

ผลของแสงจากหลอด LED ต่อการเจริญเติบโต ของสาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella vulgaris*)

Effects of LED light on growth performance of *Chlorella vulgaris*

ณรงค์ กมลรัตน์^{1*}, เจษฎา ภัทรเลพงษ์¹ และ ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช¹

Narong Kamolrat^{1*}, Jessada Phattaralephon¹ and Suphasit Sitthaphanit¹

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของแสงจากหลอด LED ต่ออัตราการเจริญเติบโตของ สาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella vulgaris*) โดยศึกษาทั้ง หลอด LED 3 กลุ่มคือ สีน้ำเงิน (B) สีแดง (R) และ สีผสม (B+R) ทดสอบเปรียบเทียบกับ หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Flu) และกลุ่มควบคุมที่ได้รับแสงภายในห้องผลจากการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญเติบโต มีค่าเท่ากับที่ระดับ 6.21×10^7 , 4.37×10^7 , 2.85×10^7 , 1.97×10^7 และ 1.59×10^5 เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ น้ำหนักแห้งมีค่าเท่ากับ 2.9866, 2.1282, 1.3757, 0.9636 และ 0.0077 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพการผลิตมวลชีวภาพมีค่าสูงสุดในวันที่ 2 เท่ากับ 1.641, 0.893, 0.966, 0.028 และ -0.001 กรัม/ลิตร/วัน ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกลุ่มการทดลอง ($P < 0.05$) จากการศึกษาพบว่า แสง LED สีน้ำเงิน ทำให้ สาหร่าย *C.vulgaris* มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ

คำสำคัญ: สาหร่ายสีเขียวคลอเรลลา, หลอด LED

ABSTRACT: Study of the effect of LED light on growth rate of *Chlorella vulgaris* was studied by three groups of LEDs: blue (B), red (R) and combine LED (B + R), compare with fluorescents (Flu) and control group receiving light in the room. The results showed that the growth rate was 6.21×10^7 , 4.37×10^7 , 2.85×10^7 , 1.97×10^7 and 1.59×10^5 cell / ml, respectively. Dry weight was 2.9866, 2.1282, 1.3757, 0.9636 and 0.0077 g/L, respectively. Biomass productivity, the highest values on day 2 were 1.641, 0.893, 0.966 0.028 and -0.001 g/L/d. respectively. The LED light were significant differences ($p < 0.05$). The study showed that blue LED light caused *C.vulgaris* to have the best growth rate compared to other treatments.

Keywords: Green alga *Chlorella*, Light-emitting diodes

Received September 10, 2018

Accepted January 3, 2019

¹ ภาควิชาเกษตรและทรัพยากร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต เฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร สกลนคร 47000

¹ Department of Agriculture and Resources, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Sakon Nakhon, 47000

* Corresponding author: narong.ka@ku.th

บทนำ

สาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella vulgaris*) เป็นสาหร่ายขนาดเล็กมีรงควัตถุที่ช่วยสังเคราะห์แสงคือ คลอโรฟิลล์เอคลอโรฟิลล์บี และ แคโรทีนอยด์ เจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารสูงและมีปริมาณแสงที่เพียงพอ และสภาพน้ำที่ความเป็นกรดต่างอยู่ระหว่าง pH 7-8 มีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 60 ไขมันร้อยละ 11 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 โยอาหารร้อยละ 0.20 วิตามินและเกลือแร่ร้อยละ 10 สารคลอโรฟิลล์ 2 มก./100 กรัม หรือเท่ากับร้อยละ 3-5 และสารเบตาแคโรทีน 180 มก./100กรัม (น้ำหนักแห้ง) (ธิดา, 2542) สาหร่ายคลอเรลลามีประโยชน์หลายด้าน ทั้งในด้านการนำมาใช้เป็นอาหารเสริมในมนุษย์ ใช้ในการกำจัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากน้ำเสีย (Choi and Lee, 2013) ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Atta et al., 2013) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สาหร่ายคลอเรลลาถือว่ามีค่าเป็นต่ออาหารอนุบาลสัตว์น้ำอย่างมาก โดยนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำ และ ใช้เป็นอาหารของไรแดงซึ่งเป็นอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อน รวมทั้งสามารถช่วยลดความโปร่งใสของน้ำในช่วงการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนทำให้ลูกสัตว์น้ำอยู่ในสภาวะไม่เครียด อัตราอดสูง (ภานุและคณะ, 2549)

