

จลนพลศาสตร์ของความคงตัวและผลกระทบของรงควัตถุจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ที่ใช้เป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกไก่

Kinetics of Stability and Pigment Effects from *Monascus* sp. YRU01 Used as a Food Coloring in Chicken Sausages

ยาสมิ เลหาสกุล^{1*} อาชียัน กอเดร์¹ โซเฟียณี สามเ¹ และนุชนนทร ตาเยะ²
Yasmi Louhasakul^{1*} Asiyan Kode¹ Sofianee Samae¹ and Nutchaneet Tayeh²

¹หลักสูตรชีววิทยาเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

¹Biological Technology and Innovation program, Faculty of Science Technology and Agriculture,
Yala Rajabhat University, Yala, 95000 Thailand

²Food Science and Technology Program, Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, 95000 Thailand

*Corresponding author, email address: yasmi.lo@yru.ac.th

(Received: Apr 11, 2023; Revised: Aug 18, 2023; Accepted: Sep 4, 2023)

บทคัดย่อ

ความคงตัวของสีและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของสีที่สภาวะแปรรูปต่าง ๆ มีความสำคัญต่อการประยุกต์สีกับอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของพีเอชและอุณหภูมิต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 เพื่อประยุกต์สีเป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกไก่ โดยศึกษาค่าพีเอชในช่วงครอบคลุมช่วงค่าพีเอชอาหารแปรรูปชนิดกรดสูงและกรดต่ำ (พีเอช 3.0 – 8.0) และศึกษาอุณหภูมิที่ครอบคลุมอุณหภูมิอาหารแปรรูป (-20 0 63 100 และ 121 องศาเซลเซียส) จากการศึกษาพบว่าสีมีความคงตัวสูงที่พีเอช 7.0 - 8.0 โดยให้ค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึง 16 - 29 วัน และมีความคงตัวสูงที่อุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึง 4 เดือน อีกทั้งยังมีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง 63 - 100 องศาเซลเซียส สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์สีเป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกไก่ ซึ่งพบว่าการเติมสีทำให้ไส้กรอกไก่อมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และยังได้คะแนนการยอมรับทางด้านสีและกลิ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการวิจัยบ่งชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ที่สามารถใช้เป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารได้

คำสำคัญ: *Monascus* sp. รงควัตถุ สีผสมอาหาร ความคงตัว ไส้กรอกไก่

Abstract

Color stability and the factors affecting the stability at various processing conditions are crucial for color application in food. Therefore, this research aims to evaluate the effect of pH and temperature on *Monascus* sp. YRU01 pigment stability in order to apply the pigment as a food coloring in chicken sausages. The pH covering acidified and low-acid foods (pH 3.0 – 8.0) and the temperature covering food processing temperature (-20, 0, 63, 100, and 121 °C) were studied. The pigment was highly stable at pH 7.0 - 8.0 with a half-life of 16 - 29 days and greatly stable at 0 °C with a half-life of 4 months. In addition, it was favorably stable at high temperature of 63 - 100 °C. These demonstrated the possibility of the pigment application as a food coloring in chicken sausages. It was found that the addition of pigment significantly increased the redness (a^*) of chicken sausage ($p \leq 0.05$) and also significantly increased color and odor acceptance scores ($p \leq 0.05$). The results indicated the potential of *Monascus* sp. YRU01 pigment could be used as a food coloring in food products.

Keywords: *Monascus* sp., pigment, food coloring, stability, chicken sausages

บทนำ

ปัจจุบันการใช้สีผสมอาหารที่ได้จากธรรมชาติได้รับความนิยมมากกว่าสีสังเคราะห์เนื่องจากความตระหนักของผู้บริโภคที่เกี่ยวกับปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น (Nwoba *et al.*, 2020) โดยพบอัตราความต้องการใช้สีธรรมชาติของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 ต่อปี (Sen *et al.*, 2019) สีธรรมชาติสามารถผลิตได้จากพืชและจุลินทรีย์ แต่จุลินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าพืช เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วในพื้นที่จำกัดและไม่ขึ้นกับฤดูกาล (Louhasakul *et al.*, 2023) จุลินทรีย์ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้เพื่อผลิตสีผสมอาหารอย่างแพร่หลายในเอเชียคือเชื้อรา *Monascus* sp. ซึ่งเป็นราอาหารชนิดที่ปลอดภัย สามารถผลิตสารสีแดง สีเหลือง และสีส้ม ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลสารสี 6 ชนิด ได้แก่ monascin ankaflavin rubropunctatin monascorubrin rubropunctamine และ monascorubramine ที่มีรายงานเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ด้านการอักเสบ ด้านมะเร็ง ด้านจุลินทรีย์ และด้านอนุมูลอิสระ (He *et al.*, 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้สีจากเชื้อรา *Monascus* sp. ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ปลา เนยแข็ง เบียร์ ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและยา (Vendruscolo *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้สีธรรมชาติเป็นสีผสมอาหารคือความไวและความไม่เสถียรต่อสภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหาร เช่น อุณหภูมิ ออกซิเดชัน และพีเอช มากกว่าสีสังเคราะห์ (Abdollahi *et al.*, 2021) จึงมีการศึกษาความคงตัวของสีและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของสี การเปลี่ยนแปลงของสีในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร และวิธีการทำให้สีมีความคงตัว (Rodriguez-Amaya, 2016) นอกจากนี้การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงพฤติกรรมทางกายภาพในการประเมินและทำนายการสลายตัวของสีเป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้งานอย่างแพร่หลาย (Silveira *et al.*, 2013) สำหรับกรรมวิธีการผลิตไส้กรอกนั้นมักนิยมเติมสารทำให้เกิดสีแดง เช่น ไนไตรท์ ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับเอมีนหรือเอไมต์ในเนื้อไก่ และทำให้เกิดสารประกอบ N-nitroso (NOCs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ (Zhong *et al.*, 2022) ทำให้ผู้บริโภคมีความกังวลถึงผลกระทบทางพิษวิทยาของสารเติมแต่งสังเคราะห์ ดังนั้นจึงมีความพยายามแทนที่สารปรุงแต่งสังเคราะห์ด้วยสารประกอบจากธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีภาพลักษณ์ที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น (Mercadante *et al.*, 2010) มีรายงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาเกี่ยวกับการเติมสีจากเชื้อราโมแนสคัสในไส้กรอก เช่น การเติมสีจากเชื้อราโมแนสคัสในไส้กรอกฟิลิปปินส์ (Longganisa) การเติมสีจากเชื้อราโมแนสคัสในไส้กรอกเนื้ออียิปต์ การเติมสีจากเชื้อราโมแนสคัสในไส้กรอกโบโลน่า และการเติมสีจากเชื้อราโมแนสคัสในไส้กรอกจีน (Chen *et al.*, 2015)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอชและอุณหภูมิต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01
2. เพื่อศึกษาผลการเติมสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในไส้กรอกไก่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสปอร์เชื้อรา และการหมักผงสีภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

นำเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 (Accession No. MT605235) มาเพาะเลี้ยงบนอาหารวุ้นแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA) ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน เติมน้ำตาลละลายผสมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ลงไปในขวดที่มีเชื้อราเจริญอยู่ แล้วนำเข็มเย็บเชื้อชุดชงสปอร์ จากนั้นเปิดสารละลายไปนับจำนวนสปอร์ด้วยวิธี Direct microscopic counts โดยดัดแปลงจากวิธีของ Wanichsan *et al.* (2558) เพื่อควบคุมปริมาณเชื้อราเริ่มต้นให้ได้เท่ากับ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร แล้วนำไปหมักผงสีภายใต้สภาวะที่เหมาะสมตามวิธีการในอนุสิทธิบัตร คำขอเลขที่ 2103000803 แล้วนำผงสีไปวัดค่าสีโดยตรงด้วยเครื่อง Hunter Lab ระบบ L*, a*, b* (Color Aqua Lab s3600090, Hunter Associate Laboratory, VA, USA)

2. การสกัดสี

นำผงสีมาสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อสารละลายเอทานอลเท่ากับ 1:5 โดยปริมาตร จากนั้นนำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 7,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (Kantifedaki *et al.*, 2018)

3. การศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

นำสารละลายสีที่ผ่านการสกัดและเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมไปปรับพีเอชด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M ให้ครอบคลุมช่วงค่าพีเอชอาหารแปรรูปชนิดกรดสูงและ

กรดต่ำเท่ากับ 3.0 – 8.0 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 7 วัน โดยมีสารละลายสีที่ไม่ผ่านการปรับพีเอชเป็นชุดควบคุม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณสีเหลือง สีส้ม และสีแดงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV5 Excellence, Mettler Toledo, Switzerland) ที่ความยาวคลื่น 400 475 และ 500 นาโนเมตร ตามลำดับ (Yadav & Prabha, 2014)

4. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของสารสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

นำสารละลายสีที่ผ่านการสกัดและเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมไปให้ความเย็นและความร้อนในช่วงอุณหภูมิที่ครอบคลุมอุณหภูมิอาหารแปรรูป ได้แก่ แช่แข็ง (0 องศาเซลเซียส และ -20 องศาเซลเซียส) พาสเจอร์ไรซ์ (63 องศาเซลเซียส) ต้ม (100 องศาเซลเซียส) และสเตอริไลซ์ (121 องศาเซลเซียส) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิแช่แข็ง เก็บตัวอย่างทุกเดือนเป็นเวลา 6 เดือน และที่อุณหภูมิพาสเจอร์ไรซ์ ต้ม และสเตอริไลซ์ เก็บตัวอย่างทุก 10 นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยมีสารละลายสีที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณสีที่ขึ้นชุดควบคุม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณสีเหลือง สีส้ม และสีแดงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV5 Excellence, Mettler Toledo, Switzerland) ที่ความยาวคลื่น 400 475 และ 500 นาโนเมตร ตามลำดับ (Yadav & Prabha, 2014)

5. การศึกษาผลของการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในไส้กรอกไก่

เลือกซื้อเนื้อไก่ส่วนอกไก่ที่มีลักษณะเนื้อแน่น ไม่ซีด ผิวตึงไม่เหี่ยวย่น เมื่อใช้นิ้วแตะต้องไม่เป็นรอยบุ๋มตามแรงกด และไม่มีการเปลี่ยนสีเมื่อมีเมือกที่ผิวเนื้อจากตลาดรถไฟ จังหวัดยะลา จากนั้นบรรจุลงในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส แล้วนำมาล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นบดเนื้อไก่ให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อมือหมุน แล้วนำเนื้อไก่บดมาผสมกับเครื่องปรุง คือ กระเทียมบด และส่วนผสมแห้ง ได้แก่ เกลือป่น น้ำตาลทราย พริกไทยป่น ผงชูรส และผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 โดยทำการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกไก่ (Serirat *et al.*, 2019 with modification)

