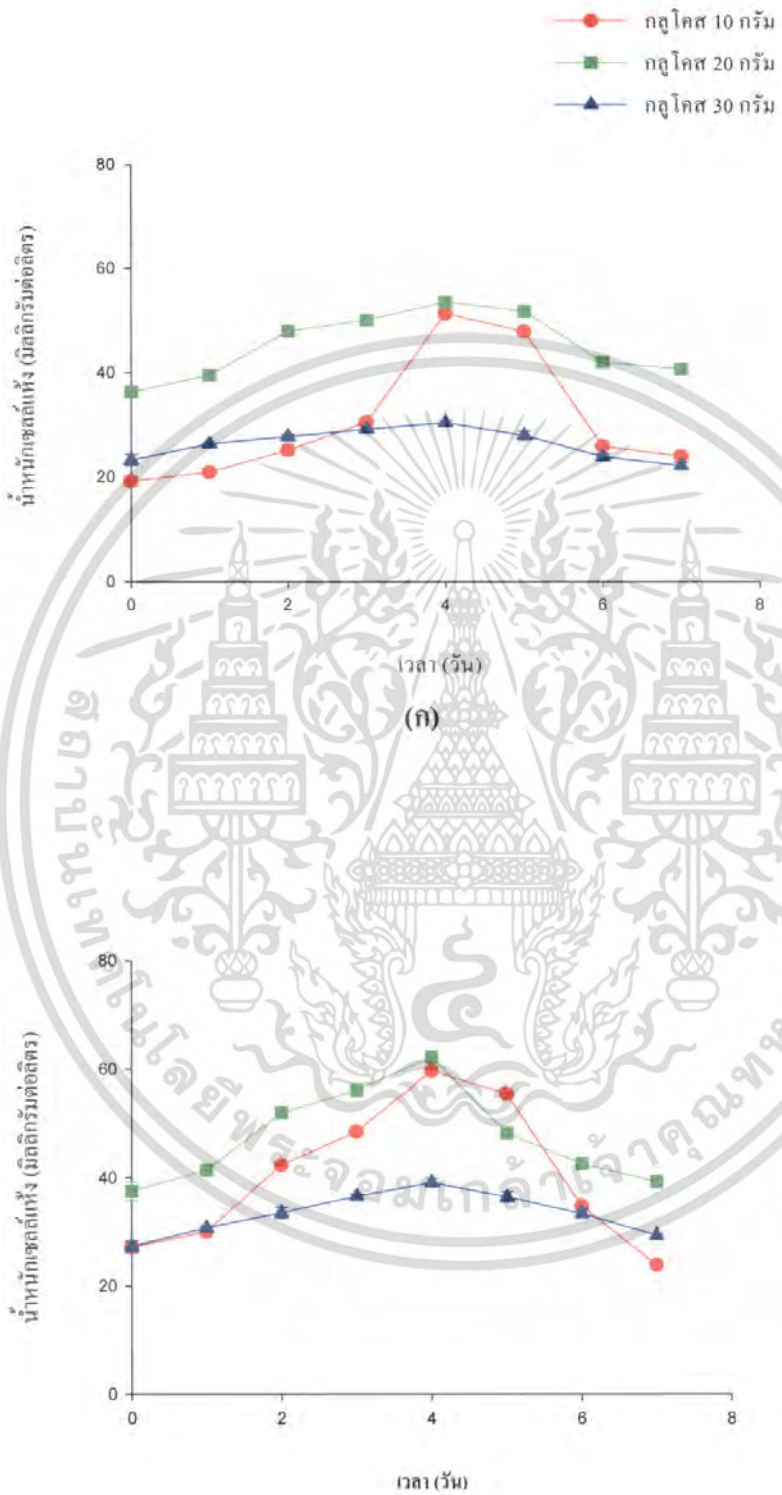
(ก)



(ข)

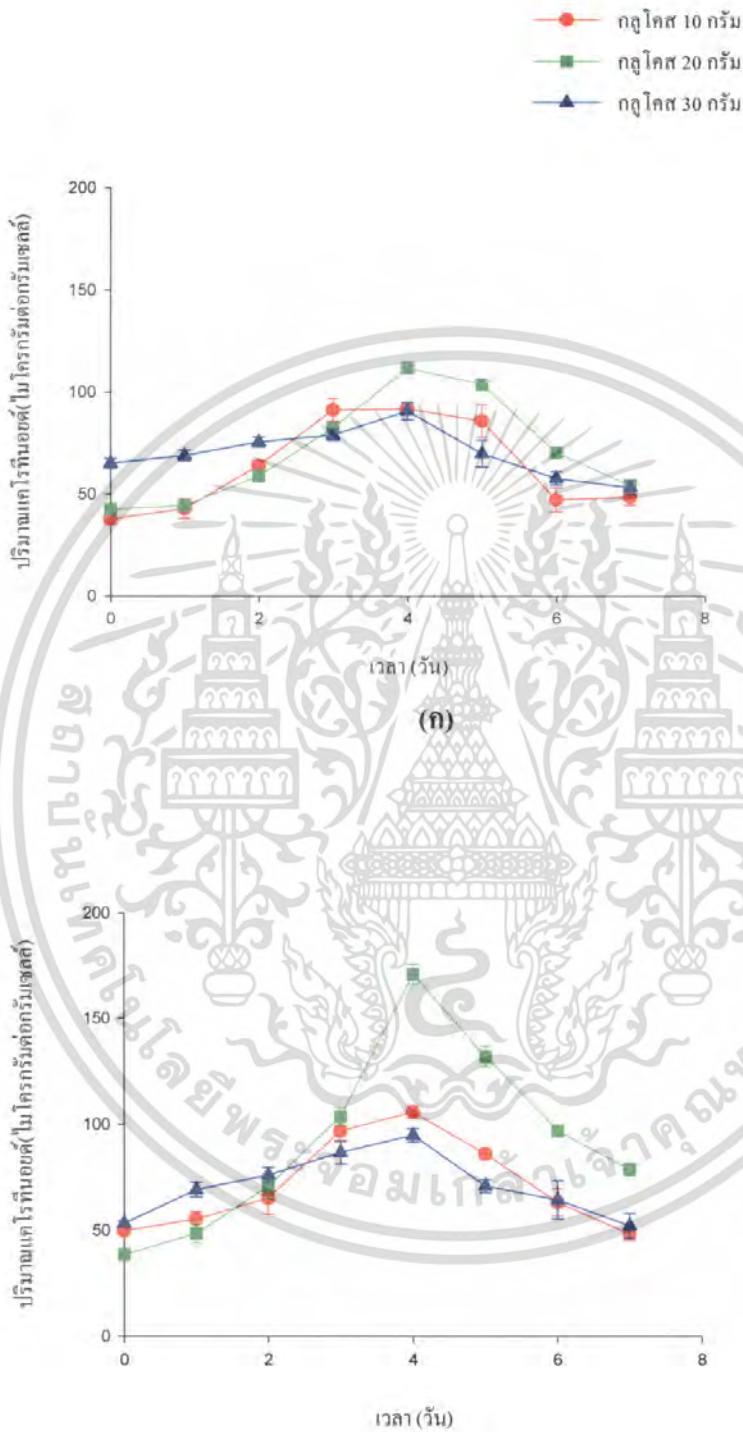
ภาพที่ 4.4 ปริมาณเซลล์ของ*Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2

ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
10	0.037^{c}	10.5^{b}	51.4^{b}	91.8^{b}
20	0.072^{a}	11.0^{a}	53.6^{a}	111.6^{a}
30	0.024^{b}	8.9^{ab}	30.5^{c}	90.6^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย

ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
10	0.056^{b}	10.4^{a}	59.7^{b}	105.4^{b}
20	0.095^{a}	14.5^{a}	62.3^{a}	170.6^{a}
30	0.030^{c}	10.2^{b}	39.1^{c}	94.7^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตรในวันที่ 4 ของการทดลอง

สาหร่าย *Chlorella* sp.	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
Chlorella sp. C2	0.072^b	11.0^b	53.6^b	111.6^b
Chlorella sp. C2M2-4	0.095^a	14.5^a	62.3^a	170.6^a

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3 ผลของแหล่งไนโตรเจน

การศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในอาหารสูตร N-8 ดัดแปลงที่มีความเข้มข้นกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร และมีการให้แหล่งไนโตรเจนชนิดต่างๆ ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรียความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร พบว่าการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.042 รองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.032 และ 0.019 ตามลำดับ ซึ่งที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจะมีค่าสูงในวันที่ 4 ของการทดลองหลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการเติมโซเดียม-ไนเตรทค่าการดูดกลืนแสงก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเช่นกันโดยสูงเป็น 0.042 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด ส่วนยูเรียมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกันแต่จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับโซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียม-ไนเตรท หลังจากวันที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุดเจริญดีที่สุด วัดค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ 0.056 รองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.044 และ 0.028 ตามลำดับ โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรทพบว่า ในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มที่สูงกว่าโซเดียมไนเตรท ซึ่งจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งวันที่ 4 ของการทดลองที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันใน 2 วันแรกค่าการดูดกลืนจะน้อยกว่าโพแทสเซียมไนเตรท แต่หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองเป็น 0.056 แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าการดูดกลืนแสงน้อยกว่าโพแทสเซียมไนเตรทในวันสุดท้ายของการทดลอง ส่วนยูเรียนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่หลังจากวันที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 4.7)

ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด มีปริมาณเซลล์ 6.9×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือโพแทสเซียมไนเดรท และยูเรีย มีปริมาณเซลล์ 6.4×10^{6} และ 5.9×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท พบว่า จะมีปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างค่อเนื่อง หลังจากวันที่ 4 ปริมาณเซลล์จึงลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนโซเดียมไนเตรทปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน และมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองโดยสูงเป็น 6.9×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิดร และจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 5 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ส่วนยูเรียปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกันแต่จะมีปริมาณน้อยกว่าโซเดียมไนเตรทและโพแทสเซียมไนเตรท หลังจากวันที่ 4 ปริมาณเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด มีปริมาณเซลล์ 6.0×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย มีปริมาณเซลล์ 5.6×10^{6} และ 5.2×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8)

น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด มีน้ำหนักแห้ง 29.3 มิลลิกรัมต่อลิตรรองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย มีน้ำหนักแห้ง 27.7 และ 20.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรททำให้น้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นสูงกว่าโซเดียมไนเตรท แต่หลังจากวันที่ 4 เป็นต้นไปน้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับโซเดียมไนเตรทที่พบว่าในช่วงแรกจะให้น้ำหนักเซลล์แห้งน้อย แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปจะเห็นว่าน้ำหนักเซลล์แห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีน้ำหนักสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองโดยมีค่าเป็น 29.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วหลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจึงมีแนวโน้มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกันจนมีค่าน้อยกว่าการเติมโพแทสเซียมไนเตรท จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ส่วนยูเรียนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆอย่างเห็นได้ชัดหลังจากวันที่ 4 จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด มีน้ำหนักแห้ง 39.1 มิลลิกรัมต่อลิตรรองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย มีน้ำหนักแห้ง 28.7 และ 22.7มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียม-ไนเตรททำให้น้ำหนักเซลล์แห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกือบคงที่และหลังจากวันที่ 4 น้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนคงที่ในวันสุดท้ายของการทดลอง เมื่อเทียบกับโซเดียม-ไนเตรทแล้วพบว่าน้ำหนักเซลล์แห้งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอย่างรวดเร็วและสูงสุดในวันที่ 4 มีค่าเป็น 39.1 มิลลิลิกรัมต่อลิตรหลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการเติมยูเรียนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจะขึ้นลงสลับกันไปแต่จะมีค่าสูงในวันที่ 4 เช่นกัน แล้วหลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.9)