การเพาะเลี้ยงคลอเรลลาในประเทศไทยนิยมเพาะเลี้ยงในบ่อปูนในพื้นที่โล่งหรือภายในโรงเรือนที่มีหลังคาแบบใส (ภานุและคณะ, 2549) โดยปัจจัยที่ทำให้การเลี้ยงสาหร่ายประสบความสำเร็จมาจากธาตุอาหารและแสง โดยเฉพาะเรื่องแสงถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเลี้ยงสาหร่ายเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนหรือมีสภาพอากาศปิดไม่มีแสงทำให้เกิดปัญหาการเพาะเลี้ยงไม่ประสบความสำเร็จ นำไปสู่การเพาะในหึ่งเพาะเลี้ยงในสภาพการเลี้ยงโดยใช้แสงไฟประดิษฐ์ เลียนแบบธรรมชาติ เช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยที่หลอดฟลูออเรสเซนต์มีค่าความยาวคลื่นแสงค่อนข้างกว้างและไม่จำเพาะเจาะจง และในปัจจุบันมีการนำหลอด LED (Light-emitting diodes: LED) มาประยุกต์ใช้ในปลูกพืชในอาคาร (Plant Factory) เนื่องจากหลอดแอลอีดีมีขนาดเล็ก อัตราการใช้พลังงานต่ำกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทำให้ประหยัด

พลังงานและค่าไฟ (ธวัชชัย, 2015) ซึ่งในระบบการปลูกพืชในอาคารจะมีการเลือกใช้หลอด LED ที่มีความจำเพาะต่อพืชสีเขียว โดยเลือกใช้หลอด LED สีน้ำเงินและสีแดง เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นแสงตามที่พืชต้องการเพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องปัจจัยแสงต่อการปลูกพืชภายในอาคารตลอดระยะเวลาการปลูก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำหลอด LED มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลามาไปสู่การศึกษาค้นคว้าของแสงจากหลอดLED ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลา

วิธีการศึกษา

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา สายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* ภายในฟาร์มประมงอุทยานหนองหารเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพโรงเรือนวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยแบ่งออกเป็น 5 วิธีการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำได้แก่ 1) กลุ่มควบคุม (C) ได้รับปัจจัยแสงภายในโรงเรือน 2) ให้แสงจากหลอดไฟ LED สีแดง(R) 3) ให้แสงจากหลอดไฟLED สีน้ำเงิน (B) 4) ให้แสงจากหลอดไฟ LED สีแดงและน้ำเงินอัตราส่วน 1:1 (B+R) หลอด LED ที่ใช้ในการทดลองประดิษฐ์ขึ้นเอง ทำการติดตั้งหลอด LED ภายในกล่องพลาสติก เพื่อให้แสงรอบตู้กระจกทั้ง 4 ด้าน หลอดไฟLED กำลังไฟ 3 วัตต์ จำนวน 20 หลอด/กล่องพลาสติก และ 5) ให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ worm white (Flu) ติดตั้งวางพร้อมหลอดไฟ กำลังไฟ 36 วัตต์จำนวน 2 หลอด โดยลักษณะทิศทางของแสงจะส่องลงมาจากทางด้านบน ในชุดการทดลองที่มีการให้แสง ก่อนการทดลองทำการวัดค่าความเข้มแสงที่พืชใช้สังเคราะห์ได้ (photo synthetically active radiation (PAR)) จากด้านในตู้กระจก 2ตำแหน่งที่ตำแหน่งติดกระจกด้านในและกึ่งกลางตู้ โดยหลอด LED R, B, B+R และ Flu มีค่าเท่ากับ 105.57+1.74, 344.84+6.95, 60.41+0.87 และ 70.74+4.13 $\mu\text{mol photon/m}^2/\text{s}$ ตามลำดับ (Table 1)

