

การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่ออเนกประสงค์ สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

The Development of Tubular Photobioreactor for *Spirulina Paltensis* Cultivation

วริศ คุณุปการวงศ์¹ ธงไชย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ¹ อนุสิษฐ์ ณะพิมพ์เมธา¹ และ วนิดา ปานอุทัย²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*corresponding author. Email : fengtcs@ku.ac.th" fengtcs@ku.ac.th,

fengjrc@ku.ac.th" fengjrc@ku.ac.th, frwdp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ และสร้างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อต้นแบบ (Tubular Photobioreactor) สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 105 ลิตร โดยการทดสอบเครื่องด้วยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina Platensis*) โดยใช้สูตรอาหารซาร์รูก (Zarrouk Medium) และกำหนดอัตราเร็วอากาศเข้าเท่ากับ 0.07 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการให้แสงสลับมืด 16:8 ชั่วโมง ความเข้มแสงเท่ากับ 8,900 ลักซ์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส พีเอช อยู่ระหว่าง 8.5-11 โดยวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Growth measurement) ด้วยวิธีการวัดน้ำหนักแห้ง (Dry weight Determination) เพื่อหาปริมาณชีวมวลที่มากที่สุดโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโครงสร้างต้นแบบกับเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโครงสร้างพื้นฐาน พบว่าเครื่องที่มีโครงสร้างต้นแบบจะมีปริมาณชีวมวลที่มากกว่าเครื่องที่มีโครงสร้างพื้นฐาน 25 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ :

เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ อาหารซาร์รูก สาหร่ายสไปรูลินา การจำลองกระบวนการ

ABSTRACT :

The purpose of this research is to build a 105 liter Tubular Photobioreactor and to cultivate *Spirulina Platensis*. The condition includes Zarrouk Medium and air velocity at 0.07 meters per second. The duration between the dark and light was set to 16:8 hours, the light intensity of 8,900 lux , ambient temperatures between 35-40 ° C, and pH set between 8.5 to 11. The Growth behavior of algae was measured by the Dry weight Determination for the possibility amount of biomass. This can be done through the comparison between an Optimal Tubular Photobioreactor and the based Tubular Photobioreactor. The result showed that the model created of Optimal

Tubular Photobioreactor boost up the cultivation of *Spirulina Platensis* at 25% over the based tubular.

Keywords :

tubular photobioreactor, Zarrouk Medium, spirulina platensis, simulation

1. คำนำ

การเลี้ยงสาหร่ายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การเพาะเลี้ยงในระบบเปิด และระบบปิด โดยส่วนใหญ่เกษตรกรมักใช้ระบบเปิดในการเพาะเลี้ยงซึ่งประกอบด้วยบ่อขนาดใหญ่ เครื่องเก็บ บ่อกวน และบ่อเปิด เนื่องจากความสะดวกในการสร้าง และการดูแลง่ายกว่าการเพาะเลี้ยงในระบบปิด แต่การเลี้ยงโดยวิธีนี้ก็มักมีข้อจำกัดในเรื่องการปนเปื้อนของบ่อน้ำ และการกระจายของแสงน้อยซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นการเพาะเลี้ยงในระบบปิดโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสง (Photobioreactor) จึงมีความเหมาะสมมากกว่า เพราะสามารถควบคุมผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า อาทิเช่น นำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ลดการสูญเสียพลังงานในการปกป้องสิ่งปนเปื้อนจากภายนอก และพื้นที่ในการเพาะเลี้ยง [1]

เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงมีหลายรูปแบบซึ่งถูกนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยในงานวิจัยนี้ได้สนใจเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ (Tubular Photobioreactor) เพราะจัดว่าเป็นชนิดที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสาหร่ายภายนอกอาคาร เพราะมีพื้นที่ขนาดใหญ่ในการรับและเก็บแสงซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงสาหร่าย ในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อจะต้องออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์ และเพื่อลดพื้นที่ในการเพาะเลี้ยง

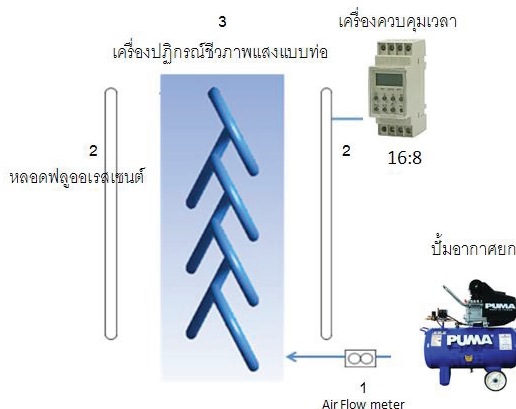
โดยการหาค่าต่ำสุดของบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำ (Dead Zone) และพื้นที่ติดตั้ง ถ้าบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำลดลงจะทำให้ความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ลดลง ส่งผลทำให้ความต้องการพลังงานมีค่าลดลง [2]