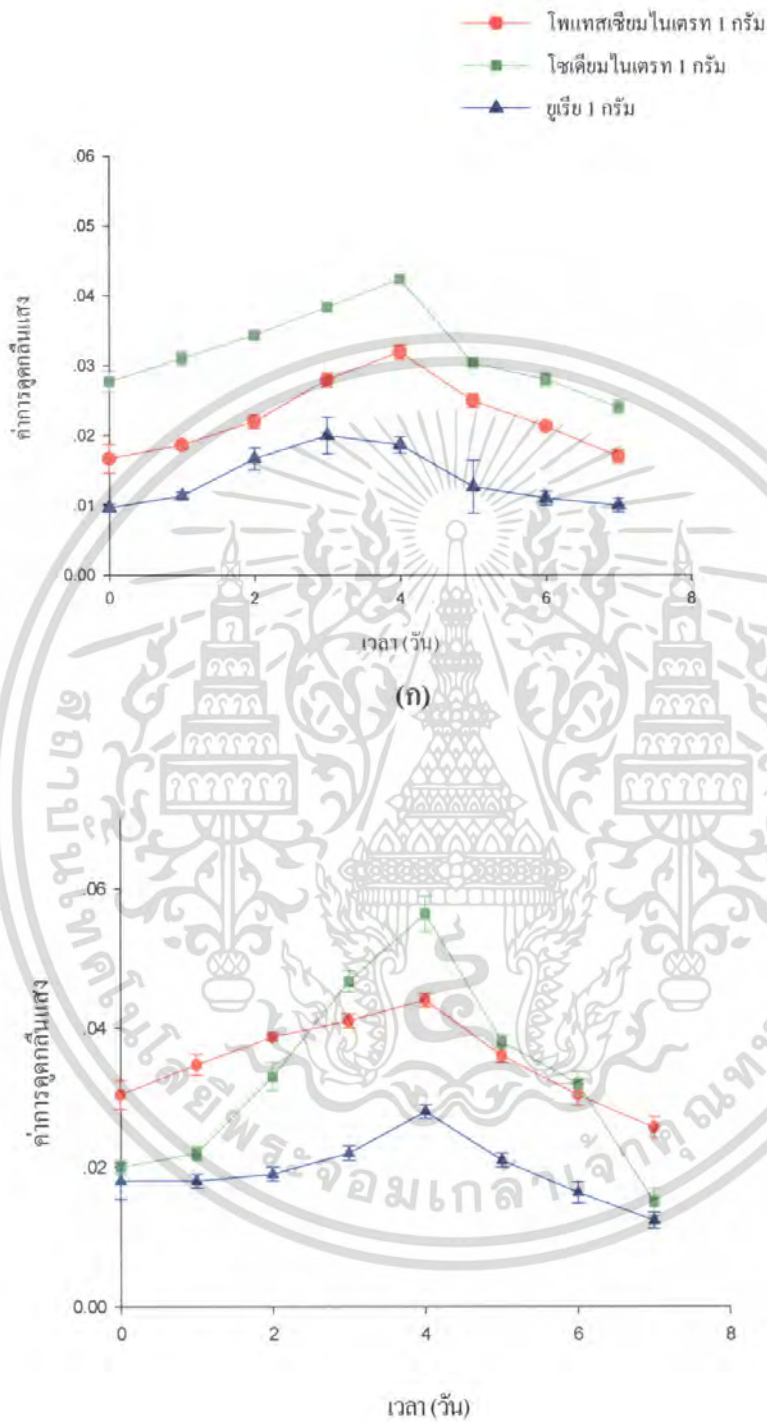
ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 146.8 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ รองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 105.0 และ 100.5 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียม-ไนเตรทพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยและหลังจากวันที่ 4 จึงลดลงทีละน้อยเช่นกัน ส่วนที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรท ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนวันที่ 4 จะให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเป็น 146.8 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนสิ้นสุดการทดลอง และยูเรียจะทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกือบจะคงที่และจะลดลงหลังจากวันที่ 4 โดยจะให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่น้อยที่สุดด้วย ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทเจริญดีที่สุด มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 147.2ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ รองลงมาคือโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 138.4 และ 118.6 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ โดยที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรทพบว่าในช่วง 2 วันแรกของการทดลองจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าการเติมยูเรีย แต่หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์ก็จะเพิ่มขึ้นสูงกว่า แล้วจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 4 และจะลดลงน้อยกว่าการเติมยูเรียในวันสุดท้ายของการทดลอง ส่วนการเติมยูเรียนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวดเร็วและที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทในช่วงหลังวันที่ 4 มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเป็น 147.2 มิลลิกรัม แล้วจึงมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 5 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.10)

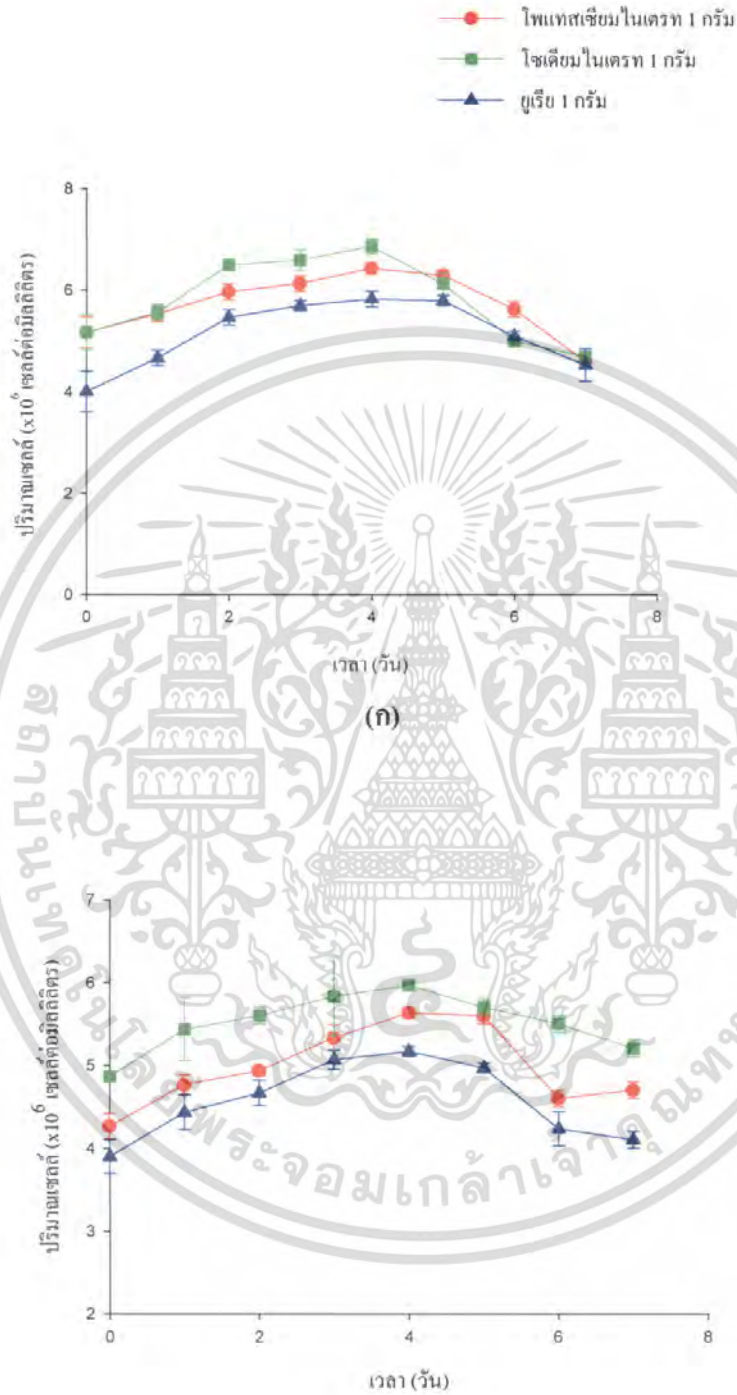
จากผลการทดลอง พบว่าที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรทมีการเจริญดีกว่าโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$) ของทั้งสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย (ตารางที่ 4.5 และ 4.6) ซึ่งการใช้โซเดียมไนเตรท 1 กรัมต่อลิตรจะให้ค่าการดูดกลืนแสง ปริมาณเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องการงานวิจัยของ José A. Del Campo และคณะ (1999) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Muriellopsis* sp. โดยอธิบายว่าสาหร่าย *Muriellopsis* sp. จะผลิตลูทีนได้สูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมไนเตรท 1.6-3.4 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ Xian-Ming Shi และคณะ (1999) ศึกษาการผลิตลูทีนของสาหร่าย *Chlorella protothecoides* เมื่อให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อใช้ไนเตรท แอมโมเนียม และยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน สาหร่าย *C. protothecoides* สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติและจะให้น้ำหนักเซลล์แห้งเป็น 18.4 18.9 และ 19.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และให้ปริมาณลูทีนสูงสุดเป็น 77.43 68.42 และ 83.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่ในการเพาะเลี้ยงนั้นต้องมีการจำกัดภาวะของพีเอชด้วย โดยพบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการเติมยูเรียนั้นจำเป็นต้องปรับพีเอชให้มีค่าน้อยกว่า 4.0 จึงจะมีน้ำหนักเซลล์แห้งและปริมาณลูทีนสูงสุดเป็น 19.6 กรัมต่อลิตร และ 83.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในอาหารที่มีการเติมแอมโมเนียมต้องมีพีเอชมากกว่า 9.0 จึงจะมีน้ำหนักเซลล์แห้งและปริมาณลูทีนสูงสุดเป็น 18.9 กรัมต่อลิตร และ 68.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับและในอาหารที่มีไนเตรทสามารถเพาะเลี้ยงได้โดยไม่จำกัดสภาวะของพีเอชจึงจะส่งผลมีน้ำหนักเซลล์แห้งและปริมาณลูทีนสูงสุดเป็น 18.4 กรัมต่อลิตร และ 77.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้พวกเขายังพบว่าสาหร่าย *C. protothecoides* สามารถเจริญได้สูงสุดเมื่อให้ความเข้มข้นของไนเตรทหรือยูเรียเป็น 2.0 กรัมต่อลิตร และยังอธิบายว่าความเข้มข้นของไนเตรท แอมโมเนียม หรือยูเรียที่น้อยกว่า 1.7 กรัมต่อลิตรนั้นไม่มีผลในการยับยั้งการเจริญของสาหร่าย *C. protothecoides* และเมื่อเปรียบเทียบผลการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายใช้ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรท พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย เจริญดีกว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



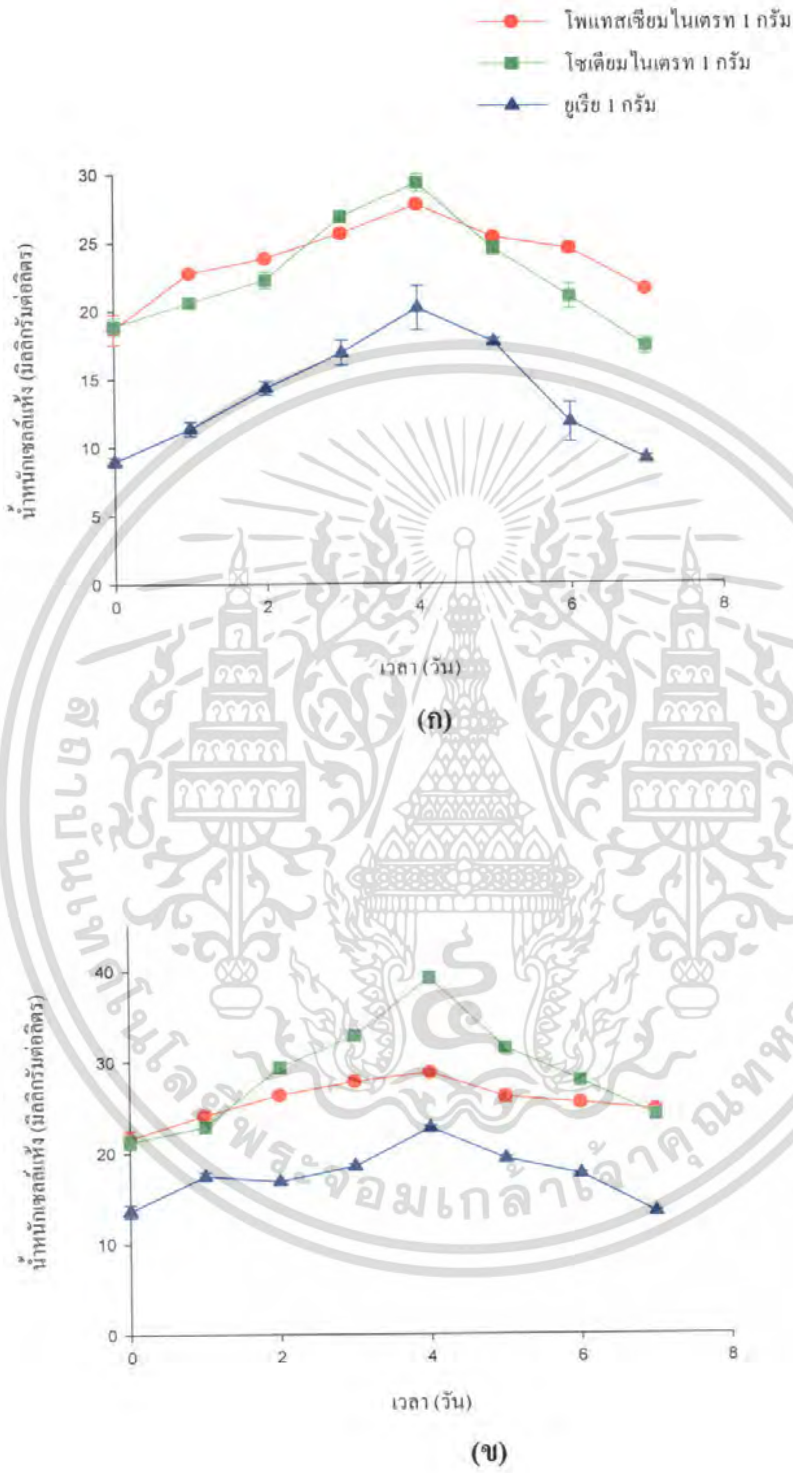
ภาพที่ 4.7 การเจริญของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



