แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน เสริมจุลินทรีย์พรีไบโอติก

ณัฐปภัสร์ แซ่หลี, ณัฐกฤตา ม่านทอง, ชโนทัย ลิ้มศุภากร, สุธี จุ้งลก*, และ รุสนานี ซียง

โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน, 19 ถ.รวมวิทย์ อ.เบตง, อำเภอเบตง ยะลา 95110 ประเทศไทย

**Corresponding author: Email: gaschem4159@kbyala.ac.th; be417450@gmail.com*

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนที่สกัดจากเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงในการนำมาเพิ่มมูลค่า โดยแคปซูลดังกล่าวได้รับการเสริมด้วยพรีไบโอติกเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ การศึกษาครอบคลุมถึงกระบวนการสกัดโปรตีนจากเปลือกทุเรียน การขึ้นรูปแคปซูลนิ่มด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีอาหาร การเคลือบพรีไบโอติกบนผิวแคปซูล รวมถึงการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความคงตัวของพรีไบโอติกภายใต้สภาวะจำลองของระบบทางเดินอาหาร

ผลการศึกษาพบว่าแคปซูลนิ่มที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย 13.8 ± 1.1 นิวตัน และใช้เวลาในการแตกตัวต่ำกว่า 7 นาที ในด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่าแคปซูลมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 17.5 และมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 11 ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษา คุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่โดดเด่นของโปรตีนจากเปลือกทุเรียนในการใช้เป็นวัสดุทดแทนเจลาตินจากสัตว์ได้อย่างเหมาะสม

พฤติกรรมการปลดปล่อยของพรีไบโอติกภายใต้สภาวะจำลองของกระเพาะอาหารและลำไส้ พบว่าแคปซูลสามารถคงสภาพและเพิ่มประสิทธิภาพในการนำส่ง Fructooligosaccharides (FOS) ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การศึกษาในหลอดทดลอง (in vitro) ยังพบว่าแคปซูลนิ่มสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium lactis* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนเสริมพรีไบโอติกจึงมีศักยภาพสูงในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งช่วยส่งเสริมสุขภาพลำไส้ และสะท้อนถึงแนวทางการพัฒนานวัตกรรมอาหารที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: แคปซูลนิ่ม / โปรตีนเปลือกทุเรียน / พรีไบโอติก / ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ / ความยั่งยืน

Soft capsules from durian peel protein enhanced with prebiotics

Natpapat Sae-lee, Nattakrita Manthong, Chanothai Limsuphakon, Suthee Junglok*, and Rusnanee Seeyong

Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road, Betong Subdistrict, Betong District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author Email: gaschem4159@kbyala.ac.th; be417450@gmail.com*

Abstract

This project aims to develop soft capsules derived from protein extracted from durian peel, an agricultural waste material with high potential for value addition. The capsules are supplemented with prebiotics to create a dietary supplement that promotes gut health. The study encompasses protein extraction from durian peel, soft capsule formation using food technology processes, prebiotic coating on the capsule surface, and evaluation of physical, chemical, and microbiological properties. In addition, the stability of prebiotics under simulated gastrointestinal conditions was investigated.

The results demonstrated that the developed soft capsules possessed appropriate physical properties, with an average hardness of 13.8 ± 1.1 N and a disintegration time of less than 7 minutes. In terms of chemical composition, the capsules contained an average protein content of 17.5% and moisture content below 11%, which contributes to extended shelf life. These findings indicate the strong potential of durian peel-derived protein as a suitable alternative to animal-based gelatin.

The release behavior of prebiotics under simulated gastric and intestinal conditions showed that the capsules effectively preserved and enhanced the delivery of FOS (Fructooligosaccharides). Furthermore, in vitro studies revealed that the soft capsules significantly promoted the growth of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* ($p < 0.05$). Therefore, soft capsules made from durian peel protein enriched with prebiotics demonstrate strong potential as an environmentally friendly dietary supplement that supports gut health and reflects an innovative approach to sustainable food development.

