

การเอนแคปซูเลชันและการย่อยของพอลิแซคคาไรด์
ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพจากว่านหางจระเข้

Encapsulation Properties and Digestibility of
Encapsulated Aloe vera Bioactive Polysaccharides

พิกุลทอง อุปสุข, วิภาพร พลกลาง, รชต เหลือจันทร์, ทองกร พลอยเพชร,

ศิริพร บุตรสีโคตร, สินี ศิริคุณ และ วรารภรณ์ ศรีเดช*

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

วิริยาภรณ์ สุ่มสกุล และ จิรเมธ อุฬารวิวัฒน์

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สมุนไพร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

Phikunthong Auppasuk, Wipaporn Ponklang, Rachata Lueachan, Thongkorn

Ploypetchara, Siriporn Butseekhot, Sinee Siricoon and Waraporn Sorndech*

Expert Center of Innovative Health Food, Thailand Institute of Scientific and Technological Research,

Klong Ha, Klong Luang, Pathumtani, 12120

Wiriyaoporn Sumsakul and Chiramet Auranwivat

Expert Center of Innovative Herbal Products, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

Received: May 5, 2022 ; Accepted: October 31, 2022

บทคัดย่อ

ว่านหางจระเข้ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่มีชื่อเสียงได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคต่างๆ เนื่องจากสารสกัดจากว่านหางจระเข้มีส่วนผสมที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งอาจนำไปใช้ในการพัฒนาอาหารฟังก์ชันหรืออาหารเฉพาะบุคคลได้ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางชีวภาพของสารสกัดมักจะลดลงเมื่อผ่านกระบวนการกลั่นและการย่อยอาหาร เพื่อรักษาและปรับปรุงคุณสมบัติของสารสกัดว่านหางจระเข้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารสำคัญหลังการห่อหุ้มโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอะราบิก และการถูกย่อย โดยเตรียมตัวอย่างโดยใช้สารสกัดว่านหางจระเข้ (2% wv^{-1}) ห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มดังนี้ (1) 7.5% wv^{-1} มอลโตเดกซ์ทริน (2) 7.5% wv^{-1} กัมอะราบิก (3) มอลโตเดกซ์ทริน 5% wv^{-1} ร่วมกับ กัมอะราบิก 2.5% wv^{-1} และ (4) มอลโตเดกซ์ทริน 2.5% wv^{-1} ร่วมกับกัมอะราบิก 5% wv^{-1} ทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกที่ใช้เป็นสารห่อหุ้มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บได้ดีกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียว ซึ่งสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ถูกห่อหุ้มด้วยกัมอะราบิกมีประสิทธิภาพการกักเก็บสูงสุดเท่ากับ 94.96% ในขณะที่สารสกัดว่านหางจระเข้ที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินมีประสิทธิภาพการกักเก็บต่ำที่สุดเท่ากับ 68.71% เมื่อเพิ่มปริมาณกัมอะราบิก ส่งผลให้สารสกัดว่าน

หางจระเข้มีสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นสีเหลืองที่มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างจุลภาคของสารสกัดที่ผ่านการห่อหุ้มแสดงให้เห็นการแตกตัวของอนุภาคเป็นชั้นเล็ก ไมโครแคปซูลมีพื้นผิวเรียบซึ่งเป็นผลจากกระบวนการทำแห้ง ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่าการเพิ่มปริมาณกัมมะระบิกเป็นสารห่อหุ้มสามารถเสริมฤทธิ์ให้กับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของว่านหางจระเข้ได้ การวิเคราะห์การปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อผ่านการย่อยในหลอดทดลอง โดยจำลองสภาวะการย่อยของร่างกายพบว่าการเพิ่มปริมาณกัมมะระบิกยังสามารถลดการปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์ได้ ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปสู่การเลือกสารห่อหุ้มสารสำคัญเพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญชนิดอะซีแมนแนนซึ่งพบในว่านหางจระเข้เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตส่วนประกอบของอาหารฟังก์ชันและอาหารเฉพาะบุคคล

คำสำคัญ : ว่านหางจระเข้, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, การห่อหุ้ม, สารต้านอนุมูลอิสระ, การย่อย

Abstract

Aloe vera, the famous medicinal plant, has been used in the treatments of many diseases. Since the extracts of *A. vera* contained some bioactive ingredients which potentially be applied for the functional or personalized food development. However, the bioproperties of the extracts are often minimized through the gastrointestinal tract after ingestion and digestion processes. To preserve and enhance the *A. vera* extract properties, this research thus aimed to invent and characterize the wall materials for extract encapsulation from maltodextrin and gum arabic and digestion property. The extract (2.0% wv^{-1}) were encapsulated with four different wall materials; (1) 7.5% (wv^{-1}) maltodextrin (MD), (2) 7.5% (wv^{-1}) gum arabic (GA) (3) 5% (wv^{-1}) MD + 2.5% (wv^{-1}) GA and (4) 2.5% (wv^{-1}) MD + 5% (wv^{-1}) GA at 50 °C for 16 h using hot air dryer. Results of the encapsulation efficiency (EE) showed that an increase in GA contents could increase EE as compared to MD only. The wall material containing GA-only provided the highest %EE (94.96%) while the MD only provided the lowest %EE (68.71%). The appearance of encapsulated extract displayed more yellow according to an increase GA content of wall materials corresponding to a higher b^* value indicated by the Hunter system. The encapsulated microstructure of all samples showed small flake structures, and smooth surface indicated a breakdown in the encapsulated structure after drying. There was a significant positive correlation between an increase in GA content and antioxidant activity. An increase in GA contents also declined the release of reducing sugars after an *in vitro* digestion hydrolyzed by porcine pancreatic α -amylase, pepsin, pancreatin and glucoamylase. In summarize, the encapsulation of *A. vera* extract with the wall material containing a high amount of GA effectively prolong the extract release and enhanced the bioproperties under the *in vitro* digestive condition. Further research should be undertaken to explore how the bioactive compounds and wall material content interact with a target

delivery system, and how to control the compound release which will be a pivotal role in the future of personalized diet.