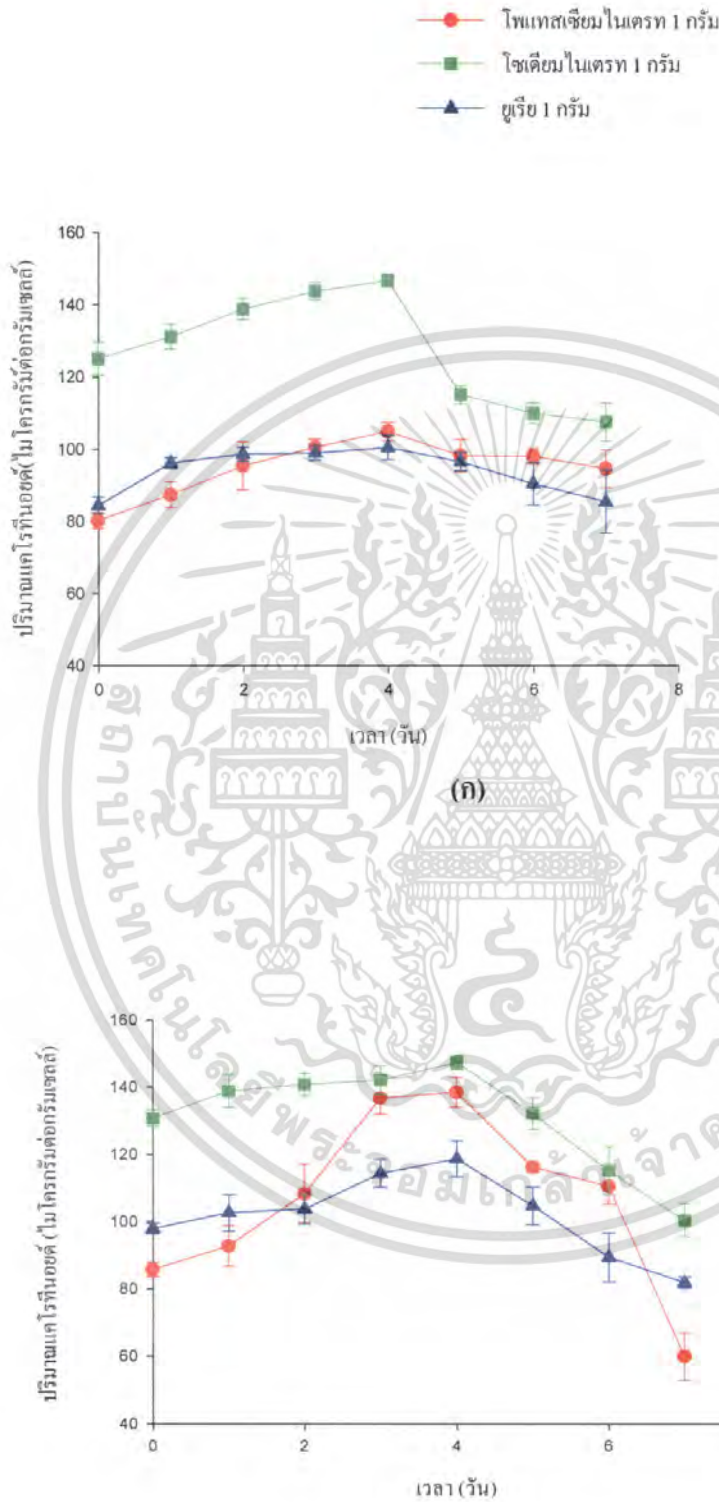
ภาพที่ 4.8 ปริมาณเซลล์ของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่เหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ*Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ*Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
โพแทสเซียมไนเตรท	0.032^b	6.4^b	27.7^a	105.0^b
โซเดียมไนเตรท	0.042^a	6.9^a	29.3^a	146.8^a
ยูเรีย	0.019^c	5.9^c	20.1^b	100.5^b

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตรของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
โพแทสเซียมไนเตรท	0.044^b	5.6^{ab}	28.7^b	138.4^b
โซเดียมไนเตรท	0.056^a	6.0^a	39.1^a	147.2^a
ยูเรีย	0.028^c	5.2^b	22.7^c	118.6^c

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรต 1 กรัมต่อลิตร

สาหร่าย *Chlorella* sp.	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
Chlorella sp. C2	0.042[a]	6.9[a]	29.3[a]	146.8[a]
Chlorella sp. C2M2-4	0.056[a]	5.8[a]	39.1[a]	147.2[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.4 ผลของพีเอชเริ่มต้น

การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายในอาหารสูตร N-8 ดัดแปลงที่มีความเข้มข้นกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร โซเดียมไนเตรท 1 กรัมต่อลิตรเป็นแหล่งไนโตรเจน แล้วนำมาปรับพีเอชเริ่มต้นที่แตกต่างกันเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 พบว่า การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.035 รองลงมาคือพีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.031 และ 0.016 ตามลำดับ โดยที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 พบว่า ในวันแรกของการทดลองค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในวันที่ 2 จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงในวันที่ 4 แล้วจึงลดลงเรื่อยๆจนสิ้นสุดการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น5.0 จะให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำสุด ส่วนที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 และ 8.0 ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเหมือนกันและมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในวันที่ 4 เช่นเดียวกัน แล้วหลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อยๆลดลง แต่ที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่า พีเอช 8.0 และเป็นค่าที่สูงสุดคือ 0.035 ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.037 รองลงมาคือพีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.035 และ 0.023 ตามลำดับ โดยที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงในวันที่ 4 แต่หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันเมื่อปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 6.8 และ 8.0 ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวันที่ 4 ของการทดลองที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน แต่ที่พีเอช 6.8 ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าสูงสุดเป็น 0.037 เช่นเดียวกันกับ สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 (ภาพที่ 4.11)

ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด มีปริมาณเซลล์ 6.3×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือพีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 มีปริมาณเซลล์ได้ 6.2×10^{6} และ 6.0×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 และ 8.0 พบว่าปริมาณเซลล์จะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่คล้ายกันโดยในวันที่ 4 ปริมาณเซลล์จะมีค่าสูงสุด แต่ที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 จะมีปริมาณเซลล์สูงกว่าและเป็นค่าที่สูงสุดคือ 6.3 $\times10^{6}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แล้วหลังจากวันที่ 4 ปริมาณเซลล์จึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 ปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้วหลังจากวันที่ 4 จึงลดลงอย่างรวดเร็ว และให้ปริมาณเซลล์ที่น้อยที่สุด สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด มีปริมาณเซลล์ 7.0 $\times10^{6}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือพีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 มีปริมาณเซลล์ 6.6×10^{6} และ 6.4 $\times10^{6}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0 พบว่าปริมาณเซลล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องใกล้เคียงกัน แล้วให้ปริมาณเซลล์สูงสุดในวันที่ 4 เช่นเดียวกัน แต่ที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 จะให้ปริมาณเซลล์สูงสุดเป็น 7.0×10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร แล้วหลังจากนั้นปริมาณเซลล์จะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกันจนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.12)

น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด มีน้ำหนักเซลล์แห้ง 25.3 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือพีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 มีน้ำหนักเซลล์ แห้ง 20.6 และ 15.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยพบว่าในช่วง 3 วันแรกของการทดลองเมื่อปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 6.8 จะมีผลให้น้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีน้ำหนักสูงกว่าที่พีเอช 5.0 และ 8.0 แต่หลังจากวันที่ 4 เป็นต้นไปน้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดที่ได้เมื่อปรับพีเอชเป็น 6.8 คือ 25.3 มิลลิกรัม ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด หาน้ำหนักเซลล์แห้งได้ 27.8 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือพีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 หาน้ำหนักเซลล์แห้งได้ 22.1 และ 21.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยที่ พบว่าการปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 และ 8.0 จะส่งผลให้น้ำหนักเซลล์แห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องใกล้เคียงกันและหลังจากวันที่ 4 น้ำหนักเซลล์แห้งจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนคงที่ในวันสุดท้ายของการทดลอง เมื่อเทียบกับพีเอชเริ่มต้น 6.8 แล้วพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

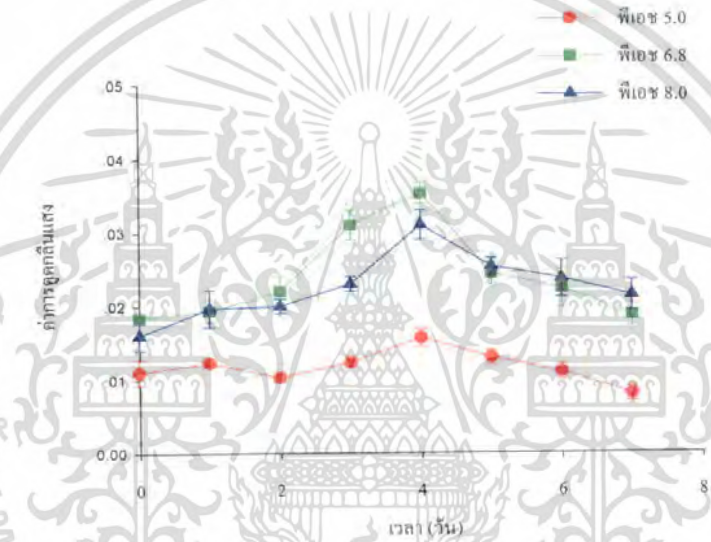
น้ำหนักเซลล์แห้งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างรวดเร็วและสูงสุดในวันที่ 4 มีค่าเป็น 27.8 มิลลิลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นน้ำหนักเซลล์แห้งจึงลดลงอย่างรวดเร็ว จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.13)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 146.7 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ รองลงมาคือที่พีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 97.5 และ 95.8 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ โดยที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 และ 8.0 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนเกือบคงที่และหลังจากวันที่ 4 จึงลดลงทีละน้อยเช่นกัน ส่วนที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนวันที่ 4 จะให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเป็น 146.7 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ทั้ง 3 การทดลองเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 เจริญดีที่สุด มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 159.5ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ รองลงมาคือที่พีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 100.0 และ 99.0 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ โดยพบว่าที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 ในช่วงวันแรกของการทดลองปริมาณแคโรทีนอยด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่หลังจากวันที่ 4 ปริมาณแคโรทีนอยด์จะลดลงจนเกือบคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนที่พีเอชเริ่มต้น 8.0 ปริมาณแคโรทีนอยด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และลดลงอย่างช้าๆในช่วงวันที่ 5 เป็นต้นไป และที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนวันที่ 4 จะให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเป็น 159.5 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนสิ้นสุดการทดลอง เช่นเดียวกับสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 (ภาพที่ 4.14)

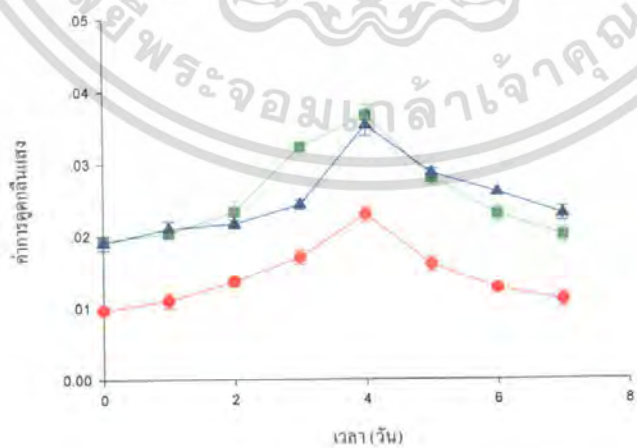
จากผลการทดลอง พบว่าที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 มีการเจริญดีกว่าที่พีเอชเริ่มต้น 8.0 และ 5.0 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งเมื่อปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 6.8 จะให้ค่าการดูดกลืนแสง ปริมาณเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุด ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ José A. Del Campo และคณะ (1999) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Muriellopsis* sp. โดยอธิบายว่าสาหร่าย *Muriellopsis* sp.สามารถผลิตลูทีนได้ดีและให้ปริมาณเซลล์สูงเมื่ออยู่ในภาวะการเพาะเลี้ยงที่มีพีเอชเริ่มต้น 6.5 แต่อย่างไรก็ตามที่พีเอช 6.0-9.0 เป็นระดับที่สามารถผลิตลูทีนได้ปริมาณสูงตามปกติ แต่ที่พีเอช 6.5 จะเหมาะสมต่อการผลิตไวโอลาแซนธิน (violaxanthin) และเบต้า-แคโรทีน (β-carotene) สำหรับสาหร่าย *Chlorella zofingiensis* และ *Dunaliella salina* ส่วนT.J. Fang และT.Y. Chiou (1996) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์สายพันธุ์กลาย *Xanthophyllomyces dendrorhous* คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชที่ 6.0-7.0 และที่พีเอช 6.5 ยีสต์สามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุด แต่ที่พีเอช 5.0 และ 6.0 จะให้อัตราการเจริญสูงสุด นอกจากนี้ R.N. Okagbue และ M.J. Lewis (1985) ยังพบว่า *Xanthophyllomyces dendrorhous* และ *Bacillus circulans* มากกว่าร้อยละ 90 สามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุดที่พีเอช 6.8-7.4 และเมื่อเปรียบเทียบผลการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย เจริญดีกว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. C2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.10



