



การห่อหุ้มแบคทีเรียโพรไบโอติกด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตและอินูลินเคลือบด้วยไคโตซาน
และประเมินความสามารถในการทนต่อสภาวะกรดเพื่อนำไปเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร

Encapsulation of Probiotic Bacteria by Extrusion with Sodium Alginate and Inulin Coated
with Chitosan and Evaluation of Acid Tolerance for Fortification in Food products.

นันทิชา ทองคำ พชรวรรณ ทองคำ

ปิยะมาศ เจริญชัย¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย พิชญ์โลก อำเภอเมืองพิชญ์โลก จังหวัดพิชญ์โลก 65000

Email: pacharawan.tho@pccpl.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มแบคทีเรียโพรไบโอติกเพื่อเพิ่มอัตราการรอดชีวิตในสภาวะกรดและศึกษาศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยคัดแยกและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียโพรไบโอติก จากนั้นห่อหุ้มเซลล์ด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) โดยใช้เม็ดเจลโซเดียมอัลจิเนตผสมอินูลิน และเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 (w/v) แล้ววัดขนาดเม็ดเจล ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม อัตราการรอดชีวิตในสภาวะกรดจำลอง (pH 2) และการคงอยู่ของโพรไบโอติกในน้ำผลไม้ ผลการศึกษาพบว่า แบคทีเรียที่คัดแยกได้มีลักษณะเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปแท่ง ไม่สร้างเอนโดสปอร์ และไม่สร้างเอนไซม์คะตาเลส สอดคล้องกับแบคทีเรียสกุล *Lactobacillus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มโพรไบโอติกโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงที่สุด มีอัตราการรอดชีวิตหลังการห่อหุ้มร้อยละ 87.07 และอัตราการรอดชีวิตในสภาวะกรดจำลองร้อยละ 66.67 สูงกว่ากลุ่มเซลล์อิสระ อีกทั้งเมื่อนำเม็ดเจลโพรไบโอติกไปทดสอบในน้ำผลไม้เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มที่เคลือบไคโตซานร้อยละ 0.5 มีจำนวนเซลล์คงเหลือสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ห่อหุ้ม สรุปได้ว่าการห่อหุ้มแบคทีเรียโพรไบโอติกด้วยเม็ดเจลโซเดียมอัลจิเนตผสมอินูลิน ร่วมกับการเคลือบไคโตซานร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปกป้องโพรไบโอติกจากสภาวะกรดและช่วยคงความมีชีวิตของเซลล์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้

คำสำคัญ: โพรไบโอติก, *Lactobacillus*, การห่อหุ้มเซลล์, ไคโตซาน, โซเดียมอัลจิเนต

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพในร่างกายและการทำงานของภูมิคุ้มกันลดลง โพรไบโอติกจึงได้รับความสนใจ

อย่างมากในการช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้และส่งเสริมสุขภาพ อย่างไรก็ตาม โพรไบโอติกมีความไวต่อสภาวะแวดล้อม เช่น สภาวะกรดในกระเพาะอาหาร ทำให้จำนวนเชื้อที่สามารถรอดชีวิตและไปถึงลำไส้ลดน้อยลง



การประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) ร่วมกับวัสดุห่อหุ้มและการเคลือบไคโตซาน จึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มการปกป้องจุลินทรีย์จากสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยไคโตซานช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเม็ดเจลและเพิ่มความทนทานต่อสภาวะกรด ส่งเสริมการรอดชีวิตของโพรไบโอติกในระบบย่อยอาหาร ดังนั้น งานวิจัยจึงสนใจแยกและเลี้ยงแบคทีเรียโพรไบโอติกจากโยเกิร์ตธรรมชาติ และพัฒนาเม็ดเจลห่อหุ้มโพรไบโอติกโดยใช้โซเดียมอัลจิเนต อินูลิน และเคลือบไคโตซาน รวมถึงศึกษาความทนทานต่อสภาวะกรดจำลองในกระเพาะอาหาร และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโพรไบโอติก คุณค่าทางโภชนาการ และศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพหรือเครื่องดื่ม เพื่อสุขภาพในอนาคต

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างจุลินทรีย์

เก็บตัวอย่างจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่ โดยนํายोगีร์ตมาผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% ปลอดเชื้อ จากนั้นทำการเขย่าให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกันด้วย Vortex mixer ก่อนนำไปทำการเจือจางแบบลำดับขั้น (serial dilution) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงและการแยกเชื้อ

