

Received: May 28, 2025; Revised: September 4, 2025; Accepted: November 4, 2025

ผลของการเสริมสารสีจากการหมักเปลือกทุเรียนด้วยเชื้อรา *Monascus* sp. ในอาหาร
ต่อคุณภาพผลผลิตของกบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์
Effects of dietary pigments from *Monascus*-Fermented durian peel on the
production quality of Chinese edible frog (*Hoplobatrachus rugulosus*)
cultured in cement ponds

อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี¹ ปิรียาภรณ์ อันอามังงาม¹ อโนชา กิริยากิจ¹ ปฐมาภรณ์ ทิลารักษ์¹
พรพนิต ศศิวัฒน์ชุติกุล¹ รัตนพล มงคลรัตนาสี² และพัชรา นิธิโรจน์ภักดี^{1*}

Amornrat Suwanposri¹, Piriyaporn Anartngam¹, Anocha Kiriyaakit¹, Patamaporn Tilarux¹,
Pronpanit Sasivatchutikool¹, Rattanaphol Mongkhorrattanasit²
and Patchara Nithirojpakdee^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi Province

²คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร

²Faculty of Industrial Textiles and Fashion Design, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address : patchara_ni@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมสารสีที่ได้จากกระบวนการหมักของเชื้อรา *Monascus* sp. บนเปลือกทุเรียน (Pigment from *Monascus*; PM) ในอาหารของกบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ โดยกบนาได้รับอาหารเสริม PM ในระดับที่ต่างกัน ได้แก่ ชุดควบคุม (ไม่เสริม PM) และชุดที่เสริม PM ที่ระดับร้อยละ 0.25, 0.50 และ 1.0 เป็นเวลา 12 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) จำนวน 3 ซ้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากบนาที่ได้รับอาหารเสริม PM ในทุกระดับ มีอัตราการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ และอัตราการรอดตาย ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) แต่กบนาที่ได้รับอาหารเสริม PM ที่ระดับร้อยละ 0.25-1.0 มีค่าสีที่วัดได้จากผิวหนัง ได้แก่ ค่าความสว่าง ($L^*=38.66\pm1.42$ - 42.52 ± 0.84) ค่าสีแดง ($a^*=9.45\pm0.37$ - 11.12 ± 0.47) และค่าสีเหลือง ($b^*=36.60\pm0.59$ - 41.57 ± 0.67) และปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในเนื้อ (24.53 $\pm$ 1.03-36.24 $\pm$ 0.87 ไมโครกรัม/กรัม) สูงกว่าชุดควบคุม ($L^*=33.66\pm0.57$; $a^*=4.56\pm0.24$; $b^*=20.08\pm0.21$ และปริมาณแคโรทีนอยด์ 16.56 $\pm$ 0.52 ไมโครกรัม/กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าสีของผิวหนังกบนาและปริมาณแคโรทีนอยด์สะสมในเนื้อกบนามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระดับการเสริม PM ในอาหาร นอกจากนี้พบว่า หลังจากหยุดให้อาหารที่มีการเสริม PM เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค่าสีของผิวหนังกบไม่แตกต่างทางสถิติกับสัปดาห์สุดท้ายของการเสริม PM ($p>0.05$) ดังนั้นการเสริมสารสีที่ได้จากการหมักเปลือกทุเรียนด้วย *Monascus* sp. สามารถเพิ่มความเข้มของสีและปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อกบนาได้โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและการรอดตาย

คำสำคัญ: *Monascus* sp. เปลือกทุเรียน สารสี กบนา

Abstract

This study aimed to investigate the effect of pigment from fermentation process of *Monascus* sp. with durian peel (Pigment from *Monascus*; PM), in the diet, on the yield quality of Chinese edible frog (*Hoplobatrachus rugulosus*) cultured in cement ponds. The frogs were fed at different levels of PM in diet: 0 (control), 0.25, 0.50 and 1.0% for 12 weeks. The experiment was done based on a completely randomized design (CRD) with 3 replicates. At the end of the experiment, it was found that frogs fed PM supplements at all levels had no effect on growth, feed conversion rate, and survival rate ($p>0.05$). The frogs fed PM supplements at 0.25-1.0% had significantly higher skin color values, measured as lightness ($L^*=38.66\pm1.42-42.52\pm0.84$), redness ($a^*=9.45\pm0.37-11.12\pm0.47$), and yellowness ($b^*=36.60\pm0.59-41.57\pm0.67$), and higher carotenoid accumulation in the flesh ($24.53\pm1.03-36.24\pm0.87 \mu\text{g/g}$) than the control ($L^*=33.66\pm0.57$; $a^*=4.56\pm0.24$; $b^*=20.08\pm0.21$ and carotenoid contents of $16.56\pm0.52 \mu\text{g/g}$) ($p<0.05$). However, an increasing of the value tendency was in accordance with the level of PM supplementation in the feed. It was also found that after discontinuation of PM supplementation for 2 weeks, the skin color of frogs was not different from the last week of PM supplementation ($p>0.05$). Therefore, supplementation of pigment from the fermentation of durian peels by *Monascus* sp. in the feed could increase the color intensity and carotenoid content in frog flesh without affecting the growth and survival.

Keywords: *Monascus* sp., Durian peel, Pigment, *Hoplobatrachus rugulosus*

บทนำ

กบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) เป็นสัตว์น้ำจืดที่ได้รับความนิยมสูงมากขึ้น โดยกรมประมงได้จัดกบนาเป็นสัตว์น้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ในปี พ.ศ. 2565-2570 (Department of Fisheries, 2021) เนื่องจากกบนาเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพท้องถิ่นของประเทศไทย เจริญเติบโตเร็ว ใช้เวลาเลี้ยงสั้น ลงทุนน้อย ทนทานต่อสภาพแวดล้อม สามารถจำหน่ายได้ง่ายและได้ราคาสูง (Saman & Thiammueang, 2021) เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่มีคุณภาพ เป็นที่นิยมบริโภค สามารถเลี้ยงเป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริมได้ สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากในยุคปัจจุบัน สีสันของสัตว์น้ำจืดเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่ผู้บริโภครับรู้และส่งผลต่อมูลค่าตลาดของผลิตภัณฑ์ โดยสีที่โดดเด่นหรือสอดคล้องกับความคาดหวังของผู้บริโภคมักได้รับการยอมรับและอาจทำให้สามารถตั้งราคาสูงกว่าได้ (Song et al., 2022; Liu et al., 2024) สอดคล้องกับความต้องการของตลาดท้องถิ่นในประเทศไทย ที่พบว่ากบนาที่มีสีผิวหนังเป็นน้ำตาลอ่อนหรือสีเหลืองทองจะเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่ากบนาที่มีสีผิวหนังเป็นสีดำหรือสีเขียวคล้ำ (Yaowanarat, 2016) ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพสีตัวของกบนาจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้กบนามีราคาสูงขึ้นและตรงความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น

