

## การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตกรอบรสกล้วย ปราศจากแลคโตส โปรตีนสูง เสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากไข่ฝ่ำโดยเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อเป็นทางเลือกอาหาร

### สุขภาพ

## Development of Lactose-Free, High-Protein Banana Yogurt Bites with Antioxidants from Wolffia as a Healthy Food Alternative

เพชรนิชา ไตรโสม<sup>1</sup>, ชินภัทร ผาวงษา<sup>1</sup>, ธัญญาณี โชคกาญจนกุล<sup>1</sup> และ จุรารัตนรวิ ทองจันทร์รักษ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย มุกดาหาร, ตำบลบางทรายใหญ่, อำเภอเมือง, จังหวัดมุกดาหาร, 49000 ประเทศไทย

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาสูตรโยเกิร์ตถ้วยเหลือง และ 2) ศึกษาผลของปริมาณผงไข่ฝ่ำต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี ปริมาณโปรตีน สารต้านอนุมูลอิสระ และความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ่ำ โดยมุ่งเน้นกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้แลคโตสและผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ผลการพัฒนาโยเกิร์ตถ้วยเหลืองพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อถ้วยเหลือง 2:1 หมัก 15 ชั่วโมง ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับการแปรรูปเป็นโยเกิร์ตกรอบ การเสริมผงไข่ฝ่ำทำให้ผลิตภัณฑ์เข้มข้น และมีผลต่อเนื้อสัมผัส โดยสูตร YF5 และ YF15 มีค่าความแข็งสูง ขณะที่ YF10 มีความเปรี้ยวและค่าน้ำอิสระต่ำสุด (0.21) มี pH ก่อน-หลังทำแห้งแตกต่างกันเล็กน้อย (4.41–4.60) และโปรตีนอยู่ในช่วง 24.19–25.17 g/100g โดย YF5 สูงสุด ด้านสารต้านอนุมูลอิสระ การเพิ่มผงไข่ฝ่ำส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 8.54 เป็น 16.49 mg GAE/g และความสามารถยับยั้ง DPPH เพิ่มขึ้นจาก 71.80% เป็น 95.16% ตามลำดับ การทดสอบความพึงพอใจพบว่า YF5 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ( $7.37 \pm 1.10$ ) ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) สรุปได้ว่าการเสริมผงไข่ฝ่ำร้อยละ 5 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด ให้คุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง พร้อมการยอมรับที่ดีจากผู้บริโภค

คำสำคัญ: โยเกิร์ต, การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง, ไข่ฝ่ำ, โปรตีน, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

### 1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและส่งเสริมสุขภาพ โดยโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร อย่างไรก็ตาม โยเกิร์ตทั่วไปมีแลคโตสจากนมวัว จึงไม่เหมาะสำหรับผู้แพ้หรือหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากนม ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาโยเกิร์ตปราศจากแลคโตสจากวัตถุดิบพืช เช่น นำนมอัลมอนด์ นำนมข้าวโอ๊ต และนมนมถั่วเหลือง ซึ่งมีโปรตีนใกล้เคียงกับนมวัวและสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้

อย่างไรก็ตาม โยเกิร์ตมีข้อจำกัดด้านอายุการเก็บรักษา การใช้เทคโนโลยีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดความชื้น ยืดอายุการเก็บรักษา และคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

ไข่ฝ่ำหรือไข่ฝ่ำเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีนที่มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง รวมถึงมีสารต้านอนุมูลอิสระและสามารถเพาะเลี้ยงได้รวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดด้านสีเขียวและกลิ่นเฉพาะ จึงนำกล้วยมาใช้เพื่อเสริมรสชาติและกลิ่น เนื่องจากกล้วยเป็นวัตถุดิบท้องถิ่นที่มีต้นทุนต่ำ ให้ผลผลิตเร็ว อุดมด้วยใยอาหาร โปรไบโอติกส์ และมีรสหวานตามธรรมชาติช่วยลดการเติมน้ำตาล ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตกรอบรสกล้วย ปราศจากแลคโตสโปรตีนสูง เสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากไข่ฝ่ำด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อเป็นทางเลือกอาหารสุขภาพสำหรับผู้บริโภค โดยผสานคุณค่าจากกล้วยซึ่งเป็นแหล่งใยอาหารและความหวานตามธรรมชาติ กับไข่ฝ่ำซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชและสารต้านอนุมูลอิสระ พร้อมใช้เทคโนโลยีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษา



และคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับ  
วัตถุดิบท้องถิ่น

## 2. วิธีดำเนินการ

ตอนที่ 1 การพัฒนาโยเกิร์ตถั่วเหลือง

- 1) นำถั่วเหลืองแห้งมาล้างทำความสะอาด จากนั้นแช่น้ำ  
สะอาดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ถั่วเหลืองดูดซับน้ำและมีความ  
นุ่มเหมาะสมต่อการบั่นสกัดถั่วเหลือง
- 2) นำถั่วเหลืองที่แช่น้ำแล้วมาบั่นกับน้ำสะอาดในอัตราส่วนถั่ว  
เหลืองต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4
- 3) กรองส่วนผสมที่ได้ด้วยผ้าขาวบาง เพื่อแยกกากถั่วเหลือง  
ออกจากน้ำถั่วเหลือง
- 4) นำน้ำถั่วเหลืองที่ผ่านการกรองแล้วไปต้มด้วยไฟระดับปาน  
กลางจนเดือด
- 5) เทนมถั่วเหลืองที่ผ่านการต้มแล้วลงในภาชนะที่สะอาดและ  
ทนความร้อน เช่น ขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ที่  
อุณหภูมิ 63-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และปิดฝาให้  
สนิท
- 6) นำนมถั่วเหลืองปริมาตร 1 ลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว มา  
ผสมกับหัวเชื้อโยเกิร์ตในอัตราส่วน 65 กรัมต่อนมถั่วเหลือง 1  
ลิตร โดยผสมให้เข้ากัน
- 7) ปล่อยให้ส่วนผสมหมักที่อุณหภูมิห้องประมาณ 15 ชั่วโมง  
หรือจนกว่าน้ำถั่วเหลืองจะเกิดการ เปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะกึ่ง  
แข็งตัว มีความข้นหนืดและมีรสเปรี้ยว
- 8) คัดเลือกสูตรจากลักษณะภายนอกและจับตัวกันและการเกิด  
การแยกชั้นของโยเกิร์ต

ตอนที่ 2 การพัฒนาโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ่ำ

2.1 การพัฒนาโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ่ำ

- 1) ผสมโยเกิร์ตถั่วเหลือง 300 กรัม กับกล้วยปั่น 150 กรัม และ  
ไข่ฝ่ำตามกรอบสัดส่วนที่กำหนด 4 สูตร ดังนี้

ตาราง 1

อัตราส่วนในการพัฒนาโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ่ำ

|      | ปริมาณโยเกิร์ต<br>(กรัม) | ปริมาณกล้วย<br>ปั่น(กรัม) | ปริมาณผงไข่ฝ่ำ<br>(กรัม) |
|------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| YF0  | 300                      | 150                       | 0                        |
| YF5  | 300                      | 150                       | 15                       |
| YF10 | 300                      | 150                       | 30                       |
| YF15 | 300                      | 150                       | 45                       |

YF0 คือ สูตรที่โยเกิร์ตกรอบเสริมผงไข่ฝ่ำร้อยละ 0 (สูตร  
ควบคุม)