2.2 การคัดเลือกและแยกเชื้อบริสุทธิ์

คัดเลือกโคโลนีที่มีลักษณะสอดคล้องกับเชื้อ *Lactobacillus* spp. โดยพิจารณาจากสี และรูปร่าง ของโคโลนี จากนั้นนำโคโลนีที่เลือกไปเพาะเลี้ยงซ้ำบนอาหาร MRS agar ด้วยวิธี cross streak เพื่อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ แล้วตรวจสอบลักษณะของเชื้อโดยการย้อมแกรมและทดสอบการสร้างเอนไซม์

2.3 การเตรียมเม็ดโพรไบโอติก

เตรียมสารแขวนลอยของเชื้อโพรไบโอติกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เพื่อตกตะกอนเซลล์ จากนั้นล้างตะกอนเซลล์ด้วย

สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85% จนได้ตะกอนเซลล์ที่สะอาด นำตะกอนเซลล์มาผสมกับสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้น 2% (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นหยดส่วนผสมลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% เพื่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นเม็ดเจล และนำเม็ดเจลที่ได้ไปเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 0.3, 0.4 และ 0.5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ล้างเม็ดเจลด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ

2.4 การวิเคราะห์ขนาดเม็ดโพรไบโอติก

สุ่มตัวอย่างเม็ดโพรไบโอติกจากแต่ละกลุ่มจำนวน 10 เม็ด วัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยไมโครมิเตอร์

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของเซลล์แบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้มในเม็ดเจลโพรไบโอติก

นำเม็ดโพรไบโอติกจากแต่ละกลุ่มมาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% จากนั้นทำการเจือจางและเพาะเลี้ยงบนอาหาร MRS agar ด้วยเทคนิค spread plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วคำนวณจำนวนโคโลนีในหน่วย CFU/mL เพื่อประเมินร้อยละของเซลล์ที่ถูกห่อหุ้มในแต่ละสูตร

2.6 การศึกษาการรอดชีวิตของโพรไบโอติกภายใต้สภาวะกรด

นำเม็ดโพรไบโอติกสูตรที่ดีที่สุดมาทดสอบในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร โดยแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) pH=2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และนำไปแช่ใน สารละลายไดโพลแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร MRS agar เพื่อเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตกับจำนวนเริ่มต้น

2.7 การศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดเจลโพรไบโอติกที่ใส่ในผลิตภัณฑ์อาหาร

นำเม็ดโพรไบโอติกสูตรที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของเซลล์แบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้ม



นำไปใส่ในน้ำผลไม้ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างมาเจือจางน้ำผลไม้ที่เติมเม็ดโพรไบโอติกในแต่ละวันด้วย MRS broth จากนั้นเลี้ยงบนอาหาร MRS agar

3. ผลการทดลอง

3.1 การคัดเลือกและจำแนกแบคทีเรียโพรไบโอติก

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

กลุ่ม	ลักษณะโคโลนี	รูปร่างเซลล์	ขนาดเซลล์ (μm)
A	กลม สีขาวขุ่น	แท่ง	3.33 ± 0.58
B	กลม นูน สีขาวครีม	แท่ง	5.27 ± 0.58
C	กลม นูนเล็กน้อย สีขาวครีม	แท่ง	5.75 ± 0.58

จากตารางที่ 1 พบว่าแบคทีเรียกลุ่ม A มีโคโลนีกลม สีขาวขุ่น กลุ่ม B มีโคโลนีกลม นูน สีขาวครีม และกลุ่ม C มีโคโลนีกลม นูนเล็กน้อย สีขาวครีม และแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มมีรูปร่างเป็นแท่งทั้งหมด โดยกลุ่ม A มีขนาดเซลล์เฉลี่ย $3.33 \pm 0.58 \mu\text{m}$ ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด รองลงมาคือกลุ่ม B $5.27 \pm 0.58 \mu\text{m}$ และกลุ่ม C $5.75 \pm 0.58 \mu\text{m}$

ตารางที่ 2 ผลของการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียภายใต้กล้องจุลทรรศน์

กลุ่ม	ผลการย้อมแกรม	ผลการย้อมเอนโดสปอร์	ผลทดสอบ Catalase
A	บวก	ลบ	ลบ
B	บวก	ลบ	ลบ
C	บวก	ลบ	ลบ

จากตารางที่ 2 พบว่าแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มให้ผลการย้อมสีแกรมเป็นบวก ไม่พบการสร้างเอนโดสปอร์ และให้ผลการทดสอบเอนไซม์คะตาเลส (Catalase test) เป็นลบทั้งหมด จากการพิจารณาข้อมูล ตารางที่ 1 และ 2

แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มมีลักษณะที่สอดคล้องกับแบคทีเรียในสกุล *Lactobacillus* จึงมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปศึกษาการห่อหุ้มโพรไบโอติกในชั้นตอนต่อไป

3.2 ความเข้มข้นของโคโดซานที่มีผลต่อขนาดของเม็ดเจลโพรไบโอติก

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นโคโดซานต่อขนาดของเม็ดโพรไบโอติก ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของโคโดซานที่มีผลต่อขนาดของเม็ดเจลโพรไบโอติก

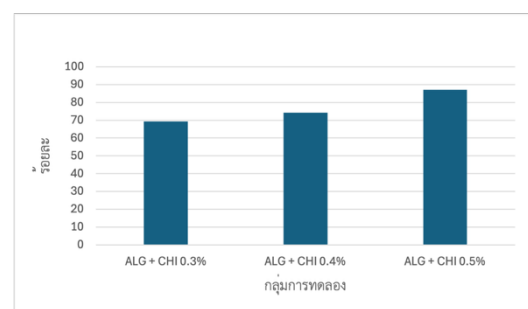
กลุ่มการทดลอง	ค่าเฉลี่ยขนาด (mm)
ALG	3.290 ± 0.004
ALG + CHI 0.3%	2.659 ± 0.004
ALG + CHI 0.4%	2.503 ± 0.004
ALG + CHI 0.5%	2.270 ± 0.004

จากตารางที่ 3 พบว่าเม็ดอัลจินเนตที่ไม่เคลือบโคโดซาน (ALG) มีขนาดเฉลี่ยมากที่สุด คือ $3.290 \pm 0.004 \text{ mm}$ ในขณะที่การเคลือบโคโดซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ทำให้ขนาดเม็ดลดลงเป็น 2.659 ± 0.004 , 2.503 ± 0.004 และ $2.270 \pm 0.004 \text{ mm}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของโคโดซานเพิ่มขึ้น ขนาดเม็ดเจลจะลดลง

3.4 ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มเซลล์

จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโคโดซานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการห่อหุ้มและการคงอยู่ของเซลล์แบคทีเรียเพิ่มขึ้น ดังกราฟที่ 1

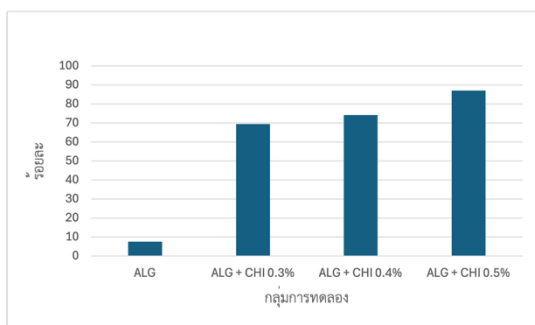
กราฟที่ 1 ร้อยละของเซลล์แบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้มในเม็ดเจลที่เคลือบโคโดซาน



จากกราฟที่ 1 พบว่าเม็ดที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการรอดชีวิตของเซลล์แตกต่างกัน โดยเม็ดโพรไบโอติก ALG+CHI 0.5% มีร้อยละการรอดชีวิตที่สูงที่สุดเท่ากับ 87.07 ในขณะที่เม็ดโพรไบโอติก ALG+CHI 0.4% และ 0.3% ให้ร้อยละการรอดชีวิตคือ 74.15 และ 69.39 ตามลำดับ

3.5 ประสิทธิภาพการรอดชีวิตของแบคทีเรียหลังผ่านสภาวะกรด

จากการศึกษา พบว่าเซลล์แบคทีเรียที่ไม่ผ่านการห่อหุ้มมีร้อยละการรอดชีวิตต่ำกว่าเซลล์แบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้มด้วยเม็ดอัลจินเตเคลือบไคโตซาน ดังกราฟที่ 2

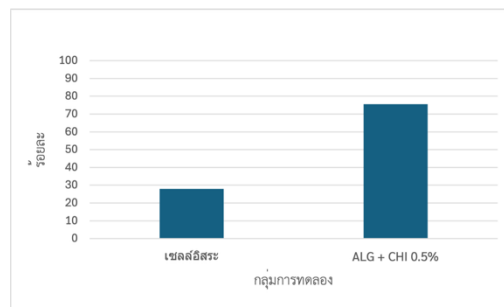


จากกราฟที่ 2 พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้ห่อหุ้มมีร้อยละการรอดชีวิตต่ำที่สุดเท่ากับ 7.48 และกลุ่มที่เคลือบไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีร้อยละการรอดชีวิตสูงสุดคือ 87.07 แสดงว่าการห่อหุ้มเซลล์ด้วยโซเดียมอัลจินเตและอินูลินเคลือบด้วยไคโตซานและการเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซาน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปกป้องแบคทีเรีย

