

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำภายใต้ระบบควบคุมแสง Efficiency of *Wolffia globosa* (L.) Wimm Production under Light Control System

นิตยา เกตุแก้ว* และศักดิ์ศรี รักไทย

Nittaya Ketkaew* and Saksri Rakthai

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10330

*Corresponding author: nitta.2513@gmail.com

Received: September 02, 2020

Revised: January 25, 2021

Accepted: August 02, 2021

Abstract

The purpose of this research was to study the efficiency of *Wolffia globosa* (L.) Wimm productivity under light control system. The methodology was divided into 3 steps; the 1st was designing production system under light controller; the 2nd was experimental design for productivity comparison between light control system and outdoor nursery house semi-close system (8 experimental units per system; 16 total experimental units) for the period of during 30 days and the 3rd was studying and efficiency of *Wolffia globosa* (L.) Wimm productivity under light control system. Water temperature, pH and electrical conductivity of were collected twice a day. Physical characteristic and production level of *Wolffia globosa* (L.) Wimm were evaluated once every 5 days. The data were analyzed by Fisher test at $p=0.05$. The results revealed that the light control system was more efficient than outdoor nursery house semi close system in all aspects including control factors, physical characteristics and productivity aspects. The average fresh weight of total production was 174.66 ± 13.53 grams (starting at 30.11 ± 02 grams) and dry weight was 7.82 ± 1.48 grams which were essentially significant ($\alpha=0.05$).

Keywords: light control system, production, *Wolffia globosa* (L.) Wimm

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง วิธีการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบระบบการผลิตภายใต้การควบคุมแสง ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการทดลองเปรียบเทียบการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสงกับระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด สิ่งทดลอง

ละ 8 ซ้ำ รวม 16 หน่วยทดลอง เป็นเวลา 30 วัน ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง เก็บรวบรวมข้อมูล อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดและด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทุกวัน ๆ ละ 2 ครั้ง ทำการสังเกตลักษณะทางกายภาพ และชั่งน้ำหนักผลผลิตไข่น้ำทุก 5 วัน วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วย Fisher test ที่ระดับนัยสำคัญ ($p=0.05$) ผลการศึกษพบว่า ระบบควบคุมแสงมีประสิทธิภาพสูงกว่า

ระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด ทั้งในด้านปัจจัยควบคุม ลักษณะทางกายภาพ และน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 174.66 ± 13.53 กรัม (เริ่มต้น 30.11 ± 0.02 กรัม) และ น้ำหนักแห้งเท่ากับ 7.82 ± 1.48 กรัม และมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha=0.05$)

คำสำคัญ: ระบบควบคุมแสง การผลิต ใสน้ำ

คำนำ

ใสน้ำ *Wolffia globosa* (L.) Wimm เป็นพืชลอยน้ำอยู่ในวงศ์ Lemnaceae (duckweed) มีขนาดเล็กมองเห็นเป็นเม็ดสีเขียวกลมหรือเกือบกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.5 มม. ใสน้ำเป็นพืชที่มีระยะเวลาขยายพันธุ์สั้น ได้ผลผลิตมาก ต้นทุนการผลิตต่ำ (Tira-umphon and Nitwatthanakull, 2018) และมีปริมาณโปรตีนสูง 34-45% (Ruekaewma, 2011) จึงนิยมนำใสน้ำมาเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ปีก (Chantiratikul *et al.*, 2010) เป็นส่วนผสมในอาหารปลา (Sricharoen *et al.*, 2001) และเป็นส่วนผสมเพื่อเร่งสีปลาสวยงาม (Panwanitdumrong and Rowchai, 2009) ทั้งนี้ นอกจากเพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์แล้ว การบริโภคเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เช่นการนำใสน้ำมาเป็นส่วนผสมในแกงเขียวหวาน ท่อหมก ขนมหอยมรกต (Chatrakul, *et al.*, 2012) และผลิตภัณฑ์ใสน้ำแผ่น (Deepanya, 2012) และเนื่องจากความต้องการบริโภคใสน้ำของมนุษย์นี้เองทำให้การผลิตใสน้ำจำเป็นต้องคำนึงถึงการยอมรับของผู้บริโภคทั้งเรื่องความปลอดภัยจากสารเคมีในแหล่งน้ำและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์จากการผลิตใสน้ำ ที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาวิจัยที่เน้นการพัฒนากระบวนการผลิตใสน้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อาทิเช่น การผลิตใสน้ำด้วยปุ๋ยไฮโดรโปนิคส์ซึ่งทำให้ใสน้ำเจริญเติบโตเร็ว สะอาด ปลอดภัย และไม่มีกลิ่นคาว (Damna *et al.*, 2017) การผลิตใสน้ำในระบบน้ำไหลเวียนในแนวราบซึ่ง

