

การผลิตเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสดด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน

Producing Passion Fruit Beads by Reverse Spherification Technique

พัชรี คำประเวช* และสุธีรา วัฒนกุล

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Patcharee Kamprawet* and Suteera Vattanukul

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

วิธีรีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน (reverse spherification) เป็นการทำอาหารแบบ molecular gastronomy ที่จัดอยู่ในกลุ่มเทคโนโลยีอาหารสมัยใหม่ (modern cuisine technology) ซึ่งกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเม็ดบีดส์เสาวรสดด้วยวิธี reverse spherification โดยศึกษาการแช่แคลเซียมแลคเตท (CL) ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และการใช้สารละลายโซเดียมแอลจิเนต (SA) รูปแบบต่าง ๆ ต่อลักษณะทางกายภาพของเม็ดบีดส์ ในขั้นตอนแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเม็ดบีดส์ โดยการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตทที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 กรัม/100 มิลลิลิตร ที่เวลา 5 และ 10 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแช่แคลเซียมแลคเตท คือ ความเข้มข้น 1.0 กรัม/100 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที เม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทเป็นเวลานานขึ้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง ($p \leq 0.05$) โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 6.70-6.87 มิลลิเมตร เม็ดบีดส์ที่มีการแช่แคลเซียมแลคเตทมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และมีค่าการบวมน้ำลดลง ($p \leq 0.05$) ส่วนการศึกษารูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่เหมาะสม โดยศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ไม่เคยผ่านการแช่มาก่อนและสารละลายแอลจิเนตที่ผ่านการแช่มาแล้ว 1 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สารละลายแอลจิเนตที่ยังไม่เคยผ่านการแช่มาก่อน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทำให้เม็ดบีดส์มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ : รีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน; เสาวรสด; แอลจิเนต; เม็ดบีดส์; อาหารโมเลกุล

Abstract

Reverse spherification is a technique use in modernist cuisine, which is termed as molecular gastronomy. It is a technique that is now gaining more importance in the modern food market. The

present study aims to find out the optimum conditions for production of passion fruit beads by reverse spherification. The influences of calcium lactate concentration (0.5 and 1.0 g/100g) and gelation time (5 and 10 mins) were evaluated. Results showed that the optimum condition was 1.0 g/100g of calcium lactate solution and 10 mins of gelation time. The beads soaked in calcium lactate solution were decreased in diameter ($p \leq 0.05$), which average diameter of beads was in the range of 6.70-6.87 mm. As the concentration of calcium lactate increased, the hardness increased but the swelling capacity decreased. The effect of fresh and used sodium alginate solutions and gelling temperature (5 and 25 °C) were also studied. Utilization of fresh sodium alginate solution at 5 °C rendered the bead with greater in, than other treatments with lowest in bead swelling ($p \leq 0.05$).

Keywords: reverse spherification; passion fruit; alginate; beads; molecular gastronomy

1. บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (functional food/drink) ยังคงได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มสมบัติที่ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มเพื่อสุขภาพ ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการเติมสารสำคัญต่าง ๆ เช่น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหรือสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพจำพวกวิตามิน หรือสารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ รวมทั้งสารอาหารที่ส่งเสริมการทำงานของร่างกายลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการควบคุมสถานะการผลิต การเก็บรักษา รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อให้สารสำคัญเหล่านั้นมีความคงตัวตลอดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสารเหล่านี้เกิดการสลายตัวได้ง่ายในระหว่างการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษา

เสาวรสเป็นผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง มีรสชาติเปรี้ยว และมีกลิ่นรสเฉพาะที่ช่วยเพิ่มรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้ดี โดยข้อมูลจาก United States Department of Agriculture (USDA) [1] พบว่าเสาวรสเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะใยอาหาร วิตามินเอ และ