YF5 คือ สูตรที่โยเกิร์ตกรอบเสริมผงไข่ฝ่ำร้อยละ 5

YF10 คือ สูตรที่โยเกิร์ตกรอบเสริมผงไข่ฝ่ำร้อยละ 10

YF15 คือ สูตรที่โยเกิร์ตกรอบเสริมผงไข่ฝ่ำร้อยละ 15

\*โดยเทียบปริมาณผงไข่ฝ่ำเป็นร้อยละของปริมาณโยเกิร์ต\*

2.1 การเตรียมโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ่ำ

1. บั่นโยเกิร์ต กล้วย และผงไข่ฝ่ำให้เป็นเนื้อเดียวกัน
2. ตรวจวัดค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความหวาน  
(°Brix) ของส่วนผสม
3. เทส่วนผสมลงในพิมพ์ซิลิโคน แล้วแช่แข็งจนแข็งตัว
4. เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -40 °C เพื่อเตรียมการทำแห้งแบบ  
เยือกแข็ง (Freeze Dry)
5. ทำแห้งแบบเยือกแข็งด้วยเครื่อง Freeze Dryer ณ คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

2.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

1. วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการทำแห้งแบบเยือกแข็ง  
ด้วยเครื่อง Colorimeter
2. วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง ความยืดหยุ่น  
ความเหนียวหนืด ความสามารถในการเคี้ยว และความติด โดย  
สังเกตจาก ณ ศูนย์เครื่องมือ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2.3 การศึกษาลักษณะทางเคมี

1. วัดค่าความหวาน (°Brix) ก่อนและหลังการทำแห้งแบบเยือก  
แข็งด้วยเครื่อง Brix Refractometer
2. วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อนและหลังการทำแห้งแบบ  
เยือกแข็งด้วยเครื่อง pH Meter
3. วิเคราะห์ค่าน้ำอิสระ (Water Activity; aw) โดยสังเกตจาก ณ  
ศูนย์เครื่องมือ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
4. วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยสังเกตจาก ณ ศูนย์เครื่องมือ  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

2.4 การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระของโยเกิร์ตกรอบรสกล้วย  
เสริมผงไข่ฝ่ำ

- 1) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total  
Phenolic Compounds; TPC)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยผสมสารสกัดตัวอย่างกับ  
สารละลาย Folin-Ciocalteu และโซเดียมคาร์บอเนต บ่มในที่มืด  
30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโน  
เมตรด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer คำนวณปริมาณ  
สารประกอบฟีนอลิกรวมเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก  
วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

- 2) การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH  
ผสมสารสกัดตัวอย่างกับสารละลาย DPPH พร้อมชุดควบคุม  
บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง  
ที่ความยาวคลื่น 516 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-Vis  
Spectrophotometer และคำนวณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ  
(% inhibition) จากสูตร

$$\% \text{inhibition} = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

A<sub>0</sub> = ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลและ DPPH

A<sub>1</sub> = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและ DPPH (positive control)

A<sub>2</sub> = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและเอทานอล (negative control)

2.5 การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ผำ

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคภายในโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มุกดาหารที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คนประกอบด้วย

นักเรียนช่วงอายุต่ำกว่า 15 ปี จำนวน 6 คน นักเรียนช่วงอายุ 15-18 ปี จำนวน 6 คน ครูและนักเรียนช่วงอายุ 19-25 ปี

จำนวน 6 คน ครูช่วงอายุ 26-35 ปี จำนวน 6 และครูช่วงอายุ 35 ปีขึ้นไป จำนวน 6 คน ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Hedonic

Scale (9 Scales) โดยให้ คะแนนความพึงพอใจในด้านลักษณะภายนอก กลิ่น รสชาติ ความกรอบและความชอบ โดยรวมซึ่ง 1 หมายถึง ไม่ชอบเลย 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย 5 หมายถึง

เฉยๆ 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย 7 หมายถึง ชอบปานกลาง 8 หมายถึง ชอบมาก 9 หมายถึง ชอบที่สุด โดย

ให้ผู้ทดสอบรับประทานผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 สูตรโดย

หลังจากรับประทานเสร็จ 1 สูตรให้ทานน้ำตามทำแบบนั้น

จนครบ

### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว (One - Way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

### ผลและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาโยเกิร์ตถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่ต่างกัน

ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของโยเกิร์ตถั่วเหลืองในอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง 4:1, 3:1 และ 2:1 ตามลำดับ



จากรูปภาพที่ 1 พบว่าจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมของโยเกิร์ตถั่วเหลืองคือสูตรอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง 2:1 ที่ทำการหมักเป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นลักษณะที่โยเกิร์ตคงตัวได้ดี เนื้อเนียนละเอียด ไม่เหลวเป็นน้ำ

และไม่แข็งเกินไปจนจับตัวกันและแยกเป็นชั้น ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาเป็นโยเกิร์ตกรอบที่สุด

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ผำ

2.1 ผลของการเสริมผงไข่ผำต่อลักษณะภายนอกของโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ผำ

ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของการเสริมไข่ผำต่อลักษณะ

ภายนอกของโยเกิร์ตกรอบรสกล้วย



จากรูปภาพที่ 2 พบว่าเมื่อทำการเติมกล้วยปั่นและผงไข่ผำลงไปในโยเกิร์ตจะทำให้ลักษณะภายนอกเปลี่ยนไปอย่างชัดเจนคือมีสีที่เปลี่ยนไปในทางที่มีสีเขียวเข้มขึ้น เนื่องจากรสชาติธรรมชาติในผงไข่ผำ อย่างคลอโรฟิลล์และอื่น ๆ มีอิทธิพลต่อค่าความเป็นสีเขียว และมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นแปรผันตรงตามปริมาณผงไข่ผำที่ได้

2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

| สูตรตัวอย่าง | ความแข็ง (N) | ความเหนียวหนืด (N) | ความแรงที่ต้องใช้เคี้ยว (N) | ความติด (N·S) |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------|---------------|
| YF0          | 9.83         | 1.23               | 0.32                        | -6.55         |
| YF5          | 11.63        | 1.08               | 0.20                        | -2.70         |
| YF10         | 7.53         | 0.61               | 0.10                        | -16.48        |
| YF15         | 11.65        | 0.06               | 0.15                        | 0.15          |

จากรูปภาพที่ 2 พบว่า การเสริมผงไข่ผำส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยสูตร YF5 และ YF15 มีค่าความแข็งสูงกว่าสูตรควบคุม (YF0) ขณะที่สูตร YF10 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด นอกจากนี้ ค่าความเหนียวหนืดและความแรงที่ต้องใช้เคี้ยวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงไข่ผำ โดยสูตร YF10 มีค่าต่ำที่สุด ส่วนสูตร YF15 มีค่าความแรงที่ต้องใช้เคี้ยวสูงที่สุด สำหรับค่าความติด (Adhesiveness) สูตร YF10 มีค่าความติดเป็นลบมากที่สุด ขณะที่สูตร YF15 มีค่าความติดใกล้ศูนย์มากที่สุด แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีการติดน้อยและมีลักษณะแห้งร่วนมากกว่า

ตาราง 3 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

| สูตรตัวอย่าง | ค่าสี            |                  |                  |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
|              | L*               | a*               | b*               |
| YF0          | 74.26 $\pm$ 0.19 | 4.03 $\pm$ 0.06  | 18.72 $\pm$ 0.36 |
| YF5          | 49.13 $\pm$ 1.06 | -3.15 $\pm$ 0.14 | 22.58 $\pm$ 0.53 |
| YF10         | 45.90 $\pm$ 0.45 | -3.54 $\pm$ 0.14 | 20.26 $\pm$ 1.27 |



|      |              |              |              |
|------|--------------|--------------|--------------|
| YF15 | 45.00 ± 1.11 | −3.53 ± 0.13 | 19.98 ± 0.79 |
|------|--------------|--------------|--------------|