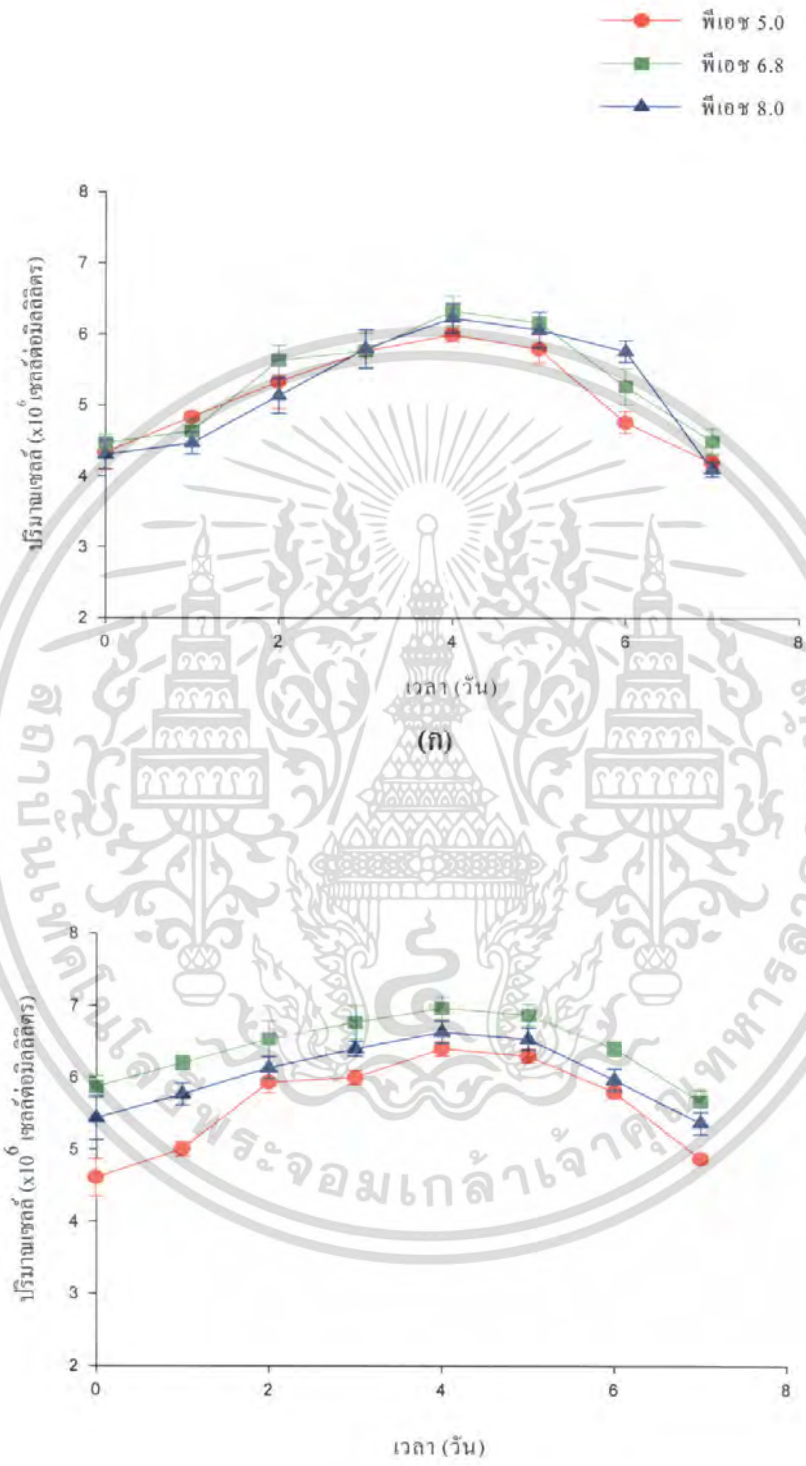
(ก.)



(ข.)

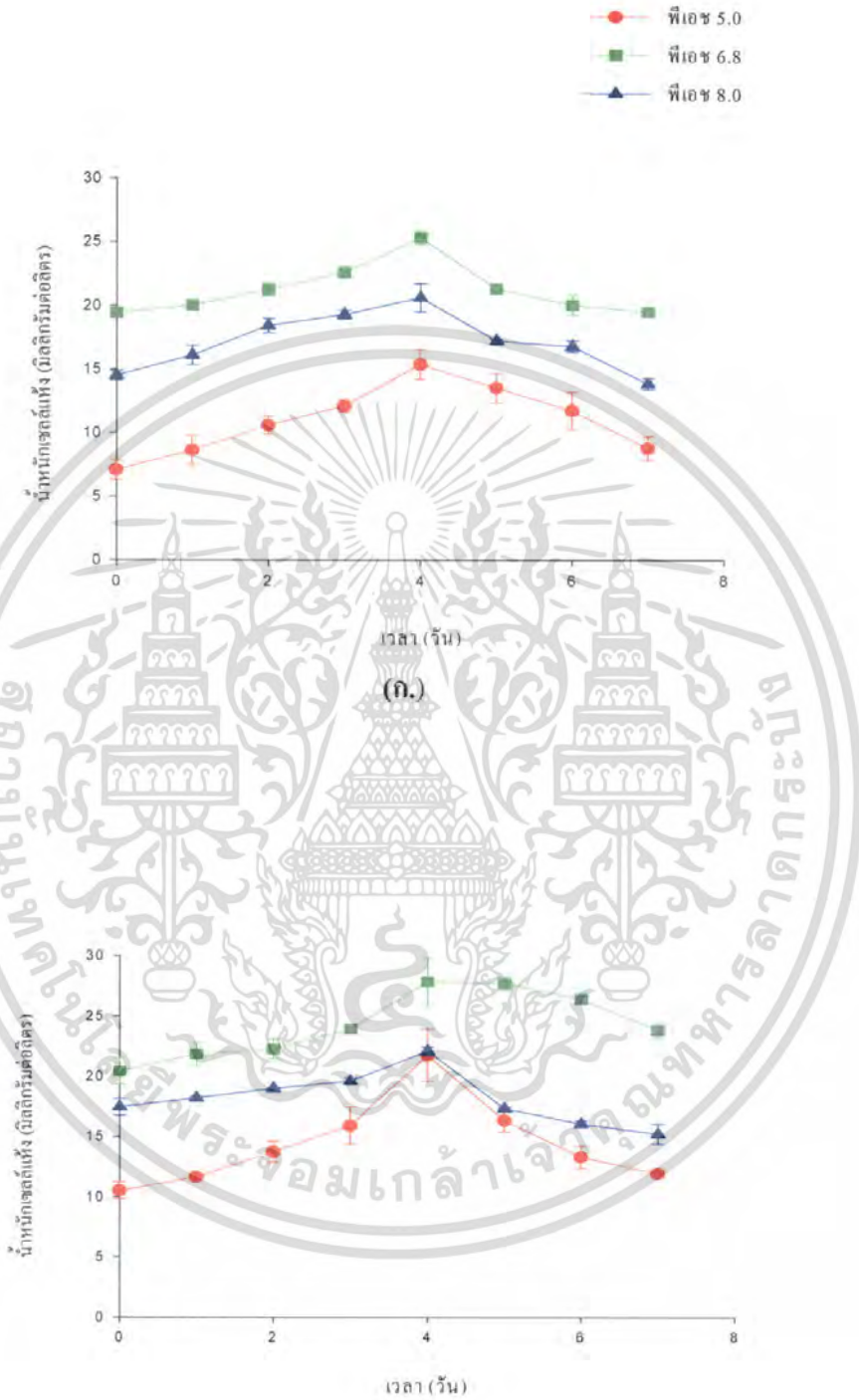
ภาพที่ 4.11 การเจริญของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8และ 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



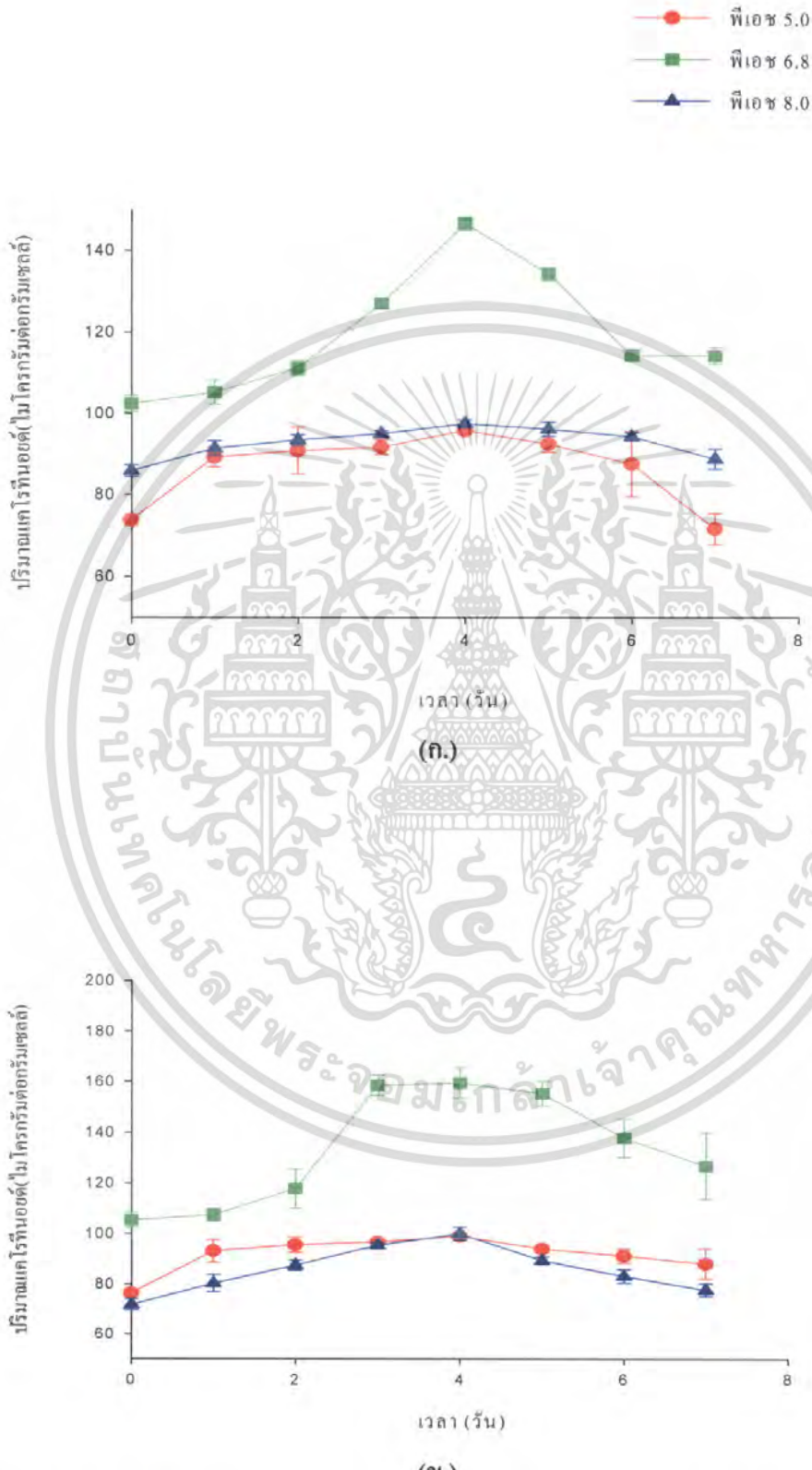
ภาพที่ 4.12 ปริมาณเซลล์ของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *Chlorella* sp. C2 **(ก)** และ *Chlorella* sp. C2M2-4 **(ข)** ที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0 ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2