กบนามีความสามารถในการเปลี่ยนสีผิวได้ โดยการเปลี่ยนสีนี้เกิดจากการทำงานร่วมกันของเซลล์พิเศษในผิวหนังที่เรียกว่าเซลล์เม็ดสี (Chromatophores) ซึ่งในเซลล์เม็ดสีมีรงควัตถุ (Pigments) หลายชนิด สามารถหดตัวและขยายตัวได้ ทำให้รงควัตถุมีการกระจายตัวหรือรวมตัวกันในบริเวณต่าง ๆ ของผิวหนัง โดยกบนาจะทำการเปลี่ยนสีผิวเพื่อตอบสนองต่อปัจจัยต่าง ๆ เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น อารมณ์ หรือแม้กระทั่งการพรางตัวจากศัตรู (Park et al., 2023) ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค การปรับปรุงคุณภาพสีของผิวหนังกบนาที่เกษตรกรทั่วไปนิยมใช้กันคือ การนำดินเหนียวรองพื้นก้นบ่อประมาณ 7 วัน ก่อนจับขาย จะทำให้กบมีสีเหลือง (Wongkhan, 2016) การปฏิบัติดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการจัดการสภาพแวดล้อมเพื่อส่งผลต่อสีผิวในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยการเปลี่ยนสีผิวเป็นปฏิกิริยาตอบสนองต่อพื้นหลังหรือสิ่งแวดล้อม (Mirč et al., 2023; Radovanović et al., 2023) อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสีผิวของกบนาชั่วคราวที่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อกบ และมีความยุ่งยากในทางปฏิบัติงาน การเสริมสารสีลงในอาหารเลี้ยงกบนาอาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการปรับปรุงสีของกบนา

Monascus sp. เป็นเชื้อราที่นิยมใช้ในการแปรรูปอาหาร (Wong & Koehler, 1981) ทั้งนี้เมื่อเชื้อราเจริญจะสร้างสารสีหลัก 3 สี ได้แก่ สีเหลือง (Monascine และ Ankaflavine) สีส้ม (Rubropunctatine และ Monascorubrine) และสีแดง (Rubropunctamine และ Monascorubramine) (Chatterjee et al., 2009) นอกจากสารสีแล้ว ราโมนัสคัสยังสามารถสร้างสารต่าง ๆ เช่น สารโมนาโคลิน เค (Monacolin K) ที่มีคุณสมบัติเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เป็นสารช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล สารลดระดับความดันเลือด สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงสารป้องกันการเกิดมะเร็งได้ (Gao et al., 2013; Agboyibor et al., 2018) โดยทั่วไปนิยมใช้ข้าวเป็นแหล่งอาหารของ *Monascus* sp. (Eadmusik, 2014) แต่รายงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า *Monascus* sp. สามารถผลิตสีบนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น เปลือกกุ้งและปู (Wang et al., 2002) ช้างข้าวโพด (Babitha et al., 2006) กากชานอ้อย (Silveira et al., 2008) กากองุ่น (Silveira et al., 2013) เมล็ดขนุน (Velmurugan et al., 2011) และเมล็ดทุเรียน (Srianta et al., 2012) เป็นต้น ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งและนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สารสีจาก *Monascus* sp. นอกจากจะใช้ในอาหารสำหรับบริโภคแล้วยังสามารถนำไปใช้เป็นสารเร่งสีในสัตว์ ได้แก่ กุ้งเครย์ฟิช และไก่ไข่ โดยการเสริมสารสีที่ผลิตโดย *Monascus* sp. 300 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม ในอาหารกุ้งเครย์ฟิชส่งผลให้คุณภาพสีของเนื้อกุ้งมีค่าสูงสุด (Safari et al., 2025) ส่วนในไก่ไข่เนื้อส่งผลให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้นและสามารถเสริมสารสีจาก *Monascus* sp. ได้สูงสุดถึงร้อยละ 6 (Suwanposri et al., 2025)

ในกระบวนการแปรรูปทุเรียนย่อมทำให้เกิดขยะจากเปลือกทุเรียนจำนวนมากตามไปด้วย ขยะเหล่านี้กลายเป็นปัญหาลิ่งแวดล้อม ตามด้วยการสูญเสียงบประมาณมากขึ้นในการกำจัด การเพิ่มมูลค่าของขยะจากเปลือกทุเรียนจึงเป็นเป้าหมายสำคัญในปัจจุบัน ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และลดปัญหาลิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังลดความจำเป็นในการกำจัดของเสียอีกด้วย (Charoenphun et al., 2020) ที่ผ่านมามีความพยายามในการศึกษาเพื่อเปลี่ยนขยะจากเปลือกทุเรียนให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น วัสดุเชื้อเพลิงจากเปลือกทุเรียน (Saueprasearsit et al., 2020; Muissee & Janthasit, 2021) บรรจุภัณฑ์อาหารจากเปลือกทุเรียน (Ninlanon et al., 2021) ใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตอีพ็อกซี (Nguyen & Nguyen, 2025) รวมถึงเป็นส่วนเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารและเวชสำอาง (Mungmai et al., 2023) และยังมีความพยายามเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเปลือกทุเรียนต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น มีการนำเปลือกทุเรียนไปเสริมในอาหารปลานิล ส่งผลให้ปลานิลมีปริมาณจำนวนเม็ดเลือดแดงไม่ลดลงเมื่อได้รับเชื้อแบคทีเรีย 3 ชั่วโมง และมีจำนวนเม็ดเลือดแดงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับเสริมเปลือกทุเรียน นอกจากนี้ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวและกิจกรรมฟาโกไซโทซิสมีปริมาณสูงขึ้นหลังจากได้รับเชื้อแบคทีเรีย แสดงให้เห็นว่าปลานิลมีการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันที่เพิ่มขึ้น (Pisuttharachai et al., 2025) และยังมีรายงานความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกทุเรียนบดแห้งทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารเลี้ยงปลาใน (*Cyprinus carpio*) ซึ่งพบว่า สามารถทดแทนได้เพียงร้อยละ 25 โดยช่วยลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้กิโลกรัมละ 1.42 บาท (Lommetta et al., 2016) นอกจากนี้ในเปลือกทุเรียนประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 13.09 และลิกนินร้อยละ 15.45 (Brown, 1997) เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เพื่อผลิตสารสีเป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ เช่น การใช้เปลือกทุเรียนหมักจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงสุรกระยะรุ่น-ขุน พบว่า การทดแทนอาหารสำเร็จรูปด้วยเปลือกทุเรียนหมักร้อยละ 70 ในการขุนสุกร ทำให้ค่าสีของเนื้อแดงมากกว่ากลุ่มควบคุม ช่วยลดค่าอาหารและเพิ่มกำไรให้กับผู้เลี้ยงได้ (Polsa et al., 2021)