Keywords: Aloe vera, Bioactive compounds, Encapsulation, Antioxidant activity, Digestion

1. บทนำ

ว่านหางจระเข้เป็นพืชที่มีการเพาะปลูกมากในแถบเอเชีย รวมทั้งประเทศไทย และมีสรรพคุณทางยาที่หลากหลาย [1] อีกทั้งสามารถนำมาประกอบอาหารได้ องค์ประกอบของว่านหางจระเข้มีกลุ่มสารสำคัญที่เชื่อว่าจะก่อให้เกิดฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) [2] ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) และ โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) เช่น mannose-6-phosphate ที่มีสรรพคุณช่วยสมานแผลสดและแผลไฟไหม้ระดับที่ 2 [3] มีสาร acemannan ที่มีคุณสมบัติกระตุ้นการเจริญของเซลล์ลิแกเมนต์ในฟัน (ligament cells) [4] และเพิ่มเซลล์สร้างกระดูกและกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไล ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase) ในการศึกษาเซลล์ไลน์ในกระดูกตัวอ่อนมนุษย์ (human fetal osteoblast cell line, hFOB1.1.9) [5] เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันจะพบได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมจากสารสกัดธรรมชาติกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อาหารเพื่อสุขภาพ (health food) อาหารฟังก์ชัน (functional food) และอาหารเฉพาะบุคคล (personalized food) เป็นต้น โดยอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันต่างให้ความสำคัญวิจัยวัตถุดิบประเภทสารสกัดจากธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งหากสามารถนำสารสำคัญที่อยู่ในสารสกัดมาใช้โดยตรงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ให้สูงขึ้น และสามารถเพิ่มมูลค่าได้มากขึ้น ดังนั้นโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากว่านหางจระเข้จึงเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพสำหรับนำมาพัฒนา

คุณสมบัติทางกายภาพสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและยา ซึ่งกระบวนการที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของสารสกัดที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางกายภาพ เช่น การละลาย หรือการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) เมื่อนำไปใช้ในอาหารและเครื่องดื่มคือการเอนแคปซูลชันโดยใช้สารห่อหุ้ม (encapsulating wall-materials) หรือไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) ซึ่งคือกระบวนการห่อหุ้มสารสำคัญ เช่น สารสกัดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ วิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น ด้วยพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของแคปซูลชั้นบางๆ เพื่อประโยชน์ในการคงตัวของสารตลอดการใช้งาน โดยใช้โปรตีน หรือไฮโดรคอลลอยด์ เช่น กัมอะราบิก (gum arabic) อัลจิเนต (alginate) มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นสารห่อหุ้มเนื่องจากราคาไม่แพง ก่อนนำไปผ่านกระบวนการทำแห้ง ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถลดและป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพได้ ช่วยป้องกันการสูญเสียสารสำคัญในอาหาร และป้องกันการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการผลิต และรักษาความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา (storage stability) ไว้ได้ ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาในระหว่างการขนส่ง ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร (food ingredients) ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกักเก็บพอลิแซคคาไรด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพโดยใช้สารห่อหุ้มชนิดมอลโตเดกซ์ทริน และกัมอะราบิก โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

กายภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และการถูกย่อยเมื่อจำลองสภาวะของร่างกายของสารสกัดจากว่านหางจระเข้ที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน

2. วิธีการ

2.1 การเตรียมว่านหางจระเข้

นำว่านหางจระเข้สด (หจก.บางกอก อโณ, นครปฐม) มาทำความสะอาด ปอกเปลือกและล้างส่วนของยางออก จากนั้นหั่นเจียวว่านหางจระเข้ที่ได้จากการปอกเปลือกเป็นชิ้นขนาดเล็กและนำเจียวว่านหางจระเข้สดไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบลมร้อน (BE 500, Memmert GmbH, Germany) หลังจากอบแห้งแล้ว บดเป็นผงละเอียดโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จากนั้นคำนวณหาปริมาณผลผลิต (% Yield) และนำไปสกัดในขั้นต่อไป

2.2 การสกัดพอลิแซคคาไรด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ

เตรียมผงว่านหางจระเข้ 50 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำเข้าสู่ควมคุม อุณหภูมิ (WS-600R, Wiggins GmbH, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (MPW-380R, MPW, Poland) ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำส่วนใสมาผสมกับเอทานอลบริสุทธิ์ในอัตราส่วน 1:2 เก็บในตู้เย็น 24 ชั่วโมงเพื่อตกตะกอน จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำส่วนใสมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freeze dryer) จนได้สารสกัดแห้ง จากนั้นนำมาบดเป็นผงละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช เพื่อใช้ในการเอนแคปซูเลชันในขั้นต่อไป

Table 1. Compositions of *Aloe vera* extract and wall-materials for encapsulation.

Sample*	<i>Aloe vera</i> extract content (% wv ⁻¹)	Wall-material content (% wv ⁻¹)	
		Maltodextrin	Gum Arabic
A1	2	7.5	0
A2	2	5	2.5
A3	2	2.5	5
A4	2	0	7.5

Remark*: A1: maltodextrin 7.5% wv⁻¹, A2: maltodextrin 5% wv⁻¹ + gum arabic 2.5% wv⁻¹, A3: maltodextrin 2.5% wv⁻¹ + gum arabic 5% wv⁻¹ and A4: gum arabic 7.5% wv⁻¹.