Keywords: Soft capsule / Durian peel protein / Prebiotic supplementation / Fructooligosaccharides / Sustainable innovation

1. บทนำ

ปัจจุบัน "เปลือกทุเรียน" จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีศักยภาพและมีปริมาณมหาศาลในประเทศไทย โดยทุเรียน 1 ผล มีสัดส่วนที่เป็นเปลือกประมาณร้อยละ 58.56 ของน้ำหนักทั้งหมด ส่งผลให้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีปริมาณเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งสะสมมากกว่า 146,467.34 ตัน [1] ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมจะสร้างภาระต่อสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยหลายฉบับระบุว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของโปรตีนและเส้นใยที่มีคุณสมบัติเด่นในการเกิดเจลและสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ (Biopolymer film) ได้ดีใกล้เคียงกับเจลาตินจากสัตว์ ทำให้สามารถสกัดและแปรรูปเป็นวัสดุทดแทนเจลาตินได้โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อาหารและวัสดุศาสตร์ [6], [7], [8] ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งและสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)

ในอุตสาหกรรมยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ประเทศไทยมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ในรูปแบบ "แคปซูลนิ่ม" ซึ่งได้รับความนิยมสูงเนื่องจากรับประทานง่าย ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดี และสามารถบรรจุสารในรูปของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4], [5]

ทว่าในปัจจุบัน แคปซูลนิ่มส่วนใหญ่มักผลิตจากเจลาตินที่ได้จากสัตว์ ทำให้เกิดข้อจำกัดสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม เช่น ผู้ที่รับประทานอาหารตามหลักศาสนา (ฮาลาลหรือมังสวิรัติ) ผู้ที่มีภาวะภูมิแพ้เจลาตินจากสัตว์ หรือกลุ่มผู้บริโภคที่เลือกวิถี Plant-based ซึ่งเป็นเทรนด์สุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว [9], [11] ปัญหาเหล่านี้ทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มยังคงขาดทางเลือกที่สอดคล้องกับความต้องการและหลักปฏิบัติของตนอย่างครอบคลุม

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนเสริมด้วยพรีไบโอติก โดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุจากพืชเพื่อตอบโจทย์ผู้บริโภคที่ต้องการความปลอดภัยตามหลักศาสนาและสอดคล้องกับกระแสการใส่ใจสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้บูรณาการความรู้ตั้งแต่การสกัดโปรตีนพืช [10] การสร้างพอลิเมอร์ชีวภาพ [12] ไปจนถึงเทคนิคการขึ้นรูปแคปซูลด้วยเทคโนโลยีอาหาร [4], [5]

นอกจากนี้ การเสริมพรีไบโอติกในแคปซูลยังช่วยเพิ่มประโยชน์ด้านสุขภาพลำไส้และระบบภูมิคุ้มกัน [9], [11] ตอบรับเทรนด์สุขภาพแบบองค์รวม นวัตกรรมนี้จึงไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มทางเลือกที่ปลอดภัยให้กับกลุ่มผู้บริโภคเฉพาะทางเท่านั้น แต่ยังเป็นการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นนวัตกรรมที่มีมูลค่าสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและประเมินศักยภาพของโปรตีนจากเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับผลิตเปลือกแคปซูลนิ่มทดแทนเจลาตินจากสัตว์
2. เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเปลือกแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการบรรจุสารอาหาร โดยปราศจากเจลาตินจากสัตว์
3. เพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นและเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียทางการเกษตรโดยเฉพาะเปลือกทุเรียน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนที่สกัดจากเปลือกทุเรียน โดยมุ่งเน้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า และเสริมด้วยสารพรีไบโอติกเพื่อส่งเสริมสุขภาพระบบทางเดินอาหาร ซึ่งกำหนดขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเปลือกทุเรียน โดยประยุกต์ใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลายด่าง (0.1 M NaOH) และตกตะกอนด้วยกรด (0.5 M HCl) เพื่อหาจุดไอโซอิเล็กทริกที่เหมาะสม (pH 2–3) และวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของโปรตีนที่ได้ [10]