ส่วนผสม (ร้อยละ)	ปริมาณผงสี (ร้อยละ)			
	0	4	8	10
เนื้อไก่บด	100	100	100	100
เกลือป่น	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำตาลทราย	1.9	1.9	1.9	1.9
พริกไทยป่น	1.0	1.0	1.0	1.0
ผงชูรส	0.2	0.2	0.2	0.2
กระเทียมบด	1.0	1.0	1.0	1.0

จากนั้นนำส่วนผสมที่คลุกเคล้าเข้ากันแล้วมาอัดใส่ในไส้เทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่ผูกปลายด้านหนึ่งไว้ โดยเมื่ออัดส่วนผสมจนไส้กรอกมีขนาดความยาว 20 เซนติเมตร ให้ตัดไส้เทียมโดยใช้กรรไกรแล้วผูกปลายปิดอีกด้าน ทำเช่นเดียวกันจนส่วนผสมหมด ทำการทดลองสูตรละ 3 ซ้ำ แล้วนำไส้กรอกไก่แต่ละสูตรและไส้กรอกไก่ทางการค้า ตรา BKP และตราไก่ฟาร์มไปวัดค่าสีก่อนและหลังนึ่งโดยวัดสีเนื้อด้านนอกโดยตรงด้วยเครื่อง Hunter Lab ระบบ L*, a*, b* (Color Aqua Lab s3600090, Hunter Associate Laboratory, VA, USA) และนำไส้กรอกไก่หลังนึ่งแต่ละสูตรและไส้กรอกไก่ทางการค้า ตรา BKP และตราไก่ฟาร์มไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแข็งแรง (Hardness) ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) แบบ Texture Profile Analysis (TPA) โดยวัดสีเนื้อด้านนอกโดยตรงด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (CT3 Texture Analyzer, Brookfield Ametex, USA) ใช้หัววัดชนิด Spherical probe (TA18, 12.7mm BALL PROBE) ด้วย Trigger load 5 นิวตัน Test speed 2 มิลลิเมตรต่อวินาที และ Distance 20 มิลลิเมตร (Choothin *et al.*, 2022)

6. จลนพลศาสตร์ของความคงตัวของสี

คำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์ของสี ได้แก่ ค่าการสลายตัวของสี (pigment degradation) และค่าครึ่งชีวิตของสี (Half-life) ดัดแปลงตามวิธีของ Abdollahi *et al.* (2021) โดยสร้างแผนภูมิลอการิทึมของปริมาณสีกับเวลาตามสมการดังนี้

$$\ln \frac{dA}{dt} = -D_p \cdot t$$

เมื่อ A คือปริมาณสี (UA/g) t คือเวลา และ D_p คือความชันของกราฟหรือค่าการสลายตัวของสี และคำนวณหาค่าครึ่งชีวิตของสีตามสมการดังนี้

$$t_{1/2} = \frac{\log 2}{D_p}$$

เมื่อ $t_{1/2}$ และ D_p คือครึ่งชีวิต และค่าการสลายตัวของสี ตามลำดับ

7. การประเมินสีและกลิ่น

ประเมินสีและกลิ่นโดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกและอบรมให้ความรู้จำนวน 30 คน ซึ่งจำนวนตัวอย่างอย่างน้อยต้องไม่ต่ำกว่า 30 ตัวอย่างเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมีการกระจายแบบปกติตามหลักการคำนวณ Central limit theorem (Chang *et al.*, 2006) โดยผู้ทดสอบชิมแต่ละท่านจะทำการประเมินได้กรอกไปจำนวน 4 สูตร ดังตารางที่ 1 และให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ลงในแบบประเมินที่ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ที่ SCPHYLIRB-2565/129 โดยแบ่งระดับความพึงพอใจและการให้คะแนนคือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบ ปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด (Wichchukit & O'Mahony, 2015)

8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทุกชุดการทดลองทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ ยกเว้นการวิเคราะห์สีและกลิ่นเป็นการวางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) แล้วนำข้อมูลผลการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลด้วย Analysis of variance (ANOVA) โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) (Nacak *et al.*, 2021).

ผลการวิจัย

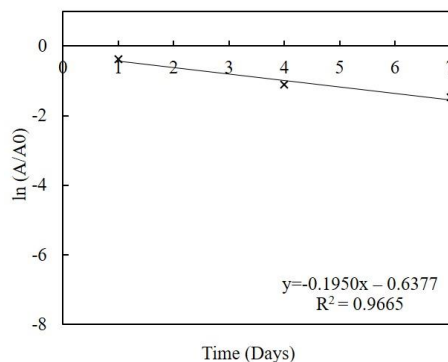
1. อิทธิพลของพีเอชต่อสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

จากการศึกษาอิทธิพลของพีเอชในช่วงค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมพีเอชในช่วงอาหารแปรรูปชนิดกรดสูงและกรดต่ำคือ 3.0 – 8.0 ต่อความคงตัว การสลายตัว และครึ่งชีวิตของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 พบว่า ค่าพีเอชที่ทำให้สีมีความคงตัวมากที่สุดคือพีเอช 8.0 โดยให้ค่าการสลายตัวของสีต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0248 ± 0.005 และให้ค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึง 29 วัน (ภาพที่ 1 และตารางที่ 2) สีมี่ความคงตัวลดลงในช่วงพีเอชเท่ากับ 3.0 – 5.0 ซึ่งทำให้ค่าครึ่งชีวิตของสีในช่วงพีเอชดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 10 วัน (ภาพที่ 1 และตารางที่ 2)