ทำให้ได้ผลผลิตใสน้ำมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการผลิตในระบบน้ำนิ่ง (Ruekaewma *et al.*, 2015) การศึกษาความหนาแน่นของใสน้ำเริ่มต้นที่เหมาะสมที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตใสน้ำสูงสุด (Ruekaewma, 2011) และการศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตใสน้ำที่เหมาะสมที่ 20 วัน ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตใสน้ำสูงสุด (Tira-umphon and Nitwatthanakull, 2018) อย่างไรก็ตาม นอกจากงานวิจัยดังกล่าวแล้วหลักการควบคุมแสงซึ่งเป็นโครงสร้างธรรมชาติที่มีความสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตใสน้ำก็เป็นอีกทางเลือกในการพัฒนาการเพิ่มผลผลิตใสน้ำและควบคุมคุณภาพของใสน้ำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากความเข้มแสงและช่วงระยะเวลาการรับแสงนั้นส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เมื่อพืชสีเขียวได้รับแสง คลอโรฟิลล์ในพืชจะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นน้ำตาล กลูโคส น้ำ และแก๊สออกซิเจน โดยกลูโคสจะเปลี่ยนเป็นแป้งเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ช่วยให้พืชเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตได้ดี ทั้งนี้ความเข้มแสงและช่วงระยะเวลาการรับแสงที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เช่น ผักกาดหอมต้องการความเข้มแสงที่ระดับ $180.79 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ระยะเวลาการรับแสง 16 ชม. เพื่อการเจริญเติบโตที่ดีมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและส่วนยอดดีที่สุด (Petchthai and Thongket, 2017) ข้าวเหนียวดำต้องการความเข้มแสงที่มากกว่า 800 และ 2,500 ลักซ์ เพื่อรักษาระดับแอนโทไซยานินและคลอโรฟิลล์ในใบของต้นกล้าข้าวเหนียวดำ (Phoonsiri and Kong-ngern, 2014) กะเพรา โหระพา และแมงลักต้องการความเข้มแสง 1,100 ลูเมน ระยะเวลาการรับแสง 12 ชม. เพื่อการเจริญเติบโตด้านความสูง ความกว้าง ทรงพุ่ม และจำนวนใบ (Yothatip *et al.*, 2010) ด้วยความสำคัญของแสงซึ่งเป็นโครงสร้างธรรมชาติ และลักษณะเฉพาะของพืชที่มีความต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน การศึกษาวิจัยนี้จึงได้นำหลักการควบคุมโครงสร้างธรรมชาติที่มีผลต่อผลผลิตทางการเกษตรมาออกแบบเป็นระบบการผลิตใสน้ำโดยการ

ควบคุมแสงให้มีความใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่ในในระบบควบคุมแสง โดยการออกแบบระบบควบคุมแสงสังเคราะห์จากหลอดไฟแอลอีดีในระบบปิด (ควบคุมความเข้มแสงและระยะเวลาการรับแสง) โดยวางแผนการทดลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไข่ในในระบบควบคุมแสง และการผลิตไข่ในในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด (ควบคุมความเข้มแสงและระยะเวลาการรับแสงตามธรรมชาติ) ผลการศึกษาที่ได้นอกจากทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบการผลิตไข่ภายใต้การควบคุมแสงแล้วยังสามารถนำข้อมูลผลการศึกษาที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดให้กับเกษตรกรผู้สนใจผลิตไข่ในรายย่อยได้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพงได้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่ในในระบบควบคุมแสง ได้ดำเนินการวิจัยระหว่างวันที่ 1-30 เมษายน พ.ศ. 2563 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบระบบควบคุมแสง มีวิธีการคือ

1.1 เก็บข้อมูลความเข้มแสง อุณหภูมิ น้ำ และอุณหภูมิอากาศทุก ๆ 2 ชั่วโมง (เวลา 08.00-16.00 น.) ภายในโรงเรือนปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ซึ่งเป็นระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุราษฎร์ธานี อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน บันทึกค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดวัน เพื่อนำข้อมูลมาวางแผนการออกแบบระบบควบคุมแสง

1.2 ออกแบบระบบควบคุมแสงโดยศึกษารูปแบบระบบควบคุมแสงจากบทความงานวิจัย บทความวิชาการ วิทยานิพนธ์ สิ่งประดิษฐ์และสิทธิบัตรที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบควบคุมแสง

1.3 สร้างระบบควบคุมแสงสำหรับการผลิตไข่ใน โดยใช้ข้อมูลที่ได้จาก ข้อ 1.1 และ 1.2 ร่วมกับวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น

2. การวางแผนการทดลอง มีวิธีการคือ

2.1 กำหนดแผนการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย 2 สิ่งทดลองคือ สิ่งทดลองที่ 1 การผลิตไข่ในในระบบปิดด้วยแสงสังเคราะห์จากหลอดไฟแอลอีดีชนิดหลอดขาว ที่ระดับความเข้มแสง 20,000 ลักซ์ ระยะเวลาการรับแสง 12 ชม. สิ่งทดลองที่ 2 การผลิตไข่ในในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด สิ่งทดลองละ 8 ซ้ำ รวมจำนวน 16 หน่วยทดลอง