3.6 ประสิทธิภาพของเม็ดเจลโพรไบโอติกเมื่อใส่ในน้ำผลไม้

จากการศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดโพรไบโอติกต่อการคงอยู่ของ *Lactobacillus* spp. ในน้ำผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา 72 ชั่วโมง พบว่าเซลล์แบคทีเรียที่ผ่านการห่อหุ้มมีชีวิตอยู่ได้ดีกว่าเซลล์อิสระ ดังกราฟที่ 3

กราฟที่ 3 ร้อยละแบคทีเรียในน้ำผลไม้ที่เติมเม็ดเจลโพรไบโอติก ในระหว่างการเก็บรักษา 72 ชั่วโมง



จากกราฟที่ 3 พบว่าเมื่อผ่านไป 72 ชั่วโมง กลุ่มเซลล์ที่ห่อหุ้มด้วยสูตร ALG+CHI 0.5% มีร้อยละการรอดชีวิต 75.51 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มเซลล์อิสระที่มีการรอดชีวิตร้อยละ 27.89

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

การแยกและคัดเลือกแบคทีเรียโพรไบโอติก พบว่าแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มีลักษณะโคโลนีกลม สีขาวครีม รูปร่างเซลล์เป็นแท่ง ให้ผลการย้อมแกรมเป็นบวก ไม่สร้างเอนโดสปอร์ และให้ผลการทดสอบเอนไซม์ คีตาเลสเป็นลบ ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของแบคทีเรียสกุล *Lactobacillus* จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นโพรไบโอติกในการศึกษานี้

การพัฒนาเม็ดเจลโพรไบโอติกโดยใช้โซเดียมอัลจินเตเสริมอินูลินและเคลือบด้วยไคโตซาน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานจากร้อยละ 0.3 เป็นร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.5 พบว่าขนาดเม็ดเจลลดลงตามลำดับ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานซึ่งมีประจุบวกกับโซเดียมอัลจินเตซึ่งมีประจุลบ เกิดเป็นโครงสร้างโพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพล็กซ์ (polyelectrolyte complex) ทำให้เกิดการบีบตัวของโครงสร้างของเหลวภายในเม็ดเจล ซึ่งสอดคล้องกับหลักการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารโพลิเมอร์ที่มีประจุตรงข้ามกัน จากการศึกษาของ Parreidt et al. (2018)



เม็ดเจลที่เคลือบไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงที่สุด โดยมีอัตราการรอดชีวิตของเซลล์หลังการห่อหุ้มร้อยละ 87.07 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานช่วยให้ชั้นเคลือบมีความแข็งแรงและลดการสูญเสียเซลล์ออกจากเม็ดเจล อีกทั้งการมีอินูลินร่วมในโครงสร้างยังช่วยทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารให้แก่โพรไบโอติกและเพิ่มความหนาแน่นในโครงสร้างเจล ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกักเก็บและอัตราการรอดชีวิตของเซลล์ระหว่างกระบวนการห่อหุ้มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Krasaekoopt and Watcharapoka (2014) ความสามารถในการรอดชีวิตภายใต้สภาวะกรดจำลอง พบว่ากลุ่มที่ห่อหุ้มด้วย อัลจิเนต อินูลินและเคลือบไคโตซานร้อยละ 0.5 มีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุดคือร้อยละ 66.67 ขณะที่เซลล์อิสระมีอัตราการรอดชีวิตเพียงร้อยละ 7.48 แสดงให้เห็นว่าการห่อหุ้มช่วยลดผลกระทบของสภาวะกรดต่อเซลล์โพรไบโอติก เนื่องจากอัลจิเนตและไคโตซานทำหน้าที่ป้องกันการแพร่ผ่านของไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่เซลล์ ส่งผลให้เซลล์สามารถคงสภาพการมีชีวิตได้ดีกว่า

การคงอยู่ของโพรไบโอติกในน้ำผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา 72 ชั่วโมง พบว่าเม็ดเจลที่เคลือบไคโตซานสามารถรักษาปริมาณเซลล์โพรไบโอติกได้ดีกว่าเซลล์อิสระตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าการห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนต อินูลิน และไคโตซานช่วยเพิ่มความคงตัวของเซลล์ ลดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ และช่วยคงความมีชีวิตของโพรไบโอติกได้ดีกว่าเซลล์ที่ไม่ได้ห่อหุ้ม

