# การวิเคราะห์คุณภาพไข่ผำและศักยภาพในการพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

วิทยานิพนธ์

ของ

นิตยา สีพั้ว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

# การวิเคราะห์คุณภาพไข่ผำและศักยภาพในการพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

วิทยานิพนธ์

ของ

นิตยา สีพั้ว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Analysis of *Wolffia globosa* Qualities and Development Potential of Rice Noodles Fortified with *Wolffia globosa*

Nidthaya Seephua

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Food Technology)
May 2025
Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวนิตยา สีพั้ว แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..................................................ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. ธีระพันธ์ จำเริญพัฒน์ )

..................................................อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศ. ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ )

..................................................อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อ. ดร. อภิชญา บัญญัติรัชต )

..................................................กรรมการ
(ผศ. ดร. สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น )

..................................................กรรมการ
(ผศ. ดร. ปริยาภรณ์ อิศรานุวัฒน์ )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

| | |
|---|---|
| .................................................. | .................................................. |
| (ศ. ดร. ปรีชา ประเทพา ) | (ผศ. ดร. พลเดช เชาวรัตน์ ) |
| คณบดีคณะเทคโนโลยี | คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย |

**ชื่อเรื่อง** การวิเคราะห์คุณภาพไข่ผำและศักยภาพในการพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ
**ผู้วิจัย** นิตยา สีพั้ว
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ
อาจารย์ ดร. อภิชญา บัญญัติรัชต
**ปริญญา** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการอาหาร
**มหาวิทยาลัย** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2568

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของไข่ผำ (*Wolffia globosa*) จากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน เพื่อคัดเลือกแหล่งที่มีศักยภาพสูงสุดสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในเส้นก๋วยเตี๋ยว นอกจากนี้ยังประเมินผลของการเติมผงไข่ผำ (1, 3, 5%) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี การปรุงสุก เนื้อสัมผัส โครงสร้างจุลภาค (Scanning electron microscope; SEM) องค์ประกอบทางเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการย่อยโปรตีน ปริมาณซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด ความสามารถในการย่อยแป้ง ค่าดัชนีน้ำตาล และการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ผำ ผลการศึกษาพบว่าไข่ผำจากนครราชสีมา (WFN) มีปริมาณโปรตีน เถ้า และไฟเบอร์สูงที่สุด ในขณะที่ไข่ผำจากมหาสารคาม (WFM) มีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพระบุว่า WFN มีปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์สูงสุด ส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เหนือกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเติมผงไข่ผำลงในเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าการเติมในระดับ 5% (WF5) ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนได้เกือบสองเท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณไข่ผำยังส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาด้านการย่อยแป้งพบว่า WF5 มีปริมาณแป้งต้านทานและแป้งที่ย่อยได้ช้าสูงขึ้น ในขณะที่มีแป้งที่ย่อยเร็วและค่าดัชนีน้ำตาลลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ผำมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้ ความสามารถในการย่อยโปรตีนของเส้นก๋วยเตี๋ยวในกลุ่ม WF5 เพิ่มขึ้น 22% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าไข่ผำเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีศักยภาพสูง ไม่เพียงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเส้นก๋วยเตี๋ยว แต่ยังมีส่วนช่วยเพิ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติที่ดีต่อสุขภาพ การเสริมไข่ผำในเส้นก๋วยเตี๋ยวจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อร่างกาย

คำสำคัญ : ไข่ผำ, การย่อยโปรตีน, การย่อยแป้ง, ดัชนีน้ำตาล, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

| | |
|---|---|
| TITLE | Analysis of *Wolffia globosa* Qualities and Development Potential of Rice Noodles Fortified with *Wolffia globosa* |
| AUTHOR | Nidthaya Seephua |
| ADVISORS | Professor Sirithon Siriamornpun , Ph.D.<br>Apichaya Bunyatratchata , Ph.D. |
| DEGREE | Master of Science  MAJOR  Food Technology |
| UNIVERSITY | Mahasarakham University  YEAR  2025 |

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the chemical composition and bioactive compounds of *Wolffia globosa* from different cultivation sources to determine the most suitable source for fortifying rice noodles. Additionally, the effects of *W. globosa* powder supplementation (1%, 3%, and 5%) on the physical and chemical properties, cooking characteristics, texture, microstructure (SEM), chemical composition, antioxidant activity, protein digestibility, total sulfhydryl content, starch digestibility, glycemic index, and FT-IR structural analysis of fortified rice noodles were evaluated. The results indicated that *W. globosa* from Nakhon Ratchasima (WFN) had the highest protein, ash, and fiber content, whereas *W. globosa* from Maha Sarakham (WFM) exhibited higher fat and carbohydrate levels. The bioactive compound analysis revealed that WFN contained the highest total phenolic and flavonoid contents, leading to significantly higher antioxidant activity ($p$ < 0.05). When *W. globosa* powder was incorporated into rice noodles, supplementation at 5% (WF5) resulted in nearly a twofold increase in protein content compared to the control. Furthermore, the addition of *W. globosa* significantly increased the chlorophyll content. The starch digestibility study showed that WF5 had higher levels of resistant starch and slowly digestible starch, while rapidly digestible starch and the estimated glycemic index decreased, suggesting potential benefits for blood sugar

regulation. Additionally, the protein digestibility of WF5 noodles improved by 22% compared to the control. These findings highlight the potential of *W. globosa* as a sustainable plant-based protein source that not only enhances the nutritional value of rice noodles but also contributes to increased bioactive compounds, antioxidant activity, and improved health benefits. The fortification of rice noodles with *W. globosa* presents a promising approach for developing nutritionally enriched and health-promoting food products

Keyword : Watermeal, Protein digestion, Starch digestion, Glycemic Index, Bioactive compounds

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาจากคณะอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ และอาจารย์ ดร.อภิชญา บัญญัติรัชต ที่แนะนำในทุกขั้นตอนที่ทำการศึกษา การวางแผนการศึกษาตลอดทั้งหลักสูตร การออกแบบการศึกษา กระบวนการศึกษาเพื่อให้ได้คำตอบถูกต้อง ตลอดจนการเขียนรายงานทางวิชาการ การตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ รวมทั้งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี และขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนให้คำแนะนำในการวิเคราะห์และการใช้งานเครื่องมือ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุพการี ที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกท่านที่คอยแนะนำและช่วยเหลือ จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีทุก ประการ

นิตยา  สีพั้ว

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย....................................................................................................................ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.............................................................................................................. ฉ

กิตติกรรมประกาศ.................................................................................................................... ซ

สารบัญ..................................................................................................................................... ฌ

สารบัญตาราง...........................................................................................................................ฏ

สารบัญภาพ ............................................................................................................................. ฐ

บทที่ 1 บทนำ ........................................................................................................................ 14

1.1 ที่มาและความสำคัญ .......................................................................................................... 14

1.2 วัตถุประสงค์ ...................................................................................................................... 15

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย ....................................................................................................... 15

1.4 ความสำคัญของงานวิจัย..................................................................................................... 15

1.5 ขอบเขตงานวิจัย ................................................................................................................ 16

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล .................................................................................................. 20

2.1 เส้นก๋วยเตี๋ยว (Noodle)...................................................................................................... 20

2.2 ไข่ผำ (Wolffia) .................................................................................................................. 21

2.3 โปรตีน (Protein)................................................................................................................ 23

2.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) .............................................................. 25

2.5 การย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (*In vitro* protein digestion)...................................... 26

2.6 การย่อยได้ของแป้งในหลอดทดลอง (*In vitro* starch digestion)........................................... 27

2.7 ดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI)...................................................................................... 27

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง............................................................................................................. 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย ..... 31
3.1 ขอบเขตงานวิจัย ..... 31
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ..... 32
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย ..... 36
3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบจากไข่ผำ ..... 36
3.3.2 การทดลองที่ 2 พัฒนาสูตรและกระบวนผลิตผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 39
3.3.3 การทดลองที่ 3 การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษา (ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ) ..... 45
3.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ ..... 46
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย ..... 50
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน ..... 50
4.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน ..... 50
4.1.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน ..... 51
4.2 ผลของคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติการปรุงสุก คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 53
4.2.1 ผลของคุณภาพทางกายภาพ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 53
4.2.2 ผลของคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 54
4.2.3 ผลของคุณสมบัติการปรุงสุกของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 55
4.2.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 56
4.2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 57
4.2.6 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ..... 58

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

4.2.7 ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนและปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมดของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ........ 61
4.2.8 ความสามารถในการย่อยได้ของแป้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ........ 62
4.2.9 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย FT-IR ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ........ 63
4.3 ผลของการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ........ 64
4.3.1 ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ........ 64
4.3.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ........ 65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ........ 68
5.1 สรุปผลการวิจัย ........ 68
5.2 ข้อเสนอแนะ ........ 68
บรรณานุกรม ........ 70
ภาคผนวก ........ 80
ประวัติผู้เขียน ........ 86

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของไข่ผำ 100 กรัม........................................................................ 23

ตารางที่ 2 สูตรอาหารในการเลี้ยงไข่ผำ ..................................................................................... 36

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ .................................................................... 39

ตารางที่ 4 ค่าสี (L*, a*, b*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) และปริมาณคลอโรฟิลล์ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน........................................................................................................................... 51

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน........................................... 52

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน............. 52

ตารางที่ 7 ค่าสี (L*, a*, b*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) และปริมาณคลอโรฟิลล์ในเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ........................................................................................................................................... 54

ตารางที่ 8 ความต้านทานแรงดึงและคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ............... 55

ตารางที่ 9 คุณสมบัติการปรุงสุกของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ......................................................... 56

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ....................................................... 58

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธี HPLC ..................................... 60

ตารางที่ 12 การย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ (%) และปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด .......................................................................................................................... 61

ตารางที่ 13 การย่อยได้ของแป้งในหลอดทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำแบบดิบและปรุงสุก.... 63

ตารางที่ 14 ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ โดยให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 Point hedonic scale) (30 คน) ................................................ 65

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ไข่ผำ (Wolffia) 22

ภาพที่ 2 แผนภาพการทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน 47

ภาพที่ 3 แผนภาพการทดลองที่ 2 พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ 48

ภาพที่ 4 แผนภาพการทดลองที่ 3 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ 49

ภาพที่ 5 ลักษณะที่ปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำเทียบกับสูตรควบคุม (ปรุงสุก) 54

ภาพที่ 6 ภาพ SEM ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำแบบสุกและดิบ 57

ภาพที่ 7 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (A), สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (B), ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (C), ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (D) 59

ภาพที่ 8 Fourier-transformation infrared spectroscopy (FTIR) 64

ภาพที่ 9 ผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ค่าความชื้น และค่าเพอร์ออกไซด์ (อุณหภูมิห้อง) และที่สภาวะเร่ง (45 และ 55 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ 66

ภาพที่ 10 ลักษณะที่ปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำเทียบกับสูตรควบคุม (ปรุงสุก) 85

ภาพที่ 11 ภาพ SEM ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำแบบสุกและดิบ 85

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ไข่ผำ (*Wolffia globosa*) หรือที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ Asian watermeal อยู่ในตระกูล *Lemnaceae* และได้รับการยอมรับว่าเป็นพืชดอกที่เล็กที่สุดชนิดหนึ่งของโลก ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พืชน้ำชนิดนี้ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการที่ยอดเยี่ยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฐานะแหล่งโปรตีนที่ยั่งยืน (Said et al., 2022) ผง *W. globosa* เป็นส่วนผสมในอาหารประเภทต่างๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods, Food Allergens (NDA) et al., 2021) ปัจจุบันนี้ โปรตีนจากพืชหลายชนิดมีความพร้อมในเชิงพาณิชย์และมีการเติบโตอย่างรวดเร็วในอุตสาหกรรมอาหาร (Duangjarus et al., 2022) *W. globosa* อุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น วิตามิน แร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้เป็นส่วนผสมที่มีคุณค่าในการพัฒนาอาหารจากพืช นอกจากนี้ความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ยั่งยืนและให้สมดุลทางโภชนาการได้กระตุ้นให้มีศึกษา *W. globosa* ในอาหารที่เป็นนวัตกรรมใหม่ รวมถึงก๋วยเตี๋ยวจากพืช วูฟเฟีย (ไข่น้ำ หรือไข่ผำ) ถูกบริโภคมานานหลายศตวรรษในประเทศต่าง ๆ เช่น ลาว ไทย และพม่า ในภูมิภาคเหล่านี้มีการบริโภคเป็นอาหารที่เรียกว่า "ไข่น้ำ" หรือ "ไข่ผำ" ซึ่งแปลว่า "ไข่แห่งน้ำ" ในประเทศไทย ไข่ผำมีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นแหล่งโปรตีน ราคาไม่แพงเข้าถึงได้ง่าย ไข่ผำ จึงถูกมองว่าเป็นส่วนผสมที่สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนเมื่อเสริมในอาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลัก เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว หรือข้าวได้ (Yahya et al., 2022)

ก๋วยเตี๋ยวเป็นอาหารหลักที่สำคัญในหลายวัฒนธรรมทั่วโลก (Cui et al., 2024) โดยทั่วไปแล้วเส้นก๋วยเตี๋ยวจะทำจากแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นปริมาณและลักษณะทางโภชนาการจึงขึ้นอยู่กับแป้ง ปัจจุบันเส้นก๋วยเตี๋ยวจากพืชได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคแสวงหาทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และอุดมไปด้วยสารอาหารแทนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำมาจากแป้งข้าวแบบเดิม ดังนั้นการผสมไข่ผำเข้ากับสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวจึงมีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากไข่ผำอุดมไปด้วยโปรตีน เส้นใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Quintieri et al., 2023)

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว ตลอดจนฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการย่อยแป้งในหลอด

ทดลอง (*In vitro* starch digestibility) การศึกษาดังกล่าวมีความสำคัญต่อการกำหนดศักยภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมคุณค่าทางโภชนาการด้วยไข่ผำ เพื่อเป็นทางเลือกอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภค

**1.2 วัตถุประสงค์**

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

1.2.3 เพื่อประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

**1.3 สมมติฐานของงานวิจัย**

1.3.1 แหล่งปลูกมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของไข่ผำ

1.3.2 ปริมาณไข่ผำส่งผลต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

1.3.3 การเสริมไข่ผำในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เส้นก๋ยวเตี๋ยวได้

**1.4 ความสำคัญของงานวิจัย**

1.4.1 ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

1.4.2 ทำให้ทราบถึงสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

1.4.3 ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

พหูนํา มหาวิทยาลัย

**1.5 ขอบเขตงานวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

- ตัวแปรต้น คือ ไข่ผำจาก 3 แหล่ง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด

- ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณคลอโรฟิลล์ องค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณเถ้า ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy (DPPH) และ วิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP)

- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิในการทำแห้ง (60 องศาเซลเซียส) เวลาในการอบ (12 ชั่วโมง)

การทดลองที่ 2 การศึกษาสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมไข่ผำ โดยดัดแปลงสูตรมาจาก น้อมจิตต์ สุธีบุตร และคณะ (2561) นำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ วิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส วิเคราะห์คุณสมบัติของการปรุงสุก ดูภาพพื้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้อง (Scanning electron microscope; SEM) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการย่อยโปรตีน การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด ความสามารถในการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล โดยจำลองการย่อยในหลอดทดลอง วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) จากนั้นนำสูตรที่ได้ไปศึกษาต่อ

- ตัวแปรต้น คือ ปริมาณไข่ผำ ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณแป้งข้าวเจ้า

- ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าสี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส คุณสมบัติของการปรุงสุก องค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณเถ้า ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) ปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และ วิธี FRAP ดูภาพพื้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ด้วย High-performance liquid chromatography (HPLC) ความสามารถในการย่อยโปรตีน ปริมาณซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด ความสามารถในการย่อยแป้ง ค่าดัชนีน้ำตาล และวิเคราะห์ FT-IR

- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ระยะเวลาในการผสม (1 นาที) อุณหภูมิในการนึ่ง (90 องศาเซลเซียส) เวลาในการนึ่ง (10 นาที) ขนาดของเส้น (0.2*0.5 เซนติเมตร) อุณหภูมิในการอบ (60 องศาเซลเซียส) เวลาในการอบ (5 ชั่วโมง) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (1 เดือน)

การทดลองที่ 3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

- ตัวแปรต้น คือ ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

- ตัวแปรตาม ได้แก่ การยอมรับทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษา

- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ระยะเวลาในการผสม (1 นาที) อุณหภูมิในการนึ่ง (90 องศาเซลเซียส) เวลาในการนึ่ง (10 นาที) ขนาดของเส้น (0.2*0.5 เซนติเมตร) อุณหภูมิในการอบ (60 องศาเซลเซียส) เวลาในการอบ (5 ชั่วโมง) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (1 เดือน)

**1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ**

1.6.1 ก๋วยเตี๋ยว จากข้อสันนิษฐานที่น่าเชื่อถือที่สุดคือมีต้นกำเนิดมาจาก “จีน” จากหลักฐานในหนังสือ อิลมีลีโอเน (Il milione) หรือ บันทึกการเดินทางของมาร์โค โปโล ได้กล่าวถึง “บะหมี่” ในช่วงที่เขาเดินทางไปจีนตามเส้นทางสายไหม สมัยกุบไลข่าน หรือราว ๆ ปี 1274-1295 ก๋วยเตี๋ยว เป็นหนึ่งในอาหารประเภทเส้น ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าโดยจะลวกให้สุกในน้ำเดือดสะเด็ดน้ำ แล้วนำมาใส่เครื่องปรุงชนิดต่าง ๆ นิยมรับประทานทั้งแบบน้ำและแบบแห้ง นิยมใช้ตะเกียบเป็นเครื่องมือช่วยรับประทาน (สุวพงศ์ สุขวิบูลย์, 2567)

1.6.2 ไข่น้ำ ไข่ผำ *Wolffia globosa* (Roxb.) Hartog & Plas. พืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุด ชื่ออื่นที่เรียกกัน ได้แก่ ไข่แหน ไข่ผำ ผำ อาศัยลอยอยู่บนผิวน้ำ อาจลอยอยู่เป็นกลุ่มล้วนๆ หรือลอยปนกับพืชชนิดอื่นๆ รูปร่างรี ค่อนข้างกลม ยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร สีเขียว อยู่ในวงศ์ *Lemnaceae* ซึ่งรวมถึงห้าจำพวก*: Landoltia, Lemna, Spirodela, Wolffia* และ *Wolffiella* ซึ่งแต่ละชนิดมีรูปแบบพืชและแหล่งที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน (Boonarsa et al., 2024) ไข่ผำเป็นพืชชั้นสูง เป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงเดี่ยว ไม่มีระบบท่อลำเลียง มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยใช้เมล็ดซึ่งห่อหุ้มด้วยรังไข่และสามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้ด้วยการแตกหน่อ (วิลาสินี ดีปัญญา, 2555)

1.6.3 โปรตีน เป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยปกติแล้วโปรตีนจะมีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ส่วนธาตุที่เป็นส่วนประกอบในปริมาณน้อยได้แก่ กำมะถัน ฟอสฟอรัส เหล็ก (สมปอง ธรรมศิริรักษ์, 2550) นอกจากนี้โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่เป็นเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องระบบการทำงานของเซลล์รวมทั้งเป็นระบบภูมิคุ้มกันของสิ่งมีชีวิต

1.6.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) คือ สารจากสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีต้องเป็นสารที่มีผลจำเพาะเจาะจงและสารนั้นจะต้องไม่มีผลในทางลบต่อร่างกาย หรือมีผลข้างเคียงน้อย ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) ฟลาโวนอยด์ (Flavoniod) แอนโทไซยานิน (Anthocyaine) ลูทีน (Lutein) และไบโอแอคทีฟเพพไทด์ (Bioactive peptide) เป็นต้น (กสิภูมิ ทวนคง, 2567)

1.6.5 การย่อยได้ของโปรตีน เป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความพร้อมของโปรตีนในการดูดซึมของลำไส้หลังจากการย่อย ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการใช้โปรตีนในอาหาร (WHO/FAO/UNU, 2007) การทดสอบการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (*In vitro* protein digestion; IVPD) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำหนดตัวแปรการย่อยได้ IVPD เลียนแบบสภาวะที่จำลองโดยกระบวนการย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ผ่านเอนไซม์โปรตีโอไลติก (เช่น ระบบเอนไซม์เปปซิน-ตับอ่อนหรือระบบปาเปน) เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ (Hur et al., 2011)

1.6.6 การย่อยได้ของแป้ง บนพื้นฐานของอัตราและสัดส่วนของแป้งที่ไฮโดรไลซ์ สามารถแบ่งออกเป็นแป้งที่ย่อยได้เร็ว (RDS) แป้งที่ย่อยได้ช้า (SDS) และแป้งต้านทานการย่อย (RS) แป้งที่ย่อยได้เร็ว (RDS) คือส่วนของแป้งซึ่งจะไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วเป็นโมเลกุลน้ำตาลหลังการบริโภคและให้พลังงานที่ร่างกายต้องการ แป้งที่ย่อยได้ช้า (SDS) คือส่วนของแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์อย่างช้าๆ เป็นโมเลกุลน้ำตาลในลำไส้เล็กเพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ (Englyst et al., 1992) แป้งต้านทานการย่อย (RS) คือแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่าเส้นใยอาหารที่ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็กของมนุษย์ สามารถผ่านเข้าไปถึงลำไส้ใหญ่และเป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย

ในลำไส้ใหญ่ที่ผลิตกรดไขมันสายสั้น (Short-chain fatty acids) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ (ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์, 2022)