2.3 การกักเก็บสารสำคัญหรือเอนแคปซูเลชัน (encapsulation)

การเอนแคปซูเลชันใช้สารห่อหุ้ม 2 ชนิด คือ มอลโตเดกซ์ทริน และกัมอะราบิกตามสัดส่วนที่แสดงใน

Table 1 โดยนำมอลโตเดกซ์ทรินละลายในน้ำกลั่นวางไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้มอลโตเดกซ์ทรินกระจายตัวได้ดี และเตรียมสารละลายกัมอะราบิก โดยละลายกัมอะราบิกในน้ำกลั่นที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นผสมสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน และสารละลายกัมอะราบิกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พร้อมทำการกวนผสม 5 นาที เติมสารสกัดว่านหางจิ้งจอกปริมาณที่แสดงใน Table 1 และกวนผสมเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำมาโฮโมจีไนซ์ (homogenization) ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และเทใส่ถาดอะลูมิเนียม นำเข้าตู้อบลมร้อน (BE 500, Memmert GmbH, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบดเป็นผงละเอียดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติ

2.4.1. ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน (encapsulation efficiency)

ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน หาได้จากร้อยละของสารสกัดที่ถูกกักเก็บไว้ในไมโครแคปซูล โดยการนำปริมาณกลุ่มน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดของไมโครแคปซูล (reducing sugar content; RSC) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผิวไมโครแคปซูล (surface reducing sugar content; SRC) มาคำนวณดังสมการที่ 1

$$\text{Encapsulation efficiency (\%)} = \frac{\text{RSC} - \text{SRC}}{\text{RSC}} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 1})$$

โดยค่า RSC และ SRC หาได้ดังนี้

2.4.1.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไมโครแคปซูล (reducing sugar content; RSC)

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไมโครแคปซูล (reducing sugar content; RSC) ดัดแปลงตามวิธีของ Ratanasiriwat, Worawattanamateekul, และ Klaypradit, [6] โดยนำผงสารสกัดที่ผ่านการเอนแคปซูลชันปริมาณ 0.1 กรัม เติมตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตร (ตัวทำละลาย ประกอบด้วย เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 50: 8: 42) ทำการผสมด้วยเครื่องผสมสารละลาย (vortex

mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไมโครแคปซูล โดยวิธีการของ Somogyi และ Nelson, [7] โดยดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว เติม alkaline copper reagent 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดฝาและนำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง แล้วเติม Nelson reagent 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมน้ำ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0, 40, 80, 120 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.1.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผิวไมโครแคปซูล (surface reducing sugar content; SRC)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผิวไมโครแคปซูล (surface reducing sugar content; SRC) ดัดแปลงตามวิธีของ Ratanasiriwat, และคณะ [6] โดยนำผงสารสกัดที่ผ่านการเอนแคปซูลชันปริมาณ 0.1 กรัม เติมตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตร (ตัวทำละลายประกอบด้วย เอทานอล และเมทานอล ในอัตราส่วน 1:1) ทำการผสมบนเครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผิวไมโครแคปซูล โดยวิธีการของ Somogyi และ Nelson, [7] โดยดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว เติม alkaline copper reagent 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดฝาและนำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง แล้วเติม Nelson reagent 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้

ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมน้ำ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0, 40, 80, 120 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.2 ลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูล (microstructure)

นำตัวอย่างสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านการเอนแคปซูลขึ้นมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (field emission scanning electron microscopy; FE-SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า เตรียมตัวอย่างโดยติดกาวสองหน้าลงบนด้านหนึ่งของ stub ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โรยตัวอย่างบาง ๆ ลงบน stub แล้วฉาบทองด้วยเครื่อง sputter coater ตามวิธีการของ Prompiputtanapon, และคณะ

2.4.3 ค่าสี (color value)

วัดสีโดยเครื่องวัดสี (ColorQuest XE, Hunter Lab, Virginia, USA) โดยใช้พารามิเตอร์สี CIE Lab ผลลัพธ์ของการวัดค่าสีของสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านการเอนแคปซูลจะแสดงในระบบฮันเตอร์ (Hunter system) โดยกำหนดหน่วยวัดสีที่สัญลักษณ์ L^* คือความสว่าง (lightness) a^* คือค่าที่บรรยายสีแดง และ b^* คือค่าที่บรรยายสีเหลือง โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บันทึกผล และคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

2.4.4 การพองตัวและการละลาย (swelling and solubility)

วิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility) ตามวิธีการของ Li และ Corke [9] ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแยกส่วนใสในถ้วยอบและนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นร้อยละการละลาย นำตะกอนที่เหลือไปชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่พองตัวแล้ว มาคำนวณกำลังการพองตัว ดังแสดงในสมการที่ 2 และ 3

กำลังการพองตัว (กรัม ต่อกรัมตัวอย่าง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times \text{ร้อยละการละลาย}}$$

(สมการที่ 2)

ร้อยละความสามารถในการละลาย

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

(สมการที่ 3)

2.4.5 ปริมาณความชื้น (moisture content)

ชั่งตัวอย่างสารสกัดเอนแคปซูลน้ำหนัก 1.00 กรัม นำมาวัดปริมาณความชื้น โดยใช้เครื่องวัดความชื้น (Jedto MS-W, Protronics, Thailand) โดยทดลอง 3 ซ้ำ และคำนวณปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง ดังแสดงในสมการที่ 4

ปริมาณความชื้น(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) = $100 \times \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$

(สมการที่ 4)

2.4.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ผ่านการเอนแคปซูลขึ้น ทำการทดลองโดยใช้ 1,1-ไดฟีนิล-2-พิกริลไฮดราซิล (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH) เติม DPPH (100