แม้ว่าปัจจุบันจะพบว่า *Monascus* sp. สามารถผลิตสีบนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้หลากหลายชนิด แต่ยังไม่ปรากฏรายงานผลการใช้สารสีที่ผลิตได้ของ *Monascus* sp. โดยมีเปลือกทุเรียนเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้สารสีที่ผลิตจากกระบวนการหมักเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งด้วย *Monascus* sp. เพื่อใช้เป็นสารเสริมในอาหารกบนา ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพด้านสีตัวให้แก่กบนา ข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นแนวทางเลือกที่ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิตด้านสีให้แก่เกษตรกรต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. สารสีที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้ใช้สารสีที่ผลิตโดยกระบวนการหมักของ *Monascus purpureus* TISTR 3615 บนเปลือกทุเรียน (Pigment from *Monascus*; PM) ขั้นตอนในการผลิตสารสีเริ่มจากนำเชื้อรา *M. purpureus* TISTR 3615 ซึ่งมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง Potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน จากนั้นตัดส่วนปลายของเส้นใยนำไปใส่ในอาหารวุ้นเยือก PDA บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

นาน 10 วัน และเตรียมเป็นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อราที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อ นำเปลือกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองมาล้างให้สะอาดและหั่นให้เป็นชิ้นขนาด 0.5×2.5 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน จากนั้นจึงเปลือกทุเรียนที่อบแห้งแล้วหนัก 100 กรัม ใส่ขวดเพาะเลี้ยงขนาด 16 ออนซ์ เติมสารละลายกลูโคสความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ใส่กล้าเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน เชื้อราจะสร้างเส้นใยห่อหุ้มเปลือกทุเรียนและเส้นใยจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีแดงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น นำสารสีที่ได้ไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วอบให้แห้งและบดให้เป็นผงละเอียด โดยสารสีที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอมชมพู มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ โปรตีนร้อยละ 9.30 ไขมันร้อยละ 0.96 ความชื้นร้อยละ 6.12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 27.73 เถ้าร้อยละ 6.06 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 77.56 และมีปริมาณแคลอรีที่น้อยเท่ากับ 223.36 ± 0.73 ไมโครกรัม/กรัม

2. การเตรียมบ่อทดลอง

บ่อที่ใช้ทดลองเลี้ยงกบเป็นบ่อซีเมนต์กลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.12 เมตร จำนวน 12 บ่อ ซึ่งตั้งอยู่ในโรงเรือนเปิดมีหลังคาคลุม แต่ละบ่อเติมน้ำให้มีความสูงจากพื้น 5 เซนติเมตร และมีที่สำหรับให้อาหารขนาด 0.10 ตารางเมตร ประจำแต่ละบ่อ

3. การเตรียมสัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลองที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ลูกกบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) อายุ 45 วัน ขนาดน้ำหนักตัวเริ่มต้น 21.72 ± 0.56 กรัม ที่ซื้อจากฟาร์มกบในจังหวัดฉะเชิงเทรา ทำการปรับสภาพกบให้คุ้นเคยกับสิ่งแวดล้อมใหม่และอาหารทดลอง (อาหารชนิดเดียวกับชุดควบคุม) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ก่อนคัดเลือกเฉพาะกบที่มีสภาพสมบูรณ์ แข็งแรง และสุ่มลงบ่อทดลอง จำนวน 12 บ่อ ๆ ละ 50 ตัว (ความหนาแน่น 50 ตัว/ตารางเมตร) สุ่มกบทดลอง (ร้อยละ 10) จากแต่ละชุดการทดลองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าชนิด 2 ตำแหน่ง (รุ่น ME 4002, Mettler Toledo, Switzerland)

4. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารเม็ดชนิดจมน้ำ มีระดับโปรตีนร้อยละ 35 การผลิตอาหารทดลองดำเนินการภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่เสริมสารสี), ชุดการทดลองที่ 2 เสริม PM ในระดับร้อยละ 0.25, ชุดการทดลองที่ 3 เสริม PM ในระดับร้อยละ 0.5 และ ชุดการทดลองที่ 4 เสริม PM ในระดับร้อยละ 1.0

นำวัตถุดิบอาหารดังแสดงใน Table 1 ผสมให้เข้ากันแล้วนำเข้าเครื่องอัดอาหารเม็ด ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารตามวิธีของ AOAC (2000)

Table 1 Composition of feed ingredients, proximate analysis and cost of each dietary treatment

Feed ingredients	Levels of PM in diet (%)			
	T ₁ (control)	T ₂ (0.25)	T ₃ (0.5)	T ₄ (1.0)
Feed ingredients				
Corn	19	19	19	19
Rice bran	19	19	19	19
Soybean meal	31	31	31	31
Fish meal	31	31	31	31
Vitamin C	0.3	0.3	0.3	0.3
Binder (powder)	5	5	5	5
PM	0	0.25	0.5	1.0
Fish oil	0.5	0.5	0.5	0.5

Proximate analysis				
Protein	35.26	35.43	35.99	35.44
Fat	5.84	6.37	6.37	6.03
Moisture	10.67	8.67	9.73	9.83
Crude fiber	3.60	3.39	3.30	3.38
Ash	12.49	12.64	12.50	12.38
Carbohydrate	35.74	36.89	35.39	36.32
Cost (Baht/kg)	40.13	40.47	40.83	41.51