1.6.7 ดัชนีน้ำตาล (Glycemic index; GI) ค่า GI เป็นค่าที่ถูกใช้ในการจัดลำดับอาหารตามอัตราในการดูดซับคาร์โบไฮเดรตโดยเปรียบเทียบจากปริมาณน้ำตาลในเลือดที่เพิ่มขึ้นหลังจากรับประทานอาหารเปรียบเทียบกับอาหารมาตรฐาน (Badrie & Broomes., 2010) โดยถ้าอาหารที่มีอัตราการดูดซับคาร์โบไฮเดรตอย่างช้าๆ จะส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงมีค่า GI ต่ำ (Dj et al., 1981) ค่า GI ถูกกำหนดตามพื้นที่ใต้เส้นโค้งของผลตอบสนองกลูโคสในเลือด (Area under curve: AUC) ตามปริมาณคาร์โบไฮเดรต AUC ของอาหารที่นำมาทดสอบจะถูกหารโดย AUC ของอาหารมาตรฐาน (โดยใช้กลูโคสหรือขนมปังขาวเป็นอาหารมาตรฐาน) และคูณด้วย 100 ค่า GI จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับว่าอาหารนั้นๆ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อย โดยถ้าอาหารใดมีอัตราเพิ่มน้ำตาลในเลือดได้มากและเร็วเท่ากับอาหารมาตรฐาน อาหารนั้นจะมีค่า GI เท่ากับ 100 โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต ตามค่า GI ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม Low GI คือ มีค่า GI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 55 กลุ่ม Medium GI คือ มีค่า GI ในช่วง 56-69 และกลุ่ม High GI คือ มีค่า GI มากกว่าหรือเท่ากับ 70 (Cheng et al., 2025)

# บทที่ 2
# ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

## 2.1 เส้นก๋วยเตี๋ยว (Noodle)

ก๋วยเตี๋ยว จากข้อสันนิษฐานที่น่าเชื่อถือที่สุดคือน่าจะมีต้นกำเนิดมาจาก “จีน” จากหลักฐานในหนังสือ อิลมีลีโอเน (Il milione) หรือ บันทึกการเดินทางของมาร์โค โปโล ได้กล่าวถึง “บะหมี่” ในช่วงที่เดินทางไปจีน สมัยกุบไลข่าน หรือราว ๆ ปี 1274-1295 ก๋วยเตี๋ยว เป็นหนึ่งในอาหารประเภทเส้น ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าโดยจะลวกให้สุกในน้ำเดือด สะเด็ดน้ำ แล้วนำมาใส่เครื่องปรุงชนิดต่าง ๆ นิยมรับประทานทั้งแบบน้ำและแบบแห้ง นิยมใช้ตะเกียบเป็นเครื่องมือช่วยรับประทานคำว่า “ก๋วยเตี๋ยว” อาจมาจากภาษาจีนฮกเกี้ยนหรือภาษาจีนแต้จิ๋ว โดยจีนแต้จิ๋วอ่าน “ก๋วยเตี๊ยว” จีนฮกเกี้ยนอ่าน “ก๊วยเตี๋ยว” ที่หมายถึงบะหมี่สันนิษฐานกันว่าก๋วยเตี๋ยวในประเทศไทยมีมาเมื่อประมาณสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ซึ่งเป็นช่วงที่ไทยมีการติดต่อกับชาวต่างชาติ เป็นยุครุ่งเรืองของอาหาร เริ่มมีการดัดแปลงอาหารต่างชาติ ให้เข้ากับวัตถุดิบและรสชาติที่ถูกปากชาวอยุธยา เช่น ขนมทองหยิบ ทองหยอด จากโปรตุเกส หรือแกงกะทิที่ได้รับอิทธิพลจากเปอร์เซีย คาดว่าชาวจีนก็ได้นำเอาก๋วยเตี๋ยวเข้ามากินกันในเรือ และเป็นสิ่งแปลกใหม่สำหรับคนไทย ในประเทศไทย ก๋วยเตี๋ยว กลายเป็นอาหารยอดนิยม และในสมัย จอมพล ป. พิบูลสงคราม เป็นนายกรัฐมนตรี ได้มีนโยบายรัฐนิยมที่สนับสนุนให้ประชาชนบริโภคก๋วยเตี๋ยว เป็นการช่วยเหลือเศรษฐกิจของชาติที่ตกต่ำจากภาวะสงคราม เพื่อให้มีเงินหมุนเวียนในประเทศ

**ประเภทของเส้น**

- เส้นหมี่ หรือภาษาท้องถิ่นบางที่เรียก "หมี่ขาว" หรือ "เส้นหมี่ขาว" เพื่อป้องกันการสับสนระหว่างบะหมี่ ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า เป็นเส้นเรียวเล็ก ยาว มักใช้เครื่องจักรผลิต ก่อนนำมาทำอาหาร ต้องนำไปแช่น้ำก่อน
- เส้นเล็ก ลักษณะกว้างกว่าเส้นหมี่ และตัดเป็นท่อน ๆ เพื่อความง่ายในการรับประทาน เมื่อลวกเสร็จแล้วจะเหนียวกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวอื่น ๆ มักจะใช้นำไปทำผัดไทย ก๋วยเตี๋ยวเรือ ก๋วยเตี๋ยวน้ำตก
- เส้นใหญ่ มีขนาดความกว้างกว่าเส้นเล็ก ประมาณ 3–4 เท่าตัว เมื่อลวกเสร็จแล้วจะนิ่มรับประทานง่าย มักนำไปทำก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่ ผัดซีอิ๊ว เย็นตาโฟ และราดหน้า
- วุ้นเส้น คล้ายกับเส้นหมี่แต่จะบางกว่าและสามารถซดกินได้ง่าย ไม่เหนียว

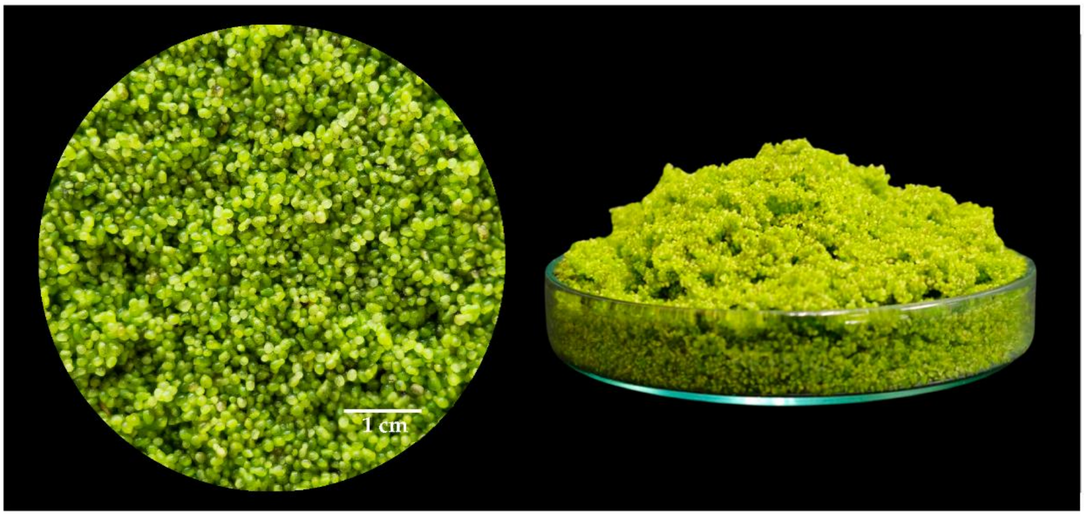
- บะหมี่ คล้ายวุ้นเส้นแต่มีลักษณะหนึบกว่า และมีสีเหลือง
- บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป
- กวยจั๊บ เส้นมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยม เมื่อนำไปต้มในน้ำร้อนก็จะม้วนตัวเป็นหลอด
- เกี้ยมอี๋ ลักษณะคล้ายลอดช่อง มีสีขาว มักทำเป็นก๋วยเตี๋ยวเกี้ยมอี๋ (สุวพงศ์ สุขวิบูลย์, 2567)

**2.2 ไข่ผำ (Wolffia)**

ไข่น้ำ ไข่ผำ *Wolffia globosa* (Roxb.) Hartog & Plas. พืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุด ชื่ออื่นที่เรียกกัน ได้แก่ ไข่แหน ไข่ผำ ผำ อาศัยลอยอยู่บนผิวน้ำ อาจลอยอยู่เป็นกลุ่มล้วนๆ หรือลอยปนกับพืชชนิดอื่นๆ รูปร่างรี ค่อนข้างกลม ยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร สีเขียว อยู่ในวงศ์ *Lemnaceae* ซึ่งรวมถึงห้าจำพวก *Landoltia, Lemna, Spirodela, Wolffia* และ *Wolffiella* ซึ่งแต่ละชนิดมีรูปแบบพืชและแหล่งที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน (Boonarsa et al., 2024) ไข่ผำเป็นพืชชั้นสูง เป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงเดี่ยว ไม่มีระบบท่อลำเลียง มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยใช้เมล็ดซึ่งห่อหุ้มด้วยรังไข่และสามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้ด้วยการแตกหน่อ (วิลาสินี ดีปัญญา, 2555)

2.2.1 การจำแนกของไข่ผำ

ขนาดและรูปร่างของไข่ผำเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการจำแนกชนิดของไข่ผำ ไข่ผำพบมากทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ปัจจุบันไข่ผำที่พบในสกุล Wolffia มีทั้งหมด 16 ชนิด ดังนี้ *W. angusta, Warrhiza, W. borealis, W brasiliensis, W. Columbiana, W denticulate, W. gladiata, W globoas, W. hyaline, W lingulata, W. microsvopica, W netropica, W. oblonga, W reanda, W. roanda* และ *W welwitschii* แต่ที่ปรากฏในประเทศไทยมี 2 ชนิดได้แก่ *Wolffic arrhiza* (L.) wimm และ *Wolffic globosa* (L.) wimm (วิลาสินี ดีปัญญา, 2555)




**ภาพที่ 1** ไข่ผำ (Wolffia)

**ที่มา :** Boonarsa et al. (2024)

2.2.2 การใช้ประโยชน์ของไข่ผำ

ไข่ผำเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ สามารถนำมาประกอบอาหารเพื่อใช้ในการดำรงชีพทั้งมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากพืชบางชนิดในวงศ์นี้มักจะมีการสะสมแคลเซียมออกซาเลตสูงซึ่งอยู่ในรูปคริสตัล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมเพื่อนำไปใช้สร้างประโยชน์ได้ เป็นสาเหตุทำให้เกิดนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ แต่จากการศึกษาวิจัยได้รับการยืนยันแล้วว่าในไข่ผำนั้นไม่พบการสะสมแคลเซียมออกซาเลตจึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายเมื่อนำมารับประทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยนิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ มีรสชาติเหมือนผักทั่วไปโดยเฉพาะไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ความยุ่งยากอยู่ที่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเนื่องจากเป็นพืชน้ำ แต่สามารถปรุงอาหารได้ทั้งอาหารคาวและหวาน (ภาชณุมาศ ทองคำ, 2562) ดังนี้

1. การนำมาปรุงเป็นอาหารคาว การนำไข่ผำมาปรุงอาหารมีมีความยุ่งยากเฉพาะขั้นตอนการเตรียมไข่ผำก่อนประกอบอาหาร เนื่องจากไข่ผำเป็นพืชน้ำขนาดเล็ก จึงต้องต้องใช้น้ำและเทคนิคเฉพาะในการทำความสะอาด อย่างไรก็ตามสามารถทำให้ง่ายขึ้นได้โดยใช้ผ้าขาวบาง ในการนำไข่ผำมาปรุงเป็นอาหารคาว ไข่ผำยังช่วยเสริมรสชาติให้อาหารอร่อยยิ่งขึ้น เช่นแกงอ่อม แกงปลา แกงไก่ แกงเนื้อหรือตำกินสด ไข่ผำสดตำคล้ายส้มตำหรือเป็นส่วนผสมของต้มยำ นอกจากนี้ยังสามารถนำไข่ผำมาเป็นส่วนประกอบในข้าวเกรียบกุ้งหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไข่ผำแผ่นทอดกรอบ เพื่อเพิ่มมูลค่าของไข่ผำให้สูงขึ้น ทั้งนี้ชนิดและปริมาณส่วนผสมที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับแต่ละท้องถิ่น

2. ส่วนผสมของเครื่องจิ้ม ด้วยลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะคือเม็ดสีเขียวเล็ก ใส โปร่งแสง จึงใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องจิ้มอาหารหลายชนิด

3. ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบบางชนิด เช่น เค้ก มัลเฟิน แซนวิส เป็นต้น

2.2.3 คุณค่าทางโภชนาการของไข่ผำ

ไข่ผำเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะสารอาหารประเภทโปรตีนที่มีมากกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์และโปรตีนจากถั่วเหลือง ซึ่งปริมาณคุณค่าทางโภชนการของไข่ผำแสดงดังตารางที่ 1 (วิลาสินี ดีปัญญา, 2555)

**ตารางที่ 1** คุณค่าทางโภชนาการของไข่ผำ 100 กรัม

| **คุณค่าทางโภชนาการ** | **ปริมาณ** |
|---|---|
| พลังงาน (กิโลแคลอรี่) | 8.00 |
| โปรตีน (กรัม/100 กรัม) | 6.80-45.0 |
| ไขมัน (กรัม/100 กรัม) | 1.80-9.2 |
| ใยอาหาร (กรัม/100 กรัม) | 5.70-16.20 |
| แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 59.00 |
| ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 25.00 |
| เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 6.60 |
| วิตามินเอ (IU/100 กรัม) | 5,346.00 |
| วิตามินบี (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 0.03 |

ที่มา : วิลาสินี ดีปัญญา (2555)

## 2.3 โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยปกติแล้วโปรตีนจะมีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ส่วนธาตุที่ประกอบในปริมาณน้อยได้แก่ กำมะถัน ฟอสฟอรัส เหล็ก (สมปอง ธรรมศิริรักษ์, 2550) นอกจากนี้โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่เป็นเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องระบบการทำงานของเซลล์รวมทั้งเป็นระบบภูมิคุ้มกันของสิ่งมีชีวิต โปรตีนสามารถพบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด สัตว์ต้องการใช้โปรตีนตลอดชีวิตเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ อีกทั้งสัตว์ยังต้องการโปรตีน

เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของเลือด กล้ามเนื้อ เอนไซม์ (Enzyme) ภูมิคุ้มกัน (Immune) และฮอร์โมน (Hormone) นอกจากนี้ โปรตียังมีบทบาทในการสร้างฮอร์โมนที่ช่วยในการสืบพันธุ์ ซึ่งในสัตว์ต่างชนิดกันโปรตีนจะมีความจำเพาะเจาะจงกับสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ทั้งนี้ในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว พบว่าโปรตีนจะมีความแตกต่างและมีความหลากหลายมาก โปรตีนสามารถพบในธรรมชาติได้ การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจห์ดาห์ลมักจะตั้งสมมุติฐานว่าโปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 16 และหน่วยที่เล็กที่สุดของโปรตีนคือกรดอะมิโน

2.3.1 โปรตีนในอาหาร

แหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญมากจากเนื้อสัตว์ ทั้งสัตว์บก และสัตว์น้ำ รวมถึงไข่ น้ำนม และโปรตีนจากพืช อาหารบางชนิดอาจจะมีโปรตีนในสัดส่วนที่น้อยแต่ยังมีกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย โปรตีนในอาหารมีหน้าที่และคุณสมบัติที่หลากหลาย เช่น ความสามารถในการการละลาย การดูดซับ การเกิดเจล การให้ความยืดหยุ่น และการเกิดโฟม เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในอาหารหลากหลายชนิด

2.3.2 โปรตีนเนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ (Meat) หมายถึง ชิ้นส่วนของร่างกายสัตว์ที่มนุษย์สามารถนำมาบริโภค ประกอบด้วย ส่วนของเนื้อเยื่ออวัยวะภายใน ทั้งกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่าง ๆ เนื้อสัตว์จัดเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน นอกจากโปรตีนแล้วเนื้อสัตว์ยังมีสารอาหารจำพวกไขมัน เกลือแร่ และวิตามิน โดยเฉพาะธาตุเหล็ก ซีลีเนียม วิตามินเอ วิตามินบี 12 และกรดโฟลิกที่ไม่สามารถพบได้ในอาหารจำพวกพืชหรือพบในพืชแต่ร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (Poor bioavailability) (Köhler et al., 2019)

2.3.3 โปรตีนจากพืช

โปรตีนจากพืชมักได้จากเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดทานตะวัน ซึ่งส่วนใหญ่สามารถผลิตได้ในประเทศ ยกเว้นถั่วเหลืองที่ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากความต้องการภายในประเทศมีมาก โปรตีนจากพืชโดยเฉพาะในพืชตระกูลถั่วประกอบไปด้วยสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ สารพฤกษเคมีหลายกลุ่ม เช่น สารในกลุ่มไอโซฟลาโวนอยด์ (Isoflavonoids) ที่ให้ผลในการป้องกันมะเร็ง สารในกลุ่มฮอร์โมนพืช (Phytoestrogen) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ สารเหล่านี้นับเป็นสารเสริมสุขภาพที่พบได้เฉพาะในพืช ในขณะที่โปรตีนจากเนื้อสัตว์หลายชนิด หรือโปรตีนจากนมมักก่อให้เกิดอาการแพ้หรือรบกวนระบบภูมิต้านทานของร่างกายในบางกรณี นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้โปรตีนจากพืชเพื่อเพิ่มบทบาทเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบอยู่

ในอาหาร เช่น สมบัติการดูดซึมน้ำ การเกิดโฟม โดยเฉพาะสมบัติการเกิดอิมัลชัน และการเกิดเจล ซึ่งมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต และแปรรูปอาหาร (สุภาวดี ทรัพย์สิริไพบูลย์, 2550 และ Chabanon et al., 2007)

**2.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds)**

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ สารจากสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีต้องเป็นสารที่มีผลจำเพาะเจาะจงและสารนั้นจะต้องไม่มีผลในทางลบต่อร่างกาย หรือมีผลข้างเคียงน้อย ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) ฟลาโวนอยด์ (Flavoniod) แอนโทไซยานิน (Anthocyaine) ลูทีน (Lutein) และไบโอแอคทีฟเพปไทด์ (Bioactive peptide) เป็นต้น (กสิภูมิ ทวนคง, 2567)

2.4.1 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอลมีโภชนเภสัช ซึ่งมีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลิสระ (Antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (Phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (Lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (Organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (Alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) เป็นต้น แหล่งที่พบสารประกอบฟีนอล พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (Cell vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด

ประโยชน์ของสารประกอบฟีนอล

1. ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (Antimutagens) มี

สรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (Free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ สามารถดักจับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging) โดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย

2. ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation) (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2567)

2.4.2 สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์

สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นกลุ่มของสารที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) 2 วงแหวน เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม พืชที่เป็นแหล่งของ Flavonoids ได้แก่ ผลไม้ตระกลูส้ม หัวหอม แอปเปิ้ล บรอกโคลี เบอร์รี่ ทับทิม และชา โดย Flavanols, Flavones และ Flavanones เป็นฟลาโวนอยด์หลักที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม นอกจากนี้ Flavanols ยังพบได้สูงในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโกโก้และดาร์กช็อกโกแลต ซึ่งจะช่วยเรื่องการขยายตัวของหลอดเลือด ดังนั้น จึงอาจมีความสัมพันธ์กับการลดความดันโลหิตและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ ฟลาโวนอยด์ ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทำให้มีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันมะเร็งและยับยั้งการพัฒนาของเนื้องอกในสัตว์อีกทั้ง Flavonoids มีความสามารถในการต้านภูมิแพ้ ต้านทานการอักเสบ ต้านไวรัส ยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์ และช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน ความเสื่อมของการมองเห็น และความเสื่อมถอยในวัยชรา (สถิตย์, 2019)

**2.5 การย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (*In vitro* protein digestion)**

การย่อยได้ของโปรตีนเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความพร้อมของโปรตีนในการดูดซึมของลำไส้หลังจากการย่อย ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการใช้โปรตีนในอาหาร (WHO/FAO/UNU, 2007) การทดสอบการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (*In vitro* protein digestion; IVPD) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำหนดตัวแปรการย่อยได้ IVPD เลียนแบบสภาวะที่จำลองโดยกระบวนการย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ผ่านเอนไซม์โปรตีโอไลติก (เช่น ระบบเอนไซม์เปปซิน-ตับอ่อนหรือระบบปาเปน) เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ดังกล่าว (Hur et al., 2011)

**2.6 การย่อยได้ของแป้งในหลอดทดลอง (*In vitro* starch digestion)**

ในกระบวนการย่อยอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตหรือสตาร์ช เริ่มตั้งแต่อาหารเข้าสู่ปาก ฟันจะทำหน้าที่เคี้ยวบดอาหารให้มีขนาดเล็กลง ในน้ำลายมีเอนไซม์ชื่อแอลฟา-อะไมเลส (α-Amylase) ซึ่งสามารถย่อยสตาร์ชให้มีขนาดเล็กลงเป็นเดกซ์ตริน (Dextrin) แต่การย่อยอาหารในปากจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเพราะอาหารอยู่ในปากเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ จากนั้นอาหารจะถูกกลืนผ่านหลอดอาหารไปยังกระเพาะอาหาร ซึ่งมีเอนไซม์อะไมเลสอยู่แต่ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากอะไมเลสไม่ทำงานในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง ดังนั้น ในกระเพาะอาหารจึงเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสคือการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรตทำให้แป้งโมเลกุลใหญ่มีขนาดเล็กลงจากนั้นกระบวนการย่อยแป้งที่แท้จริงจะเกิดที่ลำไส้เล็กซึ่งมีสภาพเป็นด่างที่เหมาะสมกับสภาวะการย่อยโดยน้ำดีทำให้ลำไส้เล็กสามารถย่อยสตาร์ชจนสุดท้ายได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ (นาฏยา อริยสุขโฆษิต, 2565)