2. ศึกษาการขึ้นรูปแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน และประเมินลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็ง ความยืดหยุ่น และอัตราการละลายในสภาวะจำลอง โดยอ้างอิงแนวทางการพัฒนาวัสดุชีวภาพจากโปรตีนพืชและโครงสร้างฟิล์มชีวภาพ [6], [7], [12]
3. ศึกษาการเสริมสารพรีไบโอติกฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) ลงในโครงสร้างแคปซูลโปรตีน และประเมินความคงสภาพ รวมถึงความสามารถในการปลดปล่อยสารสำคัญภายใต้สภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร [9], [11]
4. วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแคปซูลนิ่ม ได้แก่ การหาปริมาณโปรตีน และการหาค่าความชื้น ตามวิธีมาตรฐาน AOAC เพื่อควบคุมคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์
5. ประเมินศักยภาพในการประยุกต์ใช้ โดยวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารทางเลือกในกลุ่ม Plant-based และการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [4], [5], [8]

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยศึกษาข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัย และบทความวิชาการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน จากนั้นดำเนินการทดลองโดยเตรียมวัตถุดิบ สกัดโปรตีน พัฒนาสูตรและขึ้นรูปแคปซูล เสริมสารพรีไบโอติก FOS ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ความคงสภาพในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร และการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โปรไบโอติก เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลจากการทดลองจะแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) จากการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำต่อกลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วยสถิติ One-way ANOVA หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) พร้อมนำเสนอผลในรูปแบบตารางและกราฟ

4.3 วิธีการทดลอง

วิธีดำเนินการงาน และการทดสอบของโครงงานนวัตกรรม

1. วิธีการสกัดเปลือกทุเรียน

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ
- ล้างเปลือกทุเรียนให้สะอาด → หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ → นำไปอบแห้งที่ 50°C 24 ชม.
- บดเปลือกทุเรียนที่อบแห้งให้เป็นผงละเอียด
- ร่อนผงเปลือกทุเรียนผ่านตะแกรง 80 mesh

1.2 การสกัดด้วยสารละลายด่าง
- **อัตราส่วนผสม:** ผงเปลือกทุเรียน : 0.1 M NaOH (pH 9–10) = 1 : 20 (w/v)
- กวนที่อุณหภูมิ 40–50°C นาน 1–2 ชม.
- กรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 rpm นาน 15 นาที
- เก็บเฉพาะส่วนสารละลายใส (ของเหลวใสด้านบน)

1.3 การปรับค่า pH ด้วยกรด HCl
- ปรับ pH ของสารละลายใสด้วย HCl ความเข้มข้น 0.5 M ทีละน้อย ขณะกวน
- ตรวจวัดค่า pH อย่างต่อเนื่อง จนได้ค่า pH ที่เหมาะสม 2–3
- ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้โปรตีนเสถียรและตกตะกอน

1.4 การเก็บตะกอน
- ปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 rpm นาน 15 นาที
- เทส่วนใสทิ้ง ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง
- นำตะกอนที่ได้ไปใช้ในการเตรียมสาร

2. การเตรียมสารประกอบและขึ้นรูปแคปซูลนิ่ม

2.1 เตรียมสารละลายอัลจิเนต (จากขั้นตอนการสกัด)

2.2 เติม Sodium Alginate 1–2% (w/v)

2.3 เติมพรีไบโอติกในสารละลายในปริมาณ 1–5% (w/v)

2.4 คนให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียว และกรองสารละลายเพื่อกำจัดฟองอากาศ/สิ่งเจือปน

2.5 ให้ความร้อนแบบอ่อน (40–60°C) เพื่อเพิ่มความหนืด

2.6 ขึ้นรูปแคปซูลนิ่มด้วยวิธีหยดในสารละลายแคลเซียม (Dipping method)

2.7 ทำให้แห้งในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

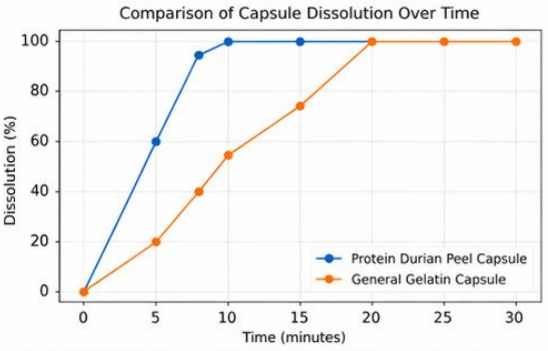
3. การแสดงผลการทดลอง (รูปแบบตารางหรือกราฟ)