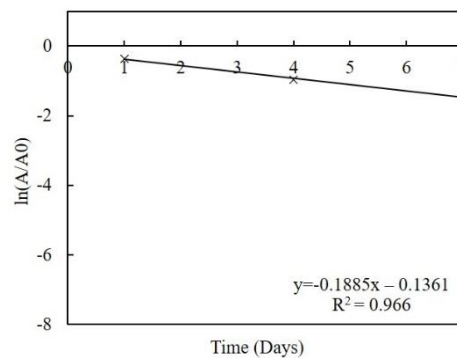
ตารางที่ 2 จลนพลศาสตร์ของอิทธิพลของพีเอชค่าต่าง ๆ ต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

พีเอช	การสลายตัวของสี (D_p)	ครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)
3.0	0.1950 ± 0.038	3.65 ± 0.53 วัน
4.0	0.1885 ± 0.009	3.68 ± 0.16 วัน
5.0	0.0834 ± 0.006	8.34 ± 0.57 วัน
6.0	0.0663 ± 0.017	11.63 ± 1.11 วัน
7.0	0.0423 ± 0.002	16.42 ± 0.57 วัน
8.0	0.0248 ± 0.005	28.79 ± 5.20 วัน

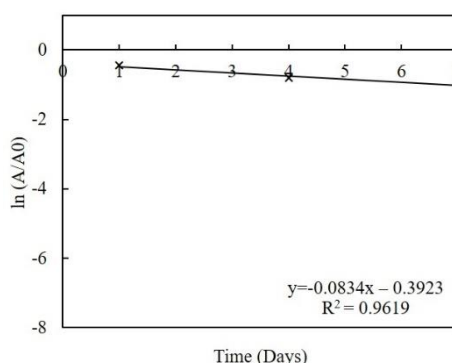
pH 3.0



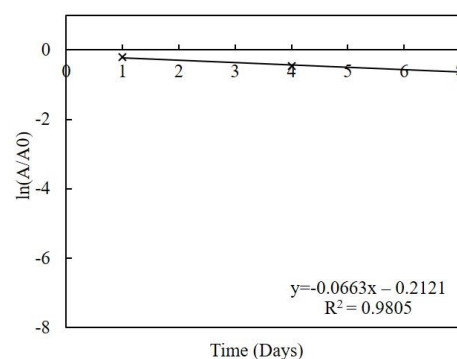
pH 4.0



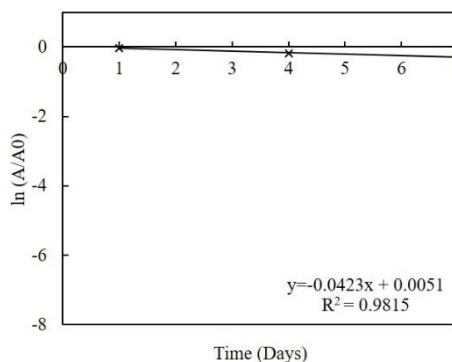
pH 5.0



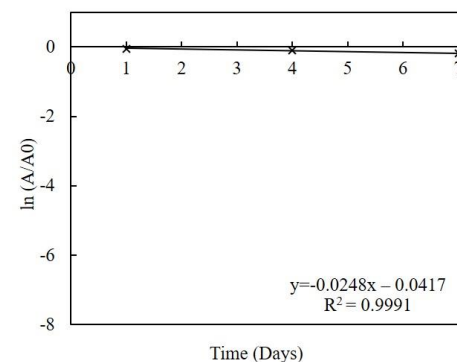
pH 6.0



pH 7.0



pH 8.0

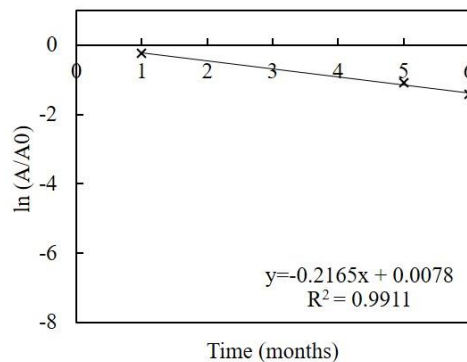


ภาพที่ 1 จลนพลศาสตร์ของอิทธิพลของพีเอชค่าต่าง ๆ ต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

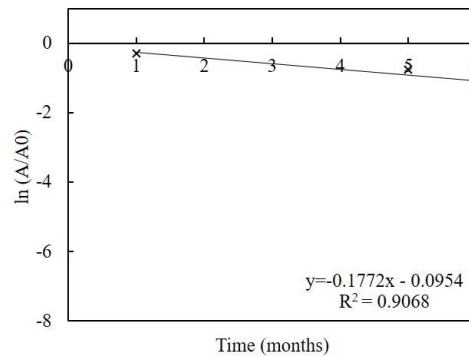
2. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในช่วงที่แตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมอุณหภูมิของอาหารแปรรูป ได้แก่ แซ่เยือกแข็ง (-20 องศาเซลเซียส) แซ่แข็ง (0 องศาเซลเซียส) พาสเจอร์ไรซ์ (63 องศาเซลเซียส) ต้ม (100 องศาเซลเซียส) และสเตอริไลซ์ (121 องศาเซลเซียส) ต่อความคงตัว การสลายตัว และครึ่งชีวิตของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 พบว่าอุณหภูมิในช่วงค่าเย็นที่ทำให้สีมีความคงตัวมากที่สุดคือ 0 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าการสลายตัวของสีต่ำที่สุดเท่ากับ 0.18 ± 0.023 และให้ค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึง 4 เดือน (ภาพที่ 2 และตารางที่ 3) ขณะที่อุณหภูมิในช่วงค่าร้อนที่ทำให้สีมีความคงตัวมากที่สุดคือ 63 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ 100 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าการสลายตัวของสีต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0059 ± 0.0009 และ 0.0091 ± 0.0010 ตามลำดับ และให้ค่าครึ่งชีวิตมากกว่า 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 2 และตารางที่ 3)