2.2 การกำหนดตัวแปรควบคุม จำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ น้ำที่ใช้ทดลอง น้ำหนักไข่ในสดเริ่มต้น สารละลายธาตุอาหารพืช (ปุ๋ย A ประกอบด้วยแคลเซียมไนเตรท 0.970 กก. Fe-EDDHA 0.082 กก. รวม 1.052 กก. ละลายในน้ำสะอาด ให้ได้ปริมาตร 5 ลิตร และปุ๋ย B ประกอบด้วยโปแตสเซียมไนเตรท 0.192 กก. แมกนีเซียมซัลเฟต 0.279 กก. โมโนโปแตสเซียมฟอสเฟต 0.11 กก. Micro Element 0.012 กก. รวม 0.593 กก. ละลายในน้ำสะอาด ให้ได้ปริมาตร 5 ลิตร) ระยะเวลาการผลิตและความลึกของน้ำ ตัวแปรตามจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้า น้ำหนักสดและแห้งของไข่ใน

2.3 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น เครื่องวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดและด่าง การนำไฟฟ้า เครื่องชั่ง เครื่องอบลมร้อน เครื่องหั่นเวลา สารละลายธาตุอาหารพืช และสารเคมีปรับความเป็นกรดและด่างของน้ำ เป็นต้น

3. ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่ในในระบบควบคุมแสง มีวิธีการดังนี้

3.1 เตรียมชุดการทดลองเป็นภาชนะพลาสติกสีดำทรงกลม 16 หน่วยทดลอง ในระบบควบคุมแสง 8 หน่วยทดลอง และในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด 8 หน่วยทดลอง ในแต่ละหน่วยทดลองประกอบด้วย น้ำสะอาดเติมสารละลายธาตุอาหารพืชความเข้มข้น 0.77 mS/cm

ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) 5.70 จำนวน 12 ลิตร ระดับความลึกของน้ำ 10 ซม. ใช้น้ำสด 30.00 กรัม ติดตั้งระบบไฟฟ้าโดยปรับความเข้มแสงเท่ากับ 20,000 ลักซ์ ระยะเวลาการรับแสง 12 ชั่วโมง เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเข้มแสงในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด

3.2 เก็บข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดและด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทุกวัน ๆ ละ 2 ครั้ง (เวลา 08.00 น. และ 16.00 น.) ทุก ๆ 5 วัน ซึ่งน้ำหนักสด (นำไข่น้ำใส่กลับในภาชนะเดิม) ปรับความเป็นกรดและด่างของน้ำ ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช และเพิ่มระดับน้ำให้เท่าเดิม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 30 วัน เก็บรวบรวมไข่น้ำทั้งหมดซึ่งน้ำหนักสดและนำไปอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ผลผลิตน้ำหนักสดของไข่น้ำที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักแห้งไข่น้ำ โดยนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าทางสถิติ วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วย Fisher test ที่ $\alpha=0.05$ (Siegel, 1957)

ผลการวิจัย

1. การศึกษาระบบควบคุมแสงสำหรับการผลิตไข่น้ำ

นำเสนอผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบควบคุมแสง สำหรับการผลิตไข่น้ำ และระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ระบบควบคุมแสงสำหรับการผลิตไข่น้ำที่ออกแบบขึ้น มีองค์ประกอบทั้งสิ้น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้าง ประกอบด้วยชั้นหลัก 3 ชั้น ขนาดความกว้าง×ความยาว×ความสูง ที่ 1.0×6.0×2.5 เมตร ปูพื้นด้วยไม้อัดและทับด้วยแผ่นพลาสติก ฝาผนังด้านข้างกันด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ โดยในการศึกษาเลือกเฉพาะชั้นที่ 2 เป็นระบบควบคุมแสง ส่วนที่เป็นภาชนะบรรจุประกอบด้วยภาชนะพลาสติกสีดำทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 ซม. สูง 16 ซม. จำนวน 8 หน่วยทดลอง และส่วนที่เป็น

ระบบควบคุมแสงประกอบด้วยหลอดไฟแอลอีดีชนิดหลอดขาวขนาด 25 วัตต์ จำนวน 8 หลอด ปรับค่าความเข้มแสงอยู่ในระดับ 20,000 ลักซ์ และติดตั้งเครื่องหน่วงเวลาให้เปิดไฟระยะเวลาการรับแสง 12 ชม./วัน

1.2 ระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดมีองค์ประกอบทั้งสิ้น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างเหล็กขนาดความกว้าง×ความยาว×ความสูง ที่ 1.0×6.0×2.5 เมตร ซึ่งอยู่ภายในโรงเรือนปลูกพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีชั้นวางภาชนะ 2 ชั้น ปูพื้นด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบ โดยในการศึกษาเลือกเฉพาะชั้นที่ 2 หลังคาและผนังกันเป็นแผ่นพลาสติกใสมีประตูสำหรับเปิดปิดได้ และส่วนที่เป็นภาชนะบรรจุประกอบด้วยภาชนะพลาสติกสีดำทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 ซม. สูง 16 ซม. จำนวน 8 หน่วยทดลอง

2. การศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง

2.1 ประสิทธิภาพของระบบควบคุมแสงสำหรับการผลิตไข่น้ำ

2.1.1 ประเด็นที่ 1 ปัจจัยควบคุม ผลการศึกษาพบว่าการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลอง 29.49 ± 0.15 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดและด่างของน้ำเฉลี่ย 6.52 ± 0.05 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.79 ± 0.02 mS/cm ความเข้มแสงเฉลี่ย $20,975.67 \pm 187.53$ ลักซ์ และระยะเวลาการรับแสง 12 ชม./วัน (Table 1)

2.1.2 ประเด็นที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของไข่น้ำและน้ำที่ใช้ในการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าการผลิตไข่น้ำภายใต้ระบบควบคุมแสง ไข่น้ำมีลักษณะฟรอนด์ปกติสีเขียวเข้ม ไม่มีกลิ่นเหม็น ไข่น้ำกระจายตัวเต็มพื้นที่ผิวหน้า มีขนาดใกล้เคียงสม่ำเสมอและไม่พบไข่น้ำที่มีสีซีด (Figure 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, 1G และ H) ลักษณะของน้ำในภาชนะบรรจุไข่น้ำลดลงประมาณ 1 นิ้ว ในทุก ๆ 5 วัน มีสาหร่ายเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าน้ำเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำแล้ว น้ำมีสีปกติ ไม่พบตะกอนและสิ่งเจือปนในน้ำ

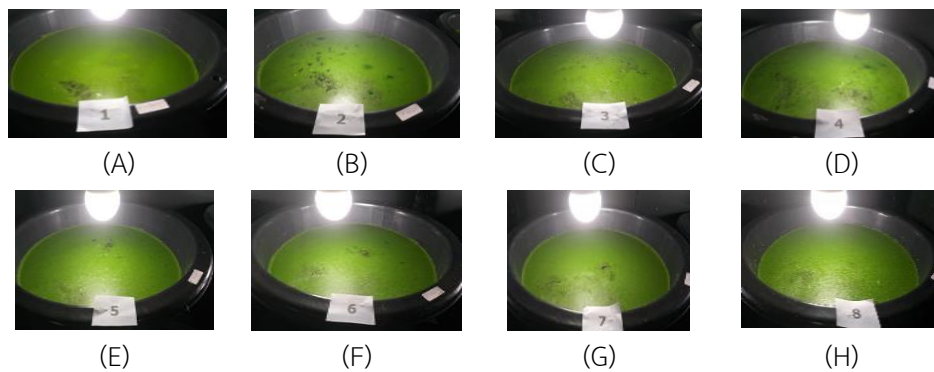


Figure 1 Physical characteristics of *Wolffia globosa* (L.) Wimm in light control system

2.1.3 ประเด็นที่ 3 ผลผลิตของไข่น้ำในระบบควบคุมแสง น้ำหนักไข่น้ำสดเริ่มต้นเฉลี่ย 30.11 ± 0.02 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 5 วัน มีน้ำหนักไข่น้ำสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 70.65 ± 2.17 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 10 วัน เท่ากับ 148.42 ± 8.84 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 15 วัน เท่ากับ 179.28 ± 4.59 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 20 วัน เท่ากับ 181.34 ± 9.47 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 25 วัน เท่ากับ 173.53 ± 10.98 กรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 30 วัน น้ำหนักไข่น้ำสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 174.66 ± 13.53 กรัม และน้ำหนักไข่น้ำแห้งเฉลี่ย 7.82 ± 1.48 กรัม (Table 2)

2.2 ประสิทธิภาพของระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดสำหรับการผลิตไข่น้ำ

2.2.1 ประเด็นที่ 1 ปัจจัยควบคุม ผลการศึกษาพบว่าการผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด มีอุณหภูมิเฉลี่ย $34.81 \pm 0.08^{\circ}\text{C}$. ความเป็นกรด

และต่างเฉลี่ย 8.31 ± 0.15 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.93 ± 0.02 mS/cm ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดวัน $24,931.31 \pm 167.18$ ลักซ์ และระยะเวลารับแสงเฉลี่ย 9 ชม./วัน (Table 1)

2.2.2 ประเด็นที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของไข่น้ำและน้ำ ผลการศึกษาการผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด ไข่น้ำมีลักษณะผิดปกติ มีสีเขียวอ่อน มีกลิ่นเหม็น ไข่น้ำกระจายตัวไม่เต็มพื้นที่ผิวน้ำ มีขนาดไม่สม่ำเสมอ และพบไข่น้ำที่สีซีดจำนวนมาก (Figure 2I, 2J, 2K, 2L, 2M, 2N, 2O และ 2P) ลักษณะของน้ำ พบว่าระดับน้ำในภาชนะบรรจุไข่น้ำลดลง 3 นิ้วในทุก ๆ 5 วัน น้ำมีฟองอากาศ มีสาหร่ายเกิดขึ้นบริเวณผิวน้ำจำนวนมาก เมื่อเก็บเกี่ยวไข่น้ำจะเจือปนมาพร้อมกับไข่น้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำแล้ว น้ำมีสีน้ำตาลอ่อน พบตะกอนและสิ่งเจือปนในน้ำ