ดังนั้นการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะจะลดความต้านทานการไหลโดยการปรับปรุงเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ ด้วยเหตุผลดังกล่าวโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเรื่องการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความดันตกคร่อม และบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำของการเกิดปฏิกิริยาในกรณีที่มีการไหลแบบปั่นป่วน

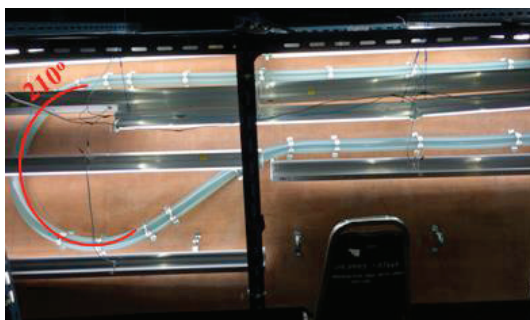
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะสร้างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ โดยใช้สายยางใสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว แทนท่อใสสำหรับเป็นพื้นที่ในการรับแสง และใช้ปั๊มลม (Air Compressor) ในการทำให้น้ำหมุนวน และในขั้นตอนต่อมาจะทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อด้วยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา สายพันธุ์พลาเทนซิส (*Spirulina Platensis* IFRPD 1182) จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน โดยใช้จำนวนเซลล์เริ่มต้นที่มี

ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1 และใช้สูตรอาหารซาร์รูก (Zarrouk Medium) ซึ่งใช้โซเดียมโบคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอน และกำหนดอัตราเร็วอากาศเข้าเท่ากับ 0.07 เมตรต่อวินาที [3] ระยะเวลาในการให้แสงสลับมืด 16:8 ชั่วโมง ความเข้มแสงเท่ากับ 8900 ลักซ์ ดังแสดงในภาพที่ 1 อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส พีเอช อยู่ระหว่าง 8.5-11 [4] โดยวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Growth measurement) ด้วยวิธีการวัดน้ำหนักแห้ง (Dry weight Determination) เพื่อหาปริมาณชีวมวลที่มากที่สุดโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโค้งต้นแบบดังแสดงในภาพที่ 2 กับเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโค้งพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบท่อ



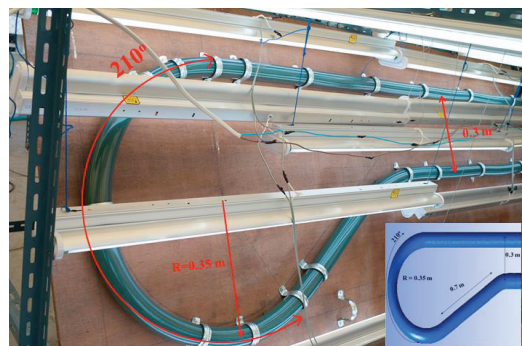
ภาพที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโค้งต้นแบบ