ไมโครลิตร, 200 ไมโครโมลาร์) ลงในตัวอย่าง (50 ไมโครลิตร) บ่มไว้ที่มีดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องอ่านไมโครเพลท (DKSH (Thailand), Ltd, Thailand) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานโดยเทียบเท่ากับมิลลิกรัมโทรลออกซ์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มิลลิกรัมโทรลออกซ์ต่อกรัมของตัวอย่าง)

2.4.7 การจำลองสภาวะการย่อยในระบบทางเดินอาหาร (*in vitro* digestion)

การจำลองสภาวะการย่อยในระบบทางเดินอาหาร ดัดแปลงมาจาก Sopade and Gidley, [10] และ Na-Nakorn, และคณะ [11] เตรียมตัวอย่าง 500 มิลลิกรัม เติม artificial saliva containing porcine α -amylase 1 มิลลิลิตร ทั้งไว้ 15-20 วินาที จากนั้นเติมเอนไซม์เปปซิน (pepsin from gastric porcine mucosa, Sigma P-6887) 1 มิลลิลิตร ต่อ 0.2 M HCl นำเข้าตู้บ่มพร้อมเขย่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปรับให้เป็นกลางด้วย 0.02 M NaOH ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติม sodium acetate buffer 25 mL จากนั้นเติมเอนไซม์แพนครีเอติน (pancreatin, Sigma P3292) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (mgmL^{-1}) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส ความเข้มข้น 28 ยูนิตต่อมิลลิลิตร (UmL^{-1}) (amylglucosidase, Sigma A7280) นำเข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างที่ 0, 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธีการของ Somogyi & Nelson, [7]

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ประสิทธิภาพการกักเก็บ (encapsulation efficiency, EE)

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกักเก็บของสารสกัดว่านหางจระเข้ (Figure 1) พบว่าการใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มในปริมาณมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกักเก็บของสารสกัดดีขึ้น สารสกัดว่านหางจระเข้ที่ห่อหุ้มด้วยกัมอะราบิกมีประสิทธิภาพในการกักเก็บร้อยละ 94.64 ในขณะที่การห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินมีประสิทธิภาพการกักเก็บร้อยละ 68.71 ทั้งนี้เนื่องจากกัมอะราบิกเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาล รวมทั้งมีโปรตีนที่มีองค์ประกอบของกรดอะมิโน ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) และซีรีน (serine) จึงทำให้มีการเชื่อมต่อโมเลกุลกับสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็นโมเลกุลของคาร์บอนด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้มีการยึดเกาะของโครงสร้างสารสกัดและสารห่อหุ้มได้ดี จึงสามารถจับกับพอลิแซคคาไรด์ได้ดีกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทริน เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suyalek และคณะ, [12] ที่ศึกษาผลของมอลโตเดกซ์ทริน และมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิก พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มมีประสิทธิภาพการกักเก็บที่ดีที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้สารห่อหุ้มจึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บพอลิแซคคาไรด์ได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Alves และคณะ, [13] ที่ศึกษาการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยซึ่งพบว่าการใช้อัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหย: กัมอะราบิก: มอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 1:3:3.6 ให้ค่าประสิทธิภาพการกักเก็บที่ดีที่สุดคือร้อยละ 98.63 ดังนั้นการใช้กัมอะราบิกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มจึงเหมาะสมสำหรับการเอนแคปซูลชันสารสำคัญ

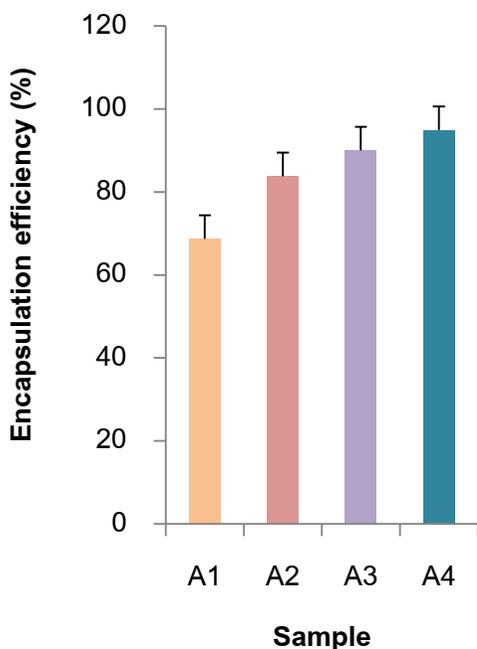


Figure 1. Encapsulation efficiency percentage of *Aloe vera* extract. *A1: maltodextrin 7.5% wv^{-1} , A2: maltodextrin 5% wv^{-1} + gum arabic 2.5% wv^{-1} , A3: maltodextrin 2.5% wv^{-1} + gum arabic 5% wv^{-1} and A4: gum arabic 7.5% wv^{-1} .

3.2 ลักษณะโครงสร้างพินผิว

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผงสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านแอนแคปซูลเลชัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (500 เท่า) มาใช้ในการสังเกตลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลดังแสดงใน Figure 2. พบว่าลักษณะปรากฏและโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ผ่านการห่อหุ้มโดยมอลโตเดกซ์ทรินเพียงอย่างเดียว (Figure 2. A1) มีลักษณะปรากฏเป็นสีขาวอมเหลือง ลักษณะโครงสร้างไมโครแคปซูลมีพื้นผิวเรียบปนขรุขระเล็กน้อย มีการกระจายตัวดี และเกิดโครงสร้างไมโครแคปซูลขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาลักษณะของตัวอย่างที่ผ่านการห่อหุ้มโดยมอลโตเดกซ์ทริน