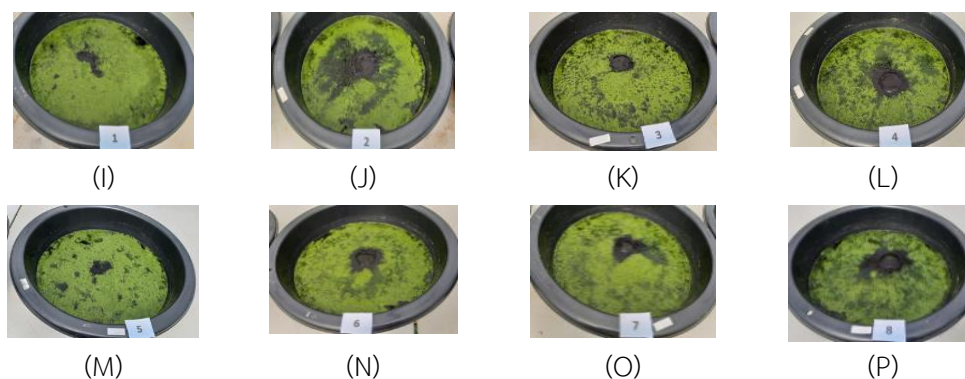


Figure 2 Physical characteristics of *Wolffia globosa* (L.) Wimm in outdoor nursery house semi close-system

2.2.3 ประเด็นที่ 3 การศึกษาผลผลิตของ ไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด พบว่าน้ำหนักไข่น้ำ สดเริ่มต้น 30.36 ± 0.03 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 5 วัน มีน้ำหนักไข่น้ำสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 45.67 ± 3.03 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 10 วัน เท่ากับ 100.51 ± 6.51 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 15 วัน เท่ากับ 153.35 ± 3.66 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 20 วัน เท่ากับ 154.03 ± 6.17 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 25 วัน เท่ากับ 108.45 ± 5.15 กรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 30 วัน น้ำหนักไข่น้ำสดเพิ่มขึ้น เฉลี่ยเท่ากับ 104.45 ± 5.21 กรัม และน้ำหนักไข่น้ำแห้ง เฉลี่ย 5.09 ± 0.59 กรัม (Table 2)

2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ควบคุมแสงกับระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด โดย ทำการศึกษาเปรียบเทียบใน 3 ประเด็น ดังนี้

2.3.1 ประเด็นที่ 1 ปัจจัยควบคุม พบว่า ระบบควบคุมแสงสามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำได้เฉลี่ย ระหว่าง $30.40-30.54^{\circ}\text{C}$. ความเป็นกรดและด่างควบคุม ได้อยู่ระหว่าง 7.49-7.66 ค่าการนำไฟฟ้าควบคุมได้อยู่ ระหว่าง 0.76-0.83 mS/cm ความเข้มแสงควบคุมได้อยู่ ระหว่าง 20,731.17-21,301.67 ลักซ์ ช่วงระยะเวลาการ รับแสงควบคุมได้ 12 ชม./วัน ในระบบโรงเรือนกลางแจ้ง กึ่งปิดเป็นระบบไม่ได้ออกแบบมาเพื่อควบคุมโครงสร้าง อย่างไรก็ดีตามพบว่าอุณหภูมิมีค่าระหว่าง $29.47-43.93^{\circ}\text{C}$. ความเป็นกรดและด่างมีค่าระหว่าง 6.84-7.84 ค่าการนำ ไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0.89-0.97 mS/cm ความเข้มแสง มีค่าระหว่าง 18,390-35,550 ลักซ์ ช่วงระยะเวลาการรับ แสงพบว่ามีประมาณ 9 ชม./วัน แสดงให้เห็นว่าระบบ ควบคุมแสงมีความสม่ำเสมอของปัจจัยควบคุมมากกว่า ระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด

Table 1 Control factors comparison between two systems of *Wolffia globosa* (L.) Wimm production

Control factors	Light control system	Outdoor nursery house semi close system
Water temperature (°C)	29.49±0.15 ^a	34.81±0.08 ^b
pH	6.52±0.05 ^a	8.31±0.15 ^b
Electricity conductivity (mS/cm)	0.79±0.02 ^a	0.93±0.02 ^b

^{a, b}significant difference in mean of row at $p < 0.05$

2.3.2 ประเด็นที่ 2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของไข่น้ำและน้ำ พบว่าการผลิตไข่น้ำภายใต้ระบบควบคุมแสง ไข่น้ำมีลักษณะปกติ สีเขียวเข้ม ไม่มีกลิ่นเหม็น ไข่น้ำมีการกระจายตัวเต็มพื้นที่ผิวน้ำ มีขนาดใกล้เคียงสม่ำเสมอ และไม่พบไข่น้ำที่มีสีซีด แต่ระบบการผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด ไข่น้ำมีลักษณะผิดปกติ สีเขียวอ่อน มีกลิ่นเหม็น ไข่น้ำกระจายตัวไม่เต็มพื้นที่ผิวน้ำ มีขนาดไม่สม่ำเสมอ และพบไข่น้ำที่มีสีซีด ลักษณะของน้ำพบว่า ในระบบควบคุมแสง ระดับน้ำในภาชนะบรรจุไข่น้ำลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ ในทุก ๆ 5 วัน น้ำมีสีปกติเหมือนก่อนทดลอง หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำแล้ว น้ำมีสีปกติ ไม่มีกลิ่นเหม็น ไม่พบตะกอนและสิ่งเจือปนในน้ำ ส่วนในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด

ลักษณะของน้ำมีสีผิดปกติออกสีน้ำตาล มีสาหร่ายเกิดขึ้นบริเวณผิวน้ำจำนวนมากและมีฟองอากาศ หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำแล้วน้ำมีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเหม็นพบตะกอนและสิ่งเจือปนในน้ำ แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแสงมีลักษณะทางกายภาพของไข่น้ำและน้ำที่มีคุณภาพมากกว่าในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด

2.3.3 ประเด็นที่ 3 การศึกษาผลผลิตของไข่น้ำ พบว่าการผลิตไข่น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 30 วัน ภายใต้ระบบควบคุมแสง ทั้งน้ำหนักไข่น้ำสดเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งไข่น้ำสูงกว่าการผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

Table 2 *Wolffia globosa* (L.) Wimm production comparison between two production systems

Yields (grams)	Light control system	Outdoor nursery house semi close system
fresh weight	174.66±13.53 ^a	104.45±5.21 ^b
Dry weight	7.82±1.48 ^a	5.09±0.25 ^b

^{a, b}significant difference in mean of row at $p < 0.05$

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. การออกแบบระบบควบคุมแสง พบว่าการใช้โครงสร้างเหล็กแบบสามชั้น สามารถนำมาใช้ผลิตไข่น้ำได้ ทำให้ประหยัดพื้นที่ในการปฏิบัติงาน สอดคล้องกับการศึกษาของ Panwanitdumrong and Rowchai (2009) ที่ศึกษาการผลิตไข่น้ำแบบแบ่งชั้นตามความสูงสามชั้นโดยเลี้ยงในภาชนะพลาสติกเป็นการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ให้มากขึ้น ภาชนะพลาสติกสีดำทรงกลม ความลึกของน้ำ 10 ซม. สามารถนำมาใช้บรรจุไข่น้ำได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chantiratikul *et al.* (2010) ที่ศึกษาระดับความลึกของน้ำ 3 ระดับคือ 10, 20 และ 30 ซม. ผลการศึกษาพบว่าความลึกของน้ำไม่มีผลต่อผลผลิตของไข่น้ำ การผลิตไข่น้ำที่ใช้ น้ำลึกเพียง 10 ซม. ในงานวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการประหยัดน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช การควบคุมระบบความเข้มแสงจากงานวิจัยนี้ ใช้หลอดไฟแอลอีดีชนิดหลอดขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสงในการผลิตไข่น้ำพบว่า สามารถกำหนดความเข้มของแสงได้โดยจำลองการเปลี่ยนแปลงของแสงให้ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Arkronrat *et al.* (2018) ที่ประยุกต์ใช้หลอดแอลอีดีชนิดหลอดขาวผลิตหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชชนิด *Isochrysis galbana* (Clone T. Iso) และ *Tetraselmis suecica* ในห้องปฏิบัติการและยังให้พลังงานแสงสูงกว่าหลอดไฟชนิดอื่น โดยมีความร้อนต่ำ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไฟทั่วไป (Yeh and Chung, 2009)

2. ผลของประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง จากผลการศึกษาพบว่า

2.1 ประเด็นที่ 1 ปัจจัยควบคุม ไข่น้ำที่ผลิตในระบบควบคุมแสง สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้าและความเข้มแสง ให้มีความ

เหมาะสมต่อการผลิตไข่น้ำได้ดีกว่าการผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด กล่าวคืออุณหภูมิน้ำเฉลี่ยระหว่าง 28.20-30.93°C. ความเป็นกรดและด่างของน้ำเฉลี่ย 5.67-7.10 สอดคล้องกับการวิจัยของ Ruekaewma *et al.* (2015) ที่กล่าวว่าไข่น้ำจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดปีระหว่าง 32-33°C. ทั้งนี้อุณหภูมิของน้ำก็จะลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำในงานวิจัย ความเป็นกรดและด่างที่เหมาะสมต่อการผลิตไข่น้ำระหว่าง 5-7 และค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.77-0.82 mS/cm สอดคล้องกับการวิจัยของ Damna *et al.* (2017) ที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดปุ๋ยและระดับการพรางแสงต่อผลผลิตและคุณภาพของไข่น้ำ โดยใช้ค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง 0.5-1.0 mS/cm และได้รับความเข้มแสงและระยะเวลาการรับแสงสม่ำเสมอตลอดการศึกษา คือความเข้มแสงเฉลี่ย 20,757 ลักซ์ ระยะเวลาการรับแสง 12 ชม./วัน และการใช้หลอดไฟแอลอีดีชนิดหลอดขาว มีพลังงานความร้อนต่ำ ทำให้การระเหยของน้ำในภาชนะบรรจุไข่น้ำมีน้อย แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสงครั้งนี้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอในการศึกษาวิจัยให้สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้ แต่การผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และความเข้มแสงให้สม่ำเสมอตลอดการศึกษาได้ ทั้งนี้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 40°C. เป็นระดับอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของไข่น้ำ ความเป็นกรดและด่างของน้ำสูงกว่า 7 เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศของไข่น้ำเป็นไปตามผลการศึกษาของ Ruekaewma *et al.* (2015) ความเข้มแสงเฉลี่ยระหว่างวันอยู่ระหว่าง 18,390-35,550 ลักซ์ โดยในแต่ละช่วงวันความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ผลผลิตของไข่น้ำมีน้อยกว่าการผลิตในระบบควบคุมแสง