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* ในตู้กระจกขนาด 4"x4"x9" (กว้างxยาวxสูง) ขนาด 2 ลิตร บรรจุน้ำที่ผสมสารอาหาร โดยใช้อาหารเพาะ

เลี้ยงตามสูตรการเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* สูตรที่ 3 ประกอบด้วยกากน้ำตาล ปุ๋ยนา (16-20-0) ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปูนขาว ของกรมประมง (ภาณุและคณะ, 2549) เต็ม สาหร่าย *C. vulgaris* ในตู้เพาะเลี้ยงโดยมีจำนวนเซลล์เริ่มต้น 88,000 cell/ml ให้แสง 24 ชั่วโมง

ตรวจวัดการเจริญเติบโตทุกวันจนถึงระยะที่มีการตายของสาหร่ายเป็นเวลา 11 วัน การเจริญเติบโตตรวจวัดโดย นับจำนวนเซลล์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่าตามวิธีของ

Wongrat and Boonyapiwat (2003) เซลล์สาหร่ายที่เลี้ยงได้นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C จนน้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักแห้งเซลล์สาหร่าย

ข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต และ น้ำหนักแห้งที่ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติ ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป statistix 10

Table1 Photosynthetically active radiation (PAR) emitted from LED, and fluorescent lamp measured inside the Chlorella culture container

Measured position	PAR ($\mu\text{mol photon}/\text{m}^2/\text{s}$)			
	R	B	B+R	Flu
Edge of contain	105.57 $\pm$ 1.74 ^a	344.84 $\pm$ 6.95 ^b	60.41 $\pm$ 0.87 ^c	70.74 $\pm$ 4.13 ^d
Average				

Flu: Fluorescent, B: Blue LED, R: Red LED and B+R: Combine blue LED and red LED

ผลการศึกษา

อัตราการเจริญเติบโต

การเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* โดยใช้แสงจากหลอดไฟ LED พบว่าแสงจากหลอด LED B ทำให้สาหร่าย *C. vulgaris* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยมีจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดในวันที่ 4 และในช่วงวันที่ 2- 4 จำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกลุ่มการทดลอง ($P<0.05$) หลอด LED B มีจำนวนเซลล์ จำนวนเซลล์สาหร่ายในวันที่ 4 ที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ให้แสงจากหลอด LED B, R, B+R, Flu และชุดควบคุม พบว่ามีค่าเท่ากับ 6.21×10^7 , 4.37×10^7 , 2.85×10^7 , 1.97×10^7 และ 1.59×10^5 cells/ml ตามลำดับ (Figure 1) ส่วนในวันที่ 5 จำนวนเซลล์จากชุดการทดลอง LED B และ R ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างกับชุดการทดลองอื่น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าแสงสีน้ำเงินจากหลอดไฟ LED B มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาชนิดนี้มากที่สุด

น้ำหนักแห้งเซลล์

น้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่ายของ *C. vulgaris* ที่ได้จากการเลี้ยงในวันที่ 2 ในชุดการทดลองที่ใช้หลอด LED B, R, B+R, Flu และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.0832, 0.0334, 0.035, 0.0207 และ 0.0157 g/L ตามลำดับ โดยที่ น้ำหนักแห้งที่ได้หลังจากเลี้ยงไป 1 วัน พบว่าสาหร่าย *C. vulgaris* ที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่ใช้หลอด LED B จะมีน้ำหนักแห้งมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่นๆ น้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่าย *C. vulgaris* มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 2.9866 , 2.1282 , 1.3757 , 0.9636 และ 0.0077 g/L ตามลำดับ ในชุดการทดลองที่ใช้หลอด LED B, R, B+R, Flu และชุดควบคุม ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักแห้งที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงโดยใช้แสงจากหลอด LED B (Table 2)