พีเอชเริ่มต้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
5.0	0.016^b	6.0^a	15.4^c	95.8^b
6.8	0.035^a	6.3^a	25.3^a	146.7^a
8.0	0.031^a	6.2^a	20.6^b	97.5^b

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0ของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย

พีเอชเริ่มต้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
5.0	0.023^b	6.4^b	21.8^b	99.0^b
6.8	0.037^a	7.0^a	27.8^a	159.5^a
8.0	0.035^a	6.6^b	22.1^b	100.0^b

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 6.8

สาหร่าย *Chlorella* sp.	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)
Chlorella sp. C2	0.035^a	6.3^b	25.3^b	146.7^b
Chlorella sp. C2M2-4	0.037^a	7.0^a	27.8^a	159.5^a

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายโดยนำมาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร N-8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้หัวเชื้อ 10 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 180 รอบต่อนาที ให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ที่ความเข้มแสง 2400 ลักซ์ ที่อุณหภูมิห้อง อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 มีการเจริญดีกว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 โดยมีการเจริญดีที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยมีการเจริญเป็น 0.314 และมีปริมาณเซลล์ 7.3×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นจึงนำสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย มาศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของกลูโคส ผลของแหล่งไนโตรเจน และ ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 เพื่อผลิตแคโรทีนอยด์

ผลของปริมาณความเข้มข้นของกลูโคส (10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 พบว่า ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร มีการเจริญเป็น 0.095 ปริมาณเซลล์เป็น 14.5×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร น้ำหนักเซลล์แห้งเป็น 62.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และ สามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุด คือ 170.6 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์

ผลของแหล่งไนโตรเจน (โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร) ที่มีผลต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงโดยการเติมความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร พบว่าการเติมโซเดียมไนเตรต 1 กรัมต่อลิตร ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเป็น 0.056 ปริมาณเซลล์เป็น6.0×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร น้ำหนักเซลล์แห้งเป็น 39.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุด คือ 147.2 ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ

ผลของพีเอชเริ่มต้น(6.8 5.0 และ 8.0) ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 เพื่อผลิตแคโรทีนอยด์ ในอาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงโดยการความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร และใช้แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรท 1 กรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 สาหร่ายมีการเจริญเป็น 0.037 ปริมาณเซลล์เป็น 7.0×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร น้ำหนักเซลล์แห้งเป็น 27.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุดเป็น 159.5 ไมโครกรัมแคโรทีนอยด์ต่อกรัมเซลล์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp. P47011 C2M2-4 สายพันธุ์กลายเพื่อผลิตแคโรทีนอยด์ คือการเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร N-8 ที่มีการดัดแปลงโดยการเติมความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร แล้วใช้แหล่งไนโตรเจนเป็นโซเดียมไนเตรท 1 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชเริ่มต้น 6.8 จะทำให้สาหร่าย *Chlorella* sp. P47011 C2M2-4 สายพันธุ์กลายสามารถผลิตแคโรทีนอยด์ได้ปริมาณสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

1. ไม่ควรใช้อุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สาหร่ายหยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด
2. ควรทำการวิเคราะห์คุณภาพของแคโรทีนอยด์ที่ผลิตโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 โดยใช้ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เพื่อสามารถแยกและหาปริมาณสารที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กนกอร จารุจารีต. 2543. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรียเพื่อผลิตแคโรทีนอยด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โฆษิต ศรีภูธร. 2540. การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมเบต้าแคโรทีนของ *Dunaliella salina* 1197 โดยเลี้ยงแบบ 2 ขั้นตอนในบ่อกลางแจ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

จันทนา ไพรบูรณ์. 2546. การเลี้ยงสาหร่ายทะเล *Dunaliella salina* 1197 ที่ผลิตเบต้าแคโรทีนในบ่อกลางแจ้งเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เซลล์เบต้าแคโรทีนแห้งโดยวิธีฟลูอิไดซ์เบต.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

จิตรา เลาห์กมล ,ชัยวัฒน์ ชวลิตจินดา และ คีตภัทร ปิยะจรรยาศิริ . 2546. ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในปลาโดยใช้สารสกัดจาก *Chlorella* sp.. โครงงานพิเศษ-วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระ-จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

ณรงค์ศักดิ์ พ่วงลาภ . 2533. การใช้สาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นแหล่งของรงควัตถุแคโรทีนอยด์สำหรับผสมอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ดุษณี ธนะบริพัฒน์ . 2546. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ . 2547. จุลชีววิทยาทั่วไป. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม.2532. จุลชีววิทยา เล่ม 2. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์,กรุงเทพฯ.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2546. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2548. สาหร่ายน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วราทิพย์ วงศ์พินทุ. 2540. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเบต้าแคโรทีนของสาหร่าย *Dunaliella* sp.(CHLOROPHYCEAE).วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิรินทร์ วิโมกข์สันต์, เจมส์ เอ โอลสัน, ยงยุทธ ยุทธวงศ์, สุวิทย์ เพียรกิจกรรม, สกล พันธุ์ยิ้ม และมนตรี จุฬาวัฒนทล.2523. ชีวเคมี ฉบับปรับปรุงใหม่. มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

สิรินุช ลามศรีจันทร์, 2540, การกลายพันธุ์ของพืช, ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป. คณะวิทยาศาสตร์.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิริรักษ์ วงศ์ไพโรจน์พานิช . 2525. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าน้ำจืด. ซีเนียร์โปรเจค แผนกวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สุดสายชล หอมทอง. 2541. การผลิต *Haematococcus* sp. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภาณี ศุภระฤกษ์.2540. เบต้าแคโรทีน สารสีส้มเพื่อสุขภาพ.นิตยสารใกล้หมอ:21(8)

สุริยา สาสนรักกิจ, นวลพรรณ ณ ระนอง, วีนา ชูโชติ, สุพจน์ บุญแรง, เปรมสุดา สมาน, โสภณ สิริศรัทธา, อัจฉรา คอประเสริฐศักดิ์, จักรพงษ์ ลิมปนุสสรณ์, สุรสิทธิ์ ชัยสวัสดิ์, ทวิช ทำนาเมือง, กนกอร จารุจารีด.2543.การผลิตสารสีธรรมชาติจากสาหร่ายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.กรุงเทพ ฯ.หน้า 34-36.

อรพรรณ ทองประสงค์. 2532. การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายคลอเรลลา.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Adv Pharmacol .The macular pigment: a possible role in protection from age-related macular degeneration. 38:537-56

Aksu and Z., Tuğba Eren, A.2007. Production of carotenoids by the isolated yeast of *Rhodotorula glutinis* . Biochem. Eng. J. 35 : 107–113.

Am J Epidemiol. 1999.Antioxidant intake and risk of incident age-related nuclear cataracts in the BeaverDam Eye Study.1;149(9):801-9.

Am. J. Epidemiol.2001. Serum carotenoids and breast cancer. 153:1142-1147.

An, G.H., Schuman, D.B. and Johnson, E.A., 1989. Isolation of *Phaffia rhodozyma* mutants with increased astaxanthin content. Applied Environment Microbiology 55, pp. 116–124.

Arch Opthamol.2002.Antioxidant status and neovascular age-related macular degeneration. 111:104-9

Arch Ophthalmol.2002. Lens aging in relation to nutritional determinants and possible risk factors for age-related cataract. 2002 Dec;120(12):1732-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Atherosclerosis .The effect of carotenoids on the expression of cell surface adhesion molecules and binding of monocytes to human aortic endothelial cells. 2000; 150:265-274.

Bhosale , P. and Gadre , R.V. 2001. Production of β-carotene by a *Rhodotorula glutinis* mutant in sea water medium. Bioresource Technology. 76: 53-55.

Biophysical and Acta.1991 .Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. Arch. Biochem. 385:20-27

Bon, J.A., Leathers, T.D. and Jayaswal, R.K., 1997. Isolation of Astaxanthin-overproducing Mutants of *Phaffia rhodozyma. Biotechnol. Lett.* 19, pp. 109–112.

Britton, G. 1983. Carotenoid. 61-68. In: Miller, L.P. The Biochemistry of Natural Pigments. Van Nastrand: Reinhold Company.

Buzzini , P. and Martini , A. 1999. Production of Carotenoids by Strains of *Rhodotorula glutinis* cultured in raw materials of agro-industrial origin. Bioresource Technology. 71 : 41- 44.

Daraseliya, GY and Daushvili, LP .1982. Effect of various carbon sources on the growth and carotenogenesis of *Mycobacterium rubrum* strain44. Prik Biokhim Microbiology. 18: 191-196.

Fang, T.J. and Cheng, Y.S., 1993. Improvement of astaxanthin production by *Phaffia rhodozyma* through mutation and optimization of culture conditions. Journal Fermentation Bioengineering.75, pp. 466–469

Frossberg, A., Lingen, C., Ernster, L. and Linberg, O. 1959. Modification of X-irriation syndrome for lycopene. Exp. Cell Res. 16:7.

Goodwin, T.W.1984. The Biochemistry of the Carotenoid. Chapman and Hall, London.

Gill-Hwan An,Byung-gui jung and Myung-Haing Cho.2001.Cultivation of the carotenoid-hyperproducing mutant 2A2N of the red yest *Xanthophyllomyces dendrorhous* (*Phaffia rhodozyma*) with molasses. Journal of Bioscience and Bioengineering.92(2):121-125

Halliwell, B. and Gutteridge, MC .1992. Biologically relevant metal ion-deperdent hydroxyl radical generation.An update.FEBS Lett.307 : 108-112

JAMA .1994.Dietary carotenoids, vitamin A, C, E, and advanced age related macular degeneration.272 (18):1413-20

J. Am. Med. Assoc. 1999. Fruit and vegetable intake in relation to risk of ischemic stroke.282:1233-1239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J. Clin. 1999. Nutr. A prospective study of carotenoid and vitamin A intake and risk of cataract extraction among U.S. women. Am.70:509-516.

J. Clin. 1999. Nutr.A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in U.S. men. Am. 70:517-524.

J. Natl.1999. Dietary carotenoids and Vitamins A, C, E and risk of breast cancer. Cancer Inst.91:547-556.

J. Nutr. 1999.Carotene, carotenoids and the prevention of coronary heart disease.129:5-8.

J. Nutr. 2003.The Body of Evidence to Support a Protective Role for Lutein and Zeaxanthin in Delaying Chronic Disease. Overview The American Society for Nutritional Sciences. 132:518S- 524S, 200

José A. Del Campo, José Moreno, Herminia Rodríguez, M. Angeles Vargas, Joaquín Rivas and Miguel G. Guerrero. 1999. Carotenoid content of chlorophycean microalgae: factors determining luteinaccumulation in *Muriellopsis* sp. (Chlorophyta). Journal of Biotechnology.76(1):51-59.

Kethcum, H.B., Ryther, J.H., Yentsch, C.S. and Corwin, N. 1985. Productivity in relation to nutrients. Rep. et Proc. Verb., Cons. Int. Explor.Mer. 144: 132-140.

KMITT. 1996. Laboratory document: A regional workshop on mass cultivation of microalgae. Bangkok: King Mongkut' s Institute of Technology Thonburi.

Lewis, M.J., Berlant, M.C. and Miranda, M., 1990. Selection of astaxanthin-overproducing mutants of *Phaffia rhodozyma* with β-ionone. Applied Environment Microbiology. 56, pp. 2944–2945

Lorenz, R.T. and Cysewski, G.R.2000. Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. Tibtech. 18: 160-167.

Margalith, P. และ Meyday, S.1968. Carotenogenesis in the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*. Phytochemistry.7: 765-768.

Mantzouridou, F., Roukas, T., Kotzekidou,P. 2001. Effect of the aeration rate and agitation speed on-carotene production and morphology of *Blakeslea trispora* in a stirred tank reactor : mathematical modeling. Biochem. Eng. J. 10: 123–135.

Ma, Y.N. and Chen, F . 2001. Enhanced production of free trans-astaxanthin by oxidative stress in the cultures of the green microalga *Chlorococcum* sp. Process Biochem.36:1175-1179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Munzel, K. and Fuller, W. 1969. Coloration of fatty suppositories with carotenoid-dyes. Pharm. Acta.Helv. 44(4):208-237.

Mutagen. 1997. Antimutagenic activity of natural xanthophylls against aflatoxin B1 in *Salmonella typhimurium*. Environ. Mol.30:346-353

Mutat.1997. Antimutagenicty of xanthophylls present in Aztec marigold (Tagetes erecta) against 1-nitropyrene. Res. 389:219-226.

Namkyu Sun, Seunghee Lee and Kyung Bin Song. 2004. Characterization of a carotenoid hyperproducing yeast Mutant isolated by low-dose gamma irradiation. Department of Food Science and Technology.College of Agricultural and Life Science, Chungnam National University,South Korea. 263-267.