ภาพที่ 3 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโค้งพื้นฐาน

3. ผลการทดลอง

เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดังแสดงในภาพที่ 4

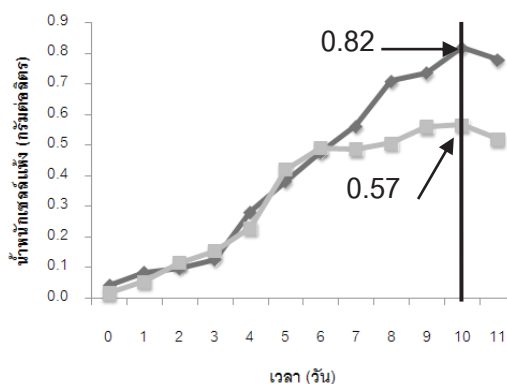


ภาพที่ 4 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อต้นแบบ

โดยได้มีการออกแบบ และจำลองพฤติกรรมการไหลภายในท่อของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย แต่เนื่องจากสถานที่ในการติดตั้งเครื่องมีพื้นที่จำกัดจึงจำเป็นต้องลดขนาดของเครื่อง และเลือกสร้างท่อชั้นเดียวเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยยังคงรูปแบบโค้งเดิมไว้ [3] จากนั้นได้จำลองการไหลโดยใช้โปรแกรม Ansys ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนของพื้นที่ในการรับแสง (Solar receiver) มีทั้งหมด 1 ชั้น และส่วนที่สองเนื่องจากสถานที่ติดตั้งมีพื้นที่จำกัดส่วนนี้จึงประกอบไปด้วยท่อตรง 2 ท่อ ท่อโค้งยู 1 ท่อ ท่อตรงมีความยาว 2 เมตร ช่องว่างระหว่างท่อมีค่าเท่ากับ 0.3 เมตร รัศมีของท่อโค้งยูเท่ากับ 0.35 เมตร มุมของส่วนโค้งเท่ากับ 210 องศา และมีการเพิ่มท่อตรงยาวเท่ากับ 0.7 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 ในงานวิจัยนี้ใช้สายยางใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร แทนท่อใสซึ่งถูกยึดติดกับแผ่นไม้ โดยแผ่นไม้จะเอียงทำมุม 60 องศา กับแนวราบ เพื่อเป็นการลดบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำ ซึ่งจะทำให้สาหร่ายตกตะกอน และใช้โครงเหล็กขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 3 เมตร และสูง 1.5 เมตร เป็นฐานสำหรับรองรับท่อรับแสง และติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดเคย์ไลท์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 18 หลอด เพื่อควบคุมแสงให้มีความเข้มแสงอยู่ที่ 8900 ลักซ์

การทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อต้นแบบ โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา เปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโค้งต้นแบบ กับเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อต้นแบบที่มีโค้งพื้นฐานจากการติดตามปริมาณชีวมวลที่มากที่สุดพบว่า เครื่องปฏิกรณ์ที่มีโค้งต้นแบบจะมีปริมาณชีวมวลที่มากกว่า

เครื่องปฏิกรณ์ที่มีโค้งพื้นฐาน คือ 0.82 กรัมต่อลิตร และ 0.57 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณชีวมวลระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อต้นแบบและท่อพื้นฐาน

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการไหลในท่อของเครื่องที่มีโค้งต้นแบบจะมีบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำกว่า จึงทำให้สาหร่ายจับตัวกันได้น้อยกว่าการที่สาหร่ายจับตัวกันเป็นก้อนนั้นจะทำให้สาหร่ายรับแสงสว่างไม่ทั่วถึง [4] รวมทั้งในบริเวณนั้นจะเกิดสภาวะแย่งอาหารกัน ทำให้บริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำนั้นสาหร่ายเกิดการสลายไฟโคไซยานินออกมาแทนอาหารที่มีไม่เพียงพอ โดยไฟโคไซยานินเป็นองค์ประกอบหลักของไฟโคบิลีซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่ผลิตขึ้นจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นสารที่มีลักษณะเป็นสีน้ำเงินต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน ด้านการอักเสบและป้องกันตับจากการถูกทำลาย [5]

นอกจากนั้นการเกาะตัวกันของสาหร่ายยังไปขัดขวางการไหลภายในท่อทำให้เกิดความดันตกคร่อม (Pressure Drop) มาก ทำให้สูญเสียพลังงานมาก และทำให้สาหร่ายรับแสงได้น้อยลงด้วยซึ่งส่งผลทำให้ได้ปริมาณชีวมวลน้อยลง จากภาพที่ 3 แสดง

การเจริญเติบโตของสาหร่ายที่มีแนวโน้มลดลงทำให้ไม่ได้มีการเพาะเลี้ยงต่อไป เนื่องจากในวันที่ 11 เป็นต้นไป สาหร่ายมีการเกาะกัน และตกตะกอนแขวนลอยอยู่เล็กน้อย สาหร่ายมีสีจางลง แสดงว่าสาหร่ายเริ่มมีการตายเกิดขึ้น [6]

เมื่อวัดปริมาณโปรตีน จากการวิเคราะห์ไนโตรเจน พบว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่มีโครงสร้างแบบจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับปริมาณชีวมวล เนื่องจากยังมีปริมาณชีวมวลมากแสดงว่ามีจำนวนเซลล์สาหร่ายมาก และยังมีจำนวนเซลล์มากก็จะทำให้ปริมาณโปรตีนมีมากด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