วิตามินซีที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการบำรุงผิวพรรณ และป้องกันโรคต่าง ๆ ได้ [2] ปัจจุบันได้มีการนำเสาวรสมาแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด โดยนิยมผสมกับผลไม้ชนิดอื่น เช่น แครอท บัทรูด มะม่วง พักข้าว แต่เนื่องจากเสาวรสเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีมูลค่าค่อนข้างต่ำ (เนื้อเสาวรสแช่แข็งกิโลกรัมละ 60-65 บาท) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การแปรรูปเสาวรสให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ รับประทานได้ง่าย เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเสาวรสและเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพ

โซเดียมแอลจีเนตเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากธรรมชาติ โดยสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล มีสมบัติเป็นประจุลบ ประกอบด้วย 1,4-linked- β -D-mannuronic (M) และ α -L-guluronic acid (G) ที่ต่อกันแบบ homopolymeric blocks (G หรือ M-blocks) และ heteropolymeric blocks (MG-blocks) [3] โดยหมู่ G- blocks สามารถจับกับประจุบวกของสารชนิดอื่น โดยการแทนที่ไฮโดรเจนในหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) แล้วเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่เรียกว่า egg box model ได้ เช่น

Ca^{2+} , Ba^{2+} และ Al^{3+} [4,5] แอลจิเนตมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความปลอดภัยสูง ราคาไม่แพง สามารถเกิดเจลในสภาวะที่เหมาะสม และยังมีสมบัติเป็น bio-compatibility จึงไม่ส่งผลเสียต่อร่างกาย [6]

เม็ดบีดส์ไฮโดรเจล (hydrogel bead) หรือ แอลจิเนตแคปซูล (alginate capsule) คือ เม็ดบีดส์ที่ได้จากการห่อหุ้มสารโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เป็นองค์ประกอบหลัก มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มรูปแบบใหม่เพื่อนำส่งสารสำคัญทางอาหาร ช่วยรักษากลิ่นรสในอาหาร รวมทั้งควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญต่าง ๆ [7] ซึ่งในกระบวนการผลิตเม็ดบีดส์ทำได้ 3 วิธีหลัก วิธีแรกเป็นการใช้ extrusion ในการห่อหุ้มสารที่เป็นของเหลวภายใน โดยผสมกับโซเดียมแอลจิเนตแล้วหยดลงในสารละลายสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) [8] วิธีที่ 2 เรียกว่า spherification เป็นการทำเม็ดบีดส์แอลจิเนต อาศัยความแตกต่างระหว่างประจุของพอลิเมอร์ในการเคลือบสาร โดยหยดโซเดียมแอลจิเนตลงในสารละลายที่มีประจุบวก [9] ส่วนวิธีที่ 3 เรียกว่า reverse spherification โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารประกอบอื่น ๆ หยดลงในสารละลายโซเดียมแอลจิเนต เพื่อให้เกิดการห่อหุ้มสารภายใน ซึ่งอาจมีการนำเม็ดบีดส์ที่ได้แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อีกครั้ง เพื่อทำให้กระบวนการกักเก็บสารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ [10]

โดยการทำ spherification ต้องมีการผสมแอลจิเนตลงในอาหารเพื่อให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ แล้วหยดลงในอ่างแคลเซียมเพื่อให้เกิดเม็ดบีดส์ ซึ่งมีข้อจำกัดเนื่องจากแอลจิเนตเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่สามารถละลายได้ในอาหารที่มี pH ต่ำ และยังทำให้เม็ดบีดส์เกิดเจลตันเมื่อทิ้งไว้ที่ระยะเวลานานขึ้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้วิธี