5. การให้อาหารทดลอง

ให้อาหารทดลองวันละ 2 ครั้ง (08.00 น. และ 17.00 น.) ในอัตราที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักตัวต่อวัน หลังจากเลี้ยงกับด้วยอาหารทดลองจนครบ 12 สัปดาห์ จึงหยุดการให้อาหารทดลอง แต่ยังคงเลี้ยงกับทดลองอาหารสูตรเดียวกับชุดควบคุมต่อไปอีก 2 สัปดาห์ ระหว่างการทดลองเลี้ยงมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อทดลองอัตราร้อยละ 100 ทุกวันในช่วงเช้าก่อนให้อาหารมื้อแรก

6. การบันทึกข้อมูล

สุ่มกบร้อยละ 10 จากแต่ละบ่อมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 2 สัปดาห์ เพื่อประเมินการเจริญเติบโต ประกอบด้วย น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (กรัมต่อวัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ร้อยละ) และวัดการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวหนังด้านหลัง (Posterior) ของลำตัวด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, Japan) เพื่อหาค่าของสีในระบบ CIE (L*, a*, b*) โดยมีความหมายของผลที่ได้คือ ค่าความสว่าง (L*) มีค่าสูงหมายถึงสีมีความสว่าง และมีค่าต่ำหมายถึงสีมีความทึบ ค่าสีเขียว-แดง (a*) ถ้าเป็น (-a*) จะเป็นสีเขียว ส่วน (+a*) จะเป็นสีแดง ค่าน้ำเงิน-เหลือง ถ้าเป็น (-b*) จะเป็นสีน้ำเงิน ส่วน (+b*) จะเป็นสีเหลืองหากมีค่าสูงหมายถึงสีเข้ม แต่หากมีค่าต่ำหมายถึงสีอ่อน และนอกจากนี้บันทึกปริมาณอาหารที่ใช้ไปทั้งหมดของแต่ละบ่อเพื่อคำนวณอัตราแลกเนื้อ นับจำนวนกบที่เหลือเพื่อคำนวณการรอดตาย (ร้อยละ) และสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อบริเวณสะโพกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อกบ ด้วยวิธี Spectrophotometry (Kanokrungrat & Watanadilok, 2016) โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (ADG; g./day)} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR; \%/\text{day})} = \frac{\ln \text{น้ำหนักสุดท้าย} - \ln \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}} \times 100$$

$$\text{อัตราการแลกเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารทั้งหมดที่กินตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{น้ำหนักรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักรวมเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

$$\text{การรอดตาย (Survival; \%)} = \frac{\text{จำนวนกบที่เหลือทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนกบที่ปล่อยเลี้ยงเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลด้านการรอดตาย การเจริญเติบโต และค่าสีของทุกชุดการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

8. จริยธรรมการวิจัยในสัตว์

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการขอและอนุญาตให้ดำเนินการวิจัยในสัตว์ทดลอง เลขที่ใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-05306-2559 และได้ขออนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ID#RMUTTO-ACUC-2-2023-017

ผลการวิจัย

1. ผลของการเสริมสารสีจากกระบวนการหมักของเชื้อราโมแนสคัสบนเปลือกทุเรียนในอาหารต่อการรอดตายและการเจริญเติบโตของกบนา

จากการทดลองเลี้ยงกบนาด้วยอาหารที่เสริม PM ในระดับร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1.0 เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ากบนาในทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสุดท้าย (FBW) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตราการแลกเนื้อ (FCR) และการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 2)

Table 2 Growth performance, feed conversion ratio (FCR), and survival rate of Chinese edible frog (*H. rugulosus*) fed diets containing pigments from *Monascus*-fermented durian peel (Mean $\pm$ SD)

Parameters	Levels of PM in diet (%)				P-value
	T ₁ (C)	T ₂ (0.25)	T ₃ (0.5)	T ₄ (1.0)	
Initial body weight (IBW) (g/frog)	22.07 $\pm$ 1.62	22.33 $\pm$ 1.40	21.32 $\pm$ 1.26	21.17 $\pm$ 1.32	0.085
Final body weight (FBW) (g/frog)	204.62 $\pm$ 10.69	216.09 $\pm$ 43.69	231.13 $\pm$ 9.74	237.87 $\pm$ 35.06	0.901
Average daily gain (ADG) (g/frog/day)	2.26 $\pm$ 0.85	1.90 $\pm$ 0.81	1.89 $\pm$ 0.45	2.20 $\pm$ 0.70	0.884
Specific growth rate (SGR) (%/day)	2.44 $\pm$ 0.29	2.21 $\pm$ 0.49	2.28 $\pm$ 0.23	2.42 $\pm$ 0.29	0.756
Feed conversion ratio (FCR)	3.0 $\pm$ 0.3	3.2 $\pm$ 0.2	3.1 $\pm$ 0.1	3.1 $\pm$ 0.4	0.945
Survival (%)	54.67 $\pm$ 4.62	47.33 $\pm$ 27.30	42.00 $\pm$ 8.00	47.33 $\pm$ 13.60	0.765

2. ผลของการเสริม PM ในอาหารต่อความเข้มของสีผิวหนังกบนา

ภายหลังกบนาได้รับ PM แตกต่างกัน 4 ระดับ และทำการสุ่มวัดค่าสีผิวหนังกบนาทุก ๆ 2 สัปดาห์ แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของผิวหนังกบนาดัง Figure 1 ซึ่งค่าสีทุกสี เริ่มมีความแตกต่างจากชุดควบคุมในสัปดาห์ที่ 4 และค่าสีทุกสีเพิ่มขึ้นตามลำดับของปริมาณสารให้สีที่เพิ่มขึ้นรวมถึงระยะเวลาเลี้ยงที่นานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