และกัมอะราบิก (Figure 2. A2, A3) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกัมอะราบิก ทำให้สารสกัดที่ผ่านการกักเก็บมีสีเหลืองอมขาวมากขึ้น และลักษณะไมโครแคปซูลของตัวอย่าง A2 (maltodextrin 5% wv^{-1} + gum arabic 2.5% wv^{-1}) และ A3 (maltodextrin 2.5% wv^{-1} + gum arabic 5% wv^{-1}) ไม่แตกต่างจากตัวอย่าง A1 คือมีพื้นผิวเรียบปนขรุขระเล็กน้อย มีการกระจายตัวดี และเกิดโครงสร้างไมโครแคปซูลขนาดเล็ก สำหรับลักษณะปรากฏและโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ผ่านการห่อหุ้มโดยกัมอะราบิกเพียงอย่างเดียว (Figure 2. A4) มีลักษณะปรากฏเป็นสีเหลืองอมขาวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ลักษณะโครงสร้างไมโครแคปซูลมีพื้นผิวเรียบปนขรุขระเล็กน้อย มีการกระจายตัวดี และเกิดโครงสร้างไมโครแคปซูลขนาดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ความแตกต่างของขนาดไมโครแคปซูลเมื่อเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มอาจเกิดจากโครงสร้างที่เป็นแกนหลักของโมเลกุลมีความแตกต่างจากมอลโตเดกซ์ทริน กล่าวคือมอลโตเดกซ์ทรินมีโครงสร้างหลักเป็น 1,4-linked β -d-glucopyranosyl units ในขณะที่กัมอะราบิกมีโครงสร้างหลักเป็น 1,3-linked β -d-galactopyranosyl units และมีโครงสร้างกิ่งที่เป็น 1,6-linked β -d-galactopyranosyl units ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลโครงสร้างหลักทุก 2-5 โมเลกุล และพอลิเมอร์ที่พบเป็นกิ่งประกอบด้วย α -l-arabinofuranosyl, α -l-rhamnopyranosyl, β -d-glucopyranosyl, และ 4-O-methyl- β -d-glucopyranosyl จึงทำให้การเกาะตัวของโครงสร้างสารห่อหุ้มทั้งสองชนิดนี้กับสารสกัดมีความแตกต่างกัน และส่งผลต่อความเปราะและแตกหักเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งไมโครแคปซูล และอาจส่งผลต่อการป้องกันการสูญเสียฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดที่แตกต่างกัน โดยผลการทดลองนี้เป็นไปใน

ทิศทางเดียวกับการทดลองของ Ratanasiriwat และคณะ, [14] ที่ศึกษาผลของมอลโตเดกซ์ทริน กัมอะราบิก แป้งดัดแปร (Hicap-100) และเวย์โปรตีนต่อการกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ พบว่าการห่อหุ้มทำให้ไมโครแคปซูลมีลักษณะพื้นผิวเรียบ

ไม่มีการยุบหรือหดตัว เหลี่ยมมุมมีความคมชัด แข็งแรง ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ไมโครแคปซูลมีความคงตัวต่ออุณหภูมิ และความชื้นภายนอกได้ดีนำไปสู่การป้องกันการสูญเสียฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดในระหว่างการเก็บรักษาและการแปรรูป

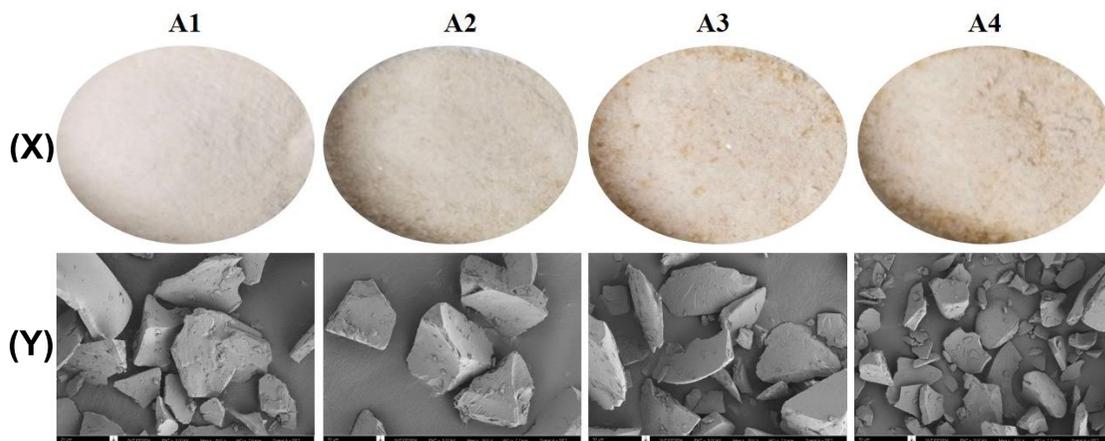


Figure 2. Appearance (X) and microstructure (Y) by SEM (500x) of encapsulated *Aloe vera* extract. *A1: maltodextrin 7.5% wv⁻¹, A2: maltodextrin 5% wv⁻¹ + gum arabic 2.5% wv⁻¹, A3: maltodextrin 2.5% wv⁻¹ + gum arabic 5% wv⁻¹ and A4: gum arabic 7.5% wv⁻¹. Bar represent 10 μm.