reverse spherification โดยการผสมแคลเซียมลงในน้ำเสาวรสที่ต้องการทำให้เกิดเม็ดบีดส์ เนื่องจากแคลเซียมสามารถละลายได้ดีในน้ำเสาวรสที่มี pH ต่ำ ซึ่งไม่ทำให้เม็ดบีดส์เกิดเจลตัน เมื่อทิ้งไว้ที่ระยะเวลานานขึ้น [11] ทำให้ได้เม็ดบีดส์ที่คุณสมบัติเป็นของเหลวภายในและมีเจลห่อหุ้มภายนอก จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่ามีการใช้เม็ดบีดส์เข้ามาช่วยในการห่อหุ้มสารเพื่อรักษาความคงตัวของ bioactive compound ต่าง ๆ ที่อาจสลายตัวได้ง่ายเมื่ออยู่ในระบบอาหาร นอกจากจะช่วยให้ประโยชน์ดังกล่าวแล้ว เม็ดบีดส์ยังช่วยเพิ่มรสชาติและความแปลกใหม่ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มอาหารโมเลกุล (molecular gastronomy) ที่เป็นเทคโนโลยีอาหารสมัยใหม่ โดยใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์ร่วมกับความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการ ในการพัฒนาอาหารที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีรสชาติที่ดี มีรูปลักษณ์ที่สวยงาม และมีความน่าสนใจด้วย

มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดเจลของแอลจิเนต ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของสาร กับค่า pK_a ของแอลจิเนต ค่า M/G ratio ของแอลจิเนต ชนิดและจำนวนประจุบวกของสารที่นำมา cross-link กับแอลจิเนต ความหนืด ความหนาแน่น และค่าแรงตึงผิวของสารละลาย เป็นต้น ซึ่งจากข้อมูลงานวิจัยก่อนหน้านี้ [4] พบว่าการเพิ่มประจุบวกของแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ มีผลอย่างมากต่อความคงตัวของเม็ดบีดส์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้เลือกที่จะศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และระยะเวลาในการแช่ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเม็ดบีดส์เสาวรส และจากการค้นพบในการเตรียมเม็ดบีดส์ พบว่าสารละลายแอลจิเนตที่เคยผ่านการใช้งานมาแล้วสามารถทำให้เกิดเจลของเม็ดบีดส์ได้ ดังนั้นอาจมีความเป็นไปได้ที่จะใช้สารละลายโซเดียมแอลจิเนตเก่าในการทำเม็ดบีดส์เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบ การ

ศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตทและรูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตและอุณหภูมิในการแช่ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเม็ดบีดส์เสาวรส โดยวิธี reverse spherification

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมเม็ดบีดส์โดยวิธี reverse spherification

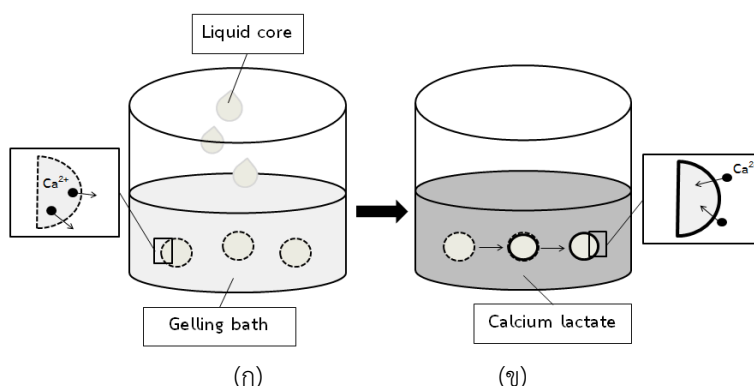
เม็ดบีดส์ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก คือ

2.1.1 ส่วนของชั้นของเหลวภายใน (liquid-core) เป็นส่วนที่มีสารละลายหรือตัวอย่างน้ำผลไม้ที่ต้องการศึกษา ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ต้องการห่อหุ้มไว้ภายใน ในการศึกษาครั้งนี้ คือ น้ำเสาวรส โดยวิธีการเตรียมคือ นำน้ำเสาวรสแช่แข็ง (บริษัท เค.พี.เอส. จำกัด) มาสมบัติน้ำเพื่อแยกน้ำออกจากกาก จากนั้นเตรียมน้ำเสาวรสต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 แล้วสมบัติน้ำละลาย

