

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
สาหร่ายสไปรูลิน่า	4
ไฟโคบิลิโซม (Phycobilisomes: PBS)	13
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin)	16
การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าเพื่อการผลิตซี-ไฟโคไซยานิน	22
พอลิเมอร์นอกเซลล์ (Extracellular polymeric substance: EPSs)	26
สีผสมอาหาร	28
กรอบแนวคิดในการวิจัย	30
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
สายพันธุ์สาหร่าย	31
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย	31
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์	31
สารเคมี	32
วิธีดำเนินการวิจัย	32

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	
ผลการพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าเพื่อการผลิตซี-ไฟโคไซยานิน	37
ผลการศึกษาการผลิตผงซี-ไฟโคไซยานินโดยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	50
ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผงซี-ไฟโคไซยานิน	52
ผลการประยุกต์ใช้ผงซี-ไฟโคไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหารและทดสอบความชอบ ด้านสี	52
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ รักษา	54
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ</b>	
สรุปผลการวิจัย	56
อภิปรายผล	57
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	60
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	60
<b>บรรณานุกรม</b>	
บรรณานุกรมภาษาไทย	61
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	61
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเพาะสาหร่าย (Culture media)	69
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	71
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	73
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	85
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	89

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของสไปรูลิน่าอบแห้งของบริษัท Siam Algae Company (SAC)	8
2.2	เปรียบเทียบวิธีการทำแห้งเซลล์สาหร่ายเพื่อการสกัดซี-ไฟโคไซยานิน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ฟอสเฟตบัพเฟอร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7 (ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์)	18
2.3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดโปรตีนจากเซลล์ของสาหร่าย <i>Mycobacterium smegmatis</i> ด้วยวิธีต่าง ๆ กัน	19
4.1	ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบโฟโตออโททรอฟ ในอาหาร Modified Zarrouk's medium ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) 10 กรัมต่อลิตร ในรอบที่ 1	41
4.2	ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบโฟโตออโททรอฟในรอบที่ 2 ที่มีการนำอาหารเพาะเลี้ยงหลังจากการแยกเซลล์ออกไปแล้วในรอบที่ 1 มาใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยมีการคำนวณปริมาณโซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) ที่ต้องเติมลงไปในการเพาะเลี้ยงจากน้ำหนักสาหร่ายแห้งที่ได้ (กำหนดให้ใช้ในปริมาณ 2.5 กรัมต่อลิตร) แล้วเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปเป็นปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร	42
4.3	ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบโฟโตออโททรอฟในรอบที่ 3 ที่มีการนำอาหารเพาะเลี้ยงหลังจากการแยกเซลล์ออกไปแล้วในรอบที่ 2 มาใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยมีการคำนวณปริมาณโซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) ที่ต้องเติมลงไปในการเพาะเลี้ยงจากน้ำหนักสาหร่ายแห้งที่ได้ (กำหนดให้ใช้ในปริมาณ 2.5 กรัมต่อลิตร) แล้วเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปเป็นปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร	43
4.4	พารามิเตอร์การเจริญเติบโตและการสร้างผลิตภัณฑ์ของ <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบโฟโตออโททรอฟในรอบที่ 1-3	49
4.5	ปริมาณส่วนสกัดหยาบซี-ไฟโคไซยานินและกากชีวมวลสไปรูลิน่าเหลือทิ้งที่ได้จากการสกัดซี-ไฟโคไซยานินจากชีวมวลสไปรูลิน่าอบแห้งด้วยวิธีการบดด้วยเม็ดแก้ว	51
4.6	คุณสมบัติบางประการของผงซี-ไฟโคไซยานินที่พัฒนาได้	52
4.7	ค่าเฉลี่ยความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของเจลลี่และน้ำมะพร้าวที่เติมผงซี-ไฟโคไซยานินในปริมาณต่าง ๆ กัน	53
4.8	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์เจลลี่ที่เติมผงซี-ไฟโคไซยานินในปริมาณต่าง ๆ กันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 วัน	54

	หน้า
4.9	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์น้ำมะพร้าวที่เติมผงสีซี-ไฟโคไซยานิน ในปริมาณต่าง ๆ กันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 วัน 55
ค-1	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรตและความเข้มข้นของไนโตรเจน 76
ค-2	ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสตั้งแต่ 0 - 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร 84

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของ <i>Arthrospira maxima</i> (เส้นตรงมีขนาดเท่ากับ 20 ไมโครเมตร)	5
2.2	ผนังเซลล์ของ <i>S. platensis</i>	5
2.3	ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตพวกไฟโตออคโทรอฟ	9
2.4	แบบจำลองการจัดเรียงตัวของไฟโคบิลิโซม บน: แสดงการเชื่อมต่อระหว่างไฟโคบิลิโซมกับเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ล่างซ้าย: แสดงการจัดเรียงตัวของ 3 องค์ประกอบหลักในไฟโคบิลิโซม และ ล่างขวา: แสดงตำแหน่งที่อยู่ของ linker polypeptide	13
2.5	โครงสร้างของซี-ไฟโคไซยานินจาก <i>S. platensis</i> .	16
2.6	ตำแหน่งการเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างบิลินกับอะโปโปรตีนของซี-ไฟโคไซยานิน	16
2.7	ช่วงความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงและเรืองแสงของ ซี-ไฟโคไซยานิน	17
2.8	แผนผังระบบการผลิตสาหร่ายสไปรูลิน่าทางการค้า	23
2.9	การออกแบบบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการผลิตชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่า	23
2.10	ถังหมักแบบให้แสง (Photobioreactors) สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก	24
4.1	การเปลี่ยนแปลงค่าค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร (Optical density: OD <sub>560</sub> ) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	44
4.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้ง (Dry cell weight) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	44
4.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	53
4.4	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> IFRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	45
4.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรททั้งหมด (Total nitrate concentration) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	46
4.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus concentration) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	46
4.7	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นอัลคาไลน์ (Total alkalinity) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบไฟโตออคโทรอฟในรอบที่ 1-3	47

	หน้า
4.8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบโฟโตออโททรอปในรอบที่ 1-3 47
4.9	การเปลี่ยนแปลงปริมาณซี-ไฟโคไซยานินทั้งหมด (Total C-hycocyanin: mg/L) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบโฟโตออโททรอปในรอบที่ 1-3 48
4.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณซี-ไฟโคไซยานินทั้งหมด (Total C-hycocyanin: mg/g) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบโฟโตออโททรอปในรอบที่ 1-3 48
4.11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณพอลิเมอร์นอกเซลล์ทั้งหมด (Total extracellular polymeric substances) ในระหว่างการเพาะเลี้ยง <i>S. maxima</i> FRPD1183 แบบโฟโตออโททรอปในรอบที่ 1-3 49
4.12	แสดงลักษณะปรากฏของ (ก) ซิวมวลสไปรูลิหน้าอบแห้ง (ข) ซิวมวลสไปรูลิหน้าอบแห้งบดละเอียด (ค) ส่วนสกัดซี-ไฟโคไซยานินหยาบ และ (ง) ผงซี-ไฟโคไซยานินที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 51
4.13	ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เจลลี่และน้ำมะพร้าวที่มีการเติมผงซี-ไฟโคไซยานินในปริมาณต่าง ๆ กัน (บน) เจลลี่ (ล่าง) น้ำมะพร้าว 56
ค-1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เทียบกับ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรต 77