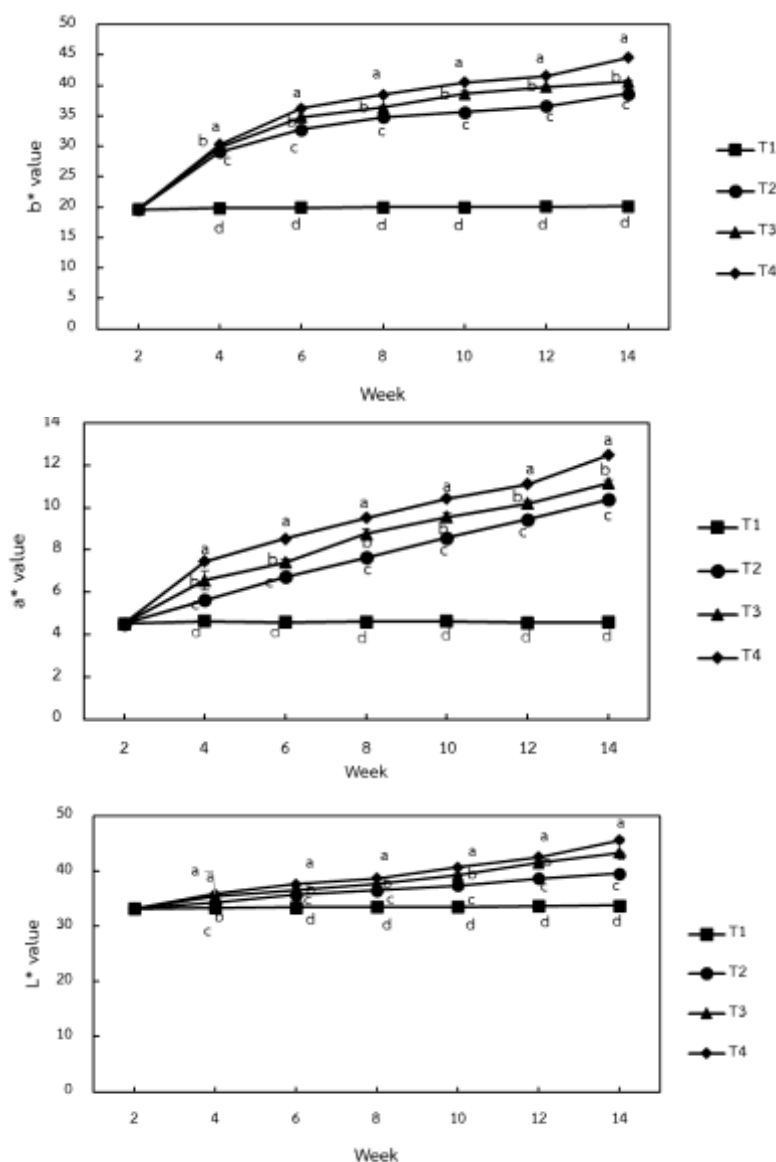


Figure 1 Trends in the skin color parameters (L^* , a^* , b^*) of *Hoplobatrachus rugulosus* fed with diets supplemented with PM at four different levels for 14 weeks. Different superscript letters within the same week indicate significant differences among treatments ($p < 0.05$)

หลังจากให้อาหารที่ไม่มีการเสริม PM ในการเลี้ยงกบนาเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ แล้วทำการสุ่มวัดค่าสีบนผิวหนังของกบนาอีกครั้งพบว่า กบนาที่ได้รับอาหารเสริม PM ในระดับร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1.0 ผิวหนังของกบมีค่าสีแดงเท่ากับ 4.55 ± 0.35 , 10.35 ± 0.46 , 11.13 ± 0.66 และ 12.46 ± 0.56 ตามลำดับ มีค่าสีเหลืองเท่ากับ 20.15 ± 0.53 , 38.61 ± 0.61 , 40.57 ± 0.79 และ 44.57 ± 0.90 ตามลำดับ และมีค่าความสว่างเท่ากับ 33.76 ± 0.98 , 39.47 ± 0.96 , 43.27 ± 0.85 และ 45.59 ± 1.70 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าสีทุกสีของผิวหนังกบนาที่ได้รับสารสีสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสีทุกสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับของปริมาณสารสีที่เพิ่มขึ้นด้วย ($p < 0.05$) (Figure 2)

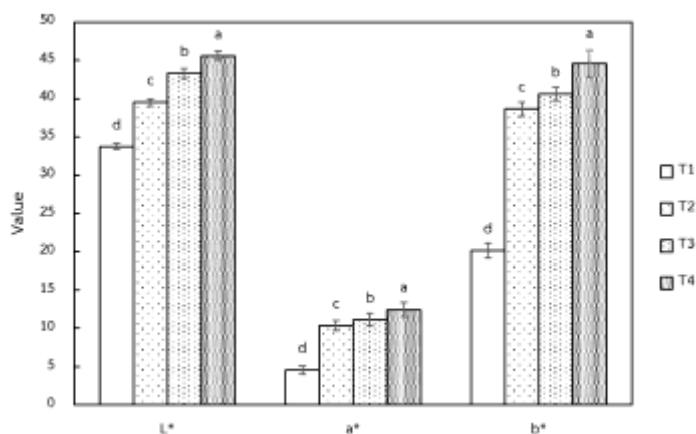


Figure 2 Skin color values (L^* , a^* , b^*) of *Hoplobatrachus rugulosus* after 2 weeks of PM withdrawal. Different superscript letters within each color parameter indicate significant differences among treatments ($p < 0.05$)

3. ผลของการเสริม PM ในอาหารต่อปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในเนื้อกบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมทั้งหมดในเนื้อกบภายหลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่ากบนาที่ได้รับสารสีที่ระดับร้อยละ 0.25-1.0 มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในเนื้อกบยังเพิ่มขึ้นตามระดับของสารสีที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ (Figure 3)

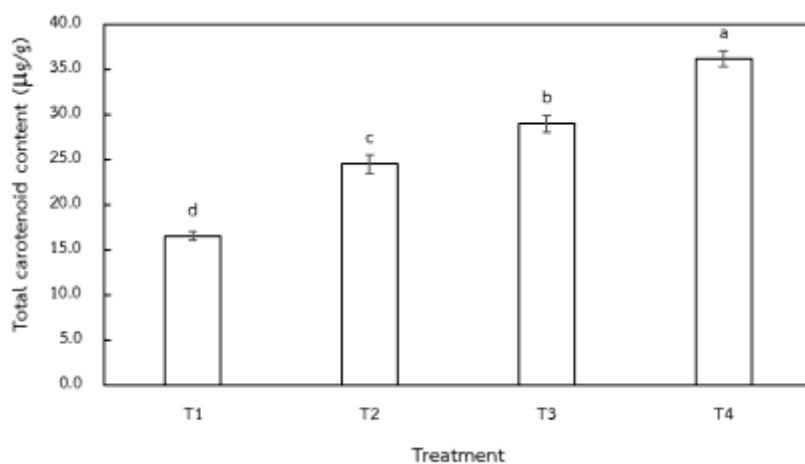


Figure 3 Total carotenoid concentration in the flesh of *Hoplobatrachus rugulosus* fed with diets supplemented with PM at four different levels for 12 weeks. Different superscript letters on each bar indicate significant differences among treatments ($p < 0.05$)