	เวลา (วันที่)	ปริมาณชีวมวล (กรัมต่อลิตร)	โปรตีน (%)
เครื่องโครงสร้างพื้นฐาน	7	0.49	40.26
เครื่องโครงสร้างแบบ	7	0.56	45.96
เครื่องโครงสร้างพื้นฐาน	10	0.57	50.43
เครื่องโครงสร้างแบบ	10	0.82	71.58

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณชีวมวลของเครื่องที่มีโครงสร้างแบบกับเครื่องที่มีโครงสร้างพื้นฐาน

เมื่อพิจารณາตารางที่ 1 พบว่าในวันที่ 7 ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าในเครื่องโครงสร้างแบบจะมีปริมาณชีวมวลที่มากกว่าเครื่องโครงสร้างพื้นฐาน คือ 0.56 และ 0.49 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเลี้ยงจนถึงระยะที่มีการเจริญเติบโตคงที่ คือ ในวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยง พบว่าสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เพาะเลี้ยงในเครื่องโครงสร้างแบบมีปริมาณชีวมวลที่มากกว่าเครื่องโครงสร้างพื้นฐาน คือ 0.82 และ 0.57 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้นั้นสันนิษฐานว่า ในช่วงวันที่ 7 คือ อยู่ในช่วงที่มีการเติบโตแบบทวีคูณ สาหร่าย

ที่เพาะเลี้ยงในเครื่องแต่ละโครงสร้างจะสามารถผลิตปริมาณชีวมวลได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากช่วงแรกสาหร่ายยังมีความหนาแน่นไม่มากจึงยังทำให้ไม่มีสาหร่ายเกาะตัวกันในบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำ (Dead Zone) แต่สังเกตได้ว่าในวันที่ 10 ปริมาณชีวมวลที่ผลิตออกจากในแต่ละเครื่องไม่เท่ากัน เนื่องจากสาหร่ายมีการเจริญเติบโตมาก ทำให้สาหร่ายมีความหนาแน่นมาก จึงเกิดการบังแสงกัน และทำให้ได้รับแสงไม่เพียงพอ และเกิดการเกาะตัวกันในบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำ ซึ่งถ้าสาหร่ายมีสีจางลง และมีการตกตะกอนแขวนลอยแสดงว่าสาหร่ายเริ่มตาย ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างมาก [7] ทำให้สาหร่ายที่เลี้ยงในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อโครงสร้างแบบ ซึ่งอยู่บริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำมีน้อยกว่าเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อพื้นฐาน ทำให้สามารถผลิตปริมาณชีวมวลได้มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

4. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อโดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าพบว่าเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อที่มีโครงสร้างแบบจะได้ปริมาณชีวมวลที่มากกว่าเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแสงแบบท่อพื้นฐาน คือ 0.82 และ 0.57 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพราะการไหลภายในท่อของเครื่องที่มีโครงสร้างแบบจะมีบริเวณที่ของไหลมีความเร็วต่ำน้อยกว่า ทำให้สาหร่ายจับตัวกันน้อย ซึ่งการเกาะตัวกันของสาหร่ายจะไปขัดขวางการไหลภายในท่อทำให้เกิดความดันตกคร่อม (Pressure Drop) มาก ทำให้สูญเสียพลังงานมาก [3] และทำให้สาหร่ายรับแสงได้น้อยลงด้วย ซึ่งส่งผลทำให้ได้ปริมาณชีวมวลที่น้อยกว่าถึง 25 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หมายเลข-ท(ด)78.57

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Brock T.D., Smith D.W. and Madigan M.T. 1984. Biology of Microorganisms. Prentice- Hall. U.S.A.

[2] Wongluang P., Sriinophakun T. and Chisti Y., (2011). "Optimal hydrodynamic design of tubular photobioreactor". Journal of Chemical Technology and Biotechnology.

[3] อีรวัดน์ ศรีทวีวัฒน์. 2555. การจำลองพลศาสตร์การไหลในระบบเพาะปลูกสาหร่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] อัจฉรา โพธิ์ดี. 2552. การหาแนวทางการเพิ่มผลผลิตชีวมวลของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงในถังปฏิกรณ์แบบใช้แสงโดยอาศัยแบบจำลองระดับจีโนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] กัญญาลักษณ์ สังข์ประไพ. 2554. การคัดเลือกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* spp. สำหรับนำมาใช้ในการผลิตซี-ไฟโคไซยานิน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 19

[6] ลัดดา วงศ์รัตน์. 2540. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[7] ธิดา เพชรมณี. 2542. คู่มือการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สงขลา.