3.3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัดว่านหางจระเข้ ดังแสดงใน Table 2 พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวทำให้ตัวอย่างสารสกัดมีความสว่าง ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า L* สูงที่สุด การเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้สารสกัดว่านหางจระเข้มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และความเป็นสีแดง (a*) สูงขึ้น และแตกต่างจากการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกัมอะราบิกมีสีชาวมเหลืองจึงส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า a* และ b* สูงกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทริน จากการศึกษาของ Rithmanee, and Phonpannawit,

[15] ซึ่งได้ศึกษาการเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากชั่งข้าวโพดหวานสีม่วงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินส่งผลให้ค่า L* ของผงชั่งข้าวโพดสีม่วงมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้

เมื่อศึกษาความสามารถในการพองตัวของตัวอย่าง พบว่ามีค่าต่ำมากและอยู่ในช่วง 0.11-0.24 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง และมีร้อยละการละลายที่สูงโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 76.48-85.28 ข้อมูลปริมาณความชื้น พบว่าปริมาณความชื้นของสารสกัดว่านหางจระเข้ อยู่ในช่วงร้อยละ 9.91-12.22 ซึ่งการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวส่งผลให้สารสกัดว่านหางจระเข้ มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือร้อยละ 9.19 ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีสมบัติการดูดความชื้นต่ำ เมื่อใช้ใน

ปริมาณสูงจึงช่วยทำให้ค่าความชื้นของสารสกัดที่ผ่านการเอนแคปซูลเลชันดีขึ้นคือมีค่าต่ำที่สุดและแตกต่างจากการใช้ร่วมกับกัมอะราบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับ Khunthawad, and Sripui, [16] ที่ศึกษาผลของมอลโตเดกซ์ทริน กัมอะราบิก และมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิกที่ความเข้มข้น

ร้อยละ 10 และ 30 ในการเอนแคปซูลเลชันและทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำมะเมาะ พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำให้ผงมะเมาะมีปริมาณความชื้นและการดูดความชื้นต่ำที่สุด และการละลายสูงที่สุด ซึ่งส่งผลให้ผงมะเมาะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดีเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารและเครื่องดื่ม

Table 2. Physicochemical properties of encapsulated Aloe vera extract.

Sample	Color value			Swelling (g g sample ⁻¹)	Solubility (%)	Moisture content (%)
	L*	a*	b*			
A1	87.97 ± 0.18 ^a	0.81 ± 0.071 ^c	10.90 ± 0.66 ^b	0.12 ± 0.07 ^b	85.21 ± 5.01 ^a	9.19 ± 0.69 ^c
A2	82.74 ± 4.23 ^{ab}	1.17 ± 0.06 ^b	11.39 ± 0.20 ^{ab}	0.12 ± 0.03 ^b	84.91 ± 1.69 ^a	10.65 ± 0.07 ^b
A3	81.16 ± 1.40 ^b	1.79 ± 0.11 ^a	11.48 ± 0.37 ^{ab}	0.24 ± 0.09 ^a	76.48 ± 5.87 ^b	10.81 ± 0.31 ^b
A4	81.96 ± 0.70 ^{ab}	1.72 ± 0.19 ^a	12.22 ± 0.06 ^a	0.11 ± 0.01 ^b	85.28 ± 1.21 ^a	12.22 ± 0.22 ^a

The results are expressed as the mean ± standard deviation from 3 replicates. Different lower-case letters (a-c) indicate significant differences in the same column ($P < 0.05$), * A1: maltodextrin 7.5% wv⁻¹, A2: maltodextrin 5% wv⁻¹ + gum arabic 2.5% wv⁻¹, A3: maltodextrin 2.5% wv⁻¹ + gum arabic 5% wv⁻¹ and A4: gum arabic 7.5% wv⁻¹.

3.4 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านการเอนแคปซูลเลชัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระดังแสดงใน Table 3 พบว่าการใช้กัมอะราบิกในปริมาณมากขึ้นทำให้สารสกัดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เนื่องจากกัมอะราบิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ [17] และสามารถเสริมฤทธิ์ให้กับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของว่านหางจระเข้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohd, และคณะ, [18] ที่ศึกษาผลของการเอนแคปซูลเลชันสารสกัดจากผลมงกุฎสีดา (*Mahkota Dewa*) โดยใช้กัมอะราบิก ผล

การทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกจะทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Ratanasiriwat และคณะ, [14] ที่ศึกษาการกักเก็บสารสกัดหยาดจากเปลือกส้มโอ โดยใช้สารห่อหุ้มมอลโตเดกซ์ทริน มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิก และมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับเจลาติน พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณสารอนุมูลอิสระสูงที่สุด ดังนั้นการใช้สารห่อหุ้มที่มีส่วนผสมแตกต่างกันออกไปมีผลต่อการยับยั้งอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน

Table 3. Antioxidant activity of encapsulated *Aloe vera* extract.

Sample	Antioxidant activity DPPH assay (mg TEAC/g sample)
Control A (Non-encapsulated)	51.67 ±1.16 ^e
A1	93.36 ±4.56 ^d
A2	107.82 ±4.56 ^c
A3	186.72 ±9.11 ^b
A4	231.43 ±9.11 ^a

The results are expressed as the mean ± standard deviation from 3 replicates. Different lower- case letters (a- e) indicate significant differences in the same column (P ≥ 0.05), *A1: maltodextrin 7.5% wv⁻¹, A2: maltodextrin 5% wv⁻¹ + gum arabic 2.5% wv⁻¹, A3: maltodextrin 2.5% wv⁻¹ + gum arabic 5% wv⁻¹ and A4: gum arabic 7.5% wv⁻¹.