การอภิปรายผล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากบนาที่ได้รับการเสริมสารสี PM ในอาหารทุกระดับมีน้ำหนักตัวสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและการรอดตายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าการรอดตายของกบทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 42-55 เหตุผลที่ร้อยละการรอดตายของชุดทดลองส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่าร้อยละ 50 เป็นผลมาจากพฤติกรรมกินกัน (Cannibalism) ซึ่งในระหว่างการทดลองไม่ได้ทำการคัดแยกขนาดกบ

โดยเฉพาะการกินกันเองสูงในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการทดลอง แต่หลังจาก 4 สัปดาห์ผ่านไป ปัญหาการกินกันเองลดน้อยลงมาก แต่ยังมีตายบ้างเล็กน้อยจากการกัดกัน แต่ทุกบ่อหยุดตายเมื่อการทดลองผ่านไป 10 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thip-Uten et al. (2023) ที่ทำการศึกษาลักษณะการเสริมยีสต์ที่ระดับต่างกันในการเลี้ยงกบนาในบ่อซีเมนต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า กบมีอัตราการรอดตายต่ำ (ร้อยละ 51-54) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ร้อยละ 72) ซึ่งอาจเกิดจากปัญหาการกินกันเองของกบ กบบางตัวกินไม่อิ่มจึงมีการกินกบที่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้ระหว่างการทดลองไม่ได้ทำการคัดแยกขนาดกบเพราะยังไม่สิ้นสุดระยะทดลอง เช่นเดียวกับ Thip-Uten et al. (2021) ศึกษาการเสริมสาหร่ายไปรูลินาในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของกบนา โดยพบว่า อัตราการรอดตายต่ำ เนื่องจากการทดลองไม่ได้คัดขนาดของกบและกบเกิดการกินกันเอง ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมสารสีจาก *M. purpureus* TISTR 3615 ที่มีเปลือกทุเรียนเป็นแหล่งอาหารในระดับร้อยละ 0.25-1.0 ในอาหารเลี้ยงกบนา ไม่ส่งผลกระทบต่อผลการเจริญเติบโตและการรอดตายของกบนาที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ เนื่องจากอาหารทุกชุดการทดลองมีระดับโปรตีนเท่ากัน และสารสีที่ได้จาก *M. purpureus* TISTR 3615 นี้มีคุณสมบัติเป็นสารเมแทบอลิต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ซึ่งสารเมแทบอลิต์ทุติยภูมินี้ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเจริญเติบโต การพัฒนา และการสืบพันธุ์ตามปกติของสิ่งมีชีวิต (James, 2017) ดังนั้น สารสีจาก *Monascus* sp. จึงมีความปลอดภัยต่อกบทดลอง ผลการทดลองนี้แตกต่างกับ Thongprajukaew et al. (2013) ซึ่งรายงานว่า การเสริมสารสีจาก *Monascus* sp. ในอาหารในระดับที่มากกว่าร้อยละ 0.5 ส่งผลให้การกินอาหารและการเติบโตของปลากัดไทย (*Betta splendens*) ลดลง ขณะที่ Safari et al. (2025) รายงานว่าการเสริมสารสีจาก *M. purpureus* ที่ระดับ 50-300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหารของกุ้งเครย์ฟิชแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของการเจริญเติบโตส่วนใหญ่และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เสริมด้วยแอสต้าแซนทิน นอกจากนี้ Wang et al. (2024) ทำการเสริมสารสีจากการหมักของ *M. purpureus* บนเปลือกกล้วยเหลืองที่ระดับร้อยละ 20, 40 และ 60 พบว่า ช่วยลดอัตราการแลกเนื้อ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและอัตราการรอดตายสูงขึ้น ความแตกต่างนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างในความสามารถของเชื้อราโมแนสคัสในการสร้างสารอื่นที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ เช่น โมโนโคลิน เค (Shi & Pan, 2011) กาบา (Endo, 1979) รวมถึงสารพิษที่มีชื่อว่า ซิตรีนิน (Citrinin) ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ (Bennett & Klich, 2003) ซึ่งความสามารถในการสร้างสารเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อมในการหมัก สายพันธุ์ของ *Monascus* sp. และแหล่งอาหารที่ใช้หมัก เป็นต้น (Eadmusik, 2014)

PM มีผลต่อค่าสีผิวหนังของกบนา เนื่องจากการเสริมสารสีในระดับร้อยละ 0.25, 0.5 และ 1.0 ในอาหาร มีผลทำให้ค่าสีในโทนสีแดงหรือค่า a^* และโทนสีเหลืองหรือค่า b^* เพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 130, 147 และ 177 ตามลำดับ และร้อยละ 97, 106 และ 127 ตามลำดับ บ่งชี้ได้ว่า กบนาสามารถดูดซับและสะสมเม็ดสีที่ผลิตโดย *Monascus* sp. ไว้ที่ผิวหนังได้ และเนื่องจากสีที่ได้จาก *Monascus* sp. เป็นสารสีกลุ่ม polyketides ซึ่งเป็นสารสีที่ได้จากธรรมชาติเกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตสามารถดูดซับและสะสมเม็ดสีไว้ที่เนื้อและผิวหนังได้ อย่างไรก็ตาม สีที่ *Monascus* sp. ผลิตจะขึ้นอยู่กับสภาวะการเลี้ยงเชื้อ กล่าวคือ ถ้ามีการเลี้ยงเชื้อในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง เชื้อราชนิดนี้จะเจริญได้ดีและสร้างสีแดงเป็นหลัก แต่ถ้าสภาวะการเลี้ยงในอาหารมีสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ *Monascus* sp. จะสร้างสีเหลืองและสีส้มมากขึ้น (Shepherd, 1977; Yongsmith et al., 1994) ซึ่งในระหว่างหมัก *M. purpureus* ด้วยเปลือกทุเรียนนั้น เชื้อราจะย่อยเปลือกทุเรียนและสร้างสารสีออกมานอกเซลล์ ทำให้เปลือกทุเรียนมีสีแดงทั่วทั้งเปลือก และเมื่อกบนาได้รับอาหารที่เติมสารสีที่เชื้อรา *M. purpureus* ผลิตจึงมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้จากการสังเกตพบว่า สีผิวของกบนาที่ได้รับ PM ทุกระดับจางกว่าสีผิวของกบนาในชุดควบคุม สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ค่า L^* ของกบนาได้รับอาหารเสริม PM ที่ระดับร้อยละ 0.25, 0.5 และ 1.0 เพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 19, 31 และ 38 ตามลำดับ อาจเป็นผลเนื่องมาจากกบนาที่ได้รับ PM มีการดูดซับเม็ดสีเหลืองไว้ได้มากกว่านั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่า กบนาที่ได้รับ PM มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสะสมอยู่ในเนื้อสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แคโรทีนอยด์เป็นสารที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติและมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างจากสารสีที่ผลิตโดย *Monascus* sp. เนื่องจาก *Monascus* sp. ผลิตสารสีเฉพาะของตัวเอง ซึ่งไม่สามารถพบได้ในพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยสารสีหลัก ได้แก่ โมแนสซิน (Monascin) รูบรอปังตามีน (Rubropunctamine) และรูบรอปังตาทิน (Rubropunctatin) ซึ่งเป็นสารสีเหลือง สีแดง และสีส้ม ตามลำดับ (Carvalho et al., 2003; Mapari et al., 2005) ดังนั้นจึงคาดว่าแหล่งที่มาของแคโรทีนอยด์ในการทดลองครั้งนี้จะมาจากเปลือกทุเรียนซึ่งบดเป็นผงรวมกับสารสีที่เสริมในอาหารทดลอง เนื่องจากแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง สีส้ม และสีแดง ที่สังเคราะห์ได้โดยแบคทีเรีย รา สาหร่าย และพืช แต่สัตว์ไม่สามารถ