แทนกัม (บริษัท ไทยฟูดแอนด์เคมีคอล จำกัด) ความเข้มข้น 0.4 กรัม/100 กรัมของสารละลายทั้งหมด โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส แล้วเติมแคลเซียมแลคเตท (บริษัท ไทยฟูดแอนด์เคมีคอล จำกัด) ความเข้มข้น 2 กรัม/100 กรัม ของสารละลายทั้งหมด จากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนสมบัติน้ำละลาย (รูปที่ 1)

2.1.2 ส่วนของชั้นห่อหุ้ม (gelling bath)

เป็นส่วนที่ทำให้เกิดเจลห่อหุ้มส่วนของชั้นของเหลวภายใน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้โซเดียมแอลจิเนตที่เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์และมีสมบัติทำให้เกิดเจลแบบ ionic gelation สมบัติเตรียมโดยสมบัติน้ำละลายโซเดียมแอลจิเนต (บริษัท ไทยฟูดแอนด์เคมีคอล จำกัด) ในน้ำกลั่นความเข้มข้น 0.5 กรัม/100 กรัม จากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ก่อนสมบัติน้ำละลาย (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเตรียมเม็ดบีดส์ (ก) การหยดเม็ดบีดส์ลงในสารละลายแอลจิเนต และ (ข) การแช่แคลเซียมแลคเตทเพื่อเพิ่มความ แข็งแรงให้กับเม็ดบีดส์

2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเม็ดบีดส์เสาวรส

การทดลอง จะหยดสารละลายน้ำเสาวรสที่

ผสมแคลเซียมแลคเตท (liquid-core) โดยใช้ไซริงค์ขนาด 10 มิลลิลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ดูดสารละลาย 10 มิลลิลิตร หยดลงในสารละลาย

โซเดียมแอลจิเนต (gelling bath) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิเมตร บรรจุสารละลายโซเดียมแอลจิเนตปริมาตร 100 มิลลิเมตร คนเบา ๆ ด้วยแมกนีติกบาร์เป็นเวลา 5 นาที (รูปที่ 1) กรองเม็ดบีดส์ด้วยตะแกรง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ในขั้นตอนนี้เป็นกรทำให้เกิดการห่อหุ้มของสารละลายโดยการหยดส่วนของ liquid-core ลงในส่วนของการ gelling bath เพื่อทำให้เกิดการสร้างเจลของสารละลายโซเดียมแอลจิเนต ซึ่งจะเกิดขึ้นทันทีที่สารทั้ง 2 ชนิด สัมผัสกัน แล้วเกิดการห่อหุ้มรอบ ๆ เม็ดบีดส์ ทำให้เม็ดบีดส์มีลักษณะเป็นทรงกลม จากนั้นนำเม็ดบีดส์ที่ได้มาแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 กรัม/100 มิลลิตร (CL0.5) และ 1.0 กรัม/100 มิลลิตร (CL1.0) เป็นเวลา 5 และ 10 นาที เพื่อเพิ่มความสามารถในการจับประจุบวกของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ห่อหุ้มภายนอก (รูปที่ 1) วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) โดยทดลอง 3 ซ้ำ

2.3 การศึกษารูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตต่อลักษณะทางกายภาพของเม็ดบีดส์เสาวร

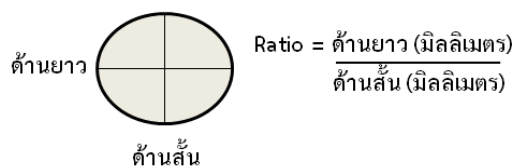
เลือกสถานะที่เหมาะสมจากการเตรียมเม็ดบีดส์ในขั้นตอนที่ 2.2 มาศึกษารูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่เหมาะสมดังนี้ สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ไม่ผ่านการแช่มาก่อน (non-soaked) ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส (NS-SA5) สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ไม่ผ่านการแช่มาก่อนที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส (NS-SA25) สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ผ่านการแช่ 1 ครั้ง (soaked) ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส (S-SA5) และสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ผ่านการแช่ 1 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส (S-SA25) โดยสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ไม่ผ่านการแช่มาก่อน คือ สารละลายโซเดียมแอลจิเนต