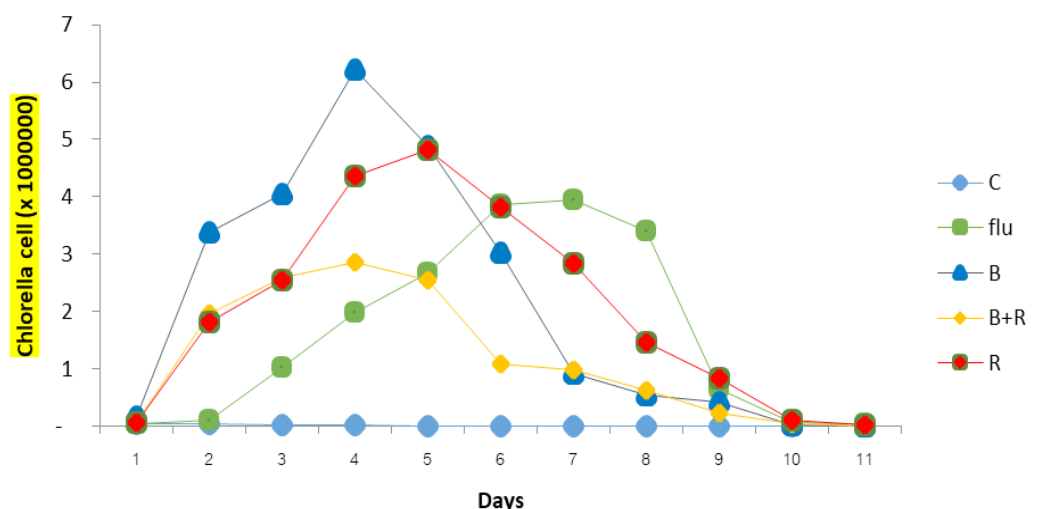


Figure 1 Number of *C. vulgaris* with the different LED intensity (C: Control, F: Fluorescent, B: Blue LED, R: Red LED, and B+R: Combine blue LED and red LED).

ระยะการเจริญเติบโต

ในการศึกษาข้อมูลจำนวนเซลล์นำมาคำนวณโดยแทนค่า Log เพื่อหาค่าระยะการเจริญเติบโตซึ่งจากค่า R^2 ในสมการถดถอย (Regression) ของชุดการทดลองที่ใช้แสงจากหลอด LED B, R, B+R, Flu และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.814, 0.944, 0.917 และ 0.937 ตามลำดับ (Figure 2) ค่า R^2 ที่ได้ชี้ให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนเซลล์/ระยะเวลาการได้รับแสง ของสาหร่าย *C. vulgaris* จากหลอด LED B มีความสัมพันธ์กันในระดับที่ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ใช้แสงจากหลอด LED R, B+R และหลอด Flu กับพบว่า จำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นต่อระยะเวลา (วัน) มีความเกี่ยวเนื่องกันอย่างชัดเจน ชุดการทดลองที่ใช้หลอด LED B ของสาหร่าย *C. vulgaris* มีอัตราการเจริญเติบโตจากระยะ ปรับตัว (Lag phase) ไปสู่ระยะ Exponential อย่างรวดเร็วภายในวันที่ 2 (Figure 1 และ Table 2) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่นๆ ($P < 0.05$) ส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่ใช้เลี้ยงเซลล์ ทำให้เข้าสู่ระยะเฉื่อย (retardation phase) และระยะคงที่ (stationary phase) ในวันที่ 3-5 และเข้าสู่ระยะตาย (death phase) ในวันที่ 6 เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆจะเห็นได้ว่ามีอัตราการเจริญในระดับที่ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังนั้น

จึงอธิบายได้ว่าการให้แสง LED B มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้น