สังเคราะห์ได้ ดังนั้นต้องได้รับแคโรทีนอยด์จากอาหารเท่านั้น เช่น กบ และเก็บสะสมแคโรทีนอยด์ไว้ในเนื้อเยื่อได้ (Arkin & Márquez, 2024)

บทสรุป

การเสริมสารสีจากกระบวนการหมักของเชื้อราโมแนสคัส (*M. purpureus* TISTR3615) บนเปลือกทุเรียนที่ระดับร้อยละ 0.25, 0.5 และ 1.0 เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ไม่ส่งผลต่อการรอดตายและการเจริญเติบโต แต่ส่งผลให้สีผิวหนังกบมีค่าสีที่สูงขึ้นหรือเข้มข้น รวมถึงปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อกบมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยระดับที่เหมาะสมได้แก่ร้อยละ 0.25

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) สำหรับงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2567 ผ่านทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชและภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Agboyibor, C., Kong, W. B., Chen, D., Zhang, A. M., & Niu, S. Q. (2018). Monascus pigments production, composition, bioactivity and its application: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 433-447.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th ed.). Maryland, USA.
- Arkin, R., & Márquez, R. (2024). The effects of preformed vitamin A and provitamin a carotenoid supplementation on tadpoles of the poison frog *Phylllobates vittatus*. *Zoo Biology*, 43(2), 169-177.
- Babitha, S., Soccol, C. R., & Pandey, A. (2006). Jackfruit seed-a novel substrate for the production of *Monascus* pigments through solid-state fermentation. *Food Technology and Biotechnology*, 44(4), 465-471.
- Bennett, J. W., & Klich, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16, 497-516.
- Brown, M. J. (1997). *Durio - A Bibliographic Review*. International Plant Genetic Resources Institute.
- Carvalho, J. C. C., Pandey, A., Babitha, S., & Soccol, C. R. (2003). Production of *Monascus* biopigments: An overview. *Agro Food Industry Hi Tech*, 14(6), 37-42.
- Charoenphun, N., Setarnawat, S., & Sai-Ut, S. (2020) Chemical composition and trends in utilization of by-products and wastes from 4 types of tropical fruit processing. *Thai Science and Technology Journal*, 28(1), 113-128. (In Thai)
- Chatterjee, S., Maity, S., Chattopadhyay, P., Sarkar, A., Laskar, S., & Sen, S. K. (2009). Characterization of red pigment from *Monascus* in submerged culture red pigment from *Monascus purpureus*. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(12), 2102-2108.
- Department of Fisheries. (2021). *Action plan for the development of economically important freshwater animals (2022-2027)*. Ministry of Agriculture and Cooperatives: Bangkok. (In Thai)
- Eadmusik, S. (2014). Utilization of agriculture residues from *Monascus* fermentation. *Khon Kean University Research Journal*, 19(1), 92-106. (In Thai)

- Endo, A. M. K. (1979). A new hypocholesterolemic agent produced by a *Monascus* species. *The Journal of Antibiotics*, 32(8), 852-854.
- Gao, J. M., Yang, S. X., & Qin, J. C. (2013). Azaphilones: chemistry and biology. *Chemical Reviews*, 113(7), 4755-4811.
- James, K. D. (2017). Animal metabolites: from amphibians, reptiles, aves/birds, and invertebrates. In: S. Badal & R. Delgoda (Eds.), *Pharmacognosy* (pp. 401-411). Academic Press.
- Kanokrung, A. & Watanadilok, R. (2016). Study on carotenoid pigment in 2 species of wild mandarin fish, *Synchiropus splendidus* and *Synchiropus picturatus*. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44, (Suppl. 1), 675-681. (In Thai)
- Lommetta, K., Paewchum, S., Koolkalya, S., & Matchakuea, U. (2016). The use of ground dried durian peel and durian seeds instead of broken rice in fish feed formula for common carp (*Cyprinus carpio* Linn.). *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 10(2), 109-117. (In Thai)
- Liu, J., Zhang, Y., & Wang, H. (2024). Harnessing hue: Advances and applications of fish skin coloration in aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 9(6), 220. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.01.009>
- Mapari, S. A. S., Nielsen, K. F., Larsen, T. O., Frisvad, J. C., Meyer, A. S., & Thrane, U. (2005). Exploring fungal biodiversity for the production of water-soluble pigments as potential natural food colorants. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2), 231-238.
- Muisee, K., & Janthasit, K. (2021). Study of thermal properties of briquette charcoal from mothing durian shell. *Journal of Science and Technology RMUTSB*, 5, 55-62. (In Thai)
- Mirč, M., Vukov, T., Kijanović, A., & Tomašević Kolarov, N. (2023). Effects of background color on pigmentation, morphological traits, and behavior in the European tree frog (*Hyla arborea*, Hylidae, Anura) tadpoles. *Contributions to Zoology*, 92(2), 112-129.
- Mungmai, L., Kanokwattananon, C., Thakang, S., Nakkrathok, A., Srisuksomwong, P., & Tanamatayarat, P. (2023). Physicochemical properties, antioxidant and anti-tyrosinase activities of *Durio zibethinus* Murray and value added for cosmetic product formulation. *Cosmetics*, 10(3), 87.
- Nguyen, T. A., & Nguyen, T. N. (2025). Green evolution: advancing epoxy composite materials with durian peel fiber innovation. *Trends in Sciences*, 22(2), 9099-9099.
- Ninlanon, W., Puttame, K., Sawasdikarn, J., Muisee, K., & Srialong, P. (2021). Development of packaging from durian rind fibers using bleached and unbleached fibers. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 40(6), 422-429. (In Thai)
- Park, C., No, S., Yoo, S., Oh, D., Hwang, Y., Kim, Y., & Kang, C. (2023). Testing multiple hypotheses on the colour change of treefrogs in response to various external conditions. *Scientific Reports*, 13, 4203, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31262-y>
- Pisuttharachai, D., Sangkhonkhet, N., Nalinanon, W., & Lerdsuwan, S. (2025). Effect of dietary supplementation with *Durio zibethinus* Murr. cv. Monthong rind on the hematology and innate immune response against *Aeromonas hydrophila* in red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 28(1), e255332-e255332.
- Polsa, N., Chaweewan, K., Sangwijit, K., Suebsan, S., & Anuntalabhochai, S. (2021). Effect of fermented durian peel by modified bacteria on growth performance and carcass quality of growing-finishing pigs. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(6), 1609-1617. (In Thai)