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความแข็ง (นิวตัน)	13.8	± 1.1
ระยะเวลาการละลาย (นาที)	6.5	± 0.5
ปริมาณโปรตีน (%)	17.5	± 0.8
ความชื้น (%)	10.8	±0.8

หมายเหตุ: แสดงค่าเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n ≥ 3)

3.2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การละลายของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนและแคปซูลเจลาตินทั่วไปในช่วงเวลาต่าง ๆ



4. สรุปผลการศึกษา

สรุปคุณสมบัติและประสิทธิภาพของตัวอย่างแคปซูลนิ่มจากเปลือกทุเรียน เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน และอภิปรายผล

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาและทดลองการพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนเสริมสารพรีไบโอติก FOS โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โปรไบโอติก พบว่าแคปซูลนิ่มที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยสามารถคงรูปได้ดี มีความแข็งแรงเหมาะสม และละลายได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังมีปริมาณโปรตีนอยู่ในระดับที่เหมาะสม และสามารถคงสภาพของสารพรีไบโอติกได้ ซึ่งสะท้อนศักยภาพของการนำโปรตีนจากเปลือกทุเรียนมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานทดแทนเจลาตินจากสัตว์

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

ผลการศึกษาพบว่าแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีลักษณะใสถึงกึ่งโปร่งแสง มีความยืดหยุ่น และไม่แตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงกด โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 13.8 ± 1.1 นิวตัน และสามารถละลายในสภาวะจำลองของระบบทางเดินอาหารภายในเวลา 6.5 ± 0.5 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในรูปแบบแคปซูลนิ่ม (ตารางที่ 1)

ในด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่าแคปซูลนิ่มมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 17.5 ± 0.8% และมีความชื้นเฉลี่ย 10.8 ± 0.6% ซึ่งระดับความชื้นดังกล่าวอาจช่วยลดโอกาสการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่ระบุว่าวัสดุชีวภาพจากเปลือกทุเรียนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโครงสร้างฟิล์มหรือแคปซูลได้ [6], [7], [8]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน

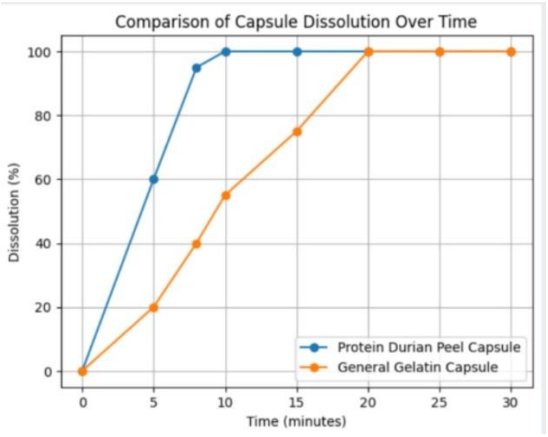
คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความแข็ง (นิวตัน)	13.8	± 1.1
ระยะเวลาการละลาย (นาที)	6.5	± 0.5
ปริมาณโปรตีน (%)	17.5	± 0.8
ความชื้น (%)	10.8	±0.6

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

จากการเปรียบเทียบการละลายของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนกับแคปซูลเจลาตินทั่วไปในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร พบว่าแคปซูลจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีแนวโน้มละลายได้รวดเร็วกว่ากลุ่มควบคุม โดยเริ่มละลายอย่างชัดเจนในนาทีที่ 5 และละลายเกือบสมบูรณ์ในนาทีที่ 10 ขณะที่แคปซูลเจลาตินใช้เวลานานกว่าจึงละลายสมบูรณ์ (รูปที่ 1)

เนื่องจากเจลาตินจากสัตว์มีโครงสร้างแบบเกลียวสามสาย (triple helix) ที่หนาแน่นและมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่า ในขณะที่โปรตีนจากเปลือกทุเรียนที่นำมาขึ้นรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีโครงสร้างเครือข่ายที่ยืดหยุ่นและซับซ้อนน้อยกว่า ทำให้โมเลกุลของน้ำในสภาวะจำลองกรดในกระเพาะอาหารแทรกซึมและสลายพันธะได้ง่ายกว่า จึงส่งผลให้อัตราการละลายสูงกว่าเจลาติน [4], [5], [11], [12]