Nutrition.1999.Dietary lutein but not astaxanthin or beta-carotene increases Pim-1 gene expression in murine Lyphocytes Cancer.33:206-21

Nutrition.2003 Lutein, but not alpha-tocopherol, supplementation improves visual function in patients with age-related cataracts: a 2-y double-blind, placebo-controlled pilot study.19(1):21-4

Ocular photosensitization.1986. Photochem. Photobiology.(46):1051-1055

Po-Fung Ip, Ka-Ho Wang and Feng Chen.2004. Enhanced production of astaxanthin by the green microalgae *Chlorella zofingiensis* in mixotrophic culture. Process Biochemistry.1761-1766

Po-Fung Ip and Feng Chen.2004.Production of astaxanthin by the green microalgae *Chlorella zofingiensis* in the dark. Process Biochemistry.733-738

Reid, G.K. and Wood, R.D. 1976. Ecology of inland water and estuarine 2d ed., D. Van Nostrand Co.,New York. 485 p.

R.N. Okagbue and M.J. Lewis ,1985. Influence of mixed culture conditions on yeast-wall hydrolytic activity of Bacillus circulans WL-12 and on extractability of astaxanthin from the yeast *Phaffia rhodozyma*. Journal Applied Bacteriology. 59, pp. 243–255.

Schroeder, W.A. and Johnson, E.A., 1993. Antioxidant role of carotenoids in *Phaffia rhodozyma*. Journal General Microbiology. 139, pp. 907–912.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schroeder, W.A. and Johnson, E.A., 1995. Singlet oxygen and peroxyl radicals regulate carotenoid biosynthesis in *Phaffia rhodozyma*. Journal *B*iology Chemtry. 270, pp. 18374–18379.

Schroeder, W.A., Calo, P., DeClercq, M.L. and Johnson, E.A., 1996. Selection for carotenogenesis in the yeast *Phaffia rhodozyma* by dark-generated singlet oxygen. Microbiology 142, pp. 2923–2929.

Shirota, A. 1996. The Plankton of South Viet-Nam. Freshwater and marine plankton. Japan, overseas technical cooperation agency. 426 p.

Tinoi , J. , Rakariyatham , N., Deming , R.L. 2005. Simplex optimization of carotenoid production by *Rhodotorula glutinis* using hydrolyzed mung bean waste flour as substrate. Process Biochem. 40 : 2551-2557.

T.J. Fang and T.-Y. Chiou .1996.Batch cultivation and astaxanthin production by a mutant of the red yeast, *Phaffia rhodozyma* NCHU-FS501. Journal Industrai. Microbiology.16, pp. 175–181.

Tony J. Fang and Joh-Ming Wang.2002. Extractability of astaxanthin in a mixed culture of a carotenoid over-producing mutant of *Xanthophyllomyces dendrorhous* and *Bacillus circulans* in two-stage batch fermentation. Department of Food Science.National Chung Hsing University.1235-1245.

Xian-Ming Shi, Hui-Jun Liu, Xue-Wu Zhang and Feng Chen.1999.Production of biomass and lutein by *Chlorella protothecoides* at various glucose concentrations in heterotrophic cultures. Process Biochemistry. 341-347

Xian-Ming Shi, Xue-Wu Zhang and Feng Chen. 2000. Heterotrophic production of biomass and lutein by *Chlorella protothecoides* on various nitrogen sources. Enzyme and Microbial Technology.312-318

Z. Aksu and A. Tugba Eren.1995. Carotenoids production by the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: Use of agricultural wastes as a carbon source. Department of Chemical Engineering.2985-2991.

Asia Pacific Food Industry Thailand. 2006. 36-37 อ้างถึงโดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร http://www.tistr-foodprocess.net

http://dcb-carot.unibe.ch/Biosynth.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://pha.narak.com/topic.php?No=7981

http://www.biomedcentral.com/1471-2229/6/13/figure/F1

http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=jeabyeah007&month=27-02-2008&group=12&gblog=8

http://www.elib-online.com/doctors/food_betacarotene1.html

http://www.food-info.net/uk/caro/stru.html

http://www.giffarine.co.th

http://www.gpo.or.th/rdi/html/oxidative_stress.html

http://www.green-x.com_detail.asp?pid=307

http://www.lipidmaps.org/data/get_lm_lipids_dbgif.ph

http://www.matichon.co.th

http://www.ningxiawolfberry.net/science.html

http://www.stkc.go.th/stportalDocumant/stportal_1111547358.doc

http://www.sudipan.net/phpBB2/viewtopic.php?p=10254

http://www.vcharkarn.com

http://www.wyethnutrition.co.th/$$Natural%20Carotenoids.html.menu_id=315&menu_item_id=3

http://www.yalor.yru.ac.th/~dolah/notes/4902-1-48G13/SEMPPT/Ptb_404652056.ppt#256,2,

สัมมนาเรื่อง เบต้าแคโรทีน ป้องกันมะเร็ง Cell Carcinoma Antioxidant Betacarotene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

อาหารเลี้ยงสาหร่าย

สูตรอาหาร N-8 ที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp.

ไดโซเดียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ($Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$)	260	มิลลิกรัม
โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)	740	มิลลิกรัม
แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	10	มิลลิกรัม
เฟอริกเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด(FeEDTA)	10	มิลลิกรัม
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	50	มิลลิกรัม
โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3)	1000	มิลลิกรัม
ธาตุอาหารเสริม (Trace element mixture)	1	มิลลิกรัม
น้ำกลั่น	1	มิลลิกรัม

ธาตุอาหารเสริมสำหรับอาหารสูตร N-8 (Trace element mixture)

อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	3.58	กรัม
แมงกะนีสไดคลอไรด์ ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)	12.98	กรัม
คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	1.83	กรัม
ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	3.20	กรัม
น้ำกลั่น	1.00	ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข-1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตร N-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร

วัน	ค่าการดูดกลืนแสง							
	Chlorella sp. C2				*Chlorella* sp. C2M2-4			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.241	0.238	0.242	0.240	0.268	0.269	0.265	0.267
1	0.262	0.255	0.246	0.254	0.272	0.275	0.271	0.273
2	0.258	0.260	0.257	0.258	0.284	0.283	0.281	0.283
3	0.282	0.289	0.291	0.287	0.286	0.289	0.292	0.289
4	0.295	0.298	0.303	0.299	0.310	0.315	0.317	0.314
5	0.289	0.284	0.293	0.289	0.307	0.314	0.315	0.312
6	0.281	0.283	0.278	0.281	0.298	0.295	0.287	0.293
7	0.279	0.272	0.268	0.273	0.279	0.278	0.275	0.277

ตาราง ข-2 แสดงปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 ในอาหารเหลวสูตรN-8 ดัดแปลงความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร

วัน	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)							
	Chlorella sp. C2				*Chlorella* sp. C2M2-4			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	4.8	4.9	5.0	4.9	4.9	5.0	4.9	4.9
1	5.0	5.3	5.7	5.3	5.1	5.4	5.3	5.3
2	5.0	5.2	5.7	5.3	5.4	5.5	5.6	5.5
3	5.4	5.6	6.0	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9
4	5.6	5.8	6.1	5.8	5.9	6.4	6.4	6.3
5	5.6	5.7	5.9	5.7	5.8	6.2	6.2	6.0
6	5.6	5.8	5.7	5.7	6.0	6.1	6.1	6.1
7	5.6	5.6	5.6	5.6	6.0	6.0	5.9	5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-3 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	ค่าการดูดกลืนแสง											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.018	0.019	0.02	0.019	0.013	0.015	0.014	0.014	0.011	0.011	0.011	0.011
1	0.021	0.023	0.022	0.022	0.019	0.018	0.020	0.019	0.011	0.013	0.012	0.012
2	0.025	0.026	0.028	0.026	0.030	0.032	0.033	0.032	0.013	0.012	0.015	0.013
3	0.029	0.031	0.030	0.030	0.048	0.047	0.049	0.048	0.015	0.017	0.019	0.017
4	0.035	0.039	0.037	0.037	0.074	0.072	0.071	0.072	0.023	0.025	0.023	0.024
5	0.017	0.014	0.018	0.016	0.051	0.052	0.053	0.052	0.022	0.021	0.021	0.021
6	0.011	0.009	0.012	0.011	0.030	0.031	0.032	0.031	0.021	0.021	0.021	0.021
7	0.005	0.006	0.007	0.006	0.022	0.021	0.023	0.022	0.020	0.012	0.011	0.014

ตาราง ข-4 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	4.1	4.5	4.8	4.5	4.8	4.9	5.1	4.9	5.6	5.8	6.0	5.8
1	5.2	5.8	6.2	5.7	5.4	6.0	6.0	5.8	6.1	6.0	5.8	6.0
2	6.0	6.4	7.3	6.6	6.1	6.5	7.2	6.6	7.4	7.4	6.0	6.9
3	6.9	6.6	7.9	7.1	8.0	8.9	8.5	8.5	7.9	7.6	6.9	7.5
4	10.9	10.5	9.9	10.5	11.5	11.9	9.5	11.0	8.8	8.9	8.9	8.9
5	7.9	9.4	9.4	8.9	7.0	7.2	8.1	7.5	8.3	8.4	7.9	8.2
6	5.7	6.2	6.6	6.2	5.8	6.4	6.7	6.3	6.5	6.3	5.9	6.2
7	5.0	5.5	6.0	5.5	5.2	5.8	5.8	5.6	5.2	5.0	5.1	5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-5 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	18.6	18.9	20.2	19.2	36.4	35.2	37.4	36.3	22.2	23.4	24.3	23.3
1	21.3	20.4	21.2	21.0	39.2	39.5	40.1	39.6	26.5	26.5	26.3	26.4
2	24.8	26.3	24.4	25.2	49.0	47.2	47.8	48.0	28.1	27.4	28.0	26.8
3	30.1	30.2	31.3	30.5	50.2	50.3	49.9	50.1	29.4	29.2	29.0	29.2
4	51.1	51.6	51.5	51.4	54.1	52.3	54.3	53.6	30.2	30.9	30.3	30.5
5	48.2	48.5	47.2	48.0	52	51.4	52.1	51.8	28.8	28.2	27.1	28.0
6	25.6	26.5	25.7	25.9	42	42.1	42.2	42.1	24.6	23.6	23.8	24.0
7	24.3	23.3	24.5	24.0	40.9	41.1	40.3	40.8	22.1	21.6	22.9	22.2

ตาราง ข-6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	36.3	35.8	40.5	37.5	41.3	42.1	43.3	42.2	62.3	65.6	66.7	64.9
1	41.7	38.3	47.8	42.6	45.6	40.9	46.0	44.1	66.6	71.6	68.0	68.7
2	62.5	66.8	61.9	63.7	55.2	60.0	60.5	58.6	74.2	73.7	78.3	75.4
3	85.8	91.2	96.7	91.2	82.7	80.8	83.1	82.2	75.7	81.0	79.9	78.9
4	91.8	90.0	93.6	91.8	113.1	110.2	111.5	111.6	85.8	94.2	91.7	90.6
5	76.6	89.2	91.8	85.9	100.7	104.6	105.7	103.7	64.1	68.1	76.9	69.7
6	41.1	47.1	52.9	47.0	67.2	71.3	71.9	70.1	61.2	55.7	55.6	57.5
7	44.6	52.3	47.9	48.3	53.1	57.1	51.5	53.9	56.5	49.7	52.7	53.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-7 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	ค่าการดูดกลืนแสง											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.015	0.016	0.019	0.017	0.028	0.026	0.029	0.028	0.010	0.009	0.010	0.010
1	0.019	0.018	0.019	0.019	0.031	0.03	0.032	0.031	0.011	0.011	0.012	0.011
2	0.022	0.023	0.021	0.022	0.034	0.034	0.035	0.034	0.015	0.017	0.018	0.017
3	0.028	0.029	0.027	0.028	0.039	0.038	0.038	0.038	0.017	0.021	0.022	0.020
4	0.032	0.031	0.033	0.032	0.042	0.043	0.042	0.042	0.020	0.018	0.018	0.019
5	0.026	0.025	0.024	0.025	0.030	0.031	0.030	0.030	0.017	0.011	0.010	0.013
6	0.021	0.021	0.022	0.021	0.029	0.027	0.028	0.028	0.012	0.010	0.011	0.011
7	0.016	0.017	0.018	0.017	0.024	0.023	0.025	0.024	0.010	0.011	0.009	0.010