จากตารางที่ 3 พบว่า การเสริมผงไข่มุขส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณผงไข่มุข ค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น ขณะที่ค่า  $a^*$  มีค่าเป็นลบมากขึ้น สะท้อนถึงความเป็นสีเขียวที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นในสูตร YF5 และ YF10 ก่อนลดลงในสูตร YF15 แสดงว่าปริมาณผงไข่มุขมีผลต่อความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

ตาราง 4 ค่าสีของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

| สูตรตัวอย่าง | ค่าสี        |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              | $L^*$        | $a^*$        | $b^*$        |
| YF0          | 76.59 ± 0.46 | 4.01 ± 0.09  | 15.41 ± 0.54 |
| YF5          | 44.65 ± 0.56 | −6.80 ± 0.09 | 29.51 ± 0.35 |
| YF10         | 41.26 ± 1.17 | −6.78 ± 0.33 | 27.41 ± 1.76 |
| YF15         | 40.10 ± 1.15 | −6.56 ± 0.50 | 21.98 ± 1.75 |

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่า ภายหลังจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ค่าสีของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลง โดยสูตรที่เสริมผงไข่มุข (YF5–YF15) มีค่า  $a^*$  เป็นลบมากขึ้น แสดงถึงความเป็นสีเขียวที่เด่นชัดขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการทำแห้ง ขณะที่สูตรควบคุม (YF0) ยังคงมีค่า  $a^*$  เป็นบวกใกล้เคียงเดิม ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$  สะท้อนว่ากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลต่อความสว่างของผลิตภัณฑ์ โดยการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ทำให้ความเข้มข้นของรงควัตถุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความชัดขึ้น

### 2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

| สูตรตัวอย่าง | ลักษณะทางเคมี                       |                        |
|--------------|-------------------------------------|------------------------|
|              | ค่าความหวาน ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) | ค่าความเป็นกรดเบส (pH) |
| YF0          | 15                                  | 4.51 <sup>a</sup>      |
| YF5          | 15                                  | 4.60 <sup>a</sup>      |
| YF10         | 15                                  | 4.54 <sup>a</sup>      |
| YF15         | 15                                  | 4.58 <sup>a</sup>      |

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน (คอลัมน์เดียวกัน) แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $<0.05$ ) จากตารางที่ 5 พบว่า ผลิตภัณฑ์ทุกสูตร (YF0, YF5, YF10 และ YF15) มีค่าความหวานเท่ากันที่ 15  $^{\circ}\text{Bx}$  และมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.51–4.60 โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แสดงว่าการเสริมผงไข่มุขไม่ส่งผลต่อค่าความหวานและค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตาราง 6 ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

| สูตรตัวอย่าง | ลักษณะทางเคมี                       |                        |
|--------------|-------------------------------------|------------------------|
|              | ค่าความหวาน ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) | ค่าความเป็นกรดเบส (pH) |
| YF0          | 15                                  | 4.41 <sup>a</sup>      |
| YF5          | 15                                  | 4.50 <sup>a</sup>      |
| YF10         | 15                                  | 4.45 <sup>a</sup>      |
| YF15         | 15                                  | 4.48 <sup>a</sup>      |

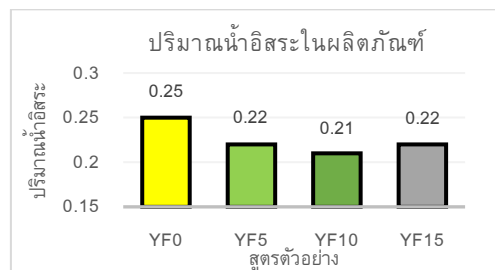
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน (คอลัมน์เดียวกัน) แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $<0.05$ ) จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6 พบว่า ค่าความหวาน ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) ของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยังคงเท่ากับก่อนการทำแห้ง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถคงคุณสมบัติทางเคมีด้านความหวานได้ดี ขณะที่ค่า pH หลังการทำแห้งลดลงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 4.41–4.50 เมื่อเทียบกับก่อนการทำแห้ง (4.51–4.60) ซึ่งอาจเกิดจากการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้กรดแลกติกมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดมากขึ้นเล็กน้อย