2.2 ประเด็นที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง ไข่น้ำมีลักษณะปกติ สีเขียวเข้ม เพิ่มปริมาณเต็มพื้นที่ผิวน้ำ น้ำที่เหลือทิ้งไม่มีสิ่งเจือปน ส่วนผลการศึกษาการผลิตไข่น้ำในระบบ

โรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดไข่น้ำมีสีเขียวอ่อน น้ำมีลักษณะเป็นฟองอากาศ มีไข่น้ำตายบางส่วนสังเกตได้จากฟรอนต์ไข่น้ำมีสีขาวซีด สอดคล้องกับการวิจัยของ Chantiratikul *et al.* (2010) ถ้าความเป็นกรดและด่างของน้ำสูงกว่า 9 น้ำจะมีลักษณะเป็นเมือกสีนํ้า มีสาหร่ายเกาะติดฟรอนต์ของไข่น้ำเกิดการแย่งธาตุอาหารพืชไปใช้ เมื่อตายลงซากของสาหร่ายสะสมอยู่ก้นบ่อและค่อย ๆ ลอยขึ้นปกคลุมบริเวณผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้ลดลง เกิดกลิ่นเหม็นจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำที่เหลือจากการผลิตไข่น้ำมีกลิ่นเหม็น และมีซากสาหร่ายและไข่น้ำตายเจือปนทำให้ผลผลิตไข่น้ำที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง ซึ่งเกิดจากระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และระดับความเข้มแสงให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตไข่น้ำและการระเหยของน้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดสูงกว่าในระบบควบคุมแสงทำให้ต้องเพิ่มน้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดมากกว่า

2.3 ประเด็นที่ 3 ผลผลิตของไข่น้ำ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสงและระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิด พบว่ามีผลผลิตไข่น้ำมีเพิ่มขึ้นในอัตราที่เพิ่มขึ้นถึงวันที่ 15 และจะมีผลผลิตค่อนข้างคงที่ถึงวันที่ 20 โดยที่การผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสงจะมีผลผลิตลดลงเล็กน้อยจนถึงวันที่ 30 ของการศึกษา ในขณะที่การผลิตในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดมีผลผลิตไข่น้ำลดลงในอัตราที่เพิ่มขึ้นถึงวันที่ 25 และลดลงในอัตราคงที่ถึงวันที่ 30 ของการศึกษา สอดคล้องกับการวิจัยของ Chatrakul *et al.* (2012) ที่พบว่าไข่น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มสูงในช่วง 12-18 วันจากนั้นมีแนวโน้มให้ผลผลิตลดลง และ Tira-umphon and Nitwatthanakull (2018) ที่พบว่า การเก็บเกี่ยวไข่น้ำที่ระยะเวลาการผลิต 20 วัน จะให้