ใหม่ที่ไม่เคยผ่านการทำให้เกิดเม็ดบีดส์มาก่อน ส่วนสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ผ่านการแช่ 1 ครั้ง คือ สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ผ่านการทำให้เกิดเม็ดบีดส์มาแล้ว 1 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วนของ liquid-core กับ gelling bath เป็น 20 : 100 มิลลิตร และผ่านการทำให้เกิดเจลนาน 10 นาที โดยอ้างอิงจากสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทำเม็ดบีดส์ในขั้นตอนที่ 2.2 วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 สิ่งทดลอง โดยทดลอง 3 ซ้ำ

2.4 การตรวจคุณภาพของเม็ดบีดส์

2.4.1 ขนาด

นำเม็ดบีดส์แต่ละตัวอย่างมา 10 เม็ด วัดขนาดของเม็ดบีดส์ทีละเม็ด โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (All-ways, ประเทศญี่ปุ่น) บันทึกขนาดในหน่วยมิลลิเมตร แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยด้านยาว ด้านสั้น และอัตราส่วนระหว่างด้านยาวและด้านสั้น (ratio) เพื่อดูความกลมของเม็ดบีดส์ โดยค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดด้านยาวกับขนาดด้านสั้น มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเม็ดบีดส์มีความแตกต่างระหว่างขนาดด้านยาวกับขนาดด้านสั้นน้อย หมายความว่าเม็ดบีดส์มีความกลมมาก (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ลักษณะการวัดขนาดของเม็ดบีดส์

2.4.2 ค่าการบวม

การวัดค่าการบวมของเม็ดบีดส์ดัดแปลงจากวิธีของ Gong และคณะ [12] โดยนำเม็ดบีดส์ 5 เม็ด ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยทดลอง 3 ซ้ำ แล้วคำนวณค่าการบวมน้ำจากสูตร

$$\text{Swelling capacity (\%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100$$

เมื่อ W_t = น้ำหนักของเม็ดบีดส์ที่เวลา t , W_0 = น้ำหนักของเม็ดบีดส์เริ่มต้น

2.4.3 ความแข็ง

การวัดความแข็งของเม็ดบีดส์ดัดแปลงจาก Belscak-Cvitanovic และคณะ [13] นำเม็ดบีดส์แต่ละตัวอย่างมา 5 เม็ด ที่ผ่านการแช่น้ำกลั่นเช่นเดียวกับการทดสอบการบวมน้ำ มาวัดค่าความแข็งโดยใช้เครื่อง texture analyzer ใช้หัววัด P/50 ที่อุณหภูมิห้อง กำหนดค่า pre-test speed 1.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post-test speed 10.0 mm/s, trigger force 5 g, 95 % strain โดยทดลอง 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ในขั้นตอนที่ 2.2 วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยศึกษาห้วงความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท 0.5 และ 1.0 กรัม/100 มิลลิลิตร และเวลาในการแช่ 5 และ 10 นาที ร่วมกับ control 5 สิ่งทดลอง โดยทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนในขั้นตอนที่ 2.3 วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยศึกษาห้วงรูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตและอุณหภูมิ 4 สิ่งทดลอง โดยทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS version free download)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทและระยะเวลาในการแช่

โดยการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตทในการหมักเม็ดบีดส์เสาวรส พบว่าเม็ดบีดส์ทุกตัวอย่างมีลักษณะกลม (ค่าอัตราส่วน 1.08-1.12) ตัวอย่างลักษณะของเม็ดบีดส์ที่ไม่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งเกิดจากสมบัติภายในของสารละลายเสาวรส เช่น ค่าแรงตึงผิว ความหนาแน่น และความหนืดของสารละลายเสาวรสก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการห่อหุ้มสาร [14] โดยสารละลายเสาวรสมีการเติมแทนกันเป็นสารเพิ่มความหนืด เพื่อให้สารละลายมีความหนืดที่เหมาะสมในการหดยดสาร เมื่อหดยดของสารละลายเสาวรสที่มีความหนืดที่เหมาะสมสัมผัสกับสารละลายโซเดียมแอลจิเนตจะมีแรงตึงผิวต่ำ ทำให้เกิดเม็ดบีดส์ที่เป็นทรงกลมอย่างรวดเร็วทันทีที่สารละลายทั้งสองสัมผัสกัน โดยเม็ดบีดส์เสาวรสที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทมีขนาดลดลง ($p \leq 0.05$) โดยมีขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.70-6.87 มิลลิเมตร ในขณะที่เม็ดบีดส์ที่ไม่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทมีขนาด 7.97 ± 0.33 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) โดยทั่วไปขนาดของเม็ดบีดส์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นขนาดของหัวเข็มที่ใช้ในการหดยด และความหนืดของสารละลาย [15] หรือสภาวะที่มีประจุบวกของสารละลายที่ใช้แช่ เช่น การแช่ในสารละลายแคลเซียมและการแช่ในสารละลายที่มี pH ต่ำ ซึ่งขนาดของเม็ดบีดส์ขึ้นอยู่กับความหนาของผิวเม็ดบีดส์ [16] เนื่องจากการทดลองนี้แช่เม็ดบีดส์ในสารละลาย Ca^{2+} ทำให้ในระบบมีประจุบวกเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ประจุบวกเพิ่มขึ้นทำให้ผิวของแอลจิเนตสามารถดูดซับประจุบวกเข้าไปในโครงสร้างได้ดีขึ้น ทำให้โครงสร้างมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น จึงทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับ Messaoud และคณะ [16,17] ที่พบว่า การแช่เม็ดบีดส์ในสารละลายที่มี pH ต่ำ ทำให้ผิวของเม็ดบีดส์บางและมีขนาดลดลง

ตารางที่ 1 ขนาดของเม็ดบีดส์เสารสที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทที่เวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ขนาดด้านยาว (มิลลิเมตร)	ขนาดด้านสั้น (มิลลิเมตร)	อัตราส่วน
ไม่แช่	7.97±0.33 ^a	7.16±0.17 ^a	1.11±0.45 ^a
CL0.5, 5 นาที	6.70±0.39 ^b	6.13±0.37 ^c	1.10±0.08 ^a
CL0.5, 10 นาที	6.87±0.31 ^b	6.39±0.32 ^b	1.08±0.07 ^a
CL1.0, 5 นาที	6.83±0.22 ^b	6.12±0.21 ^c	1.12±0.06 ^a
CL1.0, 10 นาที	6.83±0.23 ^b	6.10±0.35 ^c	1.12±0.06 ^a

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในส่วนของการคำนวณน้ำของเม็ดบีดส์สามารถบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของเม็ดบีดส์ได้ โดยเม็ดบีดส์ที่มีความแข็งแรงมากจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการบวมน้ำต่ำ เนื่องจากผนังของเม็ดบีดส์มีการสานโครงสร้างอย่างแข็งแรงและเป็นระเบียบ ทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างโครงสร้าง ส่งผลให้การแพร่ของน้ำเกิดขึ้นได้น้อย ค่าการบวมน้ำจึงมีค่าต่ำ [4] จากการทดลอง พบว่าเม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทมีค่าการบวมน้ำต่ำกว่าเม็ดบีดส์ที่ไม่ผ่านการแช่ ($p \leq 0.05$) โดยที่เวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เม็ดบีดส์มีค่าการบวมน้ำสูงที่สุดก่อนที่ค่าการบวมน้ำจะเข้าสู่สภาวะสมดุล (คงที่) พบว่าค่าการบวมน้ำของเม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทต่ำกว่าเม็ดบีดส์ที่ไม่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตท 1.10, 1.04, 1.29, 1.46 เท่า ในตัวอย่าง CL0.5, 5 นาที CL0.5, 10 นาที CL1.0, 5 นาที และ CL1.0, 10 นาที ตามลำดับ (รูปที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากการแช่แคลเซียมแลคเตทเป็นการเพิ่มประจุบวกให้กับระบบ กล่าวคือ ในขั้นตอนแรกของการห่อหุ้มสารเม็ดบีดส์จะสานโครงสร้าง โดยการจับกันระหว่างหมู่ G-blocks ของโซเดียมแอลจิเนตกับประจุบวกของแคลเซียมแลคเตท เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่เรียกว่า egg-box ทำให้เม็ดบีดส์มีลักษณะทรงกลมจากการเกิดเจลของโซเดียมแอลจิเนตภายนอกที่ห่อหุ้มน้ำเสารสไว้ภายใน แต่ในขั้นตอนแรกของการเกิดเจล