3.5 ผลของการย่อยสารสกัดที่ผ่านการเอนแคปซูลในสภาวะจำลองของระบบทางเดินอาหาร (*In vitro* digestion)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกปลดปล่อยของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านการห่อหุ้ม หลังจากผ่านสภาวะการจำลองการย่อยในระบบทางเดินอาหารแสดงใน Figure 3 ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกที่ใช้เป็นสารห่อหุ้มสารสกัดมากขึ้น ส่งผลให้การปลดปล่อยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ในช่วงเวลา 10-90 นาทีของการย่อย เนื่องจากกัมอะราบิกมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเป็นเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ (heteropolysaccharides) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาล 4 ชนิด

คือ น้ำตาลกาแล็กโทส (galactose, 44%) แอราบินโนส (arabinose, 27%) แรรมโนส (L-rhamnose, 13%) และกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid, 14.5%) [19] จึงทำให้สามารถยับยั้งการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินซึ่งมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ถูกปลดปล่อยได้น้อยกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกปลดปล่อยนั้นสามารถเชื่อมโยงถึงการปลดปล่อยสารสกัดจากว่านหางจระเข้เข้าสู่ระบบทางเดินอาหารในร่างกายได้ โดยปกติแล้วอาหารจะถูกย่อยบริเวณลำไส้เล็กประมาณ 1-5 ชั่วโมง [20] ดังนั้นการเลือกใช้สารห่อหุ้มชนิดมอลโตเดกซ์ทรินจะทำให้สามารถปลดปล่อยสารสกัดได้ดีที่บริเวณลำไส้เล็กของร่างกาย และหากต้องการยืดระยะเวลาการปลดปล่อยสารสกัดในลำไส้เล็กให้เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ การใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม จะช่วยให้ประสิทธิภาพการปลดปล่อยสารสำคัญเกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ ดังแสดงใน Figure 3 ตัวอย่างที่ A2 และ A3 อย่างไรก็ตาม หากต้องการให้สารสกัดถูกปลดปล่อยในลำไส้ใหญ่ในปริมาณมาก การใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มในปริมาณสูง หรืออาจใช้กัมอะราบิกเพียงอย่างเดียว จะสามารถชะลอการปลดปล่อยสารสำคัญในลำไส้เล็กได้ดีที่สุด โดยผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของ Peanparkdee และคณะ [21] ที่ศึกษาผลของการใช้เจลาติน และเจลาตินร่วมกับกัมอะราบิกในการห่อหุ้มสารสกัดจากรำข้าว พบว่าการใช้เจลาตินร่วมกับกัมอะราบิกสามารถชะลอการปลดปล่อยสารสกัดได้ดีกว่าการใช้เจลาตินเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการเลือกใช้สารห่อหุ้มสารสกัดจึงเป็นแนวทางในการเลือกบริเวณของระบบทางเดินอาหาร รวมทั้งควบคุมปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดได้ตามต้องการ

4. สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพในการกักเก็บพอลิแซ็กคาไรด์ และคุณสมบัติส่วนประกอบของสารห่อหุ้ม พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ถูกห่อหุ้มด้วยกัมอะราบิก 7.5% (wv^{-1}) มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสูงสุด โครงสร้างของไมโครแคปซูลแสดงให้เห็นลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลมีพื้นผิวเรียบปนขรุขระเล็กน้อย และมีการกระจายตัวดีคือไม่เกาะเป็นกลุ่มก้อน คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียวมีค่า L^* สูงที่สุด การเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกในการห่อหุ้มส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองของสารสกัดสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินในการห่อหุ้มส่งผลให้ร้อยละการละลายของสารสกัดเพิ่มขึ้น

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ห่อหุ้มด้วยกัมอะราบิก 7.5% (wv^{-1}) มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ นอกจากนี้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกปลดปล่อยของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ผ่านการห่อหุ้ม หลังจากผ่านสภาวะการจำลองการย่อยในระบบทางเดินอาหาร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกัมอะราบิกที่ใช้เป็นสารห่อหุ้มสารสกัดส่งผลให้การปลดปล่อยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง การกักเก็บสารสำคัญโดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน และกัมอะราบิกจึงมีประสิทธิภาพที่ดีในการห่อหุ้มสารสกัด และมีคุณสมบัติในการถูกย่อยและปลดปล่อยสารสำคัญในร่างกายต่างบริเวณกัน ดังนั้นข้อมูลนี้จึงใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาส่วนประกอบของอาหารฟังก์ชัน (functional food ingredient) ได้ต่อไป

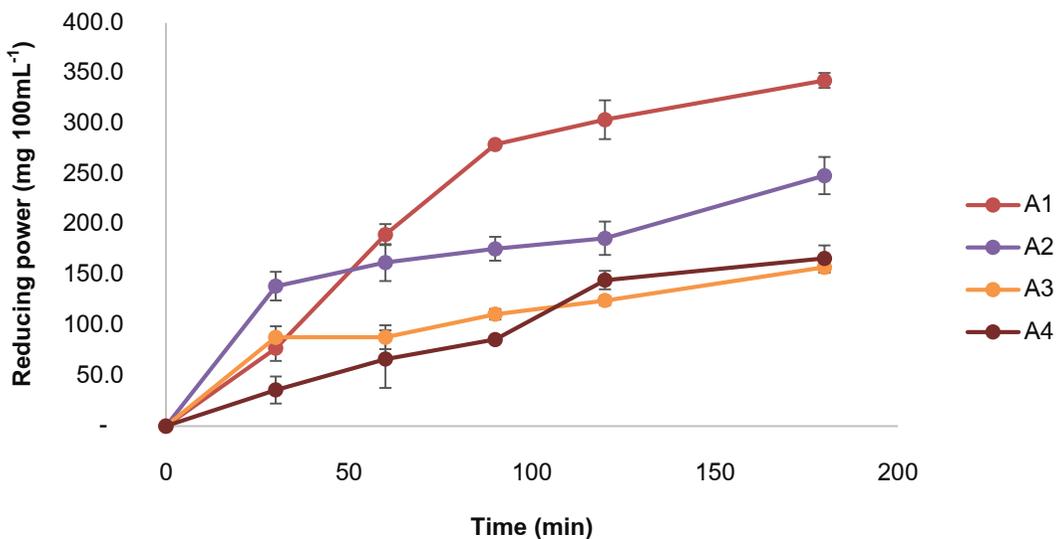


Figure 3. Time course *in vitro* digestion profiles expressed in reducing power of encapsulated Aloe vera extract. The results are expressed as the mean \pm standard deviation from 3 replicates. * A1: maltodextrin 7.5% wv^{-1} , A2: maltodextrin 5% wv^{-1} + gum arabic 2.5% wv^{-1} , A3: maltodextrin 2.5% wv^{-1} + gum arabic 5% wv^{-1} and A4: gum arabic 7.5% wv^{-1} .