โดยทั่วไปแบ่งสตาร์ชออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แป้งที่ย่อยได้เร็ว (RDS) แป้งที่ย่อยได้ช้า (SDS) และแป้งต้านทานการย่อย (RS) แป้งที่ย่อยได้เร็ว (RDS) คือส่วนของแป้งซึ่งจะไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วเป็นโมเลกุลน้ำตาลหลังการบริโภคและให้พลังงานที่ร่างกายต้องการ แป้งที่ย่อยได้ช้า (SDS) คือส่วนของแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์อย่างช้าๆ เป็นโมเลกุลน้ำตาลในลำไส้เล็กเพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ (Englyst et al., 1992) แป้งต้านทานการย่อย (RS) คือแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่าเส้นใยอาหารที่ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็กของมนุษย์ สามารถผ่านเข้าไปถึงลำไส้ใหญ่และเป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ที่ผลิตกรดไขมันสายสั้น (Short-chain fatty acids) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ (ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์, 2022) อัตราการย่อยแป้งมีประโยชน์ในการทำนายการตอบสนองระดับน้ำตาลในเลือดของอาหารประเภทแป้งที่กินเข้าไปโดยการพิจารณาดัชนีระดับน้ำตาลในเลือดโดยประมาณ ดัชนีน้ำตาลคือการวัดเพื่อจัดอันดับอาหารที่มีโพลีแซ็กคาไรด์ตามความสามารถในการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง (ขนมปังขาวหรือกลูโคส) (Miao, M et al., 2015)

**2.7 ดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI)**

ค่าดัชนีน้ำตาล GI เป็นค่าที่ถูกใช้ในการจัดลำดับอาหารตามอัตราในการดูดซับคาร์โบไฮเดรตโดยเปรียบเทียบจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากรับประทานอาหารโดยเปรียบเทียบกับอาหารมาตรฐาน (Badrie & Broomes., 2010) โดยถ้าอาหารมีอัตราการดูดซับคาร์โบไฮเดรตช้า จะส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงมีค่า GI ต่ำ (Dj et al., 1981) ค่า GI ถูกกำหนดตามพื้นที่ใต้เส้นโค้งของผลตอบสนองกลูโคสในเลือด (Area under curve: AUC) โดย AUC ของอาหารที่นำมาทดสอบจะถูกหารโดย AUC ของอาหารมาตรฐาน (ใช้กลูโคสหรือ

พหุน ปณฺ ฑิต ชีเว

ขนมปังขาวเป็นอาหารมาตรฐาน) และคูณด้วย 100 ค่า GI จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือด โดยถ้าอาหารใดมีอัตราเพิ่มน้ำตาลในเลือดได้มากและเร็วเท่ากับอาหารมาตรฐาน อาหารนั้นจะมีค่า GI เท่ากับ 100 โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มอาหารตามค่า GI ได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม Low GI คือ มีค่า GI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 55 กลุ่ม Medium GI คือ มีค่า GI ในช่วง 56-69 และกลุ่ม High GI คือ มีค่า GI มากกว่าหรือเท่ากับ 70 (Cheng et al., 2025) การวิเคราะห์ค่า GI ด้วยวิธี *In vitro* เป็นการจำลองระบบการย่อยตั้งแต่การเคี้ยวในปากไปจนถึงการย่อยในลำไส้เล็ก โดย AUC จะถูกคำนวณมาจากการอินทิเกรทพื้นที่ใต้กราฟของของ Hydrolysis curves ที่เป็นไปตาม First order equation ซึ่งค่า Hydrolysis index (HI) คำนวณได้จาก AUC ของตัวอย่างอาหารหารด้วย AUC ของอาหารมาตรฐาน โดยค่า HI ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ *In-vitro* จะให้ค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบ *In-vivo* โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตามสมการต่อไปนี้ (Goñi et al., 1997)

$$GI = 39.71 + 0.549HI$$

การรับประทานอาหารที่มีค่า GI ต่ำจะมีผลทำให้อัตราการย่อยของคาร์โบไฮเดรตลดลงซึ่งส่งผลให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีโดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Hager et al., 2012)

### 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่ามีการศึกษาและทำการวิจัยทั้งในด้านกระบวนการแปรรูป การปรุบปรุงคุณภาพ รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวในหลากหลายประเด็น และมีการประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบและการทดลองอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

**Sofi et al. (2020)** ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพ รีโอโลยี การย่อยในหลอดทดลองและการประเมินทางประสาทสัมผัสของเส้นบะหมี่ปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวพรีเจลาติไนซ์ผสมกับแป้งถั่วชิกพีงอก (5%, 10%, 20% และ 30%) การเติมแป้งถั่วชิกพีงอกจากสองสายพันธุ์ (GNG 1581 และ GNG 469) ในบะหมี่ปราศจากกลูเตน สามารถเพิ่มระดับโปรตีนหยาบ (7.52–10.5 กรัม/100 กรัม) เส้นใยอาหาร (1.3–4.4 กรัม/100 กรัม) อะไมโลส (21.2–25.9 กรัม/100 กรัม) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (22.8–34.5 กรัม/100 กรัม) กรดฟีนอลิกทั้งหมด (117.7–203.04 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม) และความสามารถในการย่อยโปรตีน ในหลอดทดลอง (78.7–84.9%) เส้นบะหมี่ปราศจากกลูเตนมีดัชนีน้ำตาลในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (70.83–61.79) การประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าระดับการยอมรับโดยรวมที่ 20% และยอมรับได้สูงสุดถึงระดับ 30% ของการผสมแป้งถั่วชิกพี

**Liu et al. (2021)** รายงานการเติมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจากรำข้าว (Rice bran insoluble dietary fiber; RBIDF) ลงในเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (3–12% w/w) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติการปรุงสุก เนื้อสัมผัส โครงสร้างจุลภาคของบะหมี่ และผลของ RBIDF ต่อส่วนประกอบหลักสามอย่าง (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) และต่อการย่อยเส้นบะหมี่ในหลอดทดลอง บะหมี่ที่มี RBIDF 3%–6% มีเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด สูตร 3% ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดีที่สุด ผลการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่า RBIDF ≥9% ทำให้เกิดเส้นบะหมี่หยาบและมีรูพรุน ซึ่งทำให้คุณภาพการกินลดลง RBIDF (3%–9%) ชะลอการย่อยสลายแป้งได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตร 3% มีคุณสมบัติต้านการย่อยสูงที่สุด เฮมิเซลลูโลสช่วยลดการแพร่กระจายของกลูโคสได้มากที่สุด ทำให้เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยได้น้อยลง RBIDF (≤6%) ลดการย่อยบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่กระทบต่อคุณภาพ

**Monthakantirat et al. (2022)** *Wolffia globosa* หรือ watermeal เป็นพืชน้ำในวงศ์ *Lemnaceae* ที่นำมาบริโภคเป็นอาหารและจำหน่ายในท้องถิ่น จุดมุ่งหมายของการศึกษานี้คือการหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและแร่ธาตุต่างๆ โดยนำ *W. globosa* มาสกัดด้วยเอทานอล ก่อนนำไปประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์ปริมาณฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินทั้งหมด การวิเคราะห์เบต้าแคโรทีน กรดเฟรูลิก ลูทีโอลิน-7-O-β-D-กลูโคไซด์ และเคมป์เฟอรอล ด้วยวิธี HPLC ประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) และ ABTS (2,2′-azobis (3-Ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) วิเคราะห์การกำจัดอนุมูลอิสระโดยใช้รีเอเจนต์ DPPH จากการวิเคราะห์เบต้าแคโรทีน กรดเฟอร์รูลิก ทีโอลิน-7-O-β-D-กลูโคไซด์ และเคมป์เฟอรอลของ พบว่าในสารสกัดมีค่าเท่ากับ 2.52, 1.40, 2.42 และ 1.57 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ การทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของตัวอย่างด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของสารสกัด *W. globosa* ทั้งแบบสดและที่ผ่านการต้ม พบว่า %Inhibition ของวิธี DPPH มีค่า 75.77% และ 67.10% ส่วนวิธี ABTS มีค่าการยับยั้ง 70.40% และ 59.78% ตามลำดับ

**On-Nom et al. (2023)** งานวิจัยนี้พัฒนาขนมขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ *W. globosa* (ไข่ผำ) ซึ่งเป็นพืชน้ำขนาดเล็กที่อุดมไปด้วยโปรตีน เส้นใยอาหาร และไขมัน นักวิจัยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response surface methodology; RSM) เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับขนมขบเคี้ยว โดยผสมแป้งข้าวเหนียว 64% แป้งมันสำปะหลัง 10% และผงผำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (WP) 26% ผลการทดลองพบว่าการเติมผงไข่ผำสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนรวม กรดอะมิโนจำเป็นและเส้นใยอาหาร โดยเพิ่มขึ้น 51%, 147%, และ 83% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับขนมสูตรควบคุมและยังมีสารต้านอนุมูลอิสระและสารพฤกษเคมีสูงกว่าขนมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ

ปริมาณสารอาหารที่แนะนำต่อวันในประเทศไทย งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของขนมขบเคี้ยวเสริมไข่ผำในการต่อสู้กับภาวะขาดสารอาหารและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้

**ช่องว่างงานวิจัย (Research gap)**

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นอาหารหลักที่ได้รับนิยมในวงกว้างแต่มีเส้นก๋วยเตี๋ยวมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำเนื่องจากมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก และมีรายงานประโยชน์ของไข่ผำซึ่งประกอบด้วยโปรตีนและสารอาหารอื่นๆ เช่น วิตามิน เกลือแร่ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่นำเอาไข่ผำมาเสริมในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวและนำมาศึกษาคุณลักษณะและคุณภาพภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเพื่อนำไปเป็นต่อยอดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

พหูน ปญ ญา ชีเว

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดมหาสารคาม จากนั้นนำไข่ผำจากแหล่งที่ดีที่สุดมาศึกษาสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ โดยสูตรที่ดีที่สุดจะถูกนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี การประเมินทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

## 3.1 ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน 3 แหล่ง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดมหาสารคาม นำไข่ผำจากทั้ง 3 แหล่งมาผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ วิธี FRAP assay จากนั้นคัดเลือกแหล่งปลูกที่ดีที่สุดเพื่อนำมาศึกษาสูตรในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำในการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 นำไข่ผำจากการทดลองที่ 1 มาศึกษาสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ผำ โดยดัดแปลงสูตรมาจาก น้อมจิตต์ สุธีบุตร และคณะ (2561) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไข่ผำ ก่อนนำไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทาง

กายภาพ วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ วิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส คุณสมบัติของการปรุงสุก ดูภาพพื้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้อง SEM ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ วิธี FRAP assay หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วย HPLC หาปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด วิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีนและแป้ง ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล โดยจำลองการย่อยในหลอดทดลอง วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีด้วยเครื่อง FT-IR นำเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำที่ได้ไปศึกษาต่อในการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยประเมินลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Rating Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 30 คน และการทดสอบอายุการเก็บรักษาโดยศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง คือ ที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน เทียบกับสภาวะอุณหภูมิโดยรอบ ตามวิธีของ Decker et al, (2010) และ El-Magoli et al, (1980) โดยการประเมินค่าความสว่าง (L*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ปริมาณความชื้น (MC) และค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

**3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย**

3.2.1 วัตถุดิบ

3.2.1.1 แป้งข้าวเจ้า

3.2.1.2 แป้งมันสำปะหลัง

3.2.1.3 ไข่ผำ

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.2.1 ชามผสม

3.2.2.2 หม้อ

3.2.2.3 ถาดอลูมิเนียม

3.2.2.4 ช้อน

3.2.2.5 อลูมิเนียมฟอยล์

พหุปัญญา ติโต ชีเว

3.2.2.6 พลาสติกคลุมอาหาร

3.2.2.7 ไม้พาย

3.2.2.8 เครื่องปั่นอเนกประสงค์

3.2.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์

3.2.3.1 บีกเกอร์ ขนาด 50 100 250 ,600 และ 1,000 มิลลิลิตร

3.2.3.2 ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 100 250 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

3.2.3.3 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 ,250 และ 500 มิลลิลิตร

3.2.3.4 กระบอกตวง ขนาด 10 50 100 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

3.2.3.5 แท่งแก้ว

3.2.3.6 Pasture pipette

3.2.3.7 กรวยกรอง

3.2.3.8 Glass cuvette ขนาด 3 มิลลิลิตร

3.2.3.9 Stainless spatula

3.2.3.10 ช้อนตักสาร

3.2.3.11 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช

3.2.3.12 คิวเวตต์ (Cuvette)

3.2.3.13 หลอด Centrifuge ขนาด 15 และ 50 มิลลิลิตร

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.4.1 เครื่องชั่งชนิดละเอียด 2, 4 ตำแหน่ง (Balance: Mettler Toledo, Thailand)

3.2.4.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.2.4.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

3.2.4.4 เครื่องวัดปริมาณความชื้น

3.2.4.5 เครื่องวัดสี (Chromatometer) (Minolta; Model CR-400)

3.2.4.6 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (Libra S12)

3.2.4.7 Micropipette and Tips

3.2.4.8 เตาไฟฟ้า (Hot plate)

3.2.4.9 เครื่อง (Vortex) (VTX-3000L)

พหุนปญฺญา มหาวิทยาลัย ชีเว

3.2.4.10 เครื่อง (Centrifuge) (Universal 320)

3.2.4.11 เครื่องเขย่าสาร

3.2.4.12 เตาเผาอุณหภูมิสูง

3.2.4.13 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

3.2.4.14 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Kjeldath apparatus)

3.2.4.15 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (Soxhlet apparatus)

3.2.4.16 เตาอบความร้อนสูงวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย (Fiber Analyzer)

3.2.4.17 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

3.2.4.18 เครื่อง High-performance liquid chromatography (HPLC)

3.2.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.5.1 Folin-Ciocalteu reagent (Analytical grade)

3.2.5.2 Sodium carbonate ($Na_2CO_3$) (Analytical grade)

3.2.5.3 Gallic acid (Analytical grade)

3.2.5.4 Sodium nitrite ($NaNO_2$) (Analytical grade)

3.2.5.5 Aluminium chloride ($AlCl_3$)

3.2.5.6 Sodium hydroxide (NaOH) (Analytical grade)

3.2.5.7 Ethanol (Analytical grade)

3.2.5.8 Methanol (Analytical grade)

3.2.5.9 hexane (Analytical grade)

3.2.5.10 DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate; Analytical grade)

3.2.5.11 Ascorbic acid (Analytical grade)

3.2.5.12 Hydrochloric acid (Analytical grade)

3.2.5.13 Quercetin (Analytical grade)

3.2.5.14 Sodium acetate (Analytical grade)

3.2.5.15 Acetic acid (Analytical grade)

3.2.5.16 Ferric chloride (Analytical grade)

3.2.5.17 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (Analytical grade)

3.2.5.18 Ferric chloride (Analytical grade)

พหุนํ ปญฺญวฑฺฒโน ชีเว

3.2.5.19 Ferrous sulfate (Analytical grade)

3.2.5.20 Petroleum ether (Analytical grade)

3.2.5.21 Boric acid (Analytical grade)

3.2.5.22 Sulfuric acid (Analytical grade)

3.2.5.23 Copper sulfate (Analytical grade)

3.2.5.24 Formic acid (Analytical grade)

3.2.5.25 Acetone nitrite (HPLC grade)

3.2.5.26 DI water

3.2.5.27 Rabbit gastric extract for gastric lipase powder RGE25-100MG Lipolytech offers rabbit gastric extracts (RGE) France

3.2.5.28 TAME T.4626 100G Sigma-Aldrich

3.2.5.29 porcine trypsin T0303 (10G) Sigma-Aldrich

3.2.5.30 Tris/HCl buffer Sigma-Aldrich

3.2.5.31 Tributyrin of purity grade 99% T8626 Sigma-Aldrich

3.2.5.32 Butyric acid Sigma-Aldrich

3.2.5.33 Salivary $\alpha$-amylase Sigma-Aldrich

3.2.5.34 Porcine pepsin Sigma-Aldrich

3.2.5.35 Bovine bile Sigma-Aldrich

3.2.5.36 Porcine pancreatin Sigma-Aldrich

3.2.5.37 $CaCl_2(H_2O)_2$ Merck, 2382

3.2.5.38 $KH_2PO_4$

3.2.5.39 Potassium chloride (KCl) Merck, 2382

3.2.5.40 $NaHCO_3$

3.2.5.41 $MgCl_2(H_2O)_6$

3.2.5.42 $(NH_4)_2CO_3$

3.2.5.43 $CaCl_2(H_2O)$

## 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบจากไข่ผำ

โดยนำไข่ผำจาก 3 แหล่ง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา (จากฟาร์มโดยเลี้ยงตามสูตรอาหารดังตารางที่ 2) จังหวัดมหาสารคาม (จากตลาดท้องถิ่น) และจังหวัดร้อยเอ็ด (จากตลาดท้องถิ่น) ล้างให้สะอาด นำมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไข่ผำแห้งที่ได้ไปบดและร่อนผ่านตะแกรง 50 เมซ ก่อนนำมาศึกษคุณสมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่ผำ

**ตารางที่ 2** สูตรอาหารในการเลี้ยงไข่ผำ

| ธาตุอาหาร | นครราชสีมา | มหาสารคาม | ร้อยเอ็ด |
|---|---|---|---|
| ไนโตรเจน | 268.59 | - | - |
| $NH_4^+$ | 30.75 | - | - |
| $NO_3$ | 237.84 | - | - |
| ฟอสฟอรัส (P) | 30.04 | - | - |
| โพแทสเซียม (K) | 290.00 | - | - |
| แคลเซียม (Ca) | 113.56 | - | - |
| แมกนีเซียม (Mg) | 30.00 | - | - |
| กำมะถัน (S) | 40.00 | - | - |
| เหล็ก (Fe) | 2.40 | - | - |
| โบรอน (B) | 0.51 | - | - |
| แมงกานีส (Mn) | 1.63 | - | - |
| สังกะสี (Zn) | 0.44 | - | - |
| ทองแดง (Cu) | 0.125 | - | - |

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

3.3.1.1 การวัดสี

การวัดค่าสีด้วย CR-400 / CR-410 คัลเลอริมิเตอร์ (โครมามิเตอร์; Konica Minolta Sensing Inc. Osaka, Japan) ตามวิธีการที่อธิบายไว้โดย Ming-Min & Ismail-Fitry, (2023) ความเข้มของสีประเมินโดยใช้ตัวแปรสี L* (L = 0 (สีดำ), L = 100 (สีขาว)), a* (-a = สีเขียว, +a = สีแดง) และ b* (-b = สีน้ำเงิน, +b = สีเหลือง)

3.3.1.2 วัดปริมาณน้ำอิสระ water activity ($a_w$)

วัดปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Novasina RS 200, Axair Ltd., Pfaffikon, Switzerland)

3.3.1.3 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

วิธีนี้ดัดแปลงจาก Zou et al, (2016) ปริมาณคลอโรฟิลล์ของไข่ผำ ถูกสกัดด้วยอะซิโตน 80% โดยไข่ผำ (น้ำหนักแห้ง 0.1 กรัม) ถูกเติมลงในอะซิโตน 80% (ปริมาตร/ปริมาตร) และวางไว้ในที่มืดจนกว่าตัวอย่างจะเป็นสีขาว วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 645 และ 663 นาโนเมตร ปริมาณของคลอโรฟิลล์ คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้ (Lichtenthaler & Wellburn, 1983)

$$\text{Chlorophyll content}\left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}}\right) = \left((8.02xOD663 + 20.21xOD645)x\frac{V}{Sx1000}\right)x\ 100 \quad (1)$$

โดยที่ V คือปริมาตรของเหลว และ S คือน้ำหนักของตัวอย่าง

3.3.1.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ตามวิธีการ AOAC, (2000) ได้ดำเนินการหาปริมาณเถ้า (900.02) โปรตีน (920.176) ไขมัน (920.177) และไฟเบอร์ (985.29) ต่อจากนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตถูกกำหนดโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{Carbohydrate content (\%)} = 100 - (\%\text{ash} + \%\text{protein} + \%\text{ fat} + \%\text{fiber}) \quad (2)$$

3.3.1.5 การสกัดตัวอย่าง การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการสกัดดัดแปลงตามวิธีของ Jelled et al. (2015) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม และเติมเอทานอล 30 มิลลิลิตร 99.99% ผสมบนเครื่องเขย่าที่ตั้งไว้ที่ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และกรองโดยใช้กระดาษกรอง สารสกัดนำมาเพื่อศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

1. การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents; TPC) โดยวิธี Folin- ciocalteus method

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดทำตามวิธีของ Ratseewo et al. (2019) โดยเตรียมรีเอเจนต์ Folin–ciocalteu 10% ในน้ำกลั่น จากนั้นผสมรีเอเจนต์ Folin–ciocalteu 300 µL กับสารสกัดตัวอย่าง 200 µL ผสมและบ่มในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% ปริมาตร 2,250 µL จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ในที่มืดในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตรโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV (HACH, Model DR 2700, Germany) โดยใช้สารละลายกรดแกลลิก (1–100 มิลลิกรัม/ลิตร) เป็นสารละลายมาตรฐาน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวิเคราะห์เป็นมิลลิกรัม เทียบเท่า Gallic acid equivalent (GAE) ต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง (Dry weight basis) (mg GAE/g db)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content; TFC)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทำตามวิธีของ Boonarsa et al. (2024) สารสกัดตัวอย่าง 500 µL ผสมกับน้ำกลั่น 2250 µL และสารละลาย $NaNO_2$ 5% 150 µL ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นให้เติม $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 300 µL (10% w/v) ลงในสารละลาย ตั้งไว้เป็นเวลา 5 นาที และเติมสารละลาย NaOH 1000 µL (1 mol $L^{-1}$) จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตรโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แสดงเป็น มิลลิกรัมเทียบเท่าเคอซิติน (QE) ต่อกรัม (mg QE/g db)

3. วิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity)

วิธีวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ทำตามวิธีของ Siriamornpun et al. (2016) สารสกัดตัวอย่าง 500 µL ผสมกับสารละลาย DPPH ที่เตรียมใหม่ 4.5 มิลลิลิตร (0.1 mmol/L methanol) ตัวอย่างถูกเขย่าและตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้กราฟมาตรฐานแสดงเปอร์เซ็นต์ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ Vitamin c เทียบกับความเข้มข้นเพื่อให้ได้เป็น มิลลิกรัมเทียบเท่า Vitamin c ต่อกรัม (mg vitamin c/g db)

4. วิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (Ferric reducing antioxidant power; FRAP)

วิธีวิเคราะห์ FRAP ตามวิธีการของ Siriamornpun et al. (2016) โดย FRAP reagent ถูกเตรียมโดยการผสมบัฟเฟอร์อะซิเตต 100 มิลลิลิตร (0.3 mol/ $L^{-1}$ , pH 3.6), สารละลาย $FeCl_3$ 20 mmol $L^{-1}$ และ สารละลาย TPTZ 10 มิลลิลิตร ละลายใน 10 มิลลิลิตร ของ 40 mmol $L^{-1}$ HCl ในอัตราส่วน 10:1:1 กับน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สารละลายตัวอย่าง 60 µL และน้ำกลั่น 180 µL เติมไปยังรีเอเจนต์ FRAP 1.8 มิลลิลิตร สารละลายถูกเขย่า และบ่มในอ่าง

น้ำที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร ค่า FRAP แสดงเป็น mg $FeSO_4$ ต่อกรัม (mg $FeSO_4$/g db)

คัดเลือกไข่ผำจากแหล่งที่มีคุณภาพดีที่สุดเพื่อศึกษาสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ผำต่อไป

**3.3.2 การทดลองที่ 2 พัฒนาสูตรและกระบวนผลิตผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

นำไข่ผำจากการทดลองที่ 1 เตรียมตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวตามวิธีของ น้อมจิตต์ สุธีบุตร และคณะ (2561) โดยดัดแปลงตามตารางที่ 2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไข่ผำ ส่วนผสมแต่ละสูตร (ตารางที่ 2) ปั่นผสมและเทลงถาดขนาด (25*25 เซนติเมตร) ก่อนนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนึ่งแล้วส่วนผสมจะถูกหั่นเป็นแถบสม่ำเสมอ (0.2*0.5 เซนติเมตร) และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส คุณสมบัติของการปรุงสุก ดูภาพพื้นผิวของตัวอย่าง คุณสมบัติทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการย่อยโปรตีน การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด ความสามารถในการย่อยแป้ง ค่าดัชนีน้ำตาล โดยจำลองการย่อยในหลอดทดลอง และวิเคราะห์ FT-IR

**ตารางที่ 3** ส่วนประกอบของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

| ส่วนประกอบ | Control | WF1 | WF3 | WF5 |
|---|---|---|---|---|
| แป้งข้าวจ้าว (%) | 16.70 | 16.70 | 16.70 | 16.70 |
| แป้งมันสำปะหลัง (%) | 20.80 | 19.80 | 17.80 | 15.80 |
| น้ำ (%) | 62.50 | 62.50 | 62.50 | 62.50 |
| ผงไข่ผำ (%) | 0.00 | 1.00 | 3.00 | 5.00 |

Control = ไม่มีไข่ผำ, WF1 = ผงไข่ผำ 1%, WF3 = ผงไข่ผำ 3%, WF5 = ผงไข่ผำ 5%

พหุน ปณ กิโต ชีเว

3.3.2.1 การวัดสี

การวัดค่าสีด้วย CR-400 / CR-410 คัลเลอริมิเตอร์ (โครมามิเตอร์; Konica Minolta Sensing Inc. Osaka, Japan) ตามวิธีการของ Ming-Min & Ismail-Fitry. (2023) ใช้วัดสีของเส้นเส้นก๋วยเตี๋ยว ความเข้มของสีของเส้นเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งได้รับการประเมินโดยใช้ตัวแปรสี L* (L = 0 (สีดำ), L = 100 (สีขาว)), a* (-a = สีเขียว, +a = สีแดง) และ b* (-b = สีน้ำเงิน, +b = สีเหลือง)

3.3.2.2 วัดปริมาณน้ำอิสระ water activity ($a_w$)

วัดปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Novasina RS 200, Axair Ltd., Pfaffikon, Switzerland)

3.3.2.3 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

วิธีนี้ดัดแปลงจาก Zou et al, (2016) ปริมาณคลอโรฟิลล์ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ถูกสกัดด้วยอะซิโตน 80% โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ (น้ำหนักแห้ง 1 กรัม) ถูกเติมลงในอะซิโตน 80% (ปริมาตร/ปริมาตร) และวางไว้ในที่มืดจนกว่าตัวอย่างจะเป็นสีขาว วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 645 และ 663 นาโนเมตร ปริมาณของคลอโรฟิลล์ คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้ (Lichtenthaler & Wellburn, 1983)

$$\text{Chlorophyll content}\left(\frac{\text{mg}}{\text{100g}}\right) = \left((8.02\text{xOD663} + 20.21\text{xOD645})x\frac{\text{V}}{\text{Sx1000}}\right)\text{x100} \quad (2)$$

โดยที่ V คือปริมาตรของเหลว และ S คือน้ำหนักของตัวอย่าง

3.3.2.4 วิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ปรุงสุกทั้งหมดด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นผิว TA-XT plus (U.K.) โดยใช้โพรบ P/35 ตั้งค่าโหมดการบีบอัดมีดังนี้ ความเร็วก่อนการทดสอบ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วในการทดสอบ 0.8 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วหลังการทดสอบ 0.8 มิลลิเมตร/วินาที ความเครียดถูกตั้งค่าไว้ที่ 70% และแรงกระตุ้น 5 กรัม

ในการประเมินคุณสมบัติแรงดึง เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเดียวถูกยึดไว้รอบลูกกลิ้งขนานของเครื่องวิเคราะห์พื้นผิวโดยใช้โพรบ A/SPR เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการลื่นไถล ตัวแปรการทดสอบถูกตั้งค่าดังนี้ ความเร็วก่อนการทดสอบ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วในการทดสอบ 3.0 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วหลังการทดสอบ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทาง 100 มิลลิเมตร และแรงกระตุ้น 5 กรัม ค่าคุณสมบัติแรงดึงขั้นสุดท้ายสำหรับแต่ละตัวอย่างคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของการวัดห้าครั้ง ดัดแปลงจาก Xing et al. (2023)

3.3.2.5 คุณสมบัติการปรุงสุก

1. การวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มก๋วยเตี๋ยวให้สุก (Cooking time)

วิธีการประเมินเวลาในการปรุงสุกของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวดัดแปลงจาก AACC (2000) โดยนำเสนก๋วยเตี๋ยว 10 กรัม ตมในน้ำเดือด 1000 มิลลิลิตร จับเวลาที่ใชในการต้มเส้นก๋วยเตี๋ยวจนสุก สังเกตจุดกึ่งกลางของเสนก๋วยเตี๋ยวเมื่อสุกแลวจะมีลักษณะใสไมขุน

2. การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss)

วิธีการประเมินหาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ของตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว ดัดแปลงจาก AACC (2000) โดยนำตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว 15 กรัม ต้มในน้ำกลั่นเดือด 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 20 นาที หลังจากเส้นสุกแล้ว ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวให้สะเด็ดน้ำและล้างด้วยน้ำกลั่นโดยใช้กรวย Büchner นำน้ำที่ต้มและน้ำล้างรวมกันในบีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักไว้ล่วงหน้า เพื่อตรวจสอบหาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม น้ำที่รวบรวมไว้จะถูกระเหยจนแห้งในเตาอบที่ตั้งไว้ที่ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นคำนวณการสูญเสียการปรุงสุกและแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของสารตกค้าง

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{\text{Weight of dried residue in cooking water and rinse water}}{\text{Weight of fresh noodles}} \times 100 \qquad (3)$$

3. การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking yield)

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวประมาณ 10 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำ 1000 มิลลิลิตร ต้มจนสุกแล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปล่อยให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 15 นาที ก่อนชั่งน้ำหนัก คำนวณผลในการปรุงสุกโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{Cooking yield (\%)} = \frac{\text{Cooked noodles weight}}{\text{Fresh noodles weight}} \times 100 \qquad (4)$$

4. ความสามารถในการดูดน้ำ (Water absorption capacity; WAC)

เพื่อประเมินการดูดซึมน้ำในระหว่างกระบวนการปรุงสุกตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว 15 กรัม ถูกจุ่มลงในน้ำกลั่นเดือด 150 มิลลิลิตร และต้มจนสุก หลังจากปรุงสุกแล้วเส้นก๋วยเตี๋ยวจะถูกระบายออกและชั่งน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ เปอร์เซ็นต์ของการดูดซึมน้ำคำนวณโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างตัวอย่างที่ปรุงสุกและยังไม่สุก และแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามวิธีของ Said et al. (2022)

$$\text{WAC (\%)} = \frac{\text{Weight of cooked noodle} - \text{Weight of uncooked noodle}}{\text{Weight of uncooked noodle}} \times 100 \qquad (5)$$

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

3.3.2.6 การดูพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ทำตามวิธีของ Tang et al. (2021) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างทั้งดิบและสุก (S-4800II, Hitachi, Tokyo, Japan) การวิเคราะห์ดำเนินการที่กำลังขยาย 2,000 เท่า และแรงดันไฟฟ้าเร่งที่ 10 kV

3.3.2.7 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ตามวิธีการ (AOAC, 2005) ได้ดำเนินการหาปริมาณเถ้า (900.02) โปรตีน (920.176) ไขมัน (920.177) และไฟเบอร์ (985.29) ต่อจากนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตถูกกำหนดโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{Carbohydrate content (\%)} = 100 - (\%\text{ash} + \%\text{protein} + \%\text{ fat} + \%\text{fiber}) \quad (2)$$

3.3.2.8 การวิเคราะห์หากรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ด้วย HPLC

กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ถูกสกัดตามวิธีการ Chumroenphat et al. (2021) และวิเคราะห์ด้วย HPLC (Series 20, Shimadzu, Kyoto, Japan) ตามวิธีของ Kubola & Siriamornpun, (2011) โดยใช้คอลัมน์ C18 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm; InertSustain, GL Sciences, Tokyo, Japan) เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยน้ำบริสุทธิ์ที่มีกรดอะซิติก 1% (v/v) (ตัวทำละลาย A) และอะซิโตไนไตรล์ (ตัวทำละลาย B) ที่อัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตร/นาที ความยาวคลื่นการตรวจจับ ได้แก่ 280 นาโนเมตร (กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก), 320 นาโนเมตร (กรดไฮดรอกซีซินนามิก) และ 370 นาโนเมตร (ฟลาโวนอยด์)

3.3.2.9 การสกัดตัวอย่าง การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการสกัดดัดแปลงตามวิธีของ Jelled et al. (2015) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม และเติมเอทานอล 30 มิลลิลิตร 99.99% ผสมบนเครื่องเขย่าที่ตั้งไว้ที่ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และกรองโดยใช้กระดาษกรอง สารสกัดนำมาเพื่อศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

1. การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) โดยวิธี Folin- ciocalteus method

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดทำตามวิธีของ Ratseewo et al. (2019) โดยเตรียมรีเอเจนต์ Folin–ciocalteu 10% ในน้ำกลั่น จากนั้นผสมรีเอเจนต์ Folin–ciocalteu 300 μL กับสารสกัดตัวอย่าง 200 μL ผสมและบ่มในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% ปริมาตร 2,250 μL จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ในที่มืดในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตรโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายกรดแกลลิก (1–100 มิลลิกรัม/ลิตร) เป็นสารละลายมาตรฐาน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวิเคราะห์เป็นมิลลิกรัมเทียบเท่า Gallic acid equivalent (GAE) ต่อ 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (Dry weight basis) (mg GAE/100g db)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content; TFC)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทำตามวิธีของ Boonarsa et al. (2024) สารสกัดตัวอย่าง 500 µL ผสมกับน้ำกลั่น 2250 µL และสารละลาย $NaNO_2$ 5% 150 µL ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นให้เติม $AlCl_3{\cdot}6H_2O$ 300 µL (10% w/v) ลงในสารละลาย ตั้งไว้เป็นเวลา 5 นาที และเติมสารละลาย NaOH 1000 µL (1 mol $L^{-1}$) จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตรโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แสดงเป็น มิลลิกรัมเทียบเท่าเคอซิติน (QE) ต่อ 100 กรัม (mg QE/100g db)

3. วิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity)

วิธีวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ทำตามวิธีของ Siriamornpun et al. (2016) สารสกัดตัวอย่าง 500 µL ผสมกับสารละลาย DPPH ที่เตรียมใหม่ 4.5 มิลลิลิตร (0.1 mmol/L methanol) ตัวอย่างถูกเขย่าและตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้กราฟมาตรฐานแสดงเปอร์เซ็นต์ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ Vitamin c เทียบกับความเข้มข้นเพื่อให้ได้เป็น มิลลิกรัมเทียบเท่า Vitamin c ต่อ 100 กรัม (mg vitamin c/100g db)

4. วิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (Ferric reducing/antioxidant power; FRAP)

วิธีวิเคราะห์ FRAP ตามวิธีการของ Siriamornpun et al. (2016) โดย FRAP reagent ถูกเตรียมโดยการผสมบัฟเฟอร์อะซิเตต 100 มิลลิลิตร (0.3 mol/ $L^{-1}$ , pH 3.6), สารละลาย $FeCl_3$ 20 mmol $L^{-1}$ และ สารละลาย TPTZ 10 มิลลิลิตร ละลายใน 10 มิลลิลิตร ของ 40 mmol $L^{-1}$ HCl ในอัตราส่วน 10:1:1 กับน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สารละลายตัวอย่าง 60 µL และน้ำกลั่น 180 µL เติมไปยังรีเอเจนต์ FRAP 1.8 มิลลิลิตร สารละลายถูกเขย่า และบ่มในอ่างน้ำที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร ค่า FRAP แสดงเป็น mg $FeSO_4$ ต่อ 100 กรัม (mg $FeSO_4$/100g db)

3.3.2.10 ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนโดยจำลองการย่อยในหลอดทดลอง

การย่อยตัวอย่างทำตามวิธีของ Brodkorb et al. (2019) โดยได้จำลองของเหลวในน้ำลาย (Simulated salivary fluid; SSF) ของเหลวในกระเพาะอาหาร (Simulated gastric fluid; SGF) และของเหลวในลำไส้ (Simulated intestinal fluid; SIF) เติมน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ลงในเส้นก๋วยเตี๋ยว 1 กรัม สำหรับการจำลองการย่อยอาหารในปาก เติม SSF ในอัตราส่วน 1:1 (w/w) และเติมอะไมเลส (75 U/mL) จากนั้นบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 7.0 เป็นเวลา 2 นาที และเขย่าอย่างต่อเนื่อง สำหรับการจำลองการย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร ส่วนผสมถูกเจือจาง 1:1 (v/v) ด้วย SGF เติมเปปซิน (2000 U/mL) และตัวอย่างสุดท้ายถูกบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 3.0 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในส่วนการจำลองการย่อยอาหารภายในลำไส้ ตัวอย่างถูกเจือจาง 1:1 (v/v) ด้วย SIF เติมเกลือน้ำดี (เกลือน้ำดี 10 mM) และ Pancreatin (100 U/mL Trypsin activity ในของผสมสุดท้าย) และตัวอย่างสุดท้ายถูกบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 7 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากการย่อยอาหารเสร็จ ตัวอย่างจะถูกนำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนเหนือตะกอน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะวิเคราะห์ ความสามารถในการย่อยโปรตีน (%) ถูกวิเคราะห์โดยอัตราส่วนของปริมาณโปรตีน (กำหนดโดยการทดสอบ Bradford) ในการย่อยกับปริมาณโปรตีนของตัวอย่าง

3.3.2.11 การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด (Total sulfhydryl; TSH)

ปริมาณซัลฟ์ไฮดริล (SH) ถูกดัดแปลงตามวิธีการของ Ellman, (1959) ตัวอย่าง 0.1 กรัมถูกกระจายในบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 8 มิลลิลิตร 0.1 M (pH 7.2, Urea 8 M, SDS 2% และ EDTA 10 mM) และเติมส่วนผสม 4 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย 0.1% 5,50-Dithiobis (2-Nitrobenzoic acid) (DTNB) 0.4 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที ก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 412 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ปริมาณซัลไฮดริลทั้งหมดแสดงในหน่วยไมโครโมลต่อกรัม คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญพันธุ์ที่ 13,600 $M^{-1}$ $cm^{-1}$

3.3.2.12 ความสามารถในการย่อยได้ของแป้งในหลอดทดลอง

วิเคราะห์ปริมาณ RDS SDS และ RS ดัดแปลงจากวิธีของ Englyst et al. (1992) นำตัวอย่าง 200 มิลลิกรัม ผสมกับโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ 15 มิลลิลิตร (0.2 mol/L, pH 5.2) จากนั้นบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ตัวอย่างจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วย α-Amylase 5 มิลลิลิตร (290 μg/ml) และ 5 มิลลิลิตร ของอะไมโลลูโคซิเดส (15 μg/ml) ที่ 160 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศา

เซลเซียส หลังจากการไฮโดรไลซิสเป็นเวลา 0, 20, 30, 60, 90, 150 และ 180 นาที ไฮโดรไลซิส 1 มิลลิลิตร ถูกผสมทันทีกับสารละลายเอทานอลแบบแอนไฮดรัส 66% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร หลังจากปั่นเหวี่ยง (Allegra X-30R, Beckman Coulter, USA) ที่ 6,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ระดับกลูโคสในส่วนที่ลอยเหนือตะกอนจะถูกวัดโดยใช้วิธี DNS eGI คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$eGI = 8.198 + 0.862 \times HI \qquad (6)$$

โดยที่ดัชนีไฮโดรไลซิส (HI) หมายถึงอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟไฮโดรไลซิสตัวอย่างต่อกราฟไฮโดรไลซิสของขนมปังขาว

3.3.2.13 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีโดยใช้ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดวิเคราะห์ (Fourier transform infrared; FTIR)

เครื่อง FTIR (670-IR+610-IR, Varian, Palo Alto, CA, USA) โดยตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงสุก 1 มิลลิกรัม ผสมกับ KBr (1:100, w/w) ส่วนผสมถูกบดละเอียดและอัดเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ได้เม็ดผสม KBr สำหรับการวิเคราะห์ FT-IR ทุกสเปกตรัมการดูดกลืนแสงถูกบันทึกในช่วง 400 ถึง 4000 $cm^{-1}$ ด้วยความละเอียด $cm^{-1}$ โดยเฉลี่ย 32 สแกนต่อครั้ง

นำสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำที่ได้นำไปประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส และศึกษาอายุการเก็บรักษา

### 3.3.3 การทดลองที่ 3 การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษา (ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ)

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยประเมินลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Rating Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดก่อนนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษา ตามวิธีของ Decker et al, (2010) และ El-Magoli et al, (1980) โดยการประเมินค่าความสว่าง (L*)  ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ปริมาณความชื้น (MC) และค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

3.3.3.1 การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส

การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Rating Scale ใช้ผู้ประเมินที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