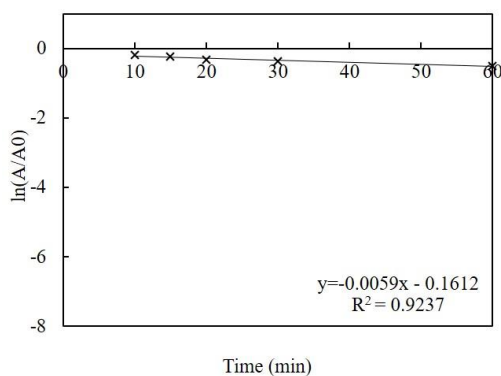
-20°C (แช่เยือกแข็ง)



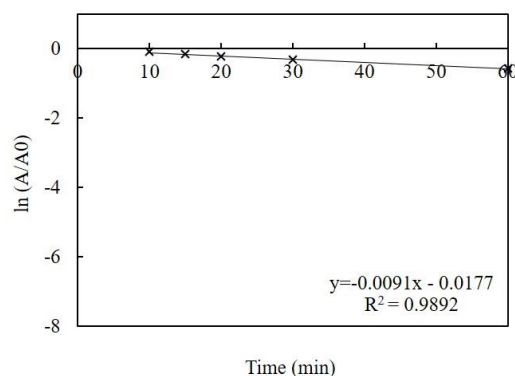
0°C (แช่แข็ง)



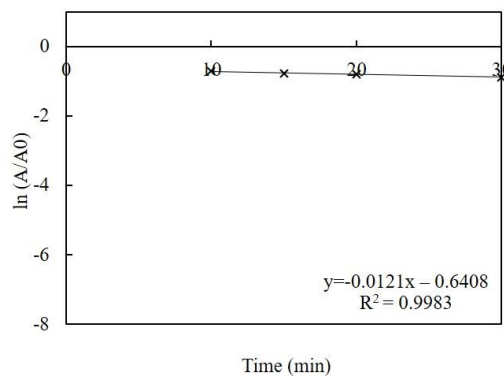
63°C (พาสเจอร์ไรซ์)



100°C (ต้ม)



121°C (สเตอริไลซ์)



ภาพที่ 2 จลนพลศาสตร์ของอิทธิพลของอุณหภูมิค่าต่าง ๆ ต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

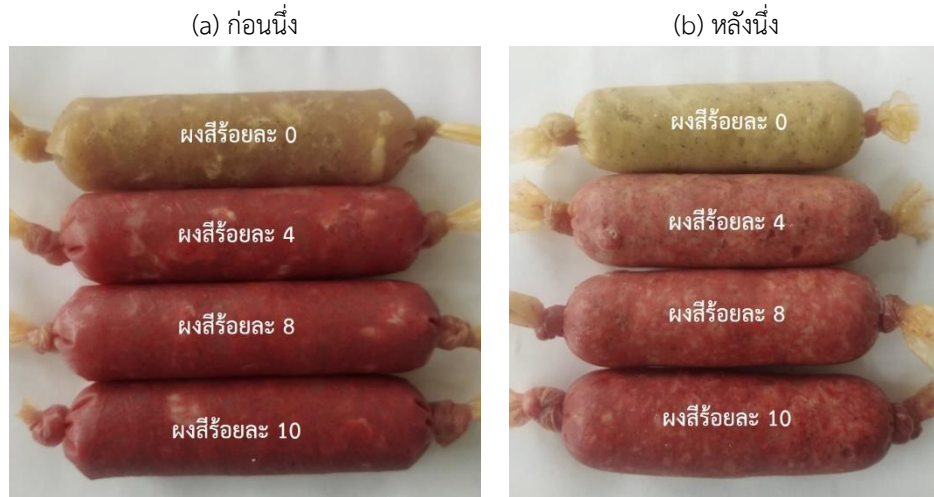
ตารางที่ 3 จลนพลศาสตร์ของอิทธิพลของอุณหภูมิค่าต่าง ๆ ต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01

อุณหภูมิ (°C)	การสลายตัวของสี (D_p)	ครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)
-20 (แช่เยือกแข็ง)	0.22 ± 0.023	3.23 ± 0.34 เดือน
0 (แช่แข็ง)	0.18 ± 0.023	3.96 ± 0.49 เดือน
63 (พาสเจอร์ไรซ์)	0.0059 ± 0.0009	119.91 ± 17.54 นาที
100 (ต้ม)	0.0091 ± 0.0010	76.71 ± 8.20 นาที
121 (สเตอริไลซ์)	0.012 ± 0.0036	63.03 ± 23.55 นาที

หมายเหตุ: 121 องศาเซลเซียส มีแรงดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3. การศึกษาผลของการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในไส้กรอกไก่

จากการศึกษาผลของการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในไส้กรอกไก่ โดยเติมผงสีเริ่มต้นร้อยละ 0 4 7 และ 10 โดยน้ำหนัก ลงในส่วนผสมดังตารางที่ 1 พบว่าการเติมผงสีทำให้ไส้กรอกไก่มีสีแดงขึ้น (ภาพที่ 3a) อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านการนึ่งให้ความร้อนทำให้ไส้กรอกไก่มีสีจางลง (ภาพที่ 3b)



ภาพที่ 3 ไส้กรอกไก่ที่เติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในปริมาณต่าง ๆ

จากการเติมผงสีทำให้ไส้กรอกไก่มีค่า L^* (ค่าความสว่าง) ลดลง และมีค่า a^* (ค่าสีแดง) เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) โดยไส้กรอกไก่ก่อนนึ่งให้ค่า a^* และ b^* (ค่าสีเหลือง) สูงกว่าไส้กรอกไก่หลังนึ่ง ขณะที่ไส้กรอกไก่หลังนึ่งให้ค่า L^* สูงกว่าไส้กรอกไก่ก่อนนึ่ง (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ไส้กรอกไก่ที่เติมผงสีร้อยละ 4 หลังจากนึ่งแล้วให้ค่าสีแดง (a^*) ไม่แตกต่างจากไส้กรอกไก่ทางการค้า (Control 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ขณะที่ไส้กรอกไก่ที่เติมผงสีร้อยละ 10 หลังจากนึ่งแล้วให้ค่าสีแดง (a^*) ไม่แตกต่างจากไส้กรอกไก่ทางการค้า (Control 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4 ค่าสีของไส้กรอกไก่ที่มีการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในปริมาณต่าง ๆ

ค่าสี	ปริมาณผงสี (ร้อยละ)				Control 1	Control 2
	0	4	8	10		
ก่อนนึ่ง						
L*	48.55±0.37 ^a	39.67±1.86 ^b	27.08±1.05 ^c	28.43±1.39 ^c	-	-
a*	4.46±0.49 ^c	25.12±0.97 ^b	26.10±0.15 ^b	28.26±1.00 ^a	-	-
b*	17.42±0.35 ^a	17.92±0.91 ^a	16.91±0.48 ^a	17.58±1.18 ^a	-	-
หลังนึ่ง						
L*	61.04±0.66 ^a	43.62±1.16 ^c	37.91±0.55 ^d	32.99±1.28 ^e	52.28±0.20 ^b	36.62±1.31 ^d
a*	2.46±0.49 ^d	21.20±1.29 ^c	22.91±0.84 ^b	25.63±1.26 ^a	19.22±0.22 ^c	26.36±0.40 ^a
b*	15.47±1.68 ^{bc}	15.27±0.93 ^b	12.61±0.55 ^d	14.77±0.92 ^c	35.93±0.25 ^a	12.79±0.37 ^d

หมายเหตุ : การทดลองนี้ใช้ผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ที่ให้ค่าสีเท่ากับ L^* a^* และ b^* เท่ากับ 9.67±0.72 24.41±0.37 และ 15.45±0.01 ตามลำดับ และให้ปริมาณสีเหลือง สีส้ม และสีแดง เท่ากับ 7.27±0.14 5.69±0.09 และ 6.89±0.20 UA/gds ตามลำดับ
Control 1 และ Control 2 คือ ไส้กรอกไก่ ตรา BKP และ ไส้กรอกไก่ ตราไก่ฟาร์ม ตามลำดับ
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) และตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การเติมผงสีร้อยละ 4 ทำให้ไส้กรอกไก่มีค่าความยืดหยุ่น (Springiness) เท่ากับ 2.99 ± 0.52 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากไส้กรอกไก่ที่ไม่เติมผงสี ไส้กรอกไก่ทางการค้า (Control 1) และไส้กรอกไก่ทางการค้า (Control 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 5) นอกจากนี้ไส้กรอกไก่ที่เติมผงสีร้อยละ 4 มีค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) และการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) ไม่แตกต่างจากไส้กรอกไก่ที่ไม่เติมผงสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ลักษณะเนื้อสัมผัสทางกายภาพของไส้กรอกไก่ที่มีการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในปริมาณต่าง ๆ

คุณลักษณะ	ปริมาณผงสี (ร้อยละ)				Control 1	Control 2
	0	4	8	10		
Hardness (N)	15.54 ± 0.11^c	12.45 ± 0.09^d	11.71 ± 0.30^e	9.50 ± 0.01^f	16.09 ± 0.27^a	14.96 ± 0.01^b
Cohesiveness	0.76 ± 0.01^c	0.75 ± 0.03^c	0.67 ± 0.03^d	0.66 ± 0.02^d	0.97 ± 0.02^a	0.88 ± 0.01^b
Springiness (mm)	3.02 ± 0.38^{ab}	2.99 ± 0.52^{ab}	2.57 ± 0.24^b	1.64 ± 0.19^c	3.74 ± 0.05^a	3.61 ± 0.01^a
Chewiness (g/mm)	$3,675 \pm 0.84^c$	$3,523 \pm 0.05^c$	$2,366 \pm 0.93^d$	$1,488 \pm 0.86^e$	$5,907 \pm 0.96^a$	$4,833 \pm 0.75^b$

หมายเหตุ : Control 1 และ Control 2 คือ ไส้กรอกไก่ ตรา BKP และ ไส้กรอกไก่ ตราไก่ฟาร์ม ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) และตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการประเมินสีและกลิ่นของไส้กรอกไก่ที่เติมและไม่เติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 โดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกและอบรมให้ความรู้จำนวน 30 คน พบว่าการเติมผงสีในไส้กรอกไก่ที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ได้คะแนนการยอมรับทางด้านสีและกลิ่นมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 7.27 ± 1.44 และ 6.93 ± 1.44 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าสีและกลิ่นของไส้กรอกไก่ที่มีการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ในปริมาณต่าง ๆ โดยผู้ทดสอบ

คุณลักษณะ	ปริมาณผงสี (ร้อยละ)			
	0	4	8	10
สี	5.83 ± 1.32^c	7.27 ± 1.44^a	6.30 ± 0.95^b	4.77 ± 1.89^d
กลิ่น	6.30 ± 1.21^b	6.93 ± 1.44^a	6.63 ± 1.13^b	5.20 ± 1.58^c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) และตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อภิปรายผลการวิจัย

การประเมินความคงตัวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อศักยภาพในการประยุกต์สารที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ในเชิงพาณิชย์หรือในระดับอุตสาหกรรม เช่นเดียวกันกับการสลายตัวของสีที่สภาวะแปรปรวนต่าง ๆ มีความสำคัญต่อเป้าหมายในการนำไปใช้กับอาหาร (Silveira *et al.*, 2013) จากการศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 พบว่า สีมีความคงตัวสูงที่พีเอช 8.0 โดยมีค่าการสลายตัวต่ำสุดและมีค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึง 29 วัน แต่พีเอชในช่วง 3.0 – 5.0 ทำให้สีมีการสลายตัวได้เร็วขึ้นและมีค่าครึ่งชีวิตในช่วง 3 – 8 วัน เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลสีโดยเฉพาะโมเลกุลสารสีแดง ได้แก่ Monascorubramine และ Rubropunctamine ไม่เสถียรจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสภาวะที่พีเอชเป็นกรดสูง ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของพันธะเอสเทอร์และทำให้โมเลกุลบางส่วนจับตัวกันและตกตะกอน (de Oliveira *et al.*, 2022) สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Silveira *et al.* (2013) ที่ได้ศึกษาความคงตัวของสีจาก *M. purpureus* พบว่า สีมีความคงตัวสูงที่พีเอชเป็นกลาง (6.0 – 8.0) และมีความคงตัวลดลงที่พีเอชเป็นกรด (4.0 – 5.0) นอกจากนี้จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 พบว่า สีมีความคงตัวสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการสลายตัวต่ำสุดและมีค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึง 4 เดือน และยังมีค่าคงตัวได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aksorn *et al.* (2013) ที่ได้รายงานว่า สีแดงจากเชื้อราโมแนสคัสมีความคงตัวและทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 40 – 100 องศาเซลเซียส ได้ และให้ความคงตัวได้ดีกว่าสารสีมาตรฐาน Wisdom red และ Carophyll red นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silveira *et al.* (2013) ที่ได้รายงานว่า สีมีความคงตัวสูงที่อุณหภูมิต่ำ (30 – 60 องศาเซลเซียส) และมีความคงตัวลดลงที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถทำลายพันธะเอสเทอร์ของโมเลกุลสีได้ส่งผลให้สีจางลง (Jian *et al.*, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของการเติมสีจากเชื้อรา *Monascus*

sp. YRU01 เป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกไก่พบว่า การเติมผงสีทำให้ไส้กรอกไก่มีสีแดงขึ้น แต่เมื่อผ่านการนึ่งให้ความร้อนทำให้ไส้กรอกไก่มีสีจางลง โดยไส้กรอกก่อนนึ่งให้ค่าสีแดง (a^*) สูงกว่าไส้กรอกไก่หลังนึ่ง ขณะที่ไส้กรอกไก่หลังนึ่งให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่าไส้กรอกไก่ก่อนนึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Seong *et al.* (2017) ที่ได้รายงานว่า การเติมสีจากเชื้อราโมแนสคัสในไส้กรอกทำให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยสีจากเชื้อราโมแนสคัสจะแทรกและจับกับโปรตีนในเนื้อไก่ ทำให้สีแดงมีความคงตัวมากขึ้น (Li *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตามสีจากเชื้อราโมแนสคัสทำให้โปรตีนในเนื้อไก่เป็นประจุบวก โดยสีจะจับกับ H^+ ในโปรตีน ส่งผลให้ขาด H^+ ที่จะจับกับโมเลกุลของออกซิเจน และก่อให้เกิดโมเลกุลของน้ำอิสระ (Rumondor *et al.*, 2019) ซึ่งส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสทางกายภาพของไส้กรอกไก่ที่มีการเติมผงสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรง (Hardness) ของไส้กรอกไก่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพีเอชและอุณหภูมิต่อความคงตัวของสีจากเชื้อรา *Monascus* sp. YRU01 พบว่าสีมีความคงตัวสูงที่พีเอช 8.0 รองลงมาคือพีเอช 7.0 โดยให้ค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 16 – 29 วัน และมีความคงตัวสูงที่อุณหภูมิต่ำ (0 องศาเซลเซียส และ -20 องศาเซลเซียส) อีกทั้งยังมีความคงตัวได้ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์สีในไส้กรอกไก่ได้ โดยพบว่า การเติมผงสีร้อยละ 4 ทำให้ไส้กรอกไก่มีค่า L^* (ค่าความสว่าง) ลดลง และมีค่า a^* (ค่าสีแดง) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และยังได้คะแนนการยอมรับทางด้านสีและกลิ่นมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยบ่มเพาะการศึกษาระดับปริญญาโท ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา [บกศ.007/2565] ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาชายแดนใต้ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาสำหรับแหล่งทุนสนับสนุน ขอขอบคุณหลักสูตรชีววิทยาเทคโนโลยีและนวัตกรรม และหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือ

เอกสารอ้างอิง

- Abdollahi, F., Jahadi, M. & Ghavami, M. (2021). Thermal stability of natural pigments produced by *Monascus purpureus* in submerged fermentation. *Food Science and Nutrition*, 9, 4855–4862.
- Aksorn, S., Butnan, W. & Na Nakorn, P. (2013). Stability of red pigments from isolated *Monascus* spp. in submerged culture. *Thai Journal of Science and Technology*, 2(3), 185–191. (in Thai)
- Chang, H. J., K. Huang, & C. Wu. (2006). Determination of sample size in using central limit theorem for weibull distribution. *International Journal of Information and Management Sciences*, 17(3), 153–174.
- Chen, W., He, Y., Zhou, Y., Shao, Y., Feng, Y., Li, M., & Chen, F. (2015). Edible filamentous fungi from the species *Monascus*: early traditional fermentations, modern molecular biology, and future genomics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 555–567.
- Choothin, S., Srivongchai, P. & Kaewkot, A. (2022). Effects of rice bran flour on quality of emulsion sausage. *Journal of Agri. Research & Extension* 40(1), 116–129. (in Thai)
- de Oliveira, F., Rocha, I. L. D., Cláudia Gouveia Alves Pinto, D., Ventura, S. P. M., Gonzaga dos Santos, A., José Crevelin, E., & de Carvalho Santos Ebinuma, V. (2022). Identification of azaphilone derivatives of *Monascus* colorants from *Talaromyces amestolkiae* and their halochromic properties. *Food Chemistry*, 372, 1–12.
- He, J. T., Jia, M. X., Lia, W., Deng, J., Ren, J. L., Luo, F. J., Bai, J. & Liu, J. (2022). Toward improvements for enhancement the productivity and color value of *Monascus* pigments: a critical review with recent updates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(26), 1–16.
- Jian, W., Sun, Y. & Wu, J.-Y. (2016). Improving the water solubility of *Monascus* pigments in acidic conditions with gum Arabic. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2926–2933.



- Kantifedaki, A., Kachrimanidou, V., Mallouchos, A., Papanikolaou, S., & Koutinas, A. A. (2018). Orange processing waste valorisation for the production of bio-based pigments using the fungal strains *Monascus purpureus* and *Penicillium purpurogenum*. *Journal of Cleaner Production*, 185, 882-890.
- Li, Y., Wang, N., Jiao, X., Tu, Z., He, Q. & Fu, J. (2020). The *ctnF* gene is involved in citrinin and pigment synthesis in *Monascus aurantiacus*. *Journal of Basic Microbiology*, 1-9.
- Louhasakul, Y., Wado, H., Lateh, R., & Cheirsilp, B. (2023). Solid-state fermentation of Saba banana peel for pigment production by *Monascus purpureus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(1), 93-102.
- Mercadante, A. Z., Capitani, C. D., Decker, E. A., & Castro, I. A. (2010). Effect of natural pigments on the oxidative stability of sausages stored under refrigeration. *Meat Science*, 84(4), 718-726.
- Nacak, B., Öztürk-Kerimoğlu, B., Yıldız, D., Çağındı, Ö. & Serdaroğlu, M. (2021). Peanut and linseed oil emulsion gels as potential fat replacer in emulsified sausages. *Meat Science*, 176, 1-9.
- Nwoba, E. G., Ogbonna, C. N., Ishika, T., & Vadiveloo, A. (2020). Microalgal pigments: A source of natural food colors. In Alam, A., Xu, J.-L. & Wang, Z. (Eds.), *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*. Singapore: Springer.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20-26.
- Rumondor, D. B. J., Tinangon, R., Paath, J. & Pujihastuti, E. (2019). Ransaleleh proteins profile of sausage laying chicken meat with angkak (red rice) used as natural food material. *Animal Science*, LXII(2), 270-274
- Sen, T., Barrow, C. J., & Deshmukh, S. K. (2019). Microbial pigments in the food industry—challenges and the way forward. *Frontiers in Nutrition*, 6(7), 2-14.
- Seong, P. N., Van Ba, H., Kim, Y. S., Kang, S. M., Cho, S. H., Kim, J. H., *et al.* (2017). Effects of additions of *Monascus* and laccaic acid on the color and quality properties of nitrite-free emulsion sausage during refrigerated storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(1), 10-17.
- Serirat, S., Sirikudta, S., Popichit, N., Anuwichanont, J., Mechinda, P., Weerakul, K., *et al.* (2019). Business plan for creating added value of local functional food: A case studies of local raw material from Kala shoot, Koh Kret, Nonthaburi province. *Journal of Social Sciences Srinakharinwirot University*, 20, 271-283. (in Thai)
- 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(4), 1007-1014.
- Vendruscolo, F., Bühler, R. M. M., de Carvalho, J. C., de Oliveira, D., Moritz, D. E., Schmidell, W., & Ninow, J. L. (2016). *Monascus*: a reality on the production and application of microbial pigments. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178(2), 211-223.
- Wanichsan, D., Ninchawee, N., Rattanakom, T. & Kongjuk, P. (2015). An algorithm for hemocytometer cell counting based on image processing technique and DBSCAN. *Information Technology Journal*, 11(2), 56-61. (in Thai)
- Wichchukit, S. & O'Mahony, M. (2015). The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: some reappraisals and alternatives. *Journal of the science of food and agriculture*, 95(11), 2167-2178.
- Yadav, K. S., & Prabha, R. (2014). Effect of pH and temperature on carotenoid pigments produced from *Rhodotorula minuta*. *International Journal of Fermented Foods*, 3(2), 105-113.
- Zhong, L., Liu, A. H., Blekkenhorst, L. C., Bondonno, N. P., Sim, M., Woodman, R. J., *et al.* (2022). Development of a food composition database for assessing nitrate and nitrite intake from animal-based foods. *Molecular Nutrition & Food Research*, 66, 1-12.