5. References

- Baruah, A., Bordoloi, M., & Deka Baruah, H. P. 2016. Aloe vera: A multipurpose industrial crop. *Ind. Crops Prod.* 94: 951-963.
- Heř, M., Dziedzic, K., Górecka, D., Jędrusek-Golińska, A., & Gujska, E. 2019. Aloe vera (L.) webb.: Natural sources of antioxidants - A review. *Plant Foods Hum. Nutr.* 74(3): 255-265.
- Khorasani, G., Hosseinimehr, S. J., Azadbakht, M., Zamani, A., Mahdavi, M.R., 2009. Aloe versus silver sulfadiazine creams for second-degree burns: a randomized controlled study. *Surg. Today.* 39: 587–591.
- Chantarawatit, P., Sangvanich, P., Banlunara, W., Soontornvipart, K., Thunyakitpisal, P., 2013. Acemannan sponges stimulate alveolar bone, cementum and periodontal ligament regeneration in a canine class II furcation defect model. *J. Periodont. Res.* 49: 164–178.
- Soonsit, O., Suksiriphattanapong, B., Sorndech, W. and Kasekarn, W. 2021. Effects of Noni and *Morinda citrifolia* (Noni) extracts on cell proliferation and alkaline phosphatase activity in human fetal osteoblast cell line. The 7th International Conference on Biochemistry and Molecular Biology (BMB 2021). “Challenges in Biochemistry to Overcome Pandemics and Disruptions” Bangkok, Thailand, July 6-7, 2021.
- Ratanasiriwat, P., Worawattanamateekul, W., & Klaypradit, W. 2013. Properties of encapsulated wasabi flavour and its application in canned food. *Int. J. Food Sci.* 48(4): 749-757.
- Somogyi, M. & Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* 153(2): 375–380.
- Prompiputtanapon, K., Sorndech, W., & Tongta, S. 2020. Surface modification of tapioca starch by using the chemical and enzymatic method. *Starch - Stärke*, 72(3-4): 1900133.
- Li, J. & Corke, H. 1999. Physicochemical properties of normal and waxy Job's tears (*Coix lachryma-jobi* L.) starch. *Cereal Chem.* 76: 413-416.
- Sopade, P. A., & Gidley, M. J. 2009. A rapid in-vitro digestibility assay based on glucometry for investigating kinetics of starch digestion. *Starch - Stärke*, 61(5): 245-255.
- Na-Nakorn, K., Hamaker, B. R., & Tongta, S. 2021. Physicochemical and rheological properties of cooked extruded reformed rice with added protein or fiber. *LWT*, 151: 112196.
- Suyalek, S., Jaturonglumert, S., Amornlerdpison, D., Narkprasom, N. and Narkprasom, K., 2019. Encapsulation of crude extracts from banana (*Musa X paradisca*) flowers by spray drying. *BUSCIJ.* 25(2): 448-463. (in Thai)
- Alves, S. F., Borges, L. L., dos Santos, T. O., de Paula, J. R., Conceição, E. C., & Bara, M. T. F. 2014. Microencapsulation of essential oil from fruits of *Pterodon*

- emarginatus* using gum arabic and maltodextrin as wall materials: Composition and stability. *Dry. Technol.* 32(1): 96-105.
- Ratanasiriwat, P., Pai-Ngam, K., Sa-Ngonwong, R., Chaonatri, W. and Pienchob, P. 2015. Encapsulation of crude extracts from pomelo peel. *RMUTTO-RJ.* 1-12. (in Thai)
- Rithmanee, T. and Phonpannawit, A. 2018. Anthocyanin encapsulation from purple corn cob by spray drying. *EAU Herit. J.* 12(2): 169-180. (in Thai)
- Khunthawad, A. and Sripui, J. 2013. Effects of encapsulation by spray drying on physical properties of Mameo (*Antidesma thwaitesianum*) powder. Graduate Research Conference Khon Kaen University, PMP14: 386-391. (in Thai)
- Mirghani, M., Elnour, A., Kabbashi, N., Alam, M., Musa, K. H. , & Abdullah, A. 2018. Determination of antioxidant activity of gum Arabic: An exudation from two different locations. *Sci.* 44: 179.
- Mohd Zin, Z. , Razman, N. H. , Mamat, H. , Manap, M. N. , & Zainol, K. 2021. The influence of Gum Arabic on the physicochemical and antimicrobial activity of the microencapsulated Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*) leaves. *Food Res.* 5: 203-213.
- Mahendran, T., Williams, P. A., Phillips, G. O., Al-Assaf, S., & Baldwin, T. C. 2008. New insights into the structural characteristics of the arabinogalactan protein (AGP) fraction of gum arabic. *J. Agric. Food Chem.* 56(19): 9269-9276.
- Sensoy, I. 2021. A review on the food digestion in the digestive tract and the used in vitro models. *Curr. Res. Nutr. Food Sci.* 4: 308-319.
- Peanparkdee, M. , Borompichaichartkul, C. , & Iwamoto, S. 2021. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic acids, flavonoids, and anthocyanins of encapsulated Thai rice bran extracts during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chem.* 361: 130161.