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

| สูตรตัวอย่าง | โปรตีน (g/100g) |
|--------------|-----------------|
| YF0          | 24.19±0.11      |
| YF5          | 25.17±0.06      |
| YF10         | 24.73±0.81      |
| YF15         | 24.76±0.24      |

จากตารางที่ 7 พบว่า การเสริมผงไข่มุขมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม โดยสูตรที่เติมผงไข่มุขร้อยละ 5 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณผงไข่มุขเป็นร้อยละ 10 และ 15 ปริมาณโปรตีนไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าการเสริมผงไข่มุขในระดับที่สูงขึ้นไม่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนอย่างเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีโยเกิร์ตตัวเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนสูงอยู่แล้ว ทำให้อิทธิพลของผงไข่มุขต่อการเพิ่มปริมาณโปรตีนไม่ชัดเจน

แผนภูมิ 1 ปริมาณน้ำอิสระในโยเกิร์ตกรอกรสกล้วยเสริมผงไข่มุข

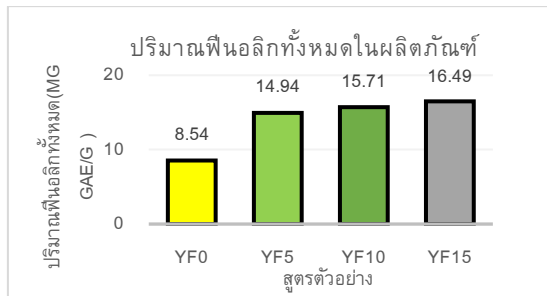


จากแผนภูมิที่ 1 พบว่า การเสริมผงไข่มุขส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (YF0) โดยสูตร YF10 มีค่า  $a_w$  ต่ำที่สุด (0.21) ขณะที่การเติมผงไข่มุขร้อยละ 15 ทำให้ค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดในการจับน้ำของโครงสร้างผลิตภัณฑ์เมื่อเติมผงไข่มุข

ในระดับสูง ทั้งนี้ ทุกสูตรมีค่าน้ำอสีระอยู่ในระดับต่ำ จึงเหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและช่วยลดการเจริญของจุลินทรีย์

2.4 ผลการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่

**แผนภูมิ 2** ปริมาณฟีนอลิกในโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่



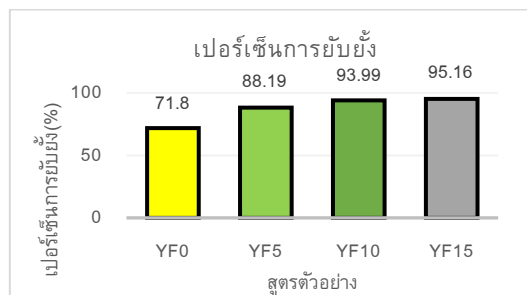
จากแผนภูมิ 2 พบว่า สูตรควบคุม (YF0) มีปริมาณสารฟีนอลิก

| สูตรตัวอย่าง | ความชอบโดยรวม            | เกณฑ์ความพึงพอใจ         |
|--------------|--------------------------|--------------------------|
| YF0          | 7.30 ± 0.91 <sup>a</sup> | ชอบปานกลางถึงชอบมาก      |
| YF5          | 7.37 ± 1.10 <sup>a</sup> | ชอบปานกลางถึงชอบมาก      |
| YF10         | 6.63 ± 1.04 <sup>b</sup> | ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง |
| YF15         | 6.50 ± 1.14 <sup>b</sup> | ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง |

ทั้งหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 8.53 mg GAE/g เมื่อเสริมผงไข่ใน ระดับ 5, 10 และ 15% (YF5, YF10 และ YF15) ปริมาณสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเป็น 14.94, 15.71 และ 16.49 mg GAE/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณผงไข่ส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสูตร YF15 มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด

**แผนภูมิ 3** แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูล DPPH

ในโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่



2.5 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่

จากแผนภูมิ 3 พบว่า การเสริมผงไข่ในโยเกิร์ตกรอบรสกล้วย ช่วยเพิ่มความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH อย่างชัดเจน โดยสูตรควบคุม (YF0) มีค่าต่ำที่สุด (71.80%) และเมื่อเพิ่มผงไข่เป็น 5, 10 และ 15% (YF5, YF10 และ YF15) ค่าการยับยั้งเพิ่มขึ้นเป็น 88.19, 93.99 และ 95.16% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผงไข่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฤทธิ์ต้าน

อนุมูลอิสระ โดยเฉพาะสูตร YF10 และ YF15 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด

**ตาราง 8** ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่

| สูตรตัวอย่าง | สีลักษณะภายนอก           | กลิ่น                    | รสชาติ                   | เนื้อสัมผัส              | ความหวาน                 | ความชอบโดยรวม            |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| YF0          | 7.83 ± 0.95 <sup>a</sup> | 7.07 ± 0.78 <sup>a</sup> | 7.13 ± 0.90 <sup>a</sup> | 7.00 ± 0.93 <sup>a</sup> | 7.07 ± 1.42 <sup>a</sup> | 7.30 ± 0.91 <sup>a</sup> |
| YF5          | 7.63 ± 1.13 <sup>a</sup> | 6.70 ± 1.86 <sup>a</sup> | 7.33 ± 0.92 <sup>a</sup> | 6.97 ± 1.40 <sup>a</sup> | 6.03 ± 1.97 <sup>b</sup> | 7.37 ± 1.10 <sup>a</sup> |
| YF10         | 7.43 ± 0.93 <sup>a</sup> | 6.17 ± 0.97 <sup>b</sup> | 6.63 ± 1.03 <sup>b</sup> | 6.57 ± 1.30 <sup>a</sup> | 5.20 ± 1.87 <sup>c</sup> | 6.63 ± 1.04 <sup>b</sup> |
| YF15         | 6.97 ± 1.35 <sup>a</sup> | 6.67 ± 1.21 <sup>a</sup> | 6.47 ± 1.55 <sup>b</sup> | 6.33 ± 1.40 <sup>a</sup> | 5.57 ± 2.06 <sup>b</sup> | 6.50 ± 1.14 <sup>b</sup> |

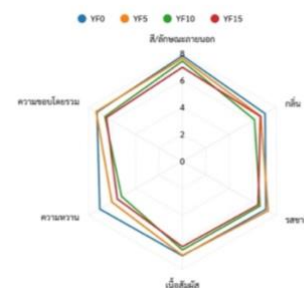
\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\*\* (a-b) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนค่าเฉลี่ยแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวนอน ( $p < 0.05$ )

**ตาราง 9** ผลวิเคราะห์เกณฑ์ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่

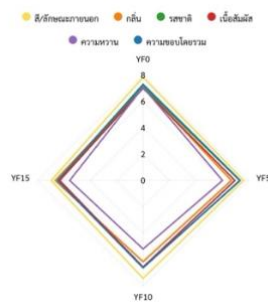
จากตารางที่ 8 และ 9 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความชอบโดยรวม ได้แก่ กลิ่น รสชาติ และความหวาน โดยความหวานมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ทุกระดับการเติมผงไข่ สูตร YF5 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ( $7.37 \pm 1.10$ ) รองลงมาคือ YF0 ( $7.30 \pm 0.91$ ) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ และอยู่ในระดับ “ชอบปานกลางถึงชอบมาก” ขณะที่สูตร YF10 และ YF15 มีคะแนนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยอยู่ในระดับ “ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง” แสดงให้เห็นว่าการเติมผงไข่ในระดับสูงอาจลดการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการเสริมผงไข่ที่ระดับ 5% (YF5) จึงเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากยังคงได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