3.3.3.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้าย

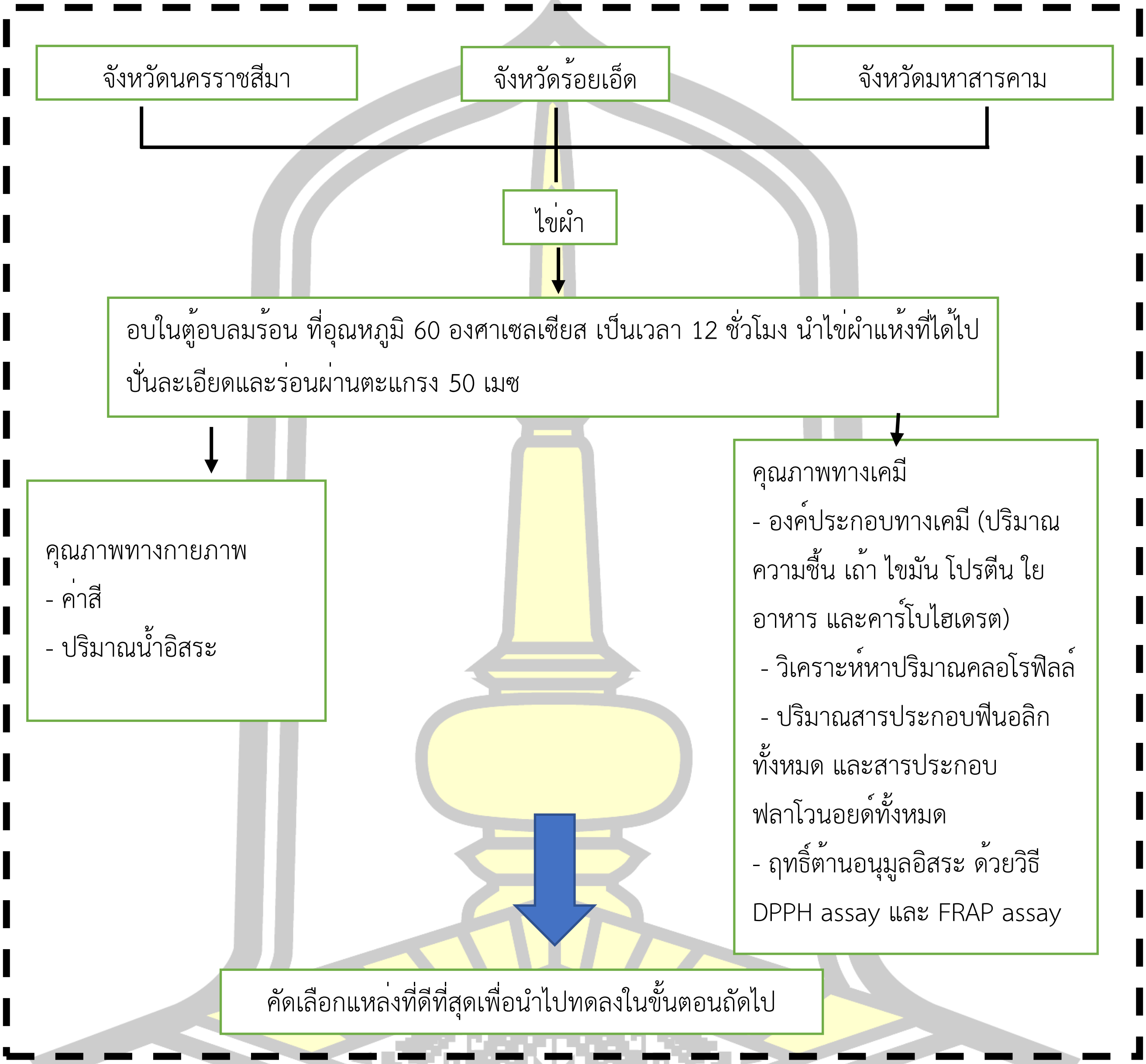
การทดสอบอายุการเก็บรักษาโดยศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง คือ ที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน เทียบกับสภาวะอุณหภูมิโดยรอบ ตามวิธีของ Decker et al, (2010) และ El-Magoli et al, (1980) โดยการประเมินค่าความสว่าง (L*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ปริมาณความชื้น (MC) และค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

**3.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) การทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS for windows version 22

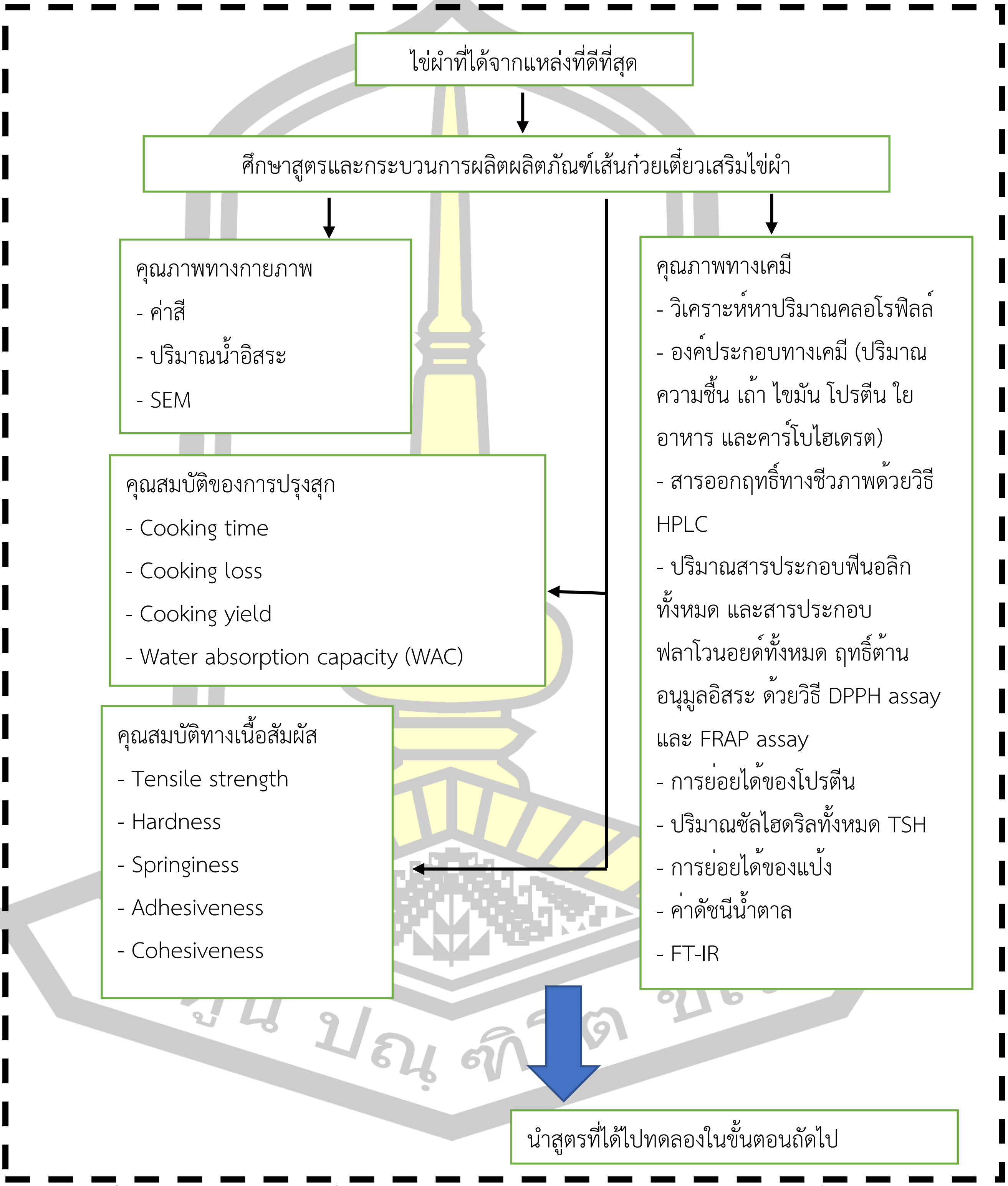
พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

**แผนการดำเนินการวิจัย การทดลองที่ 1**



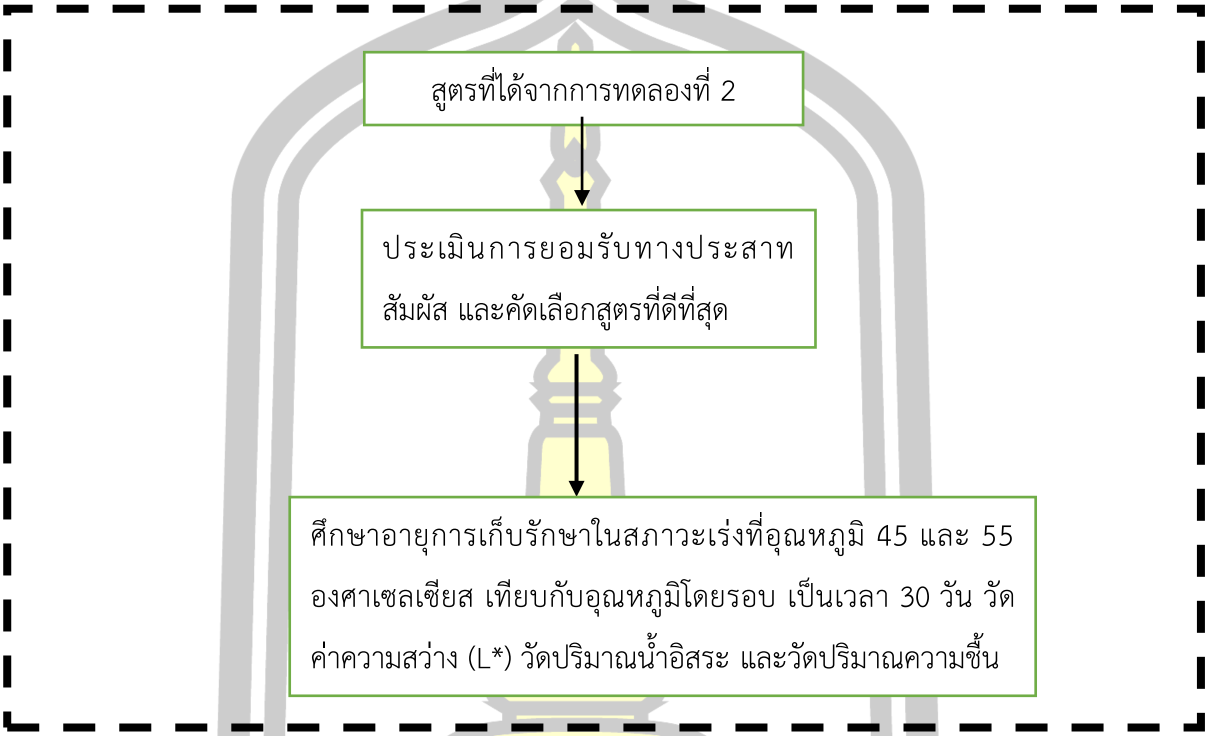

**ภาพที่ 2** แผนภาพการทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

**แผนการดำเนินการวิจัย การทดลองที่ 2**




**ภาพที่ 3** แผนภาพการทดลองที่ 2 พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

**แผนการดำเนินการวิจัย การทดลองที่ 3**




**ภาพที่ 4** แผนภาพการทดลองที่ 3 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินการวิจัย

## 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน 3 แหล่ง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด นำไข่ผำจากทั้ง 3 แหล่งมาผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรง 50 เมซ นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ วิธี FRAP assay ดังรายละเอียดข้อที่ 4.1.1-4.1.2

### 4.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 3 พบว่าไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกันมีค่าคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ยกเว้นปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคามมีค่า L* (ความสว่าง) สูงสุด (37.55) แสดงว่าไข่ผำจากแหล่งนี้มีสีอ่อนกว่าที่อื่น ค่า a* (ความเป็นสีแดง-เขียว) พบว่าไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมามีค่าน้อยที่สุด (-10.88) บ่งชี้ว่ามีสีเขียวน้อยกว่าไข่ผำจากแหล่งอื่นในขณะที่ไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคามและจังหวัดร้อยเอ็ดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (-11.39 และ -11.24 ตามลำดับ) ค่า b* (ความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่าไข่ผำจากจังหวัดร้อยเอ็ดมีค่ามากที่สุด (28.73) รองลงมาคือจังหวัดมหาสารคาม (27.10) และจังหวัดนครราชสีมา (22.35) แสดงว่าไข่ผำจากจังหวัดร้อยเอ็ดมีสีเหลืองเข้มกว่าที่อื่น ไข่ผำจากจังหวัดร้อยเอ็ดมีค่า $a_w$ สูงสุด (0.44) ไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคามมีค่า $a_w$ (0.42) ซึ่งสูงกว่าจังหวัดนครราชสีมา (0.41) เพียงเล็กน้อย ค่าคลอโรฟิลล์ของไข่ผำจากแต่ละแหล่งอยู่ในช่วง 48.47–50.87 mg/100 g โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าปัจจัยด้านแหล่งปลูกไม่ได้มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างเด่นชัด (Pannuan & Lertworasirikul, 2022)

**ตารางที่ 4** ค่าสี (L*, a*, b*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) และปริมาณคลอโรฟิลล์ของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

| ไข่ผำ | L* | a* | b* | $a_w$ | คลอโรฟิลล์ (mg/100g)$^{ns}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| นครราชสีมา | 31.94±2.17$^{b}$ | -10.88±0.08$^{a}$ | 22.35±1.26$^{c}$ | 0.41±0.00$^{c}$ | 48.47±3.10 |
| มหาสารคาม | 37.55±1.79$^{a}$ | -11.39±0.38$^{b}$ | 27.10±0.39$^{a}$ | 0.42±0.00$^{b}$ | 49.73±2.58 |
| ร้อยเอ็ด | 33.33±1.91$^{b}$ | -11.24±0.15$^{b}$ | 28.73±0.41$^{b}$ | 0.44±0.00$^{a}$ | 50.87±1.47 |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

**4.1.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน**

จากตารางที่ 3 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณเส้นใยอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแหล่งปลูก ความชื้นของไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมามีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ 4.25% ขณะที่ไข่ผำจากมหาสารคามมีค่าความชื้นต่ำที่สุดที่ 3.73% ปริมาณโปรตีนของไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมาสูงสุดที่ 22.74% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคาม 20.55% และจังหวัดร้อยเอ็ด 20.85% การที่ไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมามีปริมาณโปรตีนสูงกว่าอาจเกิดจากปัจจัยด้านดิน น้ำ และปุ๋ยที่ใช้เพาะปลูก ซึ่งส่งผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนของพืช ปริมาณไขมันของไข่ผำจากมหาสารคามมีปริมาณไขมันสูงสุดที่ 4.08% ซึ่งสูงกว่าไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดร้อยเอ็ด ปริมาณไขมันที่แตกต่างกันนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบของสารอาหารในแหล่งเพาะปลูกที่มีผลต่อการสังเคราะห์ไขมัน ปริมาณเถ้าของไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมามีค่าสูงสุดที่ 7.84% ซึ่งสูงกว่าไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคาม (6.83%) และจังหวัดร้อยเอ็ด (6.76%) ตามลำดับ ปริมาณเถ้าสูงสะท้อนถึงปริมาณแร่ธาตุที่มากกว่า โดยอาจเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของดินและคุณภาพน้ำในพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณเส้นใยอาหารในไข่ผำจากทั้งสามแหล่งปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 16% แสดงให้เห็นว่าแหล่งปลูกอาจไม่มีผลกระทบมากต่อองค์ประกอบเส้นใยอาหารของไข่ผำ (Cheng et al., 2025) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคามมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดที่ 52.44% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมา

50.73% การที่ไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคามมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาลภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

**ตารางที่ 5** องค์ประกอบทางเคมีของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

| องค์ประกอบทางเคมี | ไข่ผำ ปริมาณ (ร้อยละ) | | |
|---|---|---|---|
| | นครราชสีมา | มหาสารคาม | ร้อยเอ็ด |
| ความชื้น | 4.25±0.24[a] | 3.73±0.71[c] | 4.06±0.67[b] |
| โปรตีน | 22.74±0.66[a] | 20.55±0.43[b] | 20.85±0.58[b] |
| ไขมัน | 3.23±0.32[b] | 4.08±0.24[a] | 3.43±0.14[b] |
| เถ้า | 7.84±0.83[a] | 6.83±0.35[b] | 6.76±0.50[b] |
| เส้นใยอาหาร[ns] | 16.53±0.72 | 16.09±0.12 | 15.76±0.09 |
| คาร์โบไฮเดรต | 50.73±1.03[b] | 52.44±0.26[a] | 51.11±0.62[ab] |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่าไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมามีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 3.85 mg GAE/g ปริมาณฟลาโวนอยด์ 4.96 mg QE/g ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH 1.34 mg Vitamin c/g และวิธี FRAP 39.12 mg $FeSO_4$/g ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากไข่ผำจากจังหวัดมหาสารคามและจังหวัดร้อยเอ็ด ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงในไข่ผำจากนครราชสีมาอาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ความเข้มข้นของแสง อุณหภูมิ และแร่ธาตุในดิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการสร้างสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในพืช (Zhang & Azizullah, 2020)

**ตารางที่ 6** ผลการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของไข่ผำจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน

| ไข่ผำ | TPC (mg GAE/g) | TFC (mg QE/g) | DPPH (mg vitamin c /g) | FRAP (mg $FeSO_4$/g) |
|---|---|---|---|---|
| นครราชสีมา | 3.85±0.03[a] | 4.96±0.07[a] | 1.34±0.00[a] | 39.12±0.10[a] |
| มหาสารคาม | 2.44±0.03[b] | 4.10±0.09[c] | 1.12±0.01[c] | 36.86±0.05[c] |
| ร้อยเอ็ด | 2.37±0.02[c] | 4.58±0.11[b] | 1.24±0.00[b] | 38.26±0.07[b] |

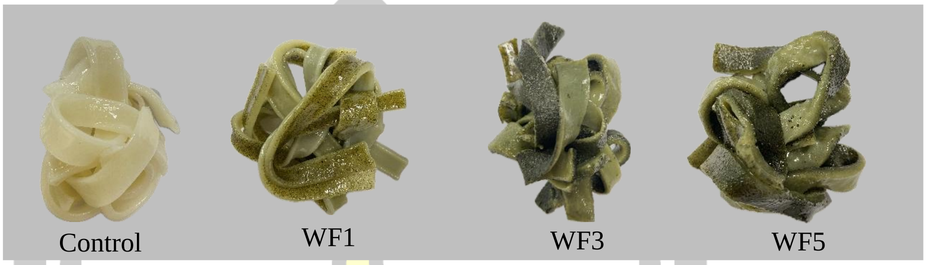
แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

**4.2 ผลของคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ คุณสมบัติการปรุงสุก คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

ศึกษาสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทราบสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ผำ โดยดัดแปลงสูตรมาจาก น้อมจิตต์ สุธีบุตร และคณะ (2561) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไข่ผำ ก่อนนำไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ วิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส คุณสมบัติของการปรุงสุก วิเคราะห์ภาพพื้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้อง SEM ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (เถ้า ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ วิธี FRAP วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วย HPLC ปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด วิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีนและแป้ง ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล โดยจำลองการย่อยในหลอดทดลอง วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีด้วยเครื่อง FT-IR ดังรายละเอียดข้อที่ 4.2.1-4.2.9

**4.2.1 ผลของคุณภาพทางกายภาพ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

จากตารางที่ 5 พบว่า การเสริมไข่ผำในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยว (Control = ไม่มีไข่ผำ, WF1 = ไข่ผำ 1%, WF3 = ไข่ผำ 3%, WF5 = ไข่ผำ 5%) ส่งผลต่อค่าสี (L*, a*, b*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) และปริมาณคลอโรฟิลล์ ค่า L* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งแสดงถึงสีของเส้นที่เข้มขึ้น ตัวอย่างควบคุม (Control) มีค่า L* สูงสุดที่ 80.65 ในขณะที่ WF5 มีค่า L* ต่ำสุดที่ 43.33 สะท้อนถึงผลของคลอโรฟิลล์ในไข่ผำที่เพิ่มความเข้มของสีในเส้นก๋วยเตี๋ยว ค่า a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำ ซึ่งแสดงถึงความเขียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างควบคุมมีค่า a* ใกล้ศูนย์ (-0.19) ในขณะที่ WF5 มีค่า a* ต่ำสุดที่ -4.24 ค่า b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตามปริมาณไข่ผำที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างควบคุมมีค่า b* ต่ำสุดที่ 7.76 ขณะที่ WF5 มีค่าสูงสุดที่ 18.73 ค่า $a_w$ ของตัวอย่างควบคุม WF1 และWF3 มีค่าเท่ากันที่ 0.48 แต่ลดลงเล็กน้อยใน WF5 0.47 การลดลงนี้อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณเส้นใยอาหารและองค์ประกอบอื่น ๆ ในไข่ผำที่ส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำ ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตามปริมาณไข่ผำในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยว ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำสุดที่ 0.24 ในขณะที่ WF5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดที่ 32.11 สะท้อนถึงคุณสมบัติที่โดดเด่นของไข่ผำที่มีคลอโรฟิลล์ในปริมาณสูง




**ภาพที่ 5** ลักษณะที่ปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำเทียบกับสูตรควบคุม (ปรุงสุก)

**ตารางที่ 7** ค่าสี (L*, a*, b*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) และปริมาณคลอโรฟิลล์ในเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

| **ตัวอย่าง** | **L*** | **a*** | **b*** | $a_w$ | **คลอโรฟิลล์ (mg/100g)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | $80.65\pm1.41^{a}$ | $-0.19\pm0.14^{a}$ | $7.76\pm0.\ 41^{d}$ | $0.48\pm0.00^{a}$ | $0.24\pm0.03^{c}$ |
| WF1 | $61.94\pm2.17^{b}$ | $-1.88\pm0.08^{b}$ | $12.35\pm1.26^{c}$ | $0.48\pm0.00^{a}$ | $11.18\pm0.06^{b}$ |
| WF3 | $47.55\pm1.79^{c}$ | $-3.24\pm0.38^{c}$ | $17.10\pm0.39^{b}$ | $0.48\pm0.00^{a}$ | $31.00\pm0.33^{a}$ |
| WF5 | $43.33\pm1.91^{d}$ | $-4.24\pm0.15^{d}$ | $18.73\pm0.41^{a}$ | $0.47\pm0.00^{b}$ | $32.11\pm0.20^{a}$ |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

**4.2.2 ผลของคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

จากตารางที่ 7 พบว่าการเสริมไข่ผำในเส้นก๋วยเตี๋ยวส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงและคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว ความต้านทานแรงดึง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยว ตัวอย่างควบคุมมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด 0.78 ขณะที่ WF5 มีค่าต่ำสุด 0.27 การลดลงนี้อาจเกิดจากการเสริมไข่ผำที่รบกวนโครงสร้างโปรตีนและแป้งในเส้นก๋วยเตี๋ยว ค่า Hardness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ใน WF3 และ WF5 โดยตัวอย่าง WF5 มีค่าความแข็งสูงสุด 84.12 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม 56.97 การเพิ่มขึ้นของความแข็งอาจเกิดจากเส้นใยอาหารในไข่ผำที่ส่งผลต่อโครงสร้างและการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในเส้น ค่า Springiness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำ โดย WF5 มีค่า Springiness