ประสิทธิภาพการผลิตมวลชีวภาพ

ประสิทธิภาพการผลิตมวลชีวภาพแสดงเป็นค่าน้ำหนักแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปต่อวันของสาหร่าย *C. vulgaris* พบว่าในวันที่ 2 ของการทดลอง สาหร่าย *C. vulgaris* ที่เลี้ยงด้วยหลอด LED B, R, B+R, Flu และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 1.641, 0.893, 0.9665, 0.028 และ -0.001 mg/L/d ตามลำดับ โดยที่อัตราการเจริญเติบโตจากหลอด LED มีการเจริญเติบโตที่สูงกว่าการเลี้ยงด้วยหลอด Flu ซึ่งจากค่าอัตราการเจริญเติบโตจะเห็นได้ว่า การทดลองที่ใช้หลอด LED B มีค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้หลอด LED R และ LED B+R โดยอัตราการเจริญไม่มีแตกต่างกัน (Table 3) ซึ่งในวันที่ 3 สาหร่าย *C. vulgaris* ที่เลี้ยงด้วยหลอด LED ทุกชุดการทดลองจะเข้าสู่ระยะเฉื่อยในวันที่ 3 ขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงด้วยหลอด LED B และ LED R เริ่มเข้าสู่ระยะคงที่ในวันที่ 4 แต่ในส่วนของหลอด LED B+R เข้าสู่ระยะ Death แตกต่างจากหลอด Flu วันที่ 3 สาหร่าย *C. vulgaris* ที่เลี้ยงด้วยหลอด LED B+R เข้าสู่ระยะ exponential ในวันที่ 3 และค่อยๆ

เข้าสู่ระยะเฉื่อยในวันที่ 5 และระยะตายในวันที่ 7 สำหรับทุกชุดการทดลองจะตายจนหมดในวันที่ 10 ซึ่งมีผลมาจากธาตุอาหารที่ใช้เลี้ยงหมด

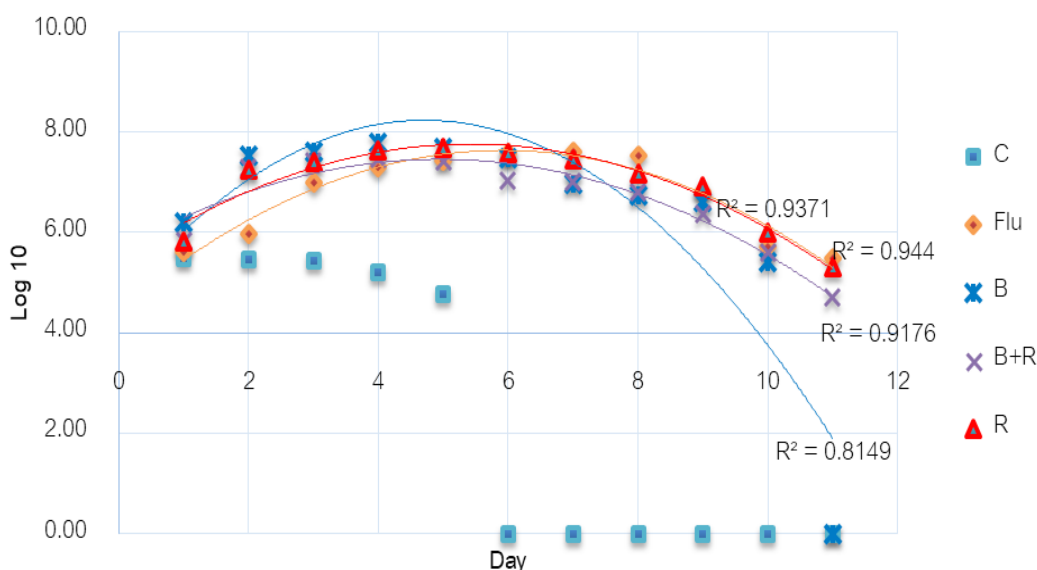


Figure 2 Linear Regression analysis of *C. vulgaris* growth rate (C: Control, F: Fluorescent, B: Blue LED, R: Red LED and B+R: Combine blue LED and red LED)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

แสงจากหลอด LED มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *C. vulgaris* โดยเฉพาะแสงสีน้ำเงิน ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 4 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกลุ่มการทดลอง ($P < 0.05$) ซึ่งการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ที่อยู่ในสาหร่าย โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ และ บี ดูดกลืนคลื่นแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่นแสง 400-480 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) และ 630-680 นาโนเมตร (สีแดง) และสะท้อนแสงสีเขียว (Gacomelli, 1998 ; Solomon et al., 2011) โดย ช่วงความยาวคลื่นแสง 430 นาโนเมตร หรือแสงสีน้ำเงิน มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไขมันในมวลชีวภาพของสาหร่าย *Chlorella* sp. (Shu et al., 2012) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการให้แสงจากหลอด LED ใน