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($p < 0.05$) พบว่าความแตกต่างของอัตราการละลายระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคปซูลจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีศักยภาพในการปลดปล่อยสารสำคัญได้รวดเร็ว [9] อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาความคงตัวและประสิทธิภาพเพิ่มเติมในระดับที่สูงขึ้นต่อไป



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การละลายของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนและแคปซูลเจลาตินทั่วไปในช่วงเวลาต่าง ๆ

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า สมมติฐานของโครงงานได้รับการยืนยันว่าเป็นจริง โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

1. ผลการทดลองยืนยันว่า โปรตีนที่สกัดจากเปลือกทุเรียน มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานหลักเพื่อพัฒนาแคปซูลนิ่ม (Soft Capsules) แทนการใช้เจลาตินจากสัตว์ได้ โดยแคปซูลที่ได้มีลักษณะคงรูป ผิวสัมผัสสม่ำเสมอ และมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์

2. แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี ทั้งในด้านความยืดหยุ่นและความทนทานต่อแรงกด นอกจากนี้ยังสามารถละลายและปลดปล่อยสารสำคัญได้ในระยะเวลาที่เหมาะสมเมื่อทดสอบในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร

3. แคปซูลนิ่มจากโปรตีนสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุห่อหุ้ม (Encapsulation material) สำหรับสารพรีไบโอติกฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าสารพรีไบโอติกยังคงสภาพและคุณสมบัติทางเคมีภายหลังกระบวนการขึ้นรูปแคปซูล

4. แคปซูลจากโปรตีนที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ซึ่งส่งผลดีต่อการรักษาความคงตัวของโครงสร้างและลดความเสี่ยงในการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษา

5. นี้พิสูจน์ให้เห็นว่า โปรตีนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (เปลือกทุเรียน) สามารถนำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารเชิงฟังก์ชันได้จริง ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) แล้ว ยังเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับผู้บริโภคกลุ่ม Plant-based และผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์

เอกสารอ้างอิง

[1] สยามรัฐ. (2567, 9 กันยายน). *ชุมพรประกาศ “วัน Kick Off สร้างมูลค่าเปลือกทุเรียนด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม”*. https://siamrath.co.th/n/564523

[2] กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (ปีที่จดทะเบียน). *สิทธิบัตรไทยเลขที่ 123456: กระบวนการผลิตแคปซูลจากเส้นใยธรรมชาติ*.

[3] United States Patent and Trademark Office. (ปีที่จดทะเบียน). *U.S. Patent No. US9876543B2: Capsule composition using plant-based polysaccharides for probiotic delivery*.

[4] Gandhi, A., Patel, P., & Others. (2024). Plant protein-based soft capsules: Formulation and functional properties. *Food Hydrocolloids, 150*, Article 108123. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108123

[5] Gandhi, A. P., & Patel, P. (2024). Plant protein-based soft capsules: Formulation and functional properties. *Journal of Functional Foods, 115*, Article 105633. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.105633

[6] Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., & Golding, M. (2015). Extraction and characterization of protein from durian (*Durio zibethinus*) rind. *Food Hydrocolloids, 51*, 307–313. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.029

[7] Kai, S. F., Tan, L. H., & Lim, S. J. (2023). Techno-functional properties of protein extracts derived from two local durian cultivars (D24 and D197). *Food Hydrocolloids, 137*, Article 108000. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108000

[8] Lubis, Z., Yusof, N. L., Salihon, J., & Others. (2018). Durian (*Durio zibethinus*) waste: A promising resource for food and non-food applications. *Journal of Food Science and Technology, 55*(1), 1–10. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2914-0

[9] Edible coatings and films with incorporation of prebiotics—A review. (2021). *Trends in Food Science & Technology, 110*, 35–45. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.084

[10] Tran, L. T., Nguyen, M. T., & Others. (2024). Optimized extraction of protein from durian peel using alkaline and enzymatic hydrolysis. *Journal of Food Engineering, 345*, Article 112519. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.112519

[11] Wang, L., et al. (2015). Development of probiotic microcapsules using natural polysaccharides: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55*(7), 1141–1152. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.675601

[12] Yin, L., et al. (2023). Development of protein-based edible films for encapsulation of probiotics. *Food Packaging and Shelf Life, 37*, Article 101039. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101039