น้อยที่สุด 1.70 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม 2.59 ค่า Adhesiveness ของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 99.95-99.98% ค่า Cohesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำ โดยตัวอย่างควบคุมมีค่า Cohesiveness สูงสุด 0.82 ขณะที่ WF5 มีค่าต่ำสุด 0.66 การเสริมไข่ผำส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยความต้านแรงดึงที่ลดลงและความแข็งที่เพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 8** ความต้านทานแรงดึงและคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

| ตัวอย่าง | Tensile strength (N) | Hardness (N) | Springiness (N·s) | Adhesiveness (%)$^{ns}$ | Cohesiveness |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 0.78±0.00$^{a}$ | 56.97±3.83$^{b}$ | 2.59±0.28$^{a}$ | 99.95±0.02 | 0.82±0.05$^{a}$ |
| WF1 | 0.41±0.00$^{b}$ | 74.67±7.67$^{b}$ | 2.56±0.13$^{a}$ | 99.98±0.02 | 0.77±0.01$^{ab}$ |
| WF3 | 0.33±0.00$^{c}$ | 78.01±4.83$^{a}$ | 2.30±0.17$^{b}$ | 99.98±0.01 | 0.68±0.08$^{b}$ |
| WF5 | 0.27±0.00$^{d}$ | 84.12±9.31$^{a}$ | 1.70±0.20$^{c}$ | 99.97±0.01 | 0.66±0.07$^{b}$ |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ การลดลงของค่า Springiness และค่า Cohesiveness แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนและแป้งในเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเสริมไข่ผำ ค่า Adhesiveness ที่ไม่แตกต่างกันในทุกตัวอย่างบ่งชี้ว่าไข่ผำไม่มีผลต่อค่า Adhesiveness ขณะที่ค่า Cohesiveness ที่ลดลงในตัวอย่างที่มีไข่ผำในปริมาณที่สูงบงชี้ว่าอาจส่งผลต่อความหนาแน่นของโครงสร้างเส้นก๋วยเตี๋ยว

**4.2.3 ผลของคุณสมบัติการปรุงสุกของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

จากตารางที่ 8 พบว่าสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำส่งผลต่อคุณสมบัติการปรุงสุก ระยะเวลาการปรุงสุก (Cooking time) ระยะเวลาการปรุงสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำในสูตร โดยตัวอย่างควบคุมมีระยะเวลาการปรุงสุกเร็วที่สุด 9.52 นาที และตัวอย่าง WF5 มีระยะเวลาการปรุงสุกนานที่สุด 11.22 นาที การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการปรุงสุกอาจเกิดจากเส้นใยอาหารในไข่ผำที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำและการเจลาติไนซ์ของแป้ง การสูญเสียระหว่างการปรุงสุก (Cooking loss) การสูญเสียระหว่างการปรุงสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำ โดยตัวอย่างควบคุมมีค่าการสูญเสียต่ำสุด 0.95% และตัวอย่าง WF5 มีค่าการสูญเสียสูงสุด 2.35% การเพิ่มขึ้นนี้อาจเกี่ยวข้องกับโปรตีนหรือเส้นใยในไข่ผำที่อาจลดการคงตัวของ

โครงสร้างเส้นระหว่างการปรุงสุก ค่าผลผลิตหลังการปรุงสุก (Cooking yield) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำ ตัวอย่างควบคุมมีค่าผลผลิตสูงสุด 289.45% ในขณะที่ตัวอย่าง WF5 มีค่าผลผลิตต่ำสุด 261.48% การลดลงนี้อาจเกิดจากการเพิ่มของเส้นใยอาหารที่ลดความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้น ค่าการดูดซับน้ำ (Water absorption capacity; WAC) ค่า WAC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำ โดยตัวอย่างควบคุมมีค่า WAC สูงสุด 189.45% และตัวอย่าง WF5 มีค่า WAC ต่ำสุด 161.48% การลดลงนี้สอดคล้องกับค่าผลผลิตหลังการปรุงสุกที่ลดลง การเพิ่มปริมาณไข่ผำในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวส่งผลให้ระยะเวลาการปรุงสุกยาวนานขึ้นและการสูญเสียระหว่างการปรุงสุกเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของเส้นใยอาหารในไข่ผำที่เพิ่มความหนาแน่นของเส้นและลดความคงตัวของโครงสร้างเมื่อสัมผัสกับความร้อน ค่าผลผลิตหลังการปรุงสุกและค่า WAC ที่ลดลงบ่งชี้ว่าเส้นที่เสริมไข่ผำมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ซึ่งอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเส้นหลังการปรุงสุก การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้สะท้อนถึงความท้าทายในการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการเสริมไข่ผำในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว แต่ในขณะเดียวกันยังแสดงถึงศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

**ตารางที่ 9** คุณสมบัติการปรุงสุกของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

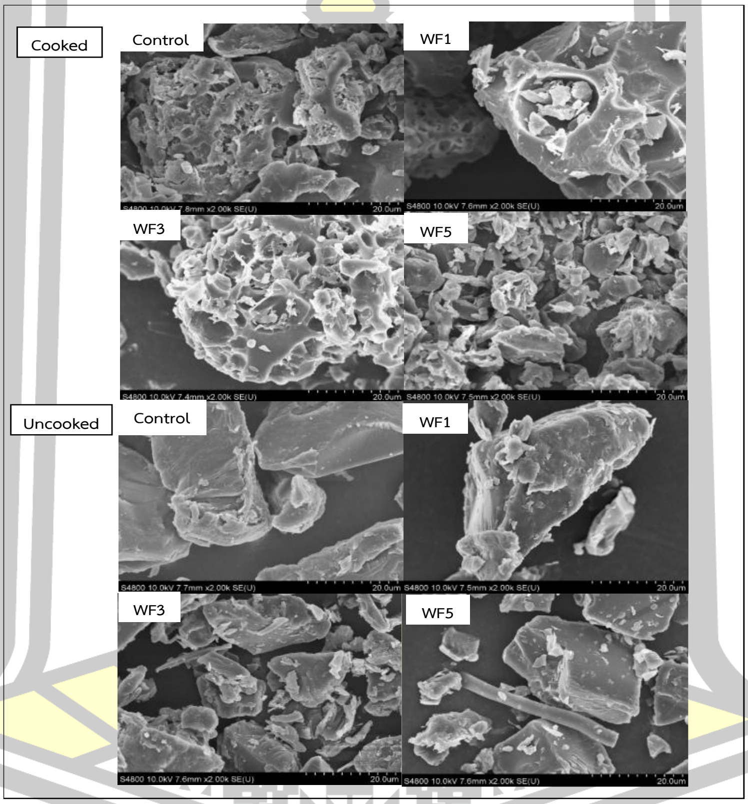
| Cooking Parameter | control | WF1 | WF3 | WF5 |
|---|---|---|---|---|
| Cooking time (min) | 9.52±0.12[c] | 10.03±0.35[b] | 10.56±0.13[b] | 11.22±0.02[a] |
| Cooking loss (%) | 0.95±0.02[b] | 1.69±0.10[ab] | 2.07±0.05[a] | 2.35±0.16[a] |
| Cooking yield (%) | 289.45±3.45[a] | 281.84±2.33[b] | 276.34±2.36[b] | 261.48±0.95[c] |
| WAC (%) | 189.45±3.45[a] | 181.84±2.33[b] | 176.34±2.36[b] | 161.48±0.95[c] |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

### 4.2.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผสมไข่ผำแบบดิบและแบบสุกที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งส่วนใหญ่ในตัวอย่างควบคุมพองตัวและรวมตัวกันเป็นก้อนแป้งขนาดใหญ่ และชั้นนอกของเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบสุกค่อนข้างมีรูพรุน ดังแสดงในภาพที่ 6 ของตัวอย่าง WF3 ซึ่งสอดคล้องกับการค้นพบที่รายงานโดย Yao et al., (2020) ในตัวอย่าง WF5 มีการสังเกตพบเม็ดแป้งที่สมบูรณ์จำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเครือข่ายโปรตีน และเทียบกับ

ตัวอย่างควบคุมที่ไม่แสดงเครือข่ายโปรตีน ในขณะที่ตัวอย่าง WF5 แสดงเครือข่ายโปรตีนต่อเนื่องที่ห่อหุ้มเม็ดแป้ง และให้ความสมบูรณ์ของโครงสร้างในตัวอย่างแบบดิบ (Chichti et al., 2015; Hongsprabhas & Israkarn, 2008) ดังนั้นจึงยับยั้งการเข้าถึงของเอนไซม์ไปยังแป้ง (Zhang et al., 2024) นอกจากนี้ ยังพบโครงสร้างจุลภาคที่ค่อนข้างหนาแน่นในตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบดิบทั้งหมด ซึ่งบ่งชี้ว่ามีเม็ดแป้งจำนวนมากฝังอยู่ภายในเครือข่ายโปรตีน ช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีน และแป้งในก๋วยเตี๋ยวแบบดิบ ป้องกันไม่ให้เม็ดแป้งบวมในระหว่างการปรุงสุก และลดกระบวนการไฮโดรไลซิสของแป้งในภายหลัง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของก๋วยเตี๋ยวแบบสุก และก๋วยเตี๋ยวแบบดิบก็แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงนี้เช่นกัน ตามรายงานของ Tian et al. (2024)




**ภาพที่ 6** ภาพ SEM ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำแบบสุกและดิบ

**4.2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

จากตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ พบว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามปริมาณไข่ผำที่เติมเข้าไป โดยมีค่าตั้งแต่ 4.29% ในตัวอย่างควบคุม ไปจนถึง 8.39% ใน WF5 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ของ Boonarsa et al. (2024) ว่าไข่ผำเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูง และมีปริมาณเถ้าซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ใน WF5 1.95% เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม 1.64% ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ผำอาจมีแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์มากขึ้น นอกจากนี้ ปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 1.42% ในตัวอย่างควบคุมเป็น 2.74% ใน WF5 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไข่ผำสามารถช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และแร่ธาตุในเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ ทำให้เป็นทางเลือกในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น

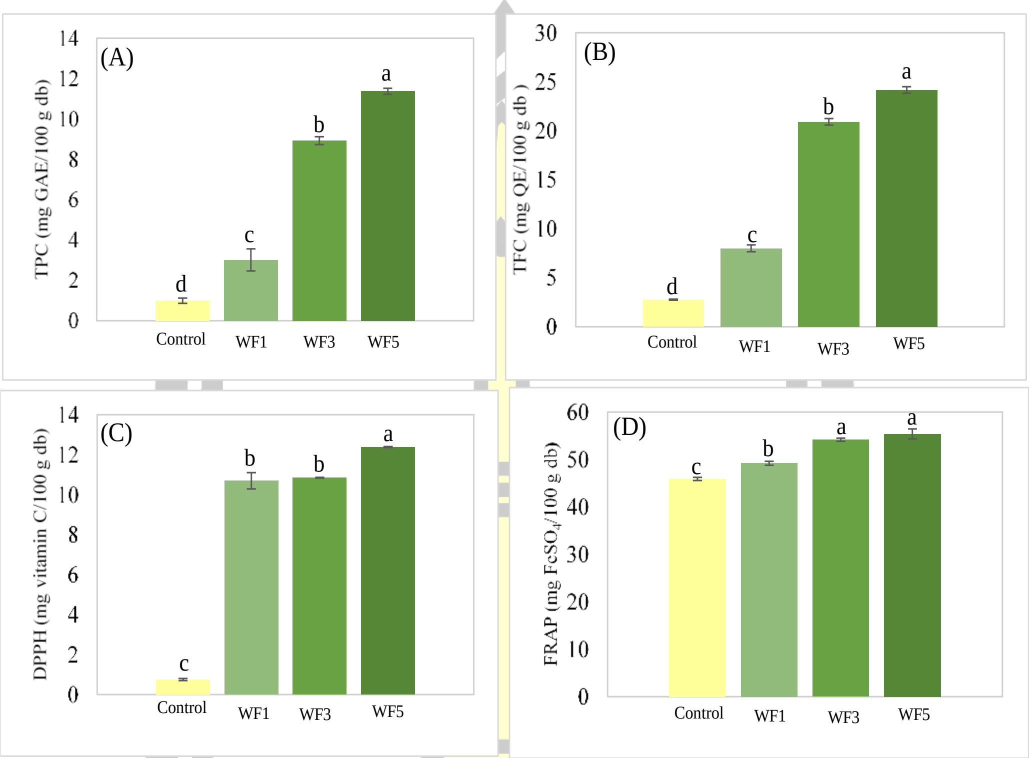
**ตารางที่ 10** องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

| **องค์ประกอบทางเคมี** | control | WF1 | WF3 | WF5 |
|---|---|---|---|---|
| ความชื้น$^{ns}$ | 7.78±0.01 | 7.81±0.32 | 7.34±0.28 | 7.72±0.56 |
| โปรตีน | 4.29±0.30$^{d}$ | 4.87±0.05$^{c}$ | 6.18±0.49$^{b}$ | 8.39±0.54$^{a}$ |
| ไขมัน | 2.06±0.02$^{d}$ | 2.35±0.04$^{c}$ | 3.76±0.03$^{b}$ | 4.75±0.01$^{a}$ |
| เถ้า | 1.64±0.05$^{d}$ | 1.76±0.01$^{c}$ | 1.84±0.03$^{b}$ | 1.95±0.01$^{a}$ |
| เส้นใยอาหาร | 1.42±0.01$^{d}$ | 1.65±0.00$^{c}$ | 2.16±0.02$^{b}$ | 2.74±0.03$^{a}$ |
| คาร์โบไฮเดรต | 93.06±0.67$^{a}$ | 89.5±0.17$^{b}$ | 88.47±0.46$^{c}$ | 88.15±0.58$^{c}$ |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

**4.2.6 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

จากปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ดังภาพที่ 7 พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ WF5 มีปริมาณ TPC และ TFC สูงที่สุด โดยมีค่า 11.37 mg GAE/100 g และ 24.16 mg GAE/100 g ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH assay และ FRAP assay ในตัวอย่าง WF5 ยังมีปริมาณที่สูงที่สุด การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณไข่ผำสามารถช่วยเพิ่มปริมาณพฤกษเคมีและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบการศึกษาที่คล้ายกันของ On-Nom et al. (2023)




**ภาพที่ 7** สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (A), สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (B), ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (C), ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (D)

การวิเคราะห์ฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ WF1 WF3 และ WF5 มีปริมาณกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p$ < 0.05) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Singleton & Rossi, (1965) ที่ระบุว่าสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์จากพืชสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อมีการเติมแหล่งที่อุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ไข่ผำ ปริมาณสารสำคัญทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมไข่ผำ โดยสูตร WF5 มีค่ามากที่สุดในทุกตัวแปรเมื่อเปรียบเทียบกับ สูตรควบคุม WF1 และ WF3 ทั้งปริมาณกรดฟีนอลิก เช่น Gallic acid (100.21) Ferulic acid (22.08) และ Sinapic acid (14.24) ตลอดจนฟลาโวนอยด์ เช่น Rutin (33.76) Quercetin (73.51) และ Apigenin (140.04) การเพิ่มขึ้นของกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในเส้นก๋วยเตี๋ยวมีผลเชื่อมโยงกับคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการลด

ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงโรคเรื้อรังต่าง ๆ (Vázquez-Ruiz et al., 2022)

**ตารางที่ 11** ผลการวิเคราะห์กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธี HPLC

| Parameter | Samples | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Control | WF1 | WF3 | WF5 |
| **Phenolic acid content (μg/g db)** | | | | |
| Gallic acid | ND | ND | 96±0.38[b] | 100.21±0.83[a] |
| Protocatechuic acid | ND | ND | 0.43±0.01[b] | 3.28±0.06[a] |
| *p*-Hydroxybenzoic acid | ND | ND | ND | ND |
| Vanillic acid | ND | ND | ND | ND |
| Caffeic acid | ND | ND | ND | ND |
| Syringic acid | ND | ND | ND | ND |
| Vanillin | ND | ND | ND | ND |
| *p*-Coumaric acid | ND | 0.51±0.02[c] | 2.25±0.02[b] | 4.28±0.12[a] |
| Ferulic acid | 1.25±0.01[d] | 7.34±0.02[c] | 15.77±0.45[b] | 22.08±1.78[a] |
| Sinapic acid | 1.80±0.03[d] | 2.74±0.08[c] | 8.48±0.40[b] | 14.24±1.63[a] |
| Cinamic acid | ND | 1.99±0.08[c] | 6.50±0.14[b] | 9.89±0.11[a] |
| Genistic acid | ND | ND | ND | ND |
| Total | 3.99±0.09[d] | 11.64±0.15[c] | 129.43±1.01[b] | 153.98±3.64[a] |
| **Flavonoid content (μg/g db)** | | | | |
| Rutin | ND | 8.14±0.6[b] | 30.93±0.61[a] | 33.76±1.23[a] |
| Catechin | ND | ND | ND | ND |
| Quercetin | 59.91±2.31[b] | 69.04±0.52[ab] | 69.57±1.98[ab] | 73.51±1.3[a] |
| Apigenin | 24.74±1.46[c] | 29.74±0.48[c] | 85.78±3.16[b] | 140.04±7.34[a] |
| Karmferal | 20.39±1.34[c] | 21.12±0.3[c] | 27.33±0.08[b] | 33.04±2.36[a] |
| Total | 105.21±5.11[d] | 128.04±3.50[c] | 213.61±5.24[b] | 280.35±8.92[a] |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$), ND คือ ค่าที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ (Not detect)

### 4.2.7 ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนและปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมดของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนเป็นการวัดคุณภาพโปรตีนที่สำคัญ และไข่ผำ ได้รับการยอมรับว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณค่าสูง โดยมีโปรตีนมากกว่า 45% โดยน้ำหนัก และกรดอะมิโนจำเป็นทั้ง 9 ชนิดที่จำเป็นสำหรับสุขภาพของมนุษย์ (Kaplan et al., 2019) การผสมไข่ผำเข้ากับเส้นก๋วยเตี๋ยวช่วยเพิ่มการย่อยโปรตีนได้อย่างเห็นได้ชัด โดยสูงถึง 82% เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม การศึกษาการย่อยแบบจำลอง (*in vitro* digestion) ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนของเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรต่างๆ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 11 ผลการวิจัยพบว่าก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำมีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนที่สูงขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนจากไข่ผำ และโครงสร้างของเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งอาจช่วยให้เข้าถึงเอนไซม์และไฮโดรไลซิสของโปรตีน เพิ่มขึ้น มีรายงานที่คล้ายกันจากการศึกษาก่อนหน้านี้ (Dhamaratana et al., 2025; Duijsens et al., 2023) ซึ่งโครงสร้างเมทริกซ์ของอาหารมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การค้นพบนี้สอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าโปรตีนจากพืช เช่น พืชตระกูลถั่ว ถั่วเลนทิล และพืชน้ำ มีส่วนทำให้การย่อยโปรตีนและคุณค่าทางโภชนาการดีขึ้น (Hertzler et al., 2020; Nikbakht Nasrabadi et al., 2021) คุณลักษณะนี้เน้นย้ำว่าไข่ผำเป็นส่วนผสมที่มีศักยภาพในการเพิ่มการดูดซึมของโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

**ตารางที่ 12** การย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ (%) และปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลทั้งหมด

| ตัวอย่าง | Protein digestibility (%) | Total sulfhydryl (μmol/g) |
|---|---|---|
| Control | $66.68 \pm 0.36^{d}$ | $2.24 \pm 0.01^{c}$ |
| WF1 | $70.32 \pm 0.19^{c}$ | $2.25 \pm 0.02^{c}$ |
| WF3 | $76.66 \pm 0.31^{b}$ | $2.97 \pm 0.07^{b}$ |
| WF5 | $81.51 \pm 0.68^{a}$ | $4.44 \pm 0.00^{a}$ |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันหมายถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ปริมาณซัลฟ์ไฮดริลเป็นองค์ประกอบโครงสร้างโปรตีนที่สำคัญที่ส่งผลต่อการทำงาน วิธีการ เช่น การให้ความร้อนและแรงดันสูงอาจทำให้หมู่ซัลฟ์ไฮดริลเสื่อมคุณภาพลง ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของโปรตีน ตารางที่ 11 แสดงปริมาณ TSH ในเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ 2.25–4.44 μmol/g มีค่าสูง

กว่ากลุ่มควบคุม 2.24 μmol/g WF5 มี TSH สูงสุด รองลงมาคือ WF3 TSH เพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของ WF สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของแหล่งโปรตีน โครงสร้าง การเพิ่มขึ้นของ TSH ด้วยการเสริมผง WF เชื่อมโยงกับปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ ซึ่งมีซิสเทอีนและกรดอะมิโนที่มีกำมะถันอื่นๆ (Boonarsa et al., 2024) หมู่ซัลไฮดริลของซิสเทอีน (-SH) ก่อให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งมีส่วนทำให้โปรตีนมีความคงตัว ในระหว่างกระบวนการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ความร้อนและความเครียดเชิงกลจะช่วยทำให้พบกลุ่มซัลไฮดริล ส่งผลให้ปริมาณไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น ดังที่เห็นในเส้นบะหมี่ข้าวสาลี (Li et al., 2019)