ปริมาณน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Ruekaewma *et al.* (2015) ที่พบว่าไข่น้ำจะแตกหน่อมากขึ้นตามปริมาณความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น Sanwilat (1999) และหากความเข้มแสงที่มีระดับสูงมากเกินไปอาจทำให้เกิดภาวะการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำจึงควรมีความเข้มแสง 8,000-16,000 ลักซ์ (Chantiratikul *et al.*, 2010) นอกจากนี้จากลักษณะทางธรรมชาติของไข่น้ำจะขยายพันธุ์และเจริญเติบโตอยู่บริเวณผิวน้ำ น้ำ เมื่อปริมาณไข่น้ำขยายจนเต็มพื้นที่ผิวน้ำ ส่งผลให้บดบังแสงซึ่งพืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง อัตราการเพิ่มผลผลิตของไข่น้ำจึงเริ่มลดลง (Panwanitdumrong and Rowchai, 2009)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำในระบบควบคุมแสง ผลการศึกษาพบว่าระบบควบคุมแสงมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดทั้งในด้านปัจจัยควบคุม สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้าและความเข้มแสงให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตไข่น้ำ โดยให้ลักษณะทางกายภาพของไข่น้ำที่ฟรอนต์ปกติสีเขียวเข้ม ไข่น้ำเพิ่มปริมาณเต็มพื้นที่ผิวน้ำ น้ำเหลือทิ้งจากการผลิตไข่น้ำไม่มีสิ่งเจือปน และผลผลิตของไข่น้ำเพิ่มขึ้นโดยมีน้ำหนักสดเท่ากับ 174.66 ± 13.53 กรัม (จากน้ำหนักเริ่มต้น 30.11 ± 0.02 กรัม) และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 7.82 ± 1.48 กรัม ผลการศึกษพบว่า การผลิตไข่น้ำภายใต้ระบบควบคุมแสงทั้งน้ำหนักสดเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งสูงกว่าการผลิตไข่น้ำในระบบโรงเรือนกลางแจ้งกึ่งปิดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำภายใต้ระบบควบคุมแสง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่สนับสนุนทุนการวิจัย และเครื่องมือวิจัย ตลอดจนวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุราษฎร์ธานี ที่สนับสนุนสถานที่สำหรับใช้ในการทำวิจัยเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- Arkronrat, W., S. Sawatmalanon, B. Phungdee T. Buaban and V. Oniam. 2018. Applications of light emitting diode (LED) on marine microalgae production (*Isochrysis galbana* clone T. Iso and *Tetraselmis suecica*) under laboratory conditions. **Journal of Agricultural Research and Extension** 35(3): 20-29. [in Thai]
- Chantiratikul, A., P. Chantiratikul, A. Sangdee U. Maneechote, C. Bunchasak and O. Chinrasri. 2010. Performance and carcass characteristics of Japanese quails fed diets containing *Wolffia* meal (*Wolffia globosa* L. Wimm). as a protein replacement for soybean meal. **International Journal of Poultry Science** 9(6): 562-566.
- Chatrakul, A., S. Uttama-Ang, W. Deepanya and K. Phanrattanachai. 2012. Technology of production and utility of water meal (*Wolffia arrhiza* L. Wimm) in commerce. 51 p. **In Research Report Technology and Industrial Technology Phetchabun.** Phetchabun: Rajabhat Phetchabun University. [in Thai]
- Damna, N., W. Saikaew and A. Tira-Umphon. 2017. Effect of fertilizer type and light filter level to yield and quality of *Wolffia* (*Wolffia arrhiza* L. Wimm). **Songklanakarin Journal of Plant Science** 4(3): 60-64. [in Thai]
- Deepanya, W. 2012. Development of products water meal (*Wolffia arrhiza* L. Wimm) leather. 51 p. **In Research Report Food Science and Technology.** Phetchabun: Rajabhat Phetchabun University. [in Thai]
- Panwanitdumrong, K. and S. Rowchai. 2009. Experimental Study on Culture of *Wolffia* (*Wolffia arrhiza* L. Wimm) and It's Use for Gold Fish Color Quality Improvement. pp. 162-169. **In Proceeding of the 47th Kasetsart University Annual Conference: Fisheries, 7-8 December 2009.** Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

- Petchthai, P. and T. Thongket. 2017. Effect of light intensity and light-exposure duration on growth and quality of lettuce. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 4(3): 54-59. [in Thai]
- Phoonsiri, K. and K. Kong-Nger. 2014. Effect of Light Intensity on Some Physiological Parameters and Protein Change in Leaves of Black Glutinous Rice. pp. 882-890. *In Proceedings of the 15th Graduate Research Conferences*. Khon Kaen: Khon Kaen University. [in Thai]
- Ruekaewma, N. 2011. **Optimal Conditions for Production of Khai-nam *Wolffia globosa***. Doctoral Dissertation Chulalongkorn University. 121 p. [in Thai]
- Ruekaewma, N., S. Piyatiratitivorakul and S. Powtongsook. 2015. Culture system for *Wolffia globosa* L. (Lemnaceae) for hygiene human food. **Songklanakarin. Journal of Science and Technology** 37(5): 575-580. [in Thai]
- Sanwilat, S. 1999. **Growth and Protein Content of Water Meal (*Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm) Cultured with Different Diet Formulas and Light Intensity Levels in Outdoor Conditions**. Master Thesis. Mahasarakham University. 80 p. [in Thai]
- Siegel, S. 1957. **Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences**. New York: McGraw-Hill. 312 p.
- Sricharoen, S., N. Chareontesprasit, W. Jiwyam P. Pangphairee and R. Choocheep. 2001. Culture of *Wolffia (Wolffia arrhiza)* for reduction of fish feed cost. **KKU Institutional Research Journal Khon Kaen University** 10(3): 22-26. [in Thai]
- Tira-Umphon, A. and N. Nitwatthanakull. 2018. The suitable harvested date and storage temperature of *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. **Agricultural Science Journal** 49(Suppl.4): 87-90. [in Thai]
- Yeh, N. and J. Chung. 2009. High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and there potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 13(8): 2175-2180.
- Yothatip, J., P. Sunakorn and P. Boonkorkaew. 2010. Study of Growing Indoor Plants Using Artificial Light. pp. 2007-2014. *In Proceedings of the 7th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference, 7-8 December 2007*. Nakornpatom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. [in Thai]