**แผนภูมิ 4** แผนภูมิแสดงผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่



**แผนภูมิ 5** แผนภูมิแสดงผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่แต่ละสูตร





จากแผนภูมิ 4 และ แผนภูมิ 5 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ้าแต่ละสูตรอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน และจะเห็นถึงแนวโน้มการยอมรับจากผู้บริโภคในสูตร YF5 ในระดับที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมขณะที่การเสริมในระดับที่สูงกว่านั้นจะลดการยอมรับของผู้บริโภค

## สรุปผล

จากการศึกษาพบว่า โยเกิร์ตถ้วยเหลืองสูตรอัตราส่วน น้ำต่อถ้วยเหลือง 2:1 หมัก 15 ชั่วโมง มีคุณสมบัติเหมาะสมและถูกนำมาใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการพัฒนาโยเกิร์ตกรอบรสกล้วยเสริมผงไข่ฝ้า การเติมผงไข่ฝ้าช่วยเพิ่มความเข้มข้นของสี เขียว ลดค่าน้ำอิสระและเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตามระดับการเติม โดยมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ สูตร YF5 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

## ข้อเสนอแนะ

เพื่อเพิ่มศักยภาพของผลิตภัณฑ์ ควรศึกษาความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา คุณค่าทางโภชนาการ โครงสร้างระดับจุลภาค ต้นทุน และการยอมรับของตลาด เพื่อสนับสนุนการพัฒนาเชิงพาณิชย์ รวมถึงต่อยอดผลิตภัณฑ์จากไข่ฝ้าและวัตถุดิบท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก คุณครูชัยวัฒน์ โชคกาญจน์กุล และคุณครูจุรารัตน์วี ทองจันทร์ภักษ์ คุณครูที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำโครงการไปตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด และได้รับความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ จากศูนย์เครื่องมือมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงขอขอบพระคุณนักเรียนและครูภายในโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มุกดาหาร ที่ได้ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม และยังได้สืบค้นข้อมูลจากแหล่งอ้างอิงต่าง ๆ จนโครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ประโยชน์และคุณค่าของ

โครงการนี้คณะผู้จัดทำโครงการขอมอบเป็นแก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์และผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน

## เอกสารอ้างอิง

- Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (2nd ed.). Academic Press.
- Ciurzyńska, A., & Lenart, A. (2011). Freeze-drying—Application in food processing and biotechnology. *Food Research International*, 44(6), 1657–1671.
- Li, X., et al. (2024). Effects of protein content on gel structure and water-holding capacity of soy yogurt. *LWT – Food Science and Technology*, 193, 115812.
- Nadia Grasso, Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2020). Composition, physicochemical and sensorial properties of commercial plant-based yogurts. *Foods*, 9(3).
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319.
- Zhang, Y., et al. (2024). Influence of protein concentration on microstructure and texture of plant-based yogurt gels. *Food Hydrocolloids*, 145, 109876.
- กมลชนก ศรีสุข และคณะ. (2561). ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพรไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 456–468.
- ชมภูณัฐ ข้องลา, สุมาลี มุสิกกา, อารยา รานอก, เสกสรร มังคลานันท์, กุณาง บัญเสริม และชนิดา กุประดิษฐ์. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมโคและนมถั่วเหลืองเสริมรำข้าวไฮโดรไลสที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1).
- นิตินัย รุ่งจินดารัตน์, ธิญัฐ ใจใหญ่, อภิราม สินธุพาชี และณลินี พานสายตา. (2566). การวิเคราะห์อาหารและเครื่องดื่มด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบการยอมรับ: แนวคิด การวางแผนการทดลอง และการเลือกใช้สถิติที่เหมาะสม. *วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี*, 17(3).
- สุทธิตา บุญมี และคณะ. (2563). ปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่ฝ้า (*Wolffia* spp.). *วารสารเกษตร*, 35(2), 123–134.