**4.2.8 ความสามารถในการย่อยได้ของแป้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

จากตารางที่ 12 แสดงค่าการย่อยได้ของแป้งในหลอดทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ทั้งในรูปแบบดิบและปรุงสุก โดยพิจารณาสัดส่วนของแป้งที่ย่อยได้เร็ว (RDS), แป้งที่ย่อยได้ช้า (SDS), แป้งทนย่อย (RS) และค่าดัชนีน้ำตาลที่ประเมินได้ (eGI) ผลการศึกษาพบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมมีค่า RDS สูงที่สุดทั้งในสภาวะดิบ (41.73%) และปรุงสุก (51.29%) ในขณะที่การเติมไข่ผำส่งผลให้ค่า RDS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยสูตรที่เติมไข่ผำในปริมาณสูงสุด (WF5) มีค่า RDS ต่ำที่สุดที่ 37.27% ในเส้นดิบ และ 44.71% ในเส้นปรุงสุก ซึ่งบ่งชี้ถึงอัตราการปลดปล่อยกลูโคสที่ช้าลง ค่า SDS พบว่าสูตรที่มีการเติมไข่ผำสูงขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเส้นดิบ โดย WF5 มีค่า SDS สูงที่สุดที่ 19.14% อย่างไรก็ตาม ค่า SDS ในเส้นปรุงสุกไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรควบคุมและสูตรทดลอง WF3 ($p > 0.05$) ค่า RS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมไข่ผำ โดยเฉพาะในสูตร WF5 ที่มีค่า RS สูงสุดทั้งในเส้นดิบ (43.59%) และปรุงสุก (35.33%) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (42.12% และ 27.13% ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ เกี่ยวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุดมด้วยโปรตีนจากพืช เช่น เส้นที่เสริมด้วยรำข้าว (Liu et al., 2021) แสดงให้เห็นว่าไข่ผำมีบทบาทในการเพิ่มปริมาณแป้งทนย่อย ซึ่งอาจส่งผลดีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ค่าดัชนีน้ำตาลที่ประเมินได้ (eGI) พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมมีค่า eGI สูงสุดที่ 60.58 ในเส้นดิบ และ 69.69 ในเส้นปรุงสุก ในขณะที่สูตรที่เติมไข่ผำ (WF5) มีค่า eGI ต่ำสุดที่ 58.34 และ 65.19 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ Burana-osot et al. (2014) และก๋วยเตี๋ยวที่อุดมด้วยโปรตีนถั่วเลนทิล (Rathod & Annapure, 2017) การศึกษานี้ยืนยันการค้นพบโดย (Geng et al., 2023; Yao et al., 2020) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำอาจมีผลใน

การลดค่าดัชนีน้ำตาลเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม การเสริมไข่ผำในเส้นก๋วยเตี๋ยวส่งผลให้ค่า RDS และ eGI ลดลง ในขณะที่ค่า RS เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำอาจมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและอัตราการย่อยแป้งที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม

**ตารางที่ 13** การย่อยได้ของแป้งในหลอดทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำแบบดิบและปรุงสุก

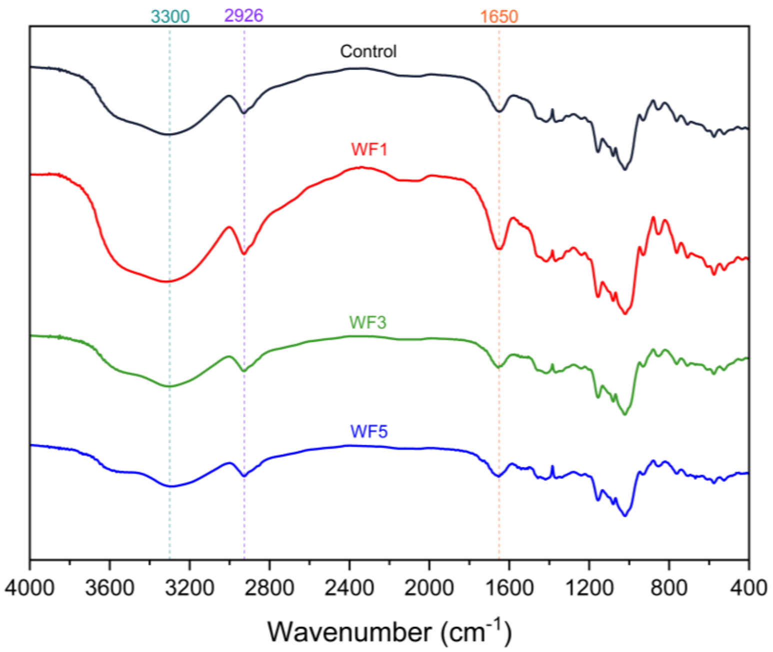
| Samples | Uncooked | | | | Cooked | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RDS (%) | SDS (%) | RS (%) | eGI | RDS (%) | SDS (%) | RS (%) | eGI |
| Control | 41.73± 0.16[a] | 16.15± 0.66[c] | 42.12± 0.67[b] | 60.58± 0.19[a] | 51.29 ± 0.54[a] | 21.58 ±0.39[a] | 27.13 ± 0.80[d] | 69.69 ± 0.43[a] |
| WF1 | 40.77± 0.16[b] | 16.19± 0.08[c] | 43.04± 0.08[ab] | 59.84± 0.12[b] | 50.59 ± 0.41[b] | 19.21 ± 0.34[b] | 30.21 ± 0.26[c] | 68.23 ± 0.37[b] |
| WF3 | 38.76± 0.59[c] | 17.44± 0.51[b] | 43.8± 0.40[a] | 59.00± 0.90[c] | 46.52 ± 0.40[c] | 21.72 ± 0.30[a] | 31.76 ± 0.61[b] | 67.43 ± 0.29[c] |
| WF5 | 37.27± 0.56[d] | 19.14± 0.47[a] | 43.59± 0.90[a] | 58.34± 0.23[d] | 44.71 ± 0.29[d] | 19.96 ± 0.93[b] | 35.33 ± 0.66[a] | 65.19 ± 0.04[d] |

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าที่มีตัวพิมพ์เล็กต่างกันในคอลัมน์เดียวกันสำหรับเส้นก๋วยเตี๋ยวดิบหรือสุกถือว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$); RDS, (rapidly digestible starch) แป้งที่ย่อยได้เร็ว ; SDS, (slowly digestible starch) แป้งที่ย่อยได้ช้า ; RS, (resistant starch) แป้งทนย่อย ; eGI (estimated glycemic index) ดัชนีน้ำตาล

### 4.2.9 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย FT-IR ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

ภาพที่ 8 แสดงสเปกตรัม FTIR ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำปรุงสุกในสูตรต่างๆ โดยเน้นถึงการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลและปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภายในโครงสร้างของเส้นก๋วยเตี๋ยว สเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วง 400–4000 $cm^{-1}$ โดยแสดงแถบการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นก๋วยเตี๋ยว ค่าการดูดกลืนที่สูงที่สุดปรากฏที่ประมาณ 1,650 $cm^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับแถบเอไมด์ เป็นผลมาจากการสั่นสะเทือนแบบยืดของพันธะ C=O ในกลุ่มอะซิติเลตอะมิโน (Barakat et al., 2022; Zhang et al., 2024) นอกจากนี้แถบการดูดกลืนช่วงกว้างที่ประมาณ 3,300 $cm^{-1}$ บ่งชี้ถึงการสั่นสะเทือนแบบยืดของหมู่ O–H ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหมู่ไฮดรอกซิลที่พบในน้ำ แป้ง และองค์ประกอบที่ชอบน้ำอื่นๆ ในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยว ข้อมูลนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้าของ Daeialiakbar et al. (2025); Yang et al. (2021) นอกจากนี้ การดูดกลืนที่ประมาณ 2,926 $cm^{-1}$ สะท้อนถึงการสั่นสะเทือนแบบยืดของพันธะ C–H ซึ่งมักสัมพันธ์กับสายโซ่อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนที่พบในไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตของเส้นก๋วยเตี๋ยว สเปกตรัมยังเผยให้เห็นแถบการดูดกลืนอื่นๆ ที่เป็นลักษณะเฉพาะ (Zhang et al., 2015) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลเฉพาะภายในโครงสร้างของเส้นก๋วยเตี๋ยว ข้อมูล

จากการวิเคราะห์ FTIR นี้ช่วยให้เข้าใจถึงองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการปรุงสุก




**ภาพที่ 8** Fourier-transformation infrared spectroscopy (FTIR)

**4.3 ผลของการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย**

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยประเมินลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Rating Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดก่อนนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษา ตามวิธีของ Decker et al, (2010) และ El-Magoli et al, (1980) โดยการประเมินค่า ค่าความสว่าง (L*) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ปริมาณความชื้น (MC) และค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ตามข้อที่ 4.3.1-4.3.2

**4.3.1 ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส**

จากผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 13 พบว่าคะแนนของลักษณะปรากฏและสี ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ผำเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากสีเขียวของไข่ผำที่เปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมทำให้ผู้บริโภคไม่คุ้นเคยกับสีของผลิตภัณฑ์ มี

เพียงสูตร WF1 ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรควบคุม ในด้านของกลิ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไข่ผำไม่ได้ส่งผลกระทบต่อกลิ่นของเส้นก๋วยเตี๋ยวอย่างชัดเจน รสชาติของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลงตามปริมาณไข่ผำที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ WF5 ที่ได้คะแนนต่ำสุด (5.40) ซึ่งอาจเกิดจากรสชาติของไข่ผำที่มีเอกลักษณ์ ทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยลง ด้านเนื้อสัมผัส WF1 ได้คะแนนเนื้อสัมผัสสูงสุด (7.50) ซึ่งอาจเป็นเพราะโปรตีนและใยอาหารในไข่ผำช่วยเพิ่มความหนืดและความยืดหยุ่นของเส้นก๋วยเตี๋ยว อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณไข่ผำเพิ่มขึ้น (WF3 และ WF5) คะแนนเนื้อสัมผัสลดลง (5.63 และ 5.60 ตามลำดับ)

**ตารางที่ 14** ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ โดยให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 Point hedonic scale) (30 คน)

| ตัวอย่าง | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น$^{ns}$ | รสชาติ | เนื้อสัมผัส | ความชอบโดยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Control | 7.40±1.16$^{a}$ | 7.16±1.49$^{a}$ | 6.70±1.49 | 7.23±1.52$^{a}$ | 7.26±1.26$^{a}$ | 6.87±1.25$^{ab}$ |
| WF1 | 6.56±1.74$^{b}$ | 6.36±1.21$^{b}$ | 6.93±0.91 | 6.90±1.54$^{bc}$ | 7.50±1.20$^{a}$ | 7.30±0.99$^{a}$ |
| WF3 | 6.23±1.63$^{b}$ | 6.00±1.51$^{b}$ | 6.63±1.10 | 6.27±1.51$^{c}$ | 5.63±1.71$^{b}$ | 6.63±1.73$^{b}$ |
| WF5 | 6.06±1.86$^{b}$ | 5.97±1.79$^{b}$ | 6.63±1.25 | 5.40±1.65$^{d}$ | 5.60±1.81$^{b}$ | 6.36±1.63$^{b}$ |

การเสริมไข่ผำมากเกินไปอาจรบกวนโครงสร้างของแป้ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสหยาบขึ้น ความชอบโดยรวม WF1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (7.30) WF3 และ WF5 มีคะแนนต่ำลงตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของสี รสชาติ และเนื้อสัมผัส งานวิจัยนี้จึงเลือกสูตร WF1 เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อไป

**4.3.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ**

ผลการทดสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ WF1 จากการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ โดยวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV) ซึ่งค่าเพอร์ออกไซด์จะต้องมีค่าไม่เกิน 20 meq Oxygen/ kg. โดยทำการศึกษา 2 วิธี คือ การคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับ อัตราเร็วของปฏิกิริยา และแนวโน้มการเปลี่ยนทางกายภาพ ค่าความสว่าง (L*) ปริมาณน้ำอิสระ $a_w$ ปริมาณความชื้น ระหว่างการเก็บรักษา ดังนี้

จากสมการ $C_t = C_0 + k\,(t - t_0)$

$k = (C_t - C_0)/(t - t_0)$

$C_t$ = ค่าเพอร์ออกไซด์วันที่ 30

$C_0$ = ค่าเพอร์ออกไซด์วันที่ 0

t = วันสุดท้ายของการเก็บรักษา

$t_0$ = วันที่ 0 ของการเก็บรักษา

k = อายุการเก็บ

ดังนี้

<u>ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ</u> = (3.91-1.88)/(30-0)

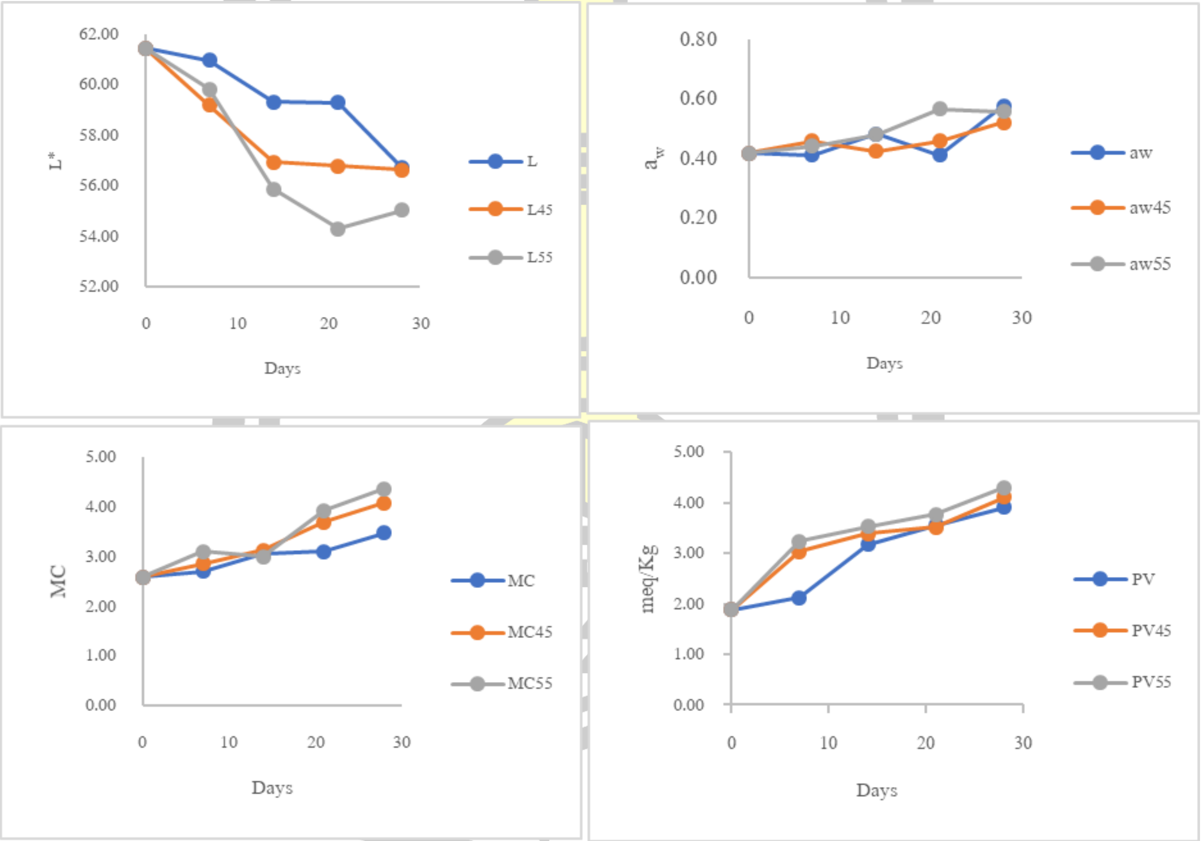
= 0.067

ดังนั้น 20 = 1.88 + 0.067(t – 0)

t = (20 – 1.88)/0.067

= 270 วัน (9 เดือน)

เมื่อคิด Safety factor ที่ร้อยละ 10 จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 8 เดือน 3 วัน




**ภาพที่ 9** ผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ค่าความชื้น และค่าเพอร์ออกไซด์ (อุณหภูมิห้อง) และที่สภาวะเร่ง (45 และ 55 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ พบว่าผลการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาจากอันดับศูนย์ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ จากค่าเพอร์ออกไซด์ เมื่อคิด Safety factor ที่ร้อยละ 10 พบว่า ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 8 เดือน 3 วัน ซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ที่มีการผนึกไม่ให้มีการซึมผ่านของออกซิเจน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำ มีอายุการเก็บรักษาโดยการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับ และอัตราเร็วของปฏิกิริยา มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 8 เดือน งานวิจัยนี้เสนอแนะว่าหากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น สามารถทำการเติมไนโตรเจนในขั้นตอนการบรรจุหรือร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศและน้ำ เช่น ลามิเนต จะสามารถช่วยในการบรรจุเพื่อให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 1 ปี

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่ผำจากแหล่งต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมคุณค่าทางโภชนาการ ผลการศึกษาพบว่า ไข่ผำจากจังหวัดนครราชสีมา มีองค์ประกอบทางเคมีที่โดดเด่นที่สุด โดยมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด อีกทั้งยังแสดงศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี การเสริมไข่ผำในเส้นก๋วยเตี๋ยวในอัตราส่วน 1%, 3% และ 5% ส่งผลให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรที่เติมไข่ผำในระดับ 5% มีค่าทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด นอกจากนี้ การเสริมไข่ผำยังช่วยลดค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสูตรที่มี ไข่ผำ 5% สามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลได้มากที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในการช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตรที่เสริมไข่ผำ 1% ได้รับคะแนนสูงสุด และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรควบคุม ในขณะที่สูตรที่มีไข่ผำ 3% และ 5% ได้รับคะแนนลดลง โดยเฉพาะในด้านเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติหลังการปรุงสุก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้การเพิ่มปริมาณไข่ผำจะให้ประโยชน์ทางโภชนาการที่สูงขึ้น แต่กลับส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการเสริมไข่ผำจะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้อย่างชัดเจน แต่ข้อจำกัดด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรเน้นการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการยอมรับของผู้บริโภค โดยอาจพิจารณาแนวทางดังต่อไปนี้

1. การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยว

การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) กัวร์กัม (Guar gum) หรือแซนแทนกัม (Xanthan gum) อาจช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีความเหนียวนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อลดผลกระทบจากการเติมไข่ผำในปริมาณสูง

2. การพัฒนาเทคนิคการสกัดไข่ผำ

การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากไข่ผำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น การสกัดโปรตีนหรือสารต้านอนุมูลอิสระ อาจช่วยให้สามารถลดปริมาณไข่ผำที่เติมลงในสูตรเส้นก๋วยเตี๋ยวได้โดยไม่ลดทอนคุณค่าทางโภชนาการ

3. การปรับกระบวนการผลิตเพื่อควบคุมคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

การใช้กระบวนการอัดรีด (Extrusion) หรือการควบคุมสภาวะการทำให้แห้ง อาจช่วยเพิ่มความคงตัวของเส้นก๋วยเตี๋ยวและลดผลกระทบของไข่ผำต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

4. การศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว

ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ยังคงคุณค่าทางโภชนาการและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตลอดอายุการเก็บ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของไข่ผำในการเป็นวัตถุดิบสำหรับพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ โดยสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเพิ่มเติมโดยใช้เทคนิคด้านเทคโนโลยีอาหารและกระบวนการปรับสูตรที่เหมาะสม จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากขึ้นและสามารถขยายสู่ตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

# บรรณานุกรม

AACC. (2000). American association of cereal chemists approved methods (10th ed.). *Saint Paul, MN, USA: American association of cereal chemists*, *1*.

AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed. *Association of official analytical chemists: Washington, DC, USA*.

Badrie, N., & Broomes, J. (2010). Beneficial uses of breadfruit (*Artocarpus altilis)*: Nutritional, medicinal and other uses. In *Bioactive foods in promoting health* (pp. 491–505). Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123746283000335

Barakat, H., Shams, A., Denev, P., & Khalifa, I. (2022). Incorporation of quinoa seeds accessions in instant noodles improves their textural and quality characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(5), 1912–1921. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05205-2

Boonarsa, P., Bunyatratchata, A., Chumroenphat, T., Thammapat, P., Chaikwang, T., Siripan, T., Li, H., & Siriamornpun, S. (2024). Nutritional quality, functional properties, and biological characterization of watermeal (*Wolffia globosa*). *Horticulturae*, *10*(11), 1171. https://doi.org/10.3390/horticulturae10111171

Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., & Carrière, F. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, *14*(4), 991–1014.

Burana-osot, J., Arunsingkharat, L., Naksuk, M., Naungnamjai, S., & Saetun, T. (2014). Validation of a HPLC method for the determination of benzoic acid and sorbic acid in noodles. *Chiang Mai J. Sci*, *41*(2), 370–382.

Chabanon, G., Chevalot, I., Framboisier, X., Chenu, S., & Marc, I. (2007). Hydrolysis of rapeseed protein isolates: Kinetics, characterization and functional properties of hydrolysates. *Process Biochemistry*, *42*(10), 1419–1428.

พหูน ปณฺ ฑิต ชีเว

https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.07.009

Cheng, J., Guo, M., & Wang, C. (2025). Dietary fiber and dietary fiber-rich foods. In *Functional Foods* (pp. 55–103). Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443191008000099

Chichti, E., George, M., Delenne, J.-Y., & Lullien-Pellerin, V. (2015). Changes in the starch-protein interface depending on common wheat grain hardness revealed using atomic force microscopy. *Plant Science*, *239*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.07.006

Chumroenphat, T., Somboonwatthanakul, I., Saensouk, S., & Siriamornpun, S. (2021). Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa L.*) under freeze-drying and low-temperature drying methods. *Food Chemistry*, *339*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128121

Cui, C., Wang, Y., Ying, J., Zhou, W., Li, D., & Wang, L. (2024). Low glycemic index noodle and pasta: Cereal type, ingredient, and processing. *Food Chemistry*, *431*, 137188.