- Radovanović, T. B., Petrović, T. G., Gavrilović, B. R., Despotović, S. G., Gavrić, J. P., Kijanović, A., Mirč, M., Tomašević Kolarov, N., Vukov, T., & Prokić, M. D. (2023). What coloration brings: Implications of background adaptation to oxidative stress in anurans. *Frontiers in Zoology*, 20(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s12983-023-00486-z>
- Saman, J., & Thiammueang, D. (2021). Marketing competitive potential on frog culture in Chiangmai Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(Suppl. 1), 602-606. (In Thai)
- Safari, O., Davoudi-Sefidkahi, F., Paolucci, M., & Noshahri, N. G. (2025). Evaluating the impact of *Monascus purpureus* pigment supplementation in the diet on growth performance, fillet color, hemolymph composition, and stress resistance in narrow-clawed crayfish (*Pontastacus leptodactylus*). *Aquaculture International*, 33(5), 1-25.
- Saueprasearsit, P., Kaewsawing, S., & Thitkrathok, A. (2020). Bio-coal and green fuel production from durian peel. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 39(5), 580-586. (In Thai)
- Shepherd, D. (1977). The relationship between pigment production and sporulation in *Monascus*. *Biotechnology and Fungal Differentiation*, (4), 103.
- Shi, Y. C., & Pan, T. M. (2011). Beneficial effects of *Monascus purpureus* NTU 568-fermented products: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90, 1207-1217.
- Silveira, S. T., Daroit, D. J., & Brandelli, A. (2008). Pigment production by *Monascus purpureus* in grape waste using factorial design. *LWT-Food Science and Technology*, 41(1), 170-174.
- Silveira, S. T., Daroit, D. J., Sant'Anna, V., & Brandelli, A. (2013). Stability modeling of red pigments produced by *Monascus purpureus* in submerged cultivations with sugarcane bagasse. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1007-1014.
- Song, F., Xu, D., & Li, Q. (2022). Body coloration and its economic importance in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 14(4), 1780-1796.
- Srianta, I., Hendrawan, B., Kusumawati, N., & Blanc, P. J. (2012). Study on durian seed as a new substrate for angkak production. *International Food Research Journal*, 19(3), 941-945.
- Suwanposri, A., Charoensuk, K., Kongroi, K., Wetchagool, N., Wetchagool, W., & Thipsirach, S. (2025). Effect of supplementing red pigment from *Monascus* sp. fermented native black rice (Maepayathong Dum Rice) on production performance and egg quality in laying hens. *International Journal of Agricultural Technology*, 21(3), 1197-1210.
- Thip-Uten, T., Tippiyawat, P., Yuangsoi, B., & Wongmaneeprateep, S. (2021). Dietary spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation on growth performance, haematology, immune response and disease resistance of Rugose frog (*Hoplobatrachus rugulosus*). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15(3), 1139-1149. (In Thai)
- Thip-Uten, T., Patchanee, N., Phromthep, A., Butna, A., Chueahan, C., Kaipaiwan, O., & Thip-uten, S. (2023). Effect of dried bakery yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth performance and survival rate of Rugosed Frog (*Hoplobatrachus rugulosus*) raising in cement pond. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 51(Suppl. 1), 338-344. (In Thai)
- Thongprajukaew, K., Kovitvadhi, U., Somsueb, P., & Kovitvadhi, S. (2013). Effects of red monascal rice supplementation on growth, digestive function and oocyte maturation in Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910). *African Journal of Biotechnology*, 12(45), 6400.
- Velmurugan, P., Hur, H., Balachandar, V., Kamala-Kannan, S., Lee, K. J., Lee, S. M., Chae, J. C., Shea, P. J., & Oh, B. T. (2011). *Monascus* pigment production by solid-state fermentation with corn cob substrate. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 112(6), 590-594.

- Wang, P., Wang, S., Zhu, C., Sun, Y., Yan, Q., & Yi, G. (2024). *Monascus purpureus* M-32 fermented soybean meal improves the growth, immunity parameters, intestinal morphology, disease resistance, intestinal microbiota and metabolome in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animal Nutrition*, 17, 283-296.
- Wang, S. L., Yen, Y. H., Tsiao, W. J., Chang, W. T., & Wang, C. L. (2002). Production of antimicrobial compounds by *Monascus purpureus* CCRC31499 using shrimp and crab shell powder as a carbon source. *Enzyme and Microbial Technology*, 31(3), 337-344.
- Wong, H. C., & Koehler, P. E. (1981). Production and isolation of an antibiotic from *Monascus purpureus* and its relationship to pigment production. *Journal of Food Science*, 46(2), 589-592.
- Wongkhan, T. (2016, July 10). *Raising frogs to get good weight and golden yellow skin to meet the market need*. Millionaire Livestock.
<https://www.rakbankerd.com/agriculture/print.php?id=6314&s=tblanimal>
- Yaowanarat, K. (2016, July 9). *Raising frogs to get good weight, golden yellow skin and get in demand in the market*. <https://www.rakbankerd.com/agriculture/print.php?id=6314&s=tblanimal>
- Yongsmith, B., Krairak, S., & Bavavoda, R. (1994). Production of yellow pigments in submerged culture of a mutant of *Monascus* spp. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 78(3), 223-228.