แต่ละชุดที่จำนวนเท่ากันแต่ค่าความเข้มแสงที่ได้จากหลอด LED B ให้ค่าสูงสุดอยู่ที่ $344.84 \pm 6.95 \mu\text{mol photon/m}^2/\text{s}$ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี สอดคล้องกับศึกษาของ Atta et al. (2013) ทำการศึกษาความเข้มแสงจากหลอด LED สีน้ำเงิน ต่อการกระตุ้นมวลชีวภาพและไขมันในสาหร่ายน้ำจืด *C. vulgaris* เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ระดับความเข้มแสง $200 \mu\text{mol photon/m}^2/\text{s}$ เวลาการให้แสง 12:12 ชั่วโมงพบว่า น้ำหนักแห้งและการสะสมไขมันของสาหร่าย *C. vulgaris* จากหลอด LED สีน้ำเงินมีค่าสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ (CDW 2.73 และ 1.63 g/L, Lipid 23.5 และ 18.5%) และการทดลองเลี้ยงสาหร่ายทะเล 2 ชนิด *Tetraselmis* sp. และ *Nannochloropsis* sp. ด้วยหลอดไฟ LED blue, red, red-blue และหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 14 วัน พบว่าสาหร่าย *Tetraselmis* sp. และ *Nannochloropsis* sp. ที่ได้รับแสงจากหลอด LED blue มีอัตราการ

เจริญเติบโตสูงสุด (1.47 และ 1.64 g/L/d) และมีการผลิตน้ำมันได้สูงสุด (102.954 และ 702.366 a.u.) (Teo et al., 2014) จากปัจจัยดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าช่วงแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเลรวมทั้งสาหร่าย *C. vulgaris* ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าการเลี้ยงด้วยหลอด LED R และ ชุดหลอด LED B+R ในชุดการทดลองที่เลี้ยงโดยใช้หลอด Flu สำหรับ *C. vulgaris* ที่เลี้ยงมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ เป็นผลมาจากการได้รับแสงที่อยู่ในรูปแสงขาว หรือ Visible light ซึ่งมีคลื่นแสงอยู่ตั้งแต่ 380-750 nm และพลังงานอีกส่วนจะแสดงออกมาในรูปพลังงานความร้อน (Schulze et al., 2014) ในช่วงความยาวคลื่นแสงดังกล่าวมีช่วงความยาวคลื่นที่สาหร่าย *C. vulgaris* สามารถนำไปใช้ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มแสง (PAR) กับหลอด LED B และ LED R ค่าความเข้มแสงที่ได้ต่ำกว่าอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) จึงทำให้สาหร่าย *C. vulgaris* ที่ได้รับแสงจากหลอด Flu เติบโตได้ช้ากว่า

การศึกษาผลของแสงจากหลอด LED ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *C. vulgaris* เป็นการศึกษาเพียงปัจจัย ดังนั้นจึงควรศึกษาปัจจัยอื่นร่วมด้วยเช่น ธาตุอาหาร เป็นต้นเพื่อใช้ประกอบการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีประโยชน์และสามารถต่อยอดไปใช้ร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- ธวัชชัย ประดู่, 2015. ประสิทธิภาพการใช้หลอด LED ในการเพิ่มแสงสว่างและลดการใช้พลังงานภายในศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา. ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2(3): 50-56
- ธิดา เพชรมณี. 2542. คู่มือการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา.
- ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, สำรวย เสรีกิจ และ ทศนีย์ วัชรกรโยธิน. 2549. การเพาะเลี้ยงไรแดง. เอกสารเผยแพร่ศูนย์เรียนรู้ด้านการประมง, กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Atta, M., A. Idris, A. Bukhari and S. Wahidin. 2013. Intensity of blue LED light : A potential stimulus for biomass and lipid content in fresh water micro algae *Chlorella vulgaris*. Biotech 148 : 373-378
- Choi, H.J. and S.M. Lee 2013. Performance of *Chlorella vulgaris* for the removal of ammonia-nitrogen from waste water. Environ.Eng.Res. 18(4) : 235-239
- Gacomelli, G.A. 1998. Greenhouse Glazing and Solar Radiation Transmission Workshop. Center for Controlled Environment Agriculture, Rutgers University, Cook College, New Brunswick, NJ.
- Schindler, D.W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. Limnology and Oceanography 51, 356-363
- Schulze, P.S.C., L.A. Barreira, H.G.C. Pereira, J.A. Perales, and J.C.S. Varela. 2014. Effects of light-emitting diodes (LEDs) on the accumulation of lipid content using a two-phase culture process with three microalgae. Biotech 212: 254-261
- Shu, C.H., C.C. Tsai, W.H. Liao, K.Y. Chen and H.C. Huang. 2012. Effects of light quality on the accumulation of oil in a mixed culture of *Chlorella* sp. and *Saccharomyces cerevisiae*. J. Chem. Technol. Biotechnol. 87: 601-607
- Solomon, E.P., L.R. Berg and D.W. Martin 2011. Biology. 9th Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning, California.
- Wongrat, L. and S. Boonyapiwat. 2003, 9th Edition Instruction of Collecting and Analytical Method of Phytoplankton, Kasetsart University Publishing, Bangkok.
- Teo, C.L., M. Atta, A. Bukhari, M. Taisir, A.M. Yusuf and A. Idris. 2014. Enhancing growth and lipid production of marine microalgae for biodiesel production via the use of different LED wavelengths. Biotech 162: 38-44