ตาราง ข-8 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียม-ไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	4.9	5.1	5.5	5.2	4.8	5.2	5.5	5.2	3.6	4.0	4.4	4.0
1	5.4	5.5	5.7	5.5	5.7	5.4	5.6	5.6	4.5	4.7	4.8	4.7
2	5.8	6.0	6.1	6.0	6.5	6.6	6.4	6.5	5.3	5.5	5.6	5.5
3	6.0	6.3	6.1	6.2	6.6	6.4	6.8	6.6	5.6	5.7	5.8	5.7
4	6.3	6.5	6.5	6.4	6.7	7.0	6.9	6.9	5.7	5.8	6.0	5.9
5	6.3	6.4	6.2	6.3	6.3	5.9	6.2	6.1	5.7	5.9	5.8	5.8
6	5.5	5.6	5.8	5.7	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	5.0	5.2	5.1
7	4.5	4.6	4.7	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.3	4.4	4.9	4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-9 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียม-ไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	17.6	18.5	19.8	18.6	18.3	18.7	19.5	18.8	8.6	8.9	9.3	8.9
1	22.7	22.6	22.9	22.7	20.8	20.7	20.1	20.5	10.9	11.2	11.9	11.3
2	23.8	23.9	23.7	23.8	21.9	21.8	22.9	22.2	14.8	13.8	14.3	14.3
3	25.7	25.3	25.9	25.6	26.8	27.3	26.4	26.8	16.3	17.9	16.4	16.9
4	27.4	27.9	27.9	27.7	29.9	28.6	29.4	29.3	19.8	21.9	18.7	20.1
5	25.1	25.3	25.6	25.3	24.7	23.9	24.8	24.5	17.5	17.9	17.4	17.6
6	24.9	24.3	24.2	24.5	20.8	20.1	21.9	20.9	10.9	10.9	13.4	11.7
7	21.5	21.6	21.3	21.5	16.7	17.9	17.2	17.3	8.8	9.3	9.0	9.0

ตาราง ข-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	78.4	79.6	82.7	80.3	120.0	126.0	129.0	125.0	86.8	82.3	84.2	84.4
1	87.8	83.6	90.9	87.4	131.3	127.6	134.4	131.1	97.0	94.4	97.0	96.1
2	96.6	101.4	88.2	95.4	137.4	136.8	142.0	138.7	97.4	97.5	100.9	98.6
3	100.5	102.9	98.3	100.6	145.9	144.4	141.1	143.8	100.3	96.7	99.7	98.9
4	102.9	104.2	107.9	105.0	147.4	148.2	144.7	146.8	102.0	96.6	102.8	100.5
5	101.2	100.6	93.0	98.3	114.9	117.8	112.7	115.1	98.9	96.7	93.9	96.5
6	97.1	100.5	96.6	98.0	112.0	106.8	111.2	110.0	97.0	88.2	86.1	90.4
7	92.1	91.3	100.6	94.7	107.3	102.4	112.9	107.5	95.2	78.9	83.2	85.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-11 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	ค่าการดูดกลืนแสง											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.010	0.013	0.010	0.011	0.018	0.019	0.018	0.018	0.016	0.018	0.014	0.016
1	0.012	0.013	0.012	0.012	0.018	0.019	0.021	0.019	0.020	0.017	0.022	0.020
2	0.010	0.010	0.011	0.010	0.022	0.024	0.020	0.022	0.019	0.021	0.020	0.020
3	0.012	0.012	0.013	0.012	0.031	0.029	0.033	0.031	0.022	0.024	0.023	0.023
4	0.015	0.017	0.015	0.016	0.035	0.037	0.034	0.035	0.029	0.031	0.033	0.031
5	0.013	0.014	0.012	0.013	0.026	0.024	0.023	0.024	0.026	0.024	0.026	0.025
6	0.011	0.010	0.012	0.011	0.025	0.020	0.022	0.022	0.024	0.021	0.026	0.024
7	0.008	0.007	0.009	0.008	0.017	0.019	0.020	0.019	0.023	0.019	0.022	0.021

ตาราง ข-12ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	4.1	4.3	4.6	4.3	4.6	4.4	4.4	4.5	4.5	4.3	4.1	4.3
1	4.9	4.8	4.8	4.9	4.8	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5	4.3	4.5
2	5.6	5.5	4.9	5.3	5.8	5.7	5.4	5.7	5.4	5.1	4.9	5.2
3	5.8	5.8	5.7	5.8	6.0	5.8	5.5	5.8	6.0	5.9	5.5	5.8
4	6.1	6.0	5.9	6.0	6.5	6.4	6.1	6.3	6.4	6.3	6.0	6.2
5	6.0	5.8	5.6	5.8	6.3	6.2	6.0	6.2	6.3	6.1	5.8	6.1
6	4.9	4.8	4.6	4.8	5.5	5.3	5.0	5.3	5.9	5.8	5.6	5.8
7	4.3	4.2	4.1	4.2	4.7	4.4	4.4	4.5	4.2	4.1	4.0	4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-13 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัม)											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	7.2	6.3	7.8	7.1	19.3	19.4	19.6	19.4	14.1	14.8	14.6	14.5
1	8.9	7.4	9.6	8.6	20.1	20.2	19.8	20.0	16.2	15.3	16.8	16.1
2	10.1	10.3	11.4	10.6	20.7	21.4	21.7	21.3	18.4	17.9	19.0	18.4
3	11.8	11.9	12.7	12.1	22.3	22.4	23.1	22.6	19.1	19.7	19.1	19.3
4	14.6	16.7	14.8	15.4	24.7	25.8	25.5	25.3	21.8	19.6	20.5	20.6
5	13.2	14.8	12.6	13.5	21.2	21.6	21.2	21.3	17.2	17.1	17.4	17.2
6	11.3	10.6	13.4	11.8	20.9	19.4	19.9	20.1	17.2	16.3	16.9	16.8
7	8.7	7.9	9.8	8.8	19.6	19.7	19.3	19.5	13.4	14.3	13.9	13.9

ตาราง ข-14 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	72.7	75.1	73.4	73.8	101.4	100.9	104.6	102.3	84.8	85.2	87.4	85.8
1	86.4	91.0	90.1	89.2	102.6	108.3	104.3	105.1	89.3	92.0	92.8	91.4
2	95.2	84.3	92.8	90.8	109.1	111.8	112.5	111.1	93.2	94.8	92.3	93.4
3	91.8	89.8	93.4	91.7	126.4	126.8	127.6	126.9	94.2	95.0	95.8	95.0
4	96.7	95.6	95.1	95.8	146.1	148.5	145.4	146.7	97.2	96.8	98.5	97.5
5	94.7	91.0	91.6	92.4	132.6	134.4	135.7	134.2	94.2	96.8	97.5	96.2
6	93.6	90.7	78.4	87.6	116.1	113.5	113.4	114.3	93.1	95.1	94.7	94.3
7	75.9	70.3	68.7	71.6	112.1	114.3	116.2	114.2	90.6	89.8	86.0	88.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-15 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	ค่าการดูดกลืนแสง											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.009	0.010	0.011	0.010	0.017	0.018	0.019	0.018	0.016	0.017	0.018	0.017
1	0.012	0.011	0.013	0.012	0.020	0.018	0.022	0.020	0.019	0.02	0.018	0.019
2	0.019	0.017	0.015	0.017	0.030	0.035	0.038	0.034	0.021	0.022	0.023	0.022
3	0.032	0.029	0.031	0.031	0.052	0.054	0.056	0.054	0.026	0.025	0.028	0.026
4	0.056	0.058	0.055	0.056	0.093	0.095	0.097	0.095	0.029	0.03	0.031	0.030
5	0.044	0.042	0.042	0.043	0.071	0.073	0.069	0.071	0.022	0.021	0.019	0.021
6	0.015	0.019	0.017	0.017	0.045	0.042	0.043	0.043	0.014	0.016	0.018	0.016
7	0.013	0.011	0.012	0.012	0.032	0.034	0.034	0.033	0.012	0.013	0.011	0.012

ตาราง ข-16 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย*Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	6.3	6.1	6.0	6.1	6.0	5.8	5.7	5.8	6.0	5.6	5.6	5.7
1	6.7	6.5	6.4	6.5	6.3	6.0	6.1	6.1	6.5	6.1	6.2	6.3
2	8.0	7.1	7.5	7.5	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9	6.9	7.3	7.4
3	8.5	8.3	8.0	8.2	11.5	11.3	11.4	11.4	8.3	8.0	7.9	8.1
4	10.4	10.7	10.1	10.4	14.7	14.2	14.6	14.5	10.2	10.5	9.9	10.2
5	9.9	10	9.6	9.8	12.2	11.4	11.8	11.8	9.8	9.9	9.4	9.7
6	7.8	6.8	6.9	7.2	7.4	7.7	7.4	7.5	7.4	6.5	6.6	6.8
7	6.5	6.4	6.2	6.4	5.8	5.5	5.7	5.7	6.3	5.9	6.0	6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-17 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	26.3	26.9	28.3	27.2	37.6	35.8	39.2	37.5	26.4	27.31	28.42	27.4
1	30.0	30.1	30.2	30.1	40.1	42.3	41.8	41.4	30.3	30.9	31.1	30.8
2	42.1	42.3	42.6	42.3	52.2	51.3	52.4	52.0	32.4	33.9	34.4	33.6
3	48.2	48.5	48.7	48.5	55.8	55.9	56.7	56.1	36.8	36.8	36.1	36.6
4	59.7	59.8	59.6	59.7	62.9	62.8	61.2	62.3	39.2	39.8	38.3	39.1
5	55.2	55.6	55.5	55.4	48.7	47.8	48.2	48.2	37.1	35.3	36.9	36.4
6	35.1	34.7	34.5	34.8	42.9	41.8	42.8	42.5	33.9	33.7	32.4	33.3
7	23.7	23.9	24.1	23.9	39.8	38.7	39.2	39.2	29.1	29.3	29.6	29.3

ตาราง ข-18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)											
	ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)											
	10				20				30			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	49.3	48.7	50.6	49.5	38.4	36.7	40.3	38.5	52.1	54.5	53.2	53.3
1	54.2	51.8	59.0	55.0	49.1	43.8	52.7	48.5	68.9	72.6	65.8	69.1
2	73.7	62.1	59.1	65.0	64.7	71.3	76.4	70.8	71.9	77.2	79.0	76.0
3	102.2	92.3	95.2	96.6	99.6	103.2	107.9	103.6	85.0	82.3	92.8	86.7
4	105.2	108.4	102.7	105.4	165.3	174.7	171.8	170.6	92.3	93.3	98.4	94.7
5	87.8	83.8	85.6	85.7	131.3	136.6	127.3	131.7	73.4	71.6	67.4	70.8
6	56.3	68.9	63.6	62.9	96.1	95.9	98.0	96.7	54.7	65.2	72.7	64.2
7	51.4	45.6	47.1	48.0	75.2	79.5	81.1	78.6	52.2	57.9	46.2	52.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-19 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียม-ไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	ค่าการดูดกลืนแสง											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.031	0.028	0.032	0.030	0.019	0.020	0.021	0.02	0.015	0.02	0.019	0.018
1	0.035	0.033	0.036	0.035	0.023	0.021	0.022	0.022	0.018	0.019	0.017	0.018
2	0.039	0.039	0.038	0.039	0.033	0.031	0.035	0.033	0.019	0.020	0.018	0.019
3	0.042	0.040	0.041	0.041	0.045	0.047	0.048	0.047	0.023	0.021	0.022	0.022
4	0.045	0.044	0.043	0.044	0.054	0.056	0.059	0.056	0.029	0.028	0.027	0.028
5	0.036	0.035	0.037	0.036	0.037	0.039	0.038	0.038	0.021	0.022	0.020	0.021
6	0.03	0.029	0.032	0.030	0.030	0.033	0.033	0.032	0.018	0.016	0.015	0.016
7	0.027	0.026	0.024	0.026	0.013	0.015	0.017	0.015	0.011	0.013	0.013	0.012

ตาราง ข-20 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียม-ไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	4.4	4.1	4.3	4.3	4.8	4.9	4.9	4.9	3.7	3.9	4.1	3.9
1	4.7	4.9	4.7	4.8	5.0	5.7	5.6	5.4	4.2	4.5	4.6	4.4
2	4.9	4.9	5.0	4.9	5.6	5.5	5.7	5.6	4.5	4.7	4.8	4.7
3	5.3	5.2	5.5	5.3	6.0	6.2	5.3	5.8	5.0	5.0	5.2	5.1
4	5.6	5.6	5.7	5.6	5.9	6.0	6.0	6.0	5.1	5.2	5.2	5.2
5	5.5	5.6	5.7	5.6	5.6	5.7	5.8	5.7	4.9	5.0	5.0	5.0
6	4.5	4.6	4.7	4.6	5.4	5.5	5.6	5.5	4.0	4.3	4.4	4.2
7	4.7	4.8	4.6	4.7	5.1	5.2	5.3	5.2	4.0	4.1	4.2	4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-21 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัม)											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	20.8	21.3	22.5	21.5	20.3	21.6	21.8	21.2	13.6	12.9	14.3	13.6
1	23.7	23.8	24.7	24.1	22.4	23.3	22.9	22.9	16.9	17.7	17.7	17.4
2	25.9	26.3	26.7	26.3	29.8	29.7	28.6	29.4	16.9	16.9	16.8	16.9
3	27.6	27.9	27.8	27.8	32.6	33.4	32.5	32.8	18.6	18.2	18.7	18.5
4	28.9	28.9	28.4	28.7	38.9	38.6	39.9	39.1	22.4	22.9	22.8	22.7
5	26.7	26.1	25.4	26.1	30.9	31.8	31.7	31.5	19.1	19.3	19.5	19.3
6	25.1	25.8	25.2	25.4	27.6	27.6	28.4	27.9	17.8	17.5	17.4	17.6
7	24.8	24.7	24.3	24.6	23.8	23.7	24.6	24.0	13.2	13.6	13.3	13.4