4.2 สรุปผลการทดลอง

แบคทีเรียโพรไบโอติกที่คัดแยกได้ที่มีลักษณะสอดคล้องกับแบคทีเรียสกุล *Lactobacillus* เมื่อนำเข้ามาพัฒนาเม็ดเจลห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนตเสริมอินูลินและเคลือบด้วยไคโตซาน พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานส่งผลให้ขนาดเม็ดเจลลดลง และสูตรที่เคลือบ

ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงที่สุด โดยมีอัตราการรอดชีวิตหลังการห่อหุ้มร้อยละ 87.07 และเมื่อนำเม็ดเจลไปทดสอบในสภาวะกรดจำลอง พบว่าสูตรที่เคลือบไคโตซานร้อยละ 0.5 มีอัตราการรอดชีวิตของโพรไบโอติกสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66.67 สูงกว่าเซลล์อิสระอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการห่อหุ้มโพรไบโอติกด้วยโซเดียมอัลจิเนตเสริมอินูลินร่วมกับการเคลือบไคโตซานสามารถช่วยปกป้องเซลล์จากสภาวะกรดได้ อีกทั้งเมื่อนำเม็ดเจลโพรไบโอติกไปประยุกต์ใช้ในน้ำผลไม้ พบว่าสามารถคงความมีชีวิตของเซลล์ได้ดีกว่าเซลล์อิสระระหว่างการเก็บรักษา จึงสรุปได้ว่าการห่อหุ้มโพรไบโอติกด้วยโซเดียมอัลจิเนตเสริมอินูลินร่วมกับการเคลือบไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นสูตรที่มีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มเซลล์สูงสุด เพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะกรด และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหรือเครื่องดื่มในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยปรับช่วงความเข้มข้นของไคโตซานให้มีความแตกต่างกันมากขึ้น เพื่อให้เห็นแนวโน้มของการใช้ปริมาณไคโตซานได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และควรศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการคงอยู่ของแบคทีเรียเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ อาจารย์ปิยะมาศ เจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ให้ทั้งความรู้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์

ขอขอบพระคุณ โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้



เอกสารอ้างอิง

งามลักษณ์ พึ่งสวาท. (2565). การห่อหุ้มแบคทีเรียที่เป็นโพรไบโอติกด้วยโซเดียมอัลจิเนตร่วมกับนมแพะเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับสุนัข. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2568, จาก <https://shorturl.at/Zt9VJ>.

จุฬาลักษณ์ ชูพรหม. (2553). การห่อหุ้มเซลล์โพรไบโอติกร่วมกับพรีไบโอติกและศึกษาการรอดชีวิตในสถานะที่เป็นกรดและเกลื่อน้ำดีในหลอดทดลอง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2568, จาก <https://shorturl.at/GsE2>.

เทพอนันต์ สมานวงศ์. (2559). การรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ห่อหุ้มด้วยวิธีเอนแคปซูเลชันในโยเกิร์ตนมข้าวโพด โยเกิร์ตนมวัว และโยเกิร์ตนมถั่วเหลืองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. สมุทรปราการ. วิทยาลัยเทคโนโลยีนิวเอเซียเฉลิมพระเกียรติ. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2568, จาก <https://shorturl.at/4MBu8>.

วงชาติ แจ้งอิม และคณะ. (2565). ผลของสารห่อหุ้มเซลล์ที่ต่างกันต่อการเหลือรอดของ *Lactobacillus* ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบตมะม่วง. สาขาเทคโนโลยีการอาหารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2568, จาก Journal Website.

Afzaal, Saeed, Ahmad, (2019). Functional exploration of free and encapsulated probiotic bacteria in yogurt and simulated gastrointestinal conditions. *Food Science & Nutrition*, 7(12), 3931–3940. Retrieved July 15, 2026, from PubMed Central (PMC) Website.

Kamel, Alsaleem. (2021). Addition of inulin to probiotic yogurt: Viability of probiotic bacteria (*Bifidobacterium bifidum*) and sensory characteristics. *Food Science & Nutrition*, 1743–1749. Retrieved September 20, 2025.

Parreidt, Muller, & Schmid. (2018). Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods*, 7(10), 170. Retrieved September 20, 2025, from MDPI Foods Website.

Rasheed, Al-Rubaie & Al-Saadi, (2023). Physicochemical characteristics, sensory profile, probiotic, and starter cultures viability of synbiotic yogurt supplemented with inulin, β -glucan, and Hi-maize. *Food Science & Nutrition*, 11(1), e70426. Retrieved September 15, 2025, from PubMed Central (PMC) Website.