Table2 Dry weight of *Chlorella vulgaris* exposed to different LED light

Treatment	Cell DW (g/L)										
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11
C	0.0157 ^c	0.0147 ^c	0.0139 ^d	0.0077 ^d	0.0032 ^c	0 ^d	0 ^d	0 ^c	0 ^d	0 ^b	0
Flu	0.0207 ^c	0.0487 ^c	0.5036 ^c	0.9636 ^c	1.4878 ^b	2.1073 ^a	2.0519 ^a	1.8437 ^a	0.3331 ^{ab}	0.0284 ^{ab}	0.0152
B	0.0832 ^a	1.7241 ^a	2.0149 ^a	2.9866 ^a	2.7393 ^a	1.6261 ^b	0.4578 ^c	0.2969 ^{bc}	0.213 ^{bc}	0.0135 ^b	0
B+R	0.035 ^b	1.0015 ^b	1.2909 ^b	1.3757 ^c	1.4115 ^b	0.6369 ^c	0.5254 ^c	0.3214 ^{bc}	0.1233 ^{cd}	0.0225 ^b	0.0231
R	0.0334 ^b	0.9263 ^b	1.2827 ^b	2.1282 ^b	2.6709 ^a	2.1421 ^a	1.4462 ^b	0.8173 ^b	0.4739 ^a	0.0567 ^a	0.096

Different letters within a column indicate differences determined by Tukey's test at the 95 percent level of significance. (C: Control, F:

Fluorescent, B: Blue LED, R: Red LED and B+R: Combine blue LED and red LED)

Table 3 Production efficiency of *Chlorella vulgaris* exposed to different LED light

Treatment	Production efficiency (g/day)										
	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	
C	-0.001 c	-0.0008	-0.0062 b	-0.0044	-0.0032 b	0 a	0	0 a	0 a	0 a	
Flu	0.028 c	0.455	0.46 ab	0.5242	0.6195 a	-0.0554 a	-0.2083	-1.5105 b	-0.3047 cd	-0.0132 a	
B	1.6409 a	0.2908	0.9717 a	-0.2473	-1.1132 c	-1.1683 c	-0.1609	-0.0839 a	-0.1996 bc	-0.0135 a	
B+R	0.9665 b	0.2894	0.0847 b	0.0358	-0.7745 c	-0.1116 a	-0.204	-0.1981 a	-0.1008 ab	-0.0202 a	
R	0.893 b	0.3564	0.8455 a	0.5427	-0.5288 bc	-0.6959 b	-0.6289	-0.3434 a	-0.4172 d	-0.0471 b	
F-test	**	Ns	*	ns	**	**	ns	**	**	**	

Different letters within a column indicate differences determined by Tukey's test at the 95 percent level of significance. (C: Control, F:

Fluorescent, B: Blue LED, R: Red LED and B+R: Combine blue LED and red LED)