ตาราง ข-22 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)											
	แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)											
	โพแทสเซียมไนเตรต				โซเดียมไนเตรต				ยูเรีย			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	83.5	85.7	87.7	85.6	128.4	130.5	133.2	130.7	96.3	99.4	97.8	97.8
1	98.7	86.7	92.4	92.6	142.8	133.3	140.1	138.7	102.4	108.1	97.3	102.6
2	106.5	100.4	117.7	108.2	142.8	142.6	136.8	140.7	102.6	108.6	99.9	103.7
3	132.7	135.3	142.0	136.7	146.3	137.8	141.8	142.0	118.9	110.9	113.1	114.3
4	133.5	139.5	142.2	138.4	149.7	146.4	145.6	147.2	124.5	117.5	113.9	118.6
5	115.1	117.9	115.3	116.2	129.6	128.9	137.4	132.0	105.7	109.6	98.6	104.6
6	104.5	115.0	111.7	110.4	114.9	108.1	122.1	115.0	97.2	87.9	82.9	89.3
7	52.5	60.9	66.4	59.9	104.7	101.2	95.0	100.3	80.1	83.4	82.0	81.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-23 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	ค่าการดูดกลืนแสง											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.009	0.010	0.010	0.010	0.019	0.02	0.019	0.019	0.019	0.018	0.02	0.019
1	0.010	0.012	0.011	0.011	0.020	0.021	0.020	0.020	0.021	0.020	0.022	0.021
2	0.014	0.014	0.013	0.013	0.022	0.023	0.025	0.023	0.022	0.021	0.022	0.022
3	0.017	0.016	0.018	0.017	0.032	0.032	0.033	0.032	0.024	0.024	0.025	0.024
4	0.022	0.023	0.024	0.023	0.038	0.037	0.035	0.037	0.035	0.037	0.034	0.035
5	0.015	0.016	0.017	0.016	0.029	0.027	0.028	0.028	0.029	0.028	0.029	0.029
6	0.013	0.012	0.013	0.013	0.024	0.023	0.022	0.023	0.026	0.026	0.026	0.026
7	0.010	0.011	0.012	0.011	0.021	0.019	0.02	0.020	0.023	0.024	0.022	0.023

ตาราง ข-24 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	4.8	4.3	4.7	4.6	5.9	5.7	6.0	5.9	5.7	5.5	5.1	5.4
1	5.1	4.9	5.0	5.0	6.3	6.2	6.1	6.2	5.9	5.8	5.6	5.8
2	6.1	5.9	5.8	5.9	6.5	6.8	6.3	6.5	6.3	6.1	6.0	6.1
3	6.1	6.0	5.9	6.0	6.9	6.9	6.5	6.8	6.5	6.4	6.3	6.4
4	6.5	6.4	6.3	6.4	7.1	7.0	6.8	7.0	6.8	6.6	6.5	6.6
5	6.4	6.3	6.2	6.3	7.0	6.9	6.7	6.9	6.7	6.5	6.4	6.5
6	5.9	5.8	5.7	5.8	6.5	6.4	6.3	6.4	6.1	6.0	5.8	6.0
7	4.9	4.8	4.9	4.9	5.8	5.7	5.5	5.7	5.4	5.2	5.5	5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-25 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	10.7	11.2	9.8	10.6	20.3	19.4	21.6	20.4	18.1	17.6	16.7	17.5
1	11.9	11.8	11.4	11.7	21.8	20.9	22.8	21.8	18.2	18.3	18.1	18.2
2	14.6	13.8	12.9	13.8	22.7	21.3	22.8	22.7	18.9	19.1	19.0	19.0
3	14.9	15.2	17.7	15.9	23.6	23.9	24.3	23.9	19.9	19.4	19.5	19.6
4	19.5	21.9	23.9	21.8	25.7	28.3	29.5	27.8	22.0	22.5	21.8	22.1
5	15.6	16.1	17.4	16.4	28.3	27.6	27.2	27.7	17.4	17.2	17.4	17.3
6	14.2	12.4	13.5	13.4	26.5	26.3	26.4	26.4	15.8	16.3	16.1	16.1
7	11.8	11.8	12.4	12.0	24.2	24.2	23.1	23.8	14.3	15.8	15.6	15.2

ตาราง ข-26 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 6.8 และ 8.0

วันที่	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัมเซลล์)											
	พีเอชเริ่มต้น											
	5.0				6.8				8.0			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	75.4	78.1	76.9	76.8	103.4	109.9	104.6	106.0	69.9	72.9	74.4	72.4
1	88.9	97.8	92.8	93.2	105.7	110.3	106.3	107.4	76.6	81.0	83.2	80.3
2	92.2	97.5	97.0	95.6	111.9	115.0	126.5	117.8	85.4	87.5	89.6	87.5
3	97.0	96.6	96.6	96.7	154.6	158.6	162.7	158.6	95.4	94.5	96.5	95.5
4	98.8	99.3	98.9	99.0	166.1	158.1	154.4	159.5	102.9	98.5	98.5	100.0
5	92.4	95.6	93.9	94.0	160.4	150.9	154.7	155.3	90.5	89.9	87.6	89.3
6	88.0	93.0	92.6	91.2	146.1	135.7	131.4	137.7	85.6	83.4	80.4	83.1
7	81.5	89.6	93.0	88.0	141.2	115.6	123.3	126.7	79.9	78.0	75.0	77.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้นำมาวิเคราะห์คำนวณทางสถิติ เพื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่มีผลต่อการผลิตแคโรทีนอยด์ ซึ่งใช้โปรแกรมคำนวณทางสถิติ SPSS เวอร์ชั่น 14.0 โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ ANOVA และ Duncan Multiple Rark Test ในการวิเคราะห์

ตาราง ค-1 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลายที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.187	2	.093	11341.635	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.187	8			

DATA

Duncan

ค่าการดูดกลืนแสง (560 นาโนเมตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
C2	3		.299	
C2M2-4	3			.314
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 และ *Chlorella* sp. C2M2-4 สายพันธุ์กลาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	73.042	2	36.521	747.023	.000
Within Groups	.293	6	.049		
Total	73.336	8			

DATA

Duncan

ปริมาณเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
C2	3		5.8000
C2M2-4	3		6.3000
Sig.		1.000	.069

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-3 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.004	2	.002	767.773	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.004	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	3	.0240		
10.00	3		.0370	
20.00	3			.0720
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-4 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.149	2	3.574	5.614	.042
Within Groups	3.820	6	.637		
Total	10.969	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
30.00	3	8.9000	
10.00	3	10.5000	10.5000
20.00	3		11.0000
Sig.		.053	.444

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-5 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	954.816	2	477.408	1220.645	.000
Within Groups	2.347	6	.391		
Total	957.162	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	3	30.5000		
10.00	3		51.4000	
20.00	3			53.6000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	835.962	2	417.981	52.349	.000
Within Groups	47.907	6	7.984		
Total	883.869	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
30.00	3	90.6000	
10.00	3	91.8000	
20.00	3		111.6000
Sig.		.612	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-7 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อ ลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.006	2	.003	1311.864	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.006	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	3	.0300		
10.00	3		.0560	
20.00	3			.0950
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-8 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อ ลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.580	2	17.290	273.000	.000
Within Groups	.380	6	.063		
Total	34.960	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
30.00	3	10.2000	
10.00	3	10.4000	
20.00	3		14.5000
Sig.		.195	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-9 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้น ของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	981.549	2	490.774	1082.591	.000
Within Groups	2.720	6	.453		
Total	984.269	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	3	39.1000		
10.00	3		59.7000	
20.00	3			62.3000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเข้มข้นของกลูโคส 10 20 และ 30 กรัม ต่อ ลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10128.487	2	5064.243	361.416	.000
Within Groups	84.073	6	14.012		
Total	10212.560	8			

DATA

Duncan

ความเข้มข้นกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	3	94.7000		
10.00	3		105.4000	
20.00	3			170.6000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-11 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	2	.000	104.920	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.001	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ยูเรีย	3	.0190		
โพแทสเซียมไนเตรท	3		.0320	
โซเดียมไนเตรท	3			.0420
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-12 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.616	2	.808	40.389	.000
Within Groups	.120	6	.020		
Total	1.736	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ยูเรีย	3	5.9000		
โพแทสเซียมไนเตรท	3		6.4000	
โซเดียมไนเตรท	3			6.9000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-13 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	144.242	2	72.121	68.542	.000
Within Groups	6.313	6	1.052		
Total	150.556	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ยูเรีย	3	20.1000	
โพแทสเซียมไนเตรท	3		27.7000
โซเดียมไนเตรท	3		29.3000
Sig.		1.000	.111

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-14 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3908.696	2	1954.348	273.123	.000
Within Groups	42.933	6	7.156		
Total	3951.629	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ยูเรีย	3	100.5000	
โพแทสเซียมไนเตรท	3	105.0000	
โซเดียมไนเตรท	3		146.8000
Sig.		.083	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-15 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	2	.001	217.960	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.001	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ยูเรีย	3	.0280		
โพแทสเซียมไนเตรท	3		.0440	
โซเดียมไนเตรท	3			.0560
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-16 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.702	2	.351	4.580	.062
Within Groups	.460	6	.077		
Total	1.162	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ยูเรีย	3	5.2000	
โพแทสเซียมไนเตรท	3	5.6000	5.6000
โซเดียมไนเตรท	3		6.0000
Sig.		.085	.410

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-17 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนโตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และ ยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	414.616	2	207.308	1008.524	.000
Within Groups	1.233	6	.206		
Total	415.849	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ยูเรีย	3	22.7000		
โพแทสเซียมไนเตรท	3		28.7000	
โซเดียมไนเตรท	3			39.1000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่แหล่งไนตรเจนเป็นโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนเตรต และยูเรีย 1 กรัมต่อลิตร

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1286.709	2	643.354	36.004	.000
Within Groups	107.213	6	17.869		
Total	1393.922	8			

DATA

Duncan

แหล่งไนโตรเจน (1 กรัมต่อลิตร)	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ยูเรีย	3	118.6000		
โพแทสเซียมไนเตรท	3		138.4000	
โซเดียมไนเตรท	3			147.2000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-19 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	2	.000	207.389	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.001	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	3	.0160	
8.00	3		.0310
6.80	3		.0350
Sig.		1.000	.292

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-20 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.176	2	.088	2.724	.144
Within Groups	.193	6	.032		
Total	.369	8			

DATA

Duncan

พีอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05
		1
5.00	3	6.0000
8.00	3	6.2000
6.80	3	6.3000
Sig.		.071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-21 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	233.627	2	116.813	66.793	.000
Within Groups	10.493	6	1.749		
Total	244.120	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
5.00	3	15.4000		
8.00	3		20.6000	
6.80	3			25.3000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-22 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย Chlorella sp. C2ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7090.669	2	3545.334	288.969	.000
Within Groups	73.613	6	12.269		
Total	7164.282	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	3	95.8000	
8.00	3	97.5000	
6.80	3		146.7000
Sig.		.504	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-23 การเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	90.176	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	3	.0230	
8.00	3		.0350
6.80	3		.0370
Sig.		1.000	.280

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-24 ปริมาณเซลล์ของสาหร่าย Chlorella sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.487	2	.243	12.882	.007
Within Groups	.113	6	.019		
Total	.600	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	3	6.4000	
8.00	3	6.6000	
6.80	3		7.0000
Sig.		.083	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-25 น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	69.787	2	34.893	11.954	.008
Within Groups	17.513	6	2.919		
Total	87.300	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	3	21.8000	
8.00	3	22.1000	
6.80	3		27.8000
Sig.		.819	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-26 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. C2M2-4ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่พีเอชเริ่มต้น 5.0 6.8 และ 8.0

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7502.482	2	3751.241	266.234	.000
Within Groups	84.540	6	14.090		
Total	7587.022	8			

DATA

Duncan

พีเอชเริ่มต้น	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	3	99.0000	
8.00	3	100.0000	
6.80	3		159.5000
Sig.		.332	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้