Daeialiakbar, M., Yousefi, S., & Weisany, W. (2025). Enhanced properties of chitosan-PVA nanocomposite films with lemongrass oil microcapsules. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *9*, 100668. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100668

Decker, E. A., Elias, R. J., & McClements, D. J. (2010). *Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications*. Woodhead Publishing Limited. https://doi.org/10.1533/9780857090331

Dhamaratana, S., Methacanon, P., & Charoensiddhi, S. (2025). Chemical composition and in vitro digestibility of duckweed (*Wolffia globosa*) and its polysaccharide and protein fractions. *Food Chemistry Advances*, *6*, 100867. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100867

Dj, J., Tm, W., Rh, T., H, B., H, F., Jm, B., Ac, B., Hc, N., Al, J., & Dv, G. (1981). Glycemic

index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *34*(3). https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362

Duangjarus, N., Chaiworapuek, W., Rachtanapun, C., Ritthiruangdej, P., & Charoensiddhi, S. (2022). Antimicrobial and functional properties of duckweed (*Wolffia globosa*) protein and peptide extracts prepared by ultrasound-assisted extraction. *Foods*, *11*(15), 2348.

Duijsens, D., Verkempinck, S. H. E., De Coster, A., Pälchen, K., Hendrickx, M., & Grauwet, T. (2023). How cooking time affects *in vitro* starch and protein digestibility of whole cooked lentil seeds versus isolated cotyledon cells. *Foods*, *12*(3), 525. https://doi.org/10.3390/foods12030525

EFSA Panel on nutrition, novel foods, food allergens (NDA), Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., … Knutsen, H. K. (2021). Safety of *wolffia globosa* powder as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, *19*(12). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6938

Ellman, G. L. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *82*(1), 70–77. https://doi.org/10.1016/0003-9861(59)90090-6

El-Magoli, S. B., Karel, M., & Yong, S. (1980). Acceleration of lipid oxidation by volatile products of hydroperoxide decomposition. *Journal of Food Biochemistry*, *3*(2–3), 111–124. https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1980.tb00640.x

Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, *46*, S33-50.

Geng, D.-H., Tang, N., Zhang, X., Zhao, M., Jia, X., & Cheng, Y. (2023). Insights into the textural properties and starch digestibility on rice noodles as affected by the

addition of maize starch and rice starch. *Lwt*, *173*, 114265.

Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, *17*(3), 427–437. https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9

Hager, A.-S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2012). Formulating breads for specific dietary requirements. In *Breadmaking* (pp. 711–735). Elsevier. https://doi.org/10.1533/9780857095695.4.711

Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C., Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant proteins: Assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. *Nutrients*, *12*(12), 3704. https://doi.org/10.3390/nu12123704

Hongsprabhas, P., & Israkarn, K. (2008). New insights on the characteristics of starch network. *Food Research International*, *41*(10), 998–1006. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.08.008

Hur, S. J., Lim, B. O., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2011). *In vitro* human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, *125*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.036

Jelled, A., Fernandes, Â., Barros, L., Chahdoura, H., Achour, L., Ferreira, I. C. F. R., & Cheikh, H. B. (2015). Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes. *Industrial Crops and Products*, *77*, 30–35. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.052

Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition. *World Health Organization Technical Report Series*, *935*, 1–265, back cover.

Kaplan, A., Zelicha, H., Tsaban, G., Meir, A. Y., Rinott, E., Kovsan, J., Novack, L., Thiery, J., Ceglarek, U., & Burkhardt, R. (2019). Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant–a randomized controlled trial. *Clinical*

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

*Nutrition*, *38*(6), 2576–2582.

Köhler, R., Kariuki, L., Lambert, C., & Biesalski, H. K. (2019). Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *22*(1), 372–378. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.02.002

Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis Spreng*). *Food Chemistry*, *127*(3), 1138–1145. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115

Li, H., Wang, J., Pan, L., & Lu, Q. (2019). Effect of amino and thiol groups of wheat gluten on the quality characteristics of Chinese noodles. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(6), 2825–2835. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03688-8

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*(5), 591–592. https://doi.org/10.1042/bst0110591

Liu, T., Wang, K., Xue, W., Wang, L., Zhang, C., Zhang, X., & Chen, Z. (2021). *In vitro* starch digestibility, edible quality and microstructure of instant rice noodles enriched with rice bran insoluble dietary fiber. *Lwt*, *142*, 111008.

Miao, M, Jiang, B, Cui, S. W, Zhang, T, & Jin, Z. (2015). *Slowly digestible starch—A review. Critical reviews in food science and nutrition*. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.704434

Ming-Min, W., & Ismail-Fitry, M. R. (2023). Physicochemical, rheological and microstructural properties of chicken meat emulsion with the addition of Chinese yam (*Dioscorea polystachya*) and arrowroot (*Maranta arundinacea*) as meat substitutes. *Future Foods*, *7*, 100221. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100221

Monthakantirat, O., Chulikhit, Y., Maneenet, J., Khamphukdee, C., Chotritthirong, Y., Limsakul, S., Punya, T., Turapra, B., Boonyarat, C., & Daodee, S. (2022). Total active compounds and mineral contents in *wolffia globosa*. *Journal of Chemistry*, *2022*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2022/9212872

Nikbakht Nasrabadi, M., Sedaghat Doost, A., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, *118*, 106789. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789

On-Nom, N., Promdang, P., Inthachat, W., Kanoongon, P., Sahasakul, Y., Chupeerach, C., Suttisansanee, U., & Temviriyanukul, P. (2023). *Wolffia globosa*-based nutritious snack formulation with high protein and dietary fiber contents. *Foods*, *12*(14), 2647.

Pannuan, O., & Lertworasirikul, S. (2022). Effect of different pretreatments on drying characteristics, color and chlorophyll contents of duckweeds (*Wolffia globosa*). *The 60th Kasetsart University Annual Conference.“Next Normal Kasetsart: Turning Crisis into Sustainability*, 22–23.

Quintieri, L., Nitride, C., De Angelis, E., Lamonaca, A., Pilolli, R., Russo, F., & Monaci, L. (2023). Alternative protein sources and novel foods: Benefits, food applications and safety issues. *Nutrients*, *15*(6), 1509.

Rathod, R. P., & Annapure, U. S. (2017). Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing. *LWT*, *80*, 121–130. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.001

Ratseewo, J., Warren, F. J., & Siriamornpun, S. (2019). The influence of starch structure and anthocyanin content on the digestibility of Thai pigmented rice. *Food Chemistry*, *298*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.016

Said, D. S., Chrismadha, T., Mayasari, N., Febrianti, D., & Suri, A. R. M. (2022). Nutrition

value and growth ability of aquatic weed *Wolffia globosa* as alternative feed sources for aquaculture system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *950*(1), 012044. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/950/1/012044/meta

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Siriamornpun, S., Tangkhawanit, E., & Kaewseejan, N. (2016). Reducing retrogradation and lipid oxidation of normal and glutinous rice flours by adding mango peel powder. *Food Chemistry*, *201*, 160–167. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.094

Sofi, S. A., Singh, J., Chhikara, N., & Panghal, A. (2020). Effect of incorporation of germinated flour and protein isolate from chickpea on different quality characteristics of rice-based noodle. *Cereal Chemistry*, *97*(1), 85–94. https://doi.org/10.1002/cche.10192

Tang, Z., Fan, J., Zhang, Z., Zhang, W., Yang, J., Liu, L., Yang, Z., & Zeng, X. (2021). Insights into the structural characteristics and *in vitro* starch digestibility on steamed rice bread as affected by the addition of okara. *Food Hydrocolloids*, *113*, 106533. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106533

Tian, X.-Y., Liu, J.-F., Qiao, C.-C., Cheng, Z., Wu, N.-N., & Tan, B. (2024). Functional properties and structure of soluble dietary fiber obtained from rice bran with steam explosion treatment. *Journal of Cereal Science*, *118*, 103938. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103938

Vázquez-Ruiz, Z., Toledo, E., Vitelli-Storelli, F., Goni, L., De La O, V., Bes-Rastrollo, M., & Martínez-González, M. Á. (2022). Effect of dietary phenolic compounds on incidence of cardiovascular disease in the SUN Project; 10 Years of Follow-Up.

*Antioxidants*, *11*(4), 783. https://doi.org/10.3390/antiox11040783

Xing, J., Cheng, L., Feng, S., Guo, X., & Zhu, K. (2023). Humidity-controlled heat treatment of fresh spinach noodles for color preservation and storage quality improvement. *Food Chemistry: X*, *20*, 101042. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101042

Yahya, H. N., Yahaya, N., Baihagi, K. H., Ariffin, N., & Yahya, H. (2022). Pectin from duckweed (Lemnaceae) as potential commercial pectin and its gelling function in food production: A review. *Malaysian Journal of Science Health & Technology*, *8*(1), 63–70.

Yang, S., Zhang, M.-N., Shan, C.-S., & Chen, Z.-G. (2021). Evaluation of cooking performance, structural properties, storage stability and shelf life prediction of high-moisture wet starch noodles. *Food Chemistry*, *357*, 129744. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129744

Yao, M., Li, M., Dhital, S., Tian, Y., & Guo, B. (2020). Texture and digestion of noodles with varied gluten contents and cooking time: The view from protein matrix and inner structure. *Food Chemistry*, *315*, 126230. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126230

Zhang, J., & Azizullah, A. (2020). Genetic Diversity and DNA Barcoding in the Duckweed Family. In X. H. Cao, P. Fourounjian, & W. Wang (Eds.), *The Duckweed Genomes* (pp. 59–65). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11045-1_5

Zhang, J., Lu, Z., Wu, M., Wu, Q., & Yang, J. (2015). Large-scale synthesis and characterization of magnetic poly(acrylic acid) nanogels via miniemulsion polymerization. *RSC Advances*, *5*(72), 58889–58894. https://doi.org/10.1039/C5RA09494A

Zhang, S., Zhu, S., Saqib, M. N., Yu, M., Du, C., Huang, D., & Li, Y. (2024). Extensive

พหูน ปณฺ ถิโต ชีเว

inhibition of starch digestion by exogenous proteins and inhibition mechanisms: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, *143*, 104303. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104303

Zou, X., Li, P., Huang, Q., & Zhang, H. (2016). The different response mechanisms of *Wolffia globosa*: Light-induced silver nanoparticle toxicity. *Aquatic Toxicology*, *176*, 97–105. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.04.019

กสิภูมิ ทวนคง. (2567). *สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากถั่วเหลืองกับคุณประโยชน์ต่อร่างกาย*. http://www.foodfocusthailand.com/whats-in/bioactive-compound-from-soy-peptidea-better-choice-for-your-health

น้อมจิตต์ สุธีบุตร, ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง, ชมพูนุช เผื่อนพิภพ, & ประชา พิจักขณา. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวผัดไทยกึ่งสำเร็จรูป เพื่อคุณภาพในเชิงพาณิชย์. *คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*. https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/306983

นาฎยา อริยสุขโฆษิต. (2565). *ผลของสายพันธุ์กล้วยแป้งกลว้ยดิบจากเนื้อกล้วยและจากกล้วยผลโปรตีน และเอนไซม์ทรานส์ กลูตามิเนส ต่อคุณภาพและค่าดัชนีไกลซีมิกของพาสต้า*.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ & นิธิยา รัตนาปนนท์. (2567). *Phenolic compounds / สารประกอบฟีนอล*. https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compounds

ภาชญมาศ ทองคำ. (n.d.). *ผลของอุณหภูมิต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในไข่ผำแห้งและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์. สาขา วิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์.

ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์. (2022). *แป้งที่กินแล้วไม่อ้วน*. https://www.cra.ac.th/th/featured_stories/view/https%3A%2F%2Fwww.cra.ac.th%2Fth%2Ffeatured_stories%2Fview%2FResistantStarch

วิลาสินี ดีปัญญา. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่น*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

สถิตย์, ศ. น. จ. ร. (2019). สาร ออกฤทธิ์ ทาง ชีวภาพ ใน อาหาร เพื่อ สุขภาพ. *วารสาร วิทยาศาสตร์*

*บูรพา*, *23*(3), 1617–1637.

สมปอง ธรรมศิริรักษ์. (2550). *โครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีน*. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุภาวดี ทรัพย์สิริไพบูลย์. (2550). *ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่นของโปรตีนถั่ว เหลืองสกัดที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีทางเอนไซม์และวิธีทางเคมี*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุวพงศ์ สุขวิบูลย์. (2567). *ผัดไทย*. http://www.taharn.net/war/47c1.html

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

# ภาคผนวก

พหุนปณฑิโต ชีเว

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

### ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

นำชุด Moisture can เข้าอบในตู้อบ Hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำมาใส่ Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่ง Moisture can พร้อมฝาบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัม นำตัวอย่างใส่ Moisture can ประมาณ 1.xxx กรัม แล้วปิดฝานำไปชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน หลังจากนั้นนำ Moisture can เปิดฝาใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำ Moisture can ออกจากตู้อบปิดฝาใส่ Desiccator นาน 30 นาที หรือจนกระทั่งเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ = [(W2-W1) / W2 ] x 100

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักตัวอย่าหลังอบ (กรัม)

### ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

นำถ้วย Crucible ก่อนใส่ตัวอย่างเผาในเตาเผา Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำ Crucible ใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งตัวอย่างบนเครื่องชั่งละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัมประมาณ 1.xxx กรัม ลงในถ้วย Crucible เผาเถ้าให้ เป็นถ่านสีดำด้วย Hot plate ในตู้ควันโดยเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยจนควันหมด จากนั้นเผาต่อในเตาเผา Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ข้ามคืน (อย่างน้อย 16 ชั่วโมง) แล้วนำเถ้าที่ได้ทิ้งให้เย็นใน Desiccator แล้วนำไปชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า = [(W2-W1) x 100]/S

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักถ้วย Crucible (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักถ้วย Crucible และน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

S คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

### ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ขั้นตอนการย่อย

พหุบัณฑิต ชีเว

ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 0.3-0.4xxx กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน ใส่สารคอปเปอร์ซัลเฟต 0.13 กรัม, โพแทสเซียมซัลเฟต 3 กรัม และเม็ดแก้วกันเดือด 3-4 เม็ด แล้วเติมกรดซัลฟิวริก ปริมาณ 15 มิลลิลิตร วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่าง และเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย เปิดสวิตช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไทเทรต

จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิตซ์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น แล้วนำขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ผสม 3-4 หยด แล้วนำไปวางในตำแหน่ง โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด แล้วไทเทรตกับสารละลาย HCl 0.1 N ไทเทรตจนถึงจุดสมมูลจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชา-ส้ม บันทึกปริมาตร HCl แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) = $(1.4007 \times N \times (A\text{-}B) \times F)/W$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ ค่าคงที่สำหรับอาหารหรือตัวอย่างอื่น ๆ ที่ไม่ระบุเฉพาะ (6.25)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

**ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน**

นำบีกเกอร์สำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อน ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน บันทึกน้ำหนักบีกเกอร์ ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 1-3.xxx กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง และห่อให้มิดชิดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง (Thimble) นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในช่องสำหรับใส่ตัวอย่าง เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในบีกเกอร์หาไขมันประมาณ 100 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาของเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ประกอบอุปกรณ์ชุดวิเคราะห์ไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่น และเปิดสวิตซ์ให้ความร้อน ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ต่อการวิเคราะห์แต่ละครั้ง เมื่อครบ 3 ชั่วโมงแล้วนำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก

Soxhlet ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจาก Soxhlet ลงในบีกเกอร์จนหมด แล้วนำบีกเกอร์ที่มีไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง ทิ้งบีกเกอร์ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาปริมาณไขมัน

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) = [(W3-W2) / W1 ] x 100

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักบีกเกอร์ปราศจากไขมัน (กรัม)

W3 คือ น้ำหนักบีกเกอร์ที่มีไขมัน (กรัม)

**ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด**

ชั่งตัวอย่างใสในถ้วยแก้วแล้ว นำถ้วยแก้วใส่ในเครื่องวิเคราะห์เส้นใยอาหารทุกหลุมเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในถ้วยแก้วให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในถ้วยแก้วให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร และกรองจนแห้ง ล้างสารตัวอย่างที่อยู่ใน Crucible ด้วย อะซิโตน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร แล้วอบถ้วยแก้วที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งในโถดูดความชื้นเย็น และชั่งน้ำหนัก (W2) บันทึกผล เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งในโถดูดความชื้นเย็นและชั่งน้ำหนัก (W1) บันทึกผลแล้วคำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหาร

ปริมาณเส้นใยอาหาร = [(W2−W1)×100] /S

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักเถ้า (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักแห้งของกาก (กรัม)

S คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

# ภาคผนวก ข

## การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

**คำชี้แจง**

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำนี้ ขอให้ท่านประเมินและให้คะแนนตามความรู้สึกของท่าน กรุณาอ่านคำแนะนำก่อนทำการทดสอบ แบบทดสอบนี้จะเก็บเป็นความลับ และไม่มีการเผยแพร่ข้อมูลใดใดทั้งสิ้น หากท่านรู้สึกว่าอึดอัดหรือกังวลในการทำแบบทดสอบ สามารถหยุดการทดสอบได้ทันที

**คำเตือน : มีส่วนประกอบของแป้ง**

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป โดยใส่เครื่องหมาย √ ในช่องว่างที่กำหนดให้

1.1) เพศ: ☐ ชาย ☐ หญิง

1.2) อายุ: ☐ 18-24 ปี ☐ 25-30 ปี ☐ 30-35 ปี ☐ 36-40 ปี ☐ 41-45 ปี ☐ 46 ปี ขึ้นไป

ตอนที่ 2 แบบทดสอบคะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 point hedonic scale)

คำแนะนำ : กรุณาชิมผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำจากซ้ายมือไปขวามือของท่าน ขอให้ท่านประเมินความชอบ โดยให้ท่านกรอกคะแนนดังแสดงด้านล่างนี้ตามความรู้สึกของท่านลงในช่องว่าง กรุณาดื่มน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบชิมตัวอย่างต่อไป

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

| คุณลักษณะ | รหัสตัวอย่าง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| ลักษณะปรากฏ | | | | |
| สี | | | | |
| กลิ่น | | | | |
| รสชาติ | | | | |
| เนื้อสัมผัส | | | | |
| ความชอบโดยรวม | | | | |

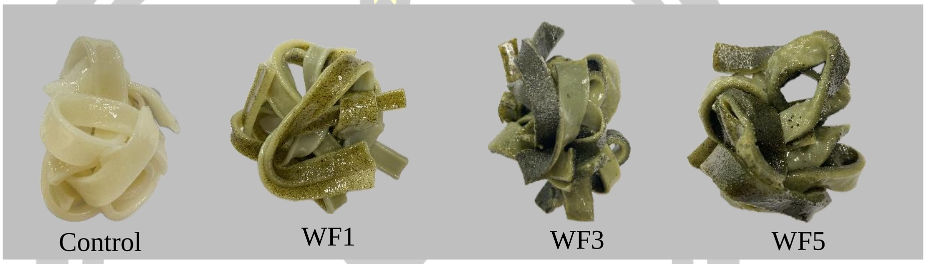
ข้อเสนอแนะ........................................................................................................................

..........................................................................................................................................

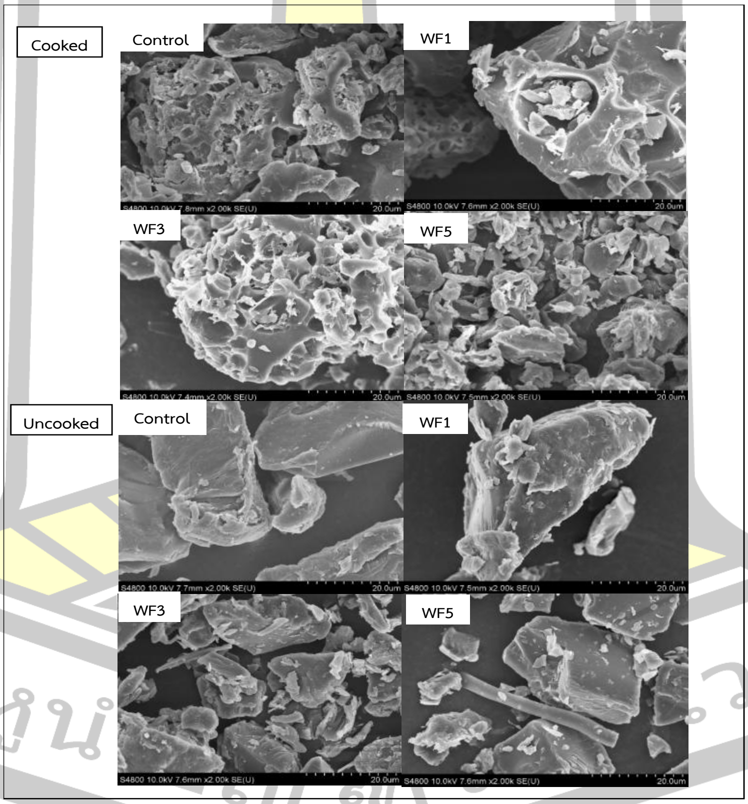
ขอบพระคุณสำหรับการทำแบบสอบถาม

# ภาคผนวก ค

## ภาพประกอบการวิจัย




**ภาพที่ 10** ลักษณะที่ปรากฏของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำเทียบกับสูตรควบคุม (ปรุงสุก)




**ภาพที่ 11** ภาพ SEM ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ผำแบบสุกและดิบ

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ** | นางสาวนิตยา สีพั้ว |
| **วันเกิด** | วันที่  20 มีนาคม พ.ศ. 2542 |
| **สถานที่เกิด** | อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร |
| **สถานที่อยู่ปัจจุบัน** | บ้านเลขที่ 21 หมู่ 6 ตำบลนาคำ อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร |
| **ประวัติการศึกษา** | พ.ศ. 2560 มัธยมศึกษา โรงเรียนมัธยมวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร |
| | พ.ศ. 2564 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |