

การประยุกต์ใช้หลอดไดโอด (LED) ต่อการผลิตหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืช
ชนิด *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) และ *Tetraselmis suecica* ภายในห้องปฏิบัติการ
Applications of Light Emitting Diode (LED) on Marine Microalgae Production
(*Isochrysis galbana* Clone T. Iso and *Tetraselmis suecica*)
under Laboratory Conditions

วาสนา อารรัตน์^{1*} ศรัณย์ เสวตมาลานนท์² บุญยกร พวงดี² ทวีศักดิ์ บัวบาน² และวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม¹
Wasana Arkronrat^{1*}, Sarun Sawatmalanon², Boonyakorn Phungdee²
Taweesak Buaban² and Vutthichai Oniam¹

¹สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจวบคีรีขันธ์ 77000

²คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

¹Klongwan Fisheries Research Station, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Prachuap Khiri Khan, Thailand 77000

²Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University
Nakhon Sawan, Thailand 60000

*Corresponding author: ffwisw@ku.ac.th

Abstract

Usage of light emitting diodes (LEDs) for two marine microalgae, *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) and *Tetraselmis suecica*, cultured under laboratory conditions (25°C temperature-controlled room, illumination at a light intensity of about 3,000 Lux) were investigated. Microalgal cell samples were collected every 12 hours for 10 days. The results showed that the exponential phase of *Isochrysis* cultured with cool white fluorescent lamps (control), cool daylight LEDs (T1) and warm white LEDs (T2) were found between 36-96 hours of cultivation. The growth rate of *Isochrysis* cultured in T2 ($0.38 \pm 0.04 \text{ day}^{-1}$) was lower than in T1 ($0.49 \pm 0.03 \text{ day}^{-1}$) and control ($0.46 \pm 0.01 \text{ day}^{-1}$) ($P < 0.05$). The exponential phase of *Tetraselmis* cultured in each treatments were found between 72-108 hours of cultivation, and the growth rate of *Tetraselmis* cultured in T1 ($0.49 \pm 0.13 \text{ day}^{-1}$) and T2 ($0.46 \pm 0.10 \text{ day}^{-1}$) were not significantly different ($P > 0.05$) with in control ($0.50 \pm 0.01 \text{ day}^{-1}$). This study showed that LED could be used for alternative illumination of both microalgae production in laboratory conditions.

Keywords: microalgae production, light emitting diode (LED), *Isochrysis*, *Tetraselmis*

บทคัดย่อ

ศึกษาการใช้หลอดไฟ LED ต่อการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) และ *Tetraselmis suecica* ภายในห้องปฏิบัติการ (อุณหภูมิห้องเพาะเลี้ยง 25°C. ความเข้มแสงที่ 3,000 lux) โดยตรวจนับเซลล์แพลงก์ตอนพืชทุกๆ 12 ชั่วโมงระยะเวลา 10 วัน ผลการศึกษาพบว่า ระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Isochrysis* ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Control) หลอด LED แสงสีขาว (T1) และหลอด LED แสงสีเขาวนวล (T2) อยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 36-96 ของการเพาะเลี้ยง โดยอัตราการเจริญเติบโตของ *Isochrysis* ที่ T2 (0.38 ± 0.04 ต่อวัน) จะต่ำกว่าที่ T1 (0.49 ± 0.03 ต่อวัน) และชุด Control (0.46 ± 0.01 ต่อวัน) ($P < 0.05$) ส่วนระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Tetraselmis* ในแต่ละชุดการทดลองอยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 72-108 ของการเพาะเลี้ยง โดยอัตราการเจริญเติบโตของ *Tetraselmis* ที่ T1 (0.49 ± 0.13 ต่อวัน) และ T2 (0.46 ± 0.10 ต่อวัน) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุด Control (0.50 ± 0.01 ต่อวัน) ($P > 0.05$) การศึกษารั้ครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำหลอด LED มาประยุกต์ใช้ในการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ภายในห้องปฏิบัติการได้

คำสำคัญ: การผลิตแพลงก์ตอนพืช หลอดไดโอด (LED) *Isochrysis*, *Tetraselmis*

คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อน โดยเฉพาะลูกสัตว์น้ำชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมีการพัฒนาและเจริญก้าวหน้าไปมาก ซึ่งแพลงก์ตอนพืชทะเล (Marine microalgae) ที่นิยมเลี้ยงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น แพลงก์ตอนพืชสกุลคลอเรลลา (*Chlorella*) เตตราเซลมิส (*Tetraselmis*)

ไอโซโครซิส (*Isochrysis*) และแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดอะตอม (Diatom) เช่น คีโตเซอรอส (*Chaetoceros*) สเกลลิโตนีมา (*Skeletonema*) และทาลาสซิโอซิรา (*Thalassiosira*) เป็นต้น (ลัดดา, 2543; วุฒิชัย และคณะ, 2553; วาสนา และวุฒิชัย, 2555; Spolaore *et al.*, 2006) ทั้งนี้เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้ถูกสัตว์น้ำกินและย่อยได้ง่าย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated Fatty Acids; PUFA) ได้แก่ Eicosapentaenoic acid (20:5n3; EPA) และ Docosahexaenoic acid (22:6n3; DHA) ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนเป็นอย่างมาก (Brown *et al.*, 1997; Tatrah *et al.*, 2007)

การเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชเพื่อการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งอยู่หลายประการ เช่น ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช วิธีการขยายพันธุ์ รวมไปถึงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการนำแพลงก์ตอนพืชไปอนุบาลลูกสัตว์น้ำ เป็นต้น วาสนา และคณะ (2557) รายงานว่า การผลิตแพลงก์ตอนพืชของเกษตรกรจะมีหลักเกณฑ์การผลิตที่คล้ายคลึงกัน คือ ควบคุมปัจจัยการผลิตต่างๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช เช่น ในกรณีการผลิตห้วเชื้อ *Chaetoceros* เกษตรกรจะควบคุมความเค็มของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงอยู่ที่ 25-26 ppt ควบคุมอุณหภูมิของห้องเพาะเลี้ยงอยู่ที่ 25-27°C. และให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (40 W Cool white fluorescent lamps) ที่ความเข้มแสง 3,000-5,000 lux โดยต้นทุนส่วนใหญ่ของการผลิตมาจากค่าสาธารณูปโภคโดยเฉพาะค่าไฟฟ้า ซึ่งอยู่ที่ 35-40% ของต้นทุนทั้งหมด (Arkronrat and Oniam, 2012) ดังนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจากปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช คือ ต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงาน เนื่องจากอาชีพนี้มีความเสี่ยงสูงที่จะไม่ได้รับผลตอบแทนเมื่อต้นทุนเพิ่มขึ้น 20% กับผลประโยชน์ลดลง 20% ประกอบกับปัจจุบันเกษตรกรหรือผู้สนใจ

ที่จะทำอาชีพนี้มันน้อยลง และในบางพื้นที่หยุดดำเนินการไปหลายราย (วาสนา และคณะ, 2557) ด้วยเหตุนี้แนวทางในการลดต้นทุนโดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงาน จึงเป็นประเด็นวิจัยของการศึกษาค้างนี้

แสงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืชภายในห้องปฏิบัติการ หรือห้องที่ควบคุมแสงและอุณหภูมิ ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งให้แสง แต่ปัจจุบันมีหลอดไฟที่เรียกว่า หลอดไดโอด (Light Emitting Diode) หรือหลอด LED ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ใช้พลังงานน้อย และสามารถให้พลังงานแสงสว่างได้มากกว่าหลอดไฟชนิดอื่น นอกจากนี้ ยังมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า และที่สำคัญไม่ก่อให้เกิดมลภาวะหรือเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2558) ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ถ้านำหลอด LED มาประยุกต์ใช้ในการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืชภายในห้องปฏิบัติการได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแพลงก์ตอนพืชที่ผลิตก็อาจจะก่อให้เกิดองค์ความรู้ที่นำไปสู่รูปแบบการผลิตที่ช่วยลดต้นทุน โดยเฉพาะการลดต้นทุนด้านพลังงานได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้างนี้ คือ เปรียบเทียบการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis* และ *Tetraselmis* ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้ในการอนุบาลลูกหอยทะเลที่มีคุณค่า

ทางเศรษฐกิจ (สาโรจน์ และประทักษ์, 2552; Coutteau and Sorgeloos, 1992) ด้วยการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งให้แสง กับการใช้หลอด LED เป็นแหล่งให้แสง ทั้งนี้ องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาค้างนี้ จะนำไปสู่การปรับปรุงรูปแบบการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืชของเกษตรกร หน่วยงานภาครัฐ และเอกชนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยศึกษาผลของแหล่งที่มาของแสงต่างกันต่อการผลิตห้วเชื้อแพลงก์ตอนพืช แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 (Control) ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Cool white fluorescent ขนาด 1,200 mm 36W อุณหภูมิสี 4,000 K ค่าความสว่าง 3,250 lm) ชุดการทดลองที่ 2 (T1) ใช้หลอด LED แสงสีขาว (Cool daylight LED ขนาด 1,200 mm 18W อุณหภูมิสี 6,500 K ค่าความสว่าง 1,600 lm) และชุดการทดลองที่ 3 (T2) ใช้หลอด LED แสงสีขาวนวล (Warm white LED ขนาด 1,200 mm 18W อุณหภูมิสี 3,000 K ค่าความสว่าง 1,600 lm) ชุดการทดลองละ 6 ซ้ำ (Figure 1)

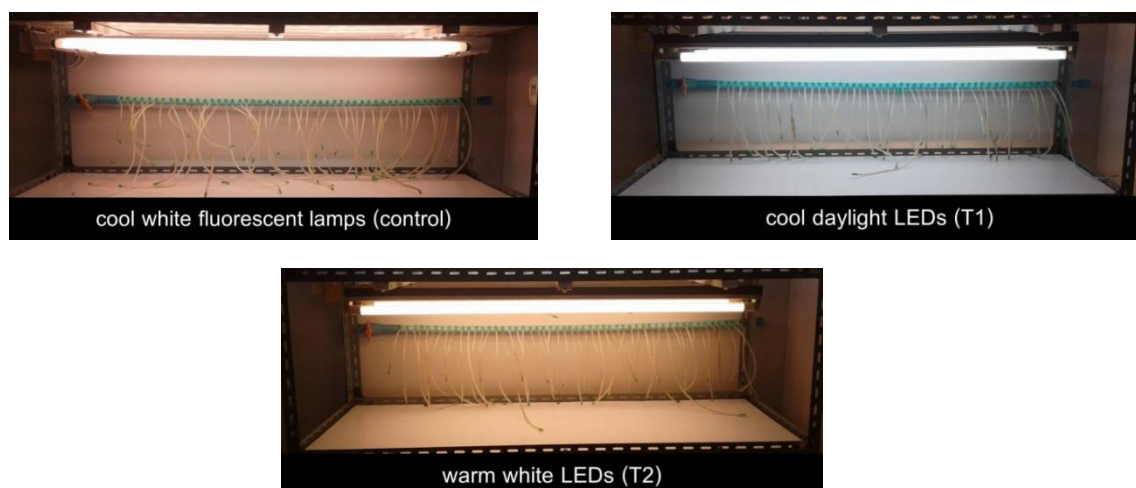


Figure 1 Lighting sources (illuminations) for the experiments

การเตรียมพันธุ์แพลงก์ตอนพืช

นำพันธุ์แพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) และ *Tetraselmis suecica* จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ กรมประมง มาเพาะขยายภายในห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืช ของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ จากนั้นทำการแยกเชื้อ (Isolation) แล้วนำมาเพาะเลี้ยงลงในอาหารวุ้น (Agar media) จนได้เชื้อบริสุทธิ์ และนำมาเพาะขยายอีกครั้ง เพื่อทำเป็นหัวเชื้อ (Stock culture) ก่อนนำมาศึกษาต่อไป

การเตรียมน้ำและภาวะเพาะเลี้ยง

เตรียมน้ำทะเลความเค็ม 25 ppt ในบ่อซีเมนต์ ปริมาตร 3,000 ลิตร ฆ่าเชื้อโดยใช้คลอรีนผง 65% ในอัตรา 30 กรัม/น้ำทะเล 1 ตัน (ppm) ให้อากาศอย่างแรง 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปิดอากาศพักให้น้ำตกตะกอน และรอให้คลอรีนหมด นำน้ำมากรองผ่านถุงกรองขนาด 5 ไมครอน บรรจุลงภาชนะเพาะเลี้ยงโดยใช้ขวดน้ำเกลือ ปริมาตร 1 ลิตร ปิดปากภาชนะด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ และ นำมาฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่ระดับ ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121°C. นาน ประมาณ 15-20 นาที ทิ้งไว้ให้น้ำเย็น หรือข้ามคืนจึงนำมา ใช้ในการเพาะขยายหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืช

การเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืช

เตรียมอาหารสูตรที่ดัดแปลงมาจากสูตรคอนเวย์ (Conway medium) สำหรับใช้เลี้ยงหัวเชื้อแพลงก์ตอน พืชภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย สารละลาย ส่วนที่ 1: โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) 100.0 กรัม โซเดียม อิติทีเอ (Na_2EDTA) 45.0 กรัม กรดบอริก (H_3BO_3) 33.6 กรัม โซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟส ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 20.0 กรัม เพอร์ริคโลไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 1.3 กรัม และแมงกานีสคลอไรด์ ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 0.36 กรัม โดยนำมาละลายในน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายมาเท รวมกัน และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มล. และ สารละลายส่วนที่ 2: วิตามินบีรวม 1 หลอด (3 มล./น้ำกลั่น 100 มล.)

วิธีการดำเนินการ

เพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis* และ *Tetraselmis* ภายในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง ไว้ที่ 25°C. ในขวดน้ำเกลือปริมาตร 1 ลิตร ด้วยอาหาร ที่ดัดแปลงมาจากสูตรคอนเวย์โดยใช้สารละลายแต่ละส่วน ในอัตราส่วน 1 มล./น้ำเพาะเลี้ยง 1 ลิตร ให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสง 3,000 lux (โดยมีแหล่งที่มา หลอด LED แสงสีขาว และหลอด LED แสงสีขาวนวล) เพาะเลี้ยงนาน 10 วัน

ระหว่างการเลี้ยงสุ่มตรวจนับปริมาณความ หนาแน่นของเซลล์แพลงก์ตอนพืชโดยใช้ Haemocytometer นับด้วย Hand counter ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทุก 12 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Exponential phase) ปริมาณความหนาแน่นเซลล์ และ อัตราการเจริญเติบโต (Growth rate; K) ของแพลงก์ตอน พืชแต่ละชนิด ซึ่งอัตราการเจริญเติบโต (K) หาได้ ดังนี้ (Phatarpekar *et al.*, 2000)

$$K = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

เมื่อ N_t = ความหนาแน่นเซลล์แพลงก์ตอนพืช

ณ เวลา t (cells)

N_0 = ความหนาแน่นเซลล์แพลงก์ตอนพืชเริ่มต้น

(cells)

t = จำนวนวัน (days)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความ แปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหา ความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละชุดการทดลองของ แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์ และ ประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for Windows (Version 21.0; IBM Corp., Armonk, NY. USA)

ผลการวิจัย

การเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชสกุล *Isochrysis* ภายในห้องปฏิบัติการ (อุณหภูมิห้องเพาะเลี้ยง 25°C. ความเข้มแสงประมาณ 3,000 lux) ที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นเฉลี่ย $2.87 \pm 0.34 \times 10^5$ เซลล์/มล. พบว่าระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Isochrysis* ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Control) หลอด LED แสงสีขาวนวล (T1) และหลอด LED แสงสีขาวนวล (T2) อยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 36-96, 48-84 และ 48-84 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีปริมาณความหนาแน่นเซลล์อยู่ในช่วง $43.0-84.8 \times 10^5$, $23.1-52.3 \times 10^5$ และ $27.4-49.7 \times 10^5$ เซลล์/มล. ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยในช่วงระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Isochrysis* ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาว ($36.46 \pm 11.31 \times 10^5$ เซลล์/มล.) และหลอด LED แสงสีขาวนวล ($40.92 \pm 8.48 \times 10^5$ เซลล์/มล.) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยในช่วงระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ($60.09 \pm 15.40 \times 10^5$ เซลล์/มล.) ($P < 0.05$) นอกจากนี้ การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตพบว่า *Isochrysis* ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาว มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.49 ± 0.03 ต่อวัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ± 0.01 ต่อวัน ($P > 0.05$) แต่ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาวนวลมีอัตราการเจริญเติบโต

เฉลี่ยเท่ากับ 0.38 ± 0.04 ต่อวัน ต่ำกว่าทั้ง 2 ชุดการทดลอง ($P < 0.05$) (Figure 2 และ 3)

ส่วนการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชชนิด *Tetraselmis* ที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นเฉลี่ย $0.24 \pm 0.01 \times 10^5$ เซลล์/มล. พบว่าระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Tetraselmis* ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาว และสีขาวนวลอยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 72-108 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีปริมาณความหนาแน่นเซลล์อยู่ในช่วง 3.1-8.6 (เฉลี่ย $6.01 \pm 2.24 \times 10^5$ และ 2.4-6.0 (เฉลี่ย $3.78 \pm 1.36 \times 10^5$ เซลล์/มล. ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.49 ± 0.13 และ 0.46 ± 0.10 ต่อวัน ตามลำดับ ส่วน *Tetraselmis* ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์จะเข้าสู่ระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงที่ 60-120 ของการเพาะเลี้ยง มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์อยู่ในช่วง 4.5-15.7 (เฉลี่ย $9.49 \pm 4.00 \times 10^5$ เซลล์/มล. และมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.50 ± 0.01 ต่อวัน ทั้งนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยในช่วงระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Tetraselmis* ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาว และแสงสีขาวนวลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยในช่วงระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ($P < 0.05$) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของ *Tetraselmis* ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอด LED แสงสีขาว และหลอด LED แสงสีขาวนวล พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 2 และ 3)

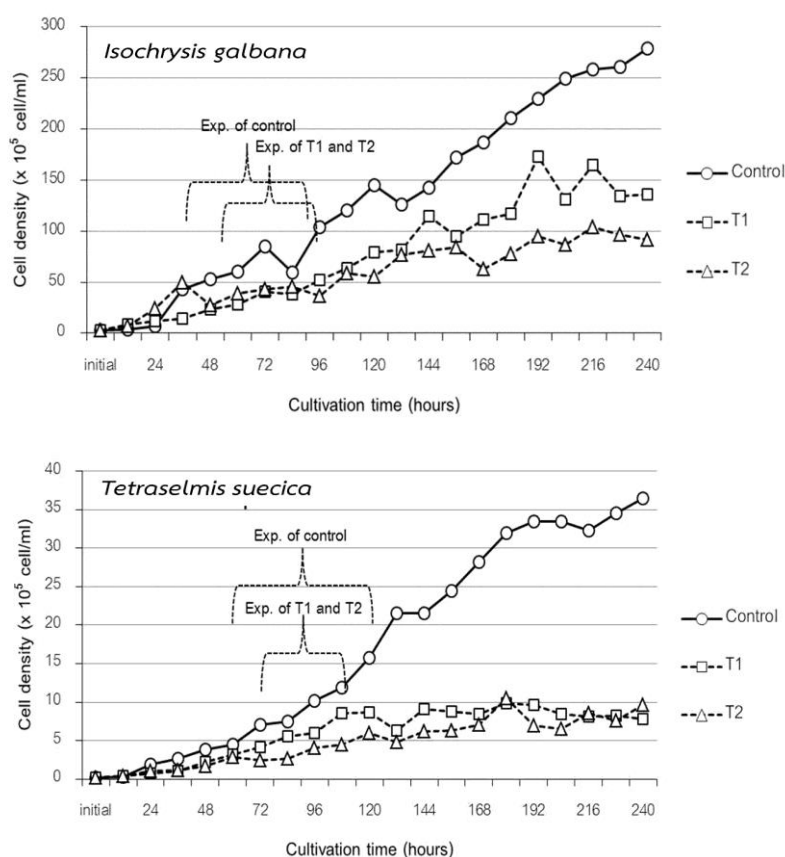


Figure 2 Growth and exponential phase (Exp.) of two marine microalgae, *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) and *Tetraselmis suecica*, under laboratory conditions with different light sources: cool white fluorescent lamps (control), cool daylight LEDs (T1) and warm white LEDs (T2)

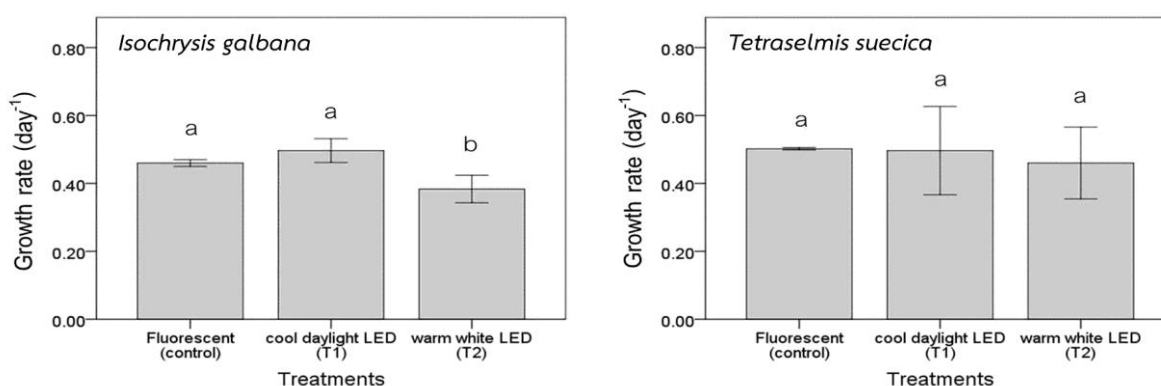


Figure 3 Growth rate (day^{-1}) of *Isochrysis galbana* and *Tetraselmis suecica* with different light sources
Different letters indicate significant ($P < 0.05$) differences between treatments.

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การนำหลอด LED มาประยุกต์ใช้ในการผลิตแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) และ *Tetraselmis suecica* ภายในห้องปฏิบัติการได้ผลเป็นที่น่าพอใจระดับหนึ่ง คือ ระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Isochrysis* ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Cool white fluorescent lamps, อุณหภูมิสี 4,000 K ค่าความสว่าง 3,250 lm) หลอด LED แสงสีขาว (Cool daylight LEDs, อุณหภูมิสี 6,500 K ค่าความสว่าง 1,600 lm) และหลอด LED แสงสีขาวนวล (Warm white LEDs, อุณหภูมิสี 3,000 K ค่าความสว่าง 1,600 lm) ที่ระดับความเข้มแสง 3,000 lux อยู่ในช่วงระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน คือ ช่วงชั่วโมงที่ 36-96 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวแพลงก์ตอนพืชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด (ลัดดา, 2543) ถึงแม้ว่าปริมาณเซลล์เฉลี่ยของ *Isochrysis* ที่ได้จากการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์จะสูงกว่าที่ได้จากการใช้หลอด LED แสงสีขาว และแสงสีขาวนวลก็ตาม แต่อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของ *Isochrysis* ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาว (0.49 ± 0.03 ต่อวัน) ไม่มีความแตกต่างกันกับที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (0.46 ± 0.01 ต่อวัน) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สามารถนำหลอด LED มาประยุกต์ใช้ในการผลิตห่อเชื้อแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ได้ แต่อาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของแสงสีของหลอด LED ที่ใช้ เช่นเดียวกับที่มีรายงานในการผลิตแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆ (Green microalgae) เช่น สกุล *Chlorella*, *Botryococcus* และ *Nannachloropsis* เป็นต้น (Koc *et al.*, 2013; Hahne *et al.*, 2014) เนื่องจาก *Isochrysis* เป็นแพลงก์ตอนพืชที่มีรงควัตถุจำพวก Chlorophyll a และ c ที่ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่น 420, 660 และ 445, 625 นาโนเมตรได้ดี (ตามลำดับ) นอกจากนี้ มีสารสี Phycochrysin แบบ Nonoxygenated carotenoid ที่ทำให้เซลล์มีสีเหลืองทอง หรือสีน้ำตาล และสารสีในกลุ่ม Xanthophylls (เช่น Diadinoxanthin

และ Fucoxanthin) ที่ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่น 425, 450 และ 475 นาโนเมตร ได้ดี จึงทำให้ *Isochrysis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้แสงสีนวล (Cool white fluorescent lamps) และแสงสีเขียว (Green fluorescent lamps) มีผลผลิตดีกว่าที่ให้แสงสีอื่นๆ (วาสนา และ วุฒิชัย, 2555; Dubinsky *et al.*, 1995; Borowitzka, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่อัตราการเจริญเติบโตของ *Isochrysis* ที่ใช้หลอด Cool daylight LEDs ดีกว่าการใช้หลอด Warm white LEDs

ส่วนระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชชนิด *Tetraselmis* ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอด LED แสงสีขาว และหลอด LED แสงสีขาวนวล อยู่ในช่วงระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน คือ ช่วงชั่วโมงที่ 60-120 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกัน (0.50 ± 0.01 , 0.49 ± 0.13 และ 0.46 ± 0.10 ต่อวัน ตามลำดับ) ถึงแม้ว่าปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยในช่วงระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ *Tetraselmis* ที่ใช้หลอด LED แสงสีขาว และแสงสีขาวนวล ต่ำกว่าที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ก็ตาม ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีการดูดซึมแสงสีที่แตกต่างกัน จึงทำให้แพลงก์ตอนพืชมีการปรับตัวให้เข้ากับความยาวคลื่นแสงเพื่อนำแสงไปใช้ในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ซึ่ง *Tetraselmis* มีรงควัตถุจำพวก Chlorophyll a และ b ที่ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่น 420, 660 และ 435, 643 นาโนเมตรได้ดี และมีสารสีในกลุ่ม Carotenes (เช่น α -, β -, γ -) ที่ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่น 425, 450, 480 และ 425, 440, 470 นาโนเมตร และกลุ่ม Xanthophylls (เช่น Lutein, Violaxanthin และ Neoxanthin) ที่ดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่น 425, 445, 475 และ 425, 450, 475 นาโนเมตร (Dubinsky *et al.*, 1995; Borowitzka, 1999) ด้วยเหตุนี้ *Tetraselmis* ที่ใช้ Cool white fluorescent lamps, Cool daylight LEDs และ Warm white LEDs จึงมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้มีรายงานว่า การเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ที่แสงสีนวล (Cool white fluorescent

lamps) แสงสีแดง (Red fluorescent lamps) แสงสีเขียว (Green fluorescent lamps) และแสงสีม่วง (Violet fluorescent lamps) จะให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน (วาสนา และวุฒิชัย, 2555ข) โดยแสงสีม่วงจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 380-430 นาโนเมตร แสงสีเขียวมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 490-560 นาโนเมตร แสงสีเหลืองมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 560-630 นาโนเมตร แสงสีส้มมีความยาวคลื่นในช่วง 590-630 นาโนเมตร และแสงสีแดงมีความยาวคลื่นในช่วง 630-700 นาโนเมตร (Dubinsky et al., 1995)

การวิจัย และพัฒนาวิธีการผลิตแพลงก์ตอนพืชเชิงพาณิชย์เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมต่อการลดต้นทุน เพิ่มผลตอบแทน โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของแพลงก์ตอนพืชเป็นสิ่งสำคัญ (วาสนา และวุฒิชัย, 2556) ถึงแม้ว่าการศึกษานี้ไม่ได้ศึกษาต้นทุนในการผลิตหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis* และ *Tetraselmis* ภายในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงานระหว่างการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์กับหลอด LED แต่เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด LED จะต่ำกว่า หรือประหยัดกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟประเภทอื่นๆ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2558) จึงอาจทำให้คาดการณ์ได้ว่า ต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ด้วยการใช้หลอด LED จะต่ำกว่าการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาถึงต้นทุนด้านพลังงานของการใช้หลอด LED ในการผลิตหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชภายในห้องปฏิบัติการควบคู่ไปด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้ทราบแน่ชัดว่าการใช้หลอด LED ในการผลิตหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานลงได้กี่เปอร์เซ็นต์ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการด้านการวางแผนการผลิตต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำหลอดไดโอดหรือหลอด LED ที่ให้แสงสีขาว (Cool daylight LED) มาใช้ในการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) และหลอด LED แสงสีขาว และแสงสีขาววาม (Warm white LED) ก็สามารถนำมาใช้เพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชชนิด *Tetraselmis suecica* ภายในห้องปฏิบัติการได้ โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต (ต่อวัน) และช่วงเวลาของระยะการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับเพาะเลี้ยงโดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Cool white fluorescent lamp) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การศึกษาในเรื่องของแสงสีของหลอด LED ที่ใช้ และประสิทธิภาพในการลดต้นทุนด้านพลังงานของการใช้หลอด LED ภายในห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืช น่าจะเป็นประเด็นที่ควรมีการศึกษาในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนศึกษาวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 (รหัสโครงการ ป-ย(ด) 129.60) และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ กรมประมง ที่ให้ความอนุเคราะห์พันธุ์แพลงก์ตอนพืชที่ใช้ในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2558. LED ทางเลือกใหม่ของหลอดไฟประหยัดพลังงาน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.pea.co.th/> (27 สิงหาคม 2558).

- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543. **คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน**.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
127 น.
- วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม วาสนา อากรรัตน์ และกนกพร
เกษสุวรรณ. 2553. การผลิตไดอะตอม
Thalassiosira spp. ภายในห้องปฏิบัติการ
และแบบปริมาณมากที่ระดับความเค็มต่างกัน
เพื่อใช้ในการอนุบาลลูกสัตว์ทะเลวัยอ่อน.
วารสารการประมง 63(5): 422-427.
- วาสนา อากรรัตน์ ประภาพร ตีมาก ณิชชา เสงเจริญ
กมลทิพย์ ประดับธรรม และวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม.
2557. การวิเคราะห์ต้นทุน และผลตอบแทน
ของการผลิตคิโตเชอโรสแบบหัวเชื้อ และแบบ
ปริมาณมาก. น. 149-156. ใน **เรื่องเต็ม
การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 52
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 3 สาขา
ประมง สาขาส่งเสริมการเกษตร และ
คหกรรมศาสตร์ 4-7 กุมภาพันธ์ 2557**.
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วาสนา อากรรัตน์ และวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม. 2555ก.
ผลของไดอะตอม *Thalassiosira* spp. ต่ออัตรา
รอดตาย และพัฒนาการของลูกปูม้า (*Portunus
pelagicus*) วัยอ่อนระยะซูเอีย 1 ถึง 4.
วารสารแก่นเกษตร 40(1): 61-68.
- _____. 2555ข. ผลของแสงสีต่อการผลิตแพลงก์ตอน
พืช (*Isochrysis* sp., *Thalassiosira* spp.,
Chlorella sp. และ *Tetraselmis* spp.)
ในห้องปฏิบัติการ. น. 574-581. ใน **เรื่องเต็ม
การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 50
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 1 สาขาสัตว์
สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาประมง
31 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2555**. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- _____. 2556. แนวทางการลดต้นทุนการผลิตหัวเชื้อ
แพลงก์ตอนพืชเชิงพาณิชย์ในห้องปฏิบัติการ.
น. 305-315. ใน **เรื่องเต็มการประชุม
ทางวิชาการ ครั้งที่ 51 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เล่มที่ 2 สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาประมง
5-7 กุมภาพันธ์ 2556**. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาโรจน์ เริ่มดำรง และประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ.
2552. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับชนิด
และความหนาแน่นเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช
สำหรับอนุบาลลูกหอยเชลล์ (*Mimachlamys
senatoria*) ระยะวัยเกิ้ล็ด. น. 388-395.
ใน **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 47
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 4 สาขา
ประมง 17-20 มีนาคม 2552**. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Arkronrat, W. and V. Oniam. 2012. Growth
performance and production cost of
commercial microalgae cultured under
laboratory conditions with different
aeration setting. **Kasetsart University
Fisheries Research Bulletin** 36(1): 31-38.
- Borowitzka, M.A. 1999. Commercial production
of microalgae: ponds, tanks, tubes and
fermenters. **Journal of Biotechnology**
70: 313-321.
- Brown, M.R., S.W. Jeffrey, J.K. Volkman,
G.A. Dunstan, R.P. Wilson and K.L. Wee.
1997. **Nutritional Properties of
Microalgae for Marine Culture**.
Hobart: Division of Marine Research.
482 p.

- Coutteau, P. and P. Sorgeloos. 1992. The use of algal substitutes and the requirement for live algae in the hatchery and nursery rearing of bivalve mollusks: an international survey. **Journal of Shellfish Research** 11(2): 356-476.
- Dubinsky, Z., R. Matzuet and I. Karube. 1995. Photobiological aspects of algal mass culture. **Journal of Marine Biotechnology** 2: 61-65.
- Hahne, T., B. Schwarze, M. Kramer and B. Frahm. 2014. Disposable algae cultivation for high-value products using all around LED-illumination directly on the bags. **Journal of Algal Biomass Utilization** 5(2): 66-73.
- Koc, C., G.A. Anderson and A. Kommareddy. 2013. Use of red and blue Light-Emitting Diodes (LED) and fluorescent lamps to grow microalgae in a photobioreactor. **Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh** 797: 1-8.
- Phatarpekar, P.V., R.A. Sreepada, C. Pednekar and C.T. Achuthankutty. 2000. A comparative study on growth performance and biochemical composition of mixed culture of *Isochrysis galbana* and *Chaetoceros calcitrans* with monocultures. **Aquaculture** 181: 141-155.
- Spolaore, P., C. Joannis-Cassan, E. Duran and A. Isambert. 2006. Commercial application of microalgae. **Journal Bioscience and Bioengineering** 101(2): 87-96.
- Tatrah, F.M.I., F.M. Yusoff, M. Shariff, F. Abas and N.S. Marian. 2007. Screening of Malaysian indigenous microalgae for antioxidant properties and nutritional value. **Journal of Applied Phycology** 19: 711-718.