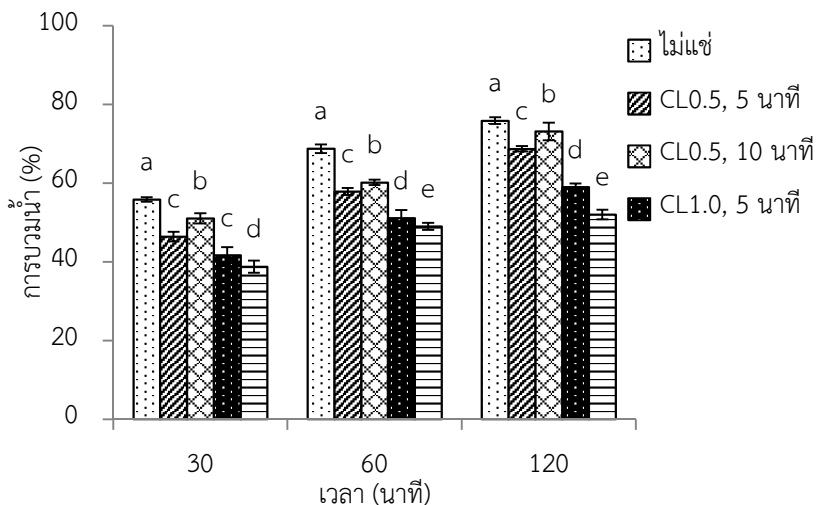
นี้ มีโครงสร้างโซเดียมแอลจิเนตบางส่วนที่ไม่เกิดการจับกับประจุบวกของแคลเซียมแลคเตทได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดช่องว่างของโครงสร้างบริเวณผิวเม็ดบีดส์เนื่องจากการเกาะตัวอย่างหลวม ๆ และไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง egg box ส่งผลให้เม็ดบีดส์สามารถดูดซึมสารละลายจากภายนอกเข้าไปได้โดยง่าย [4] ในขณะที่มีการแช่แคลเซียมแลคเตทเป็นการเติมประจุบวกให้กับระบบเพื่อให้โครงสร้างที่เป็นช่องว่างนั้นมีการเติมเต็ม ทำให้จำนวนช่องว่างที่มีอยู่ลดลง และเม็ดบีดส์มีโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นค่าการบวมน้ำจึงลดลง

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง พบว่าเม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตทมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยค่าความแข็งเริ่มต้นก่อนการแช่น้ำของเม็ดบีดส์ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตทเป็น 17.38 นิวตัน ในขณะที่เม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตทเป็น 27.34, 24.73, 28.03, 31.59 นิวตัน ในตัวอย่าง CL0.5, 5 นาที CL0.5, 10 นาที CL1.0, 5 นาที และ CL1.0, 10 นาที ตามลำดับ (รูปที่ 4) จะเห็นว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าการบวมน้ำที่ลดลงเมื่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3) โดยสังเกตได้ว่าที่เวลา 30 นาที เม็ดบีดส์ที่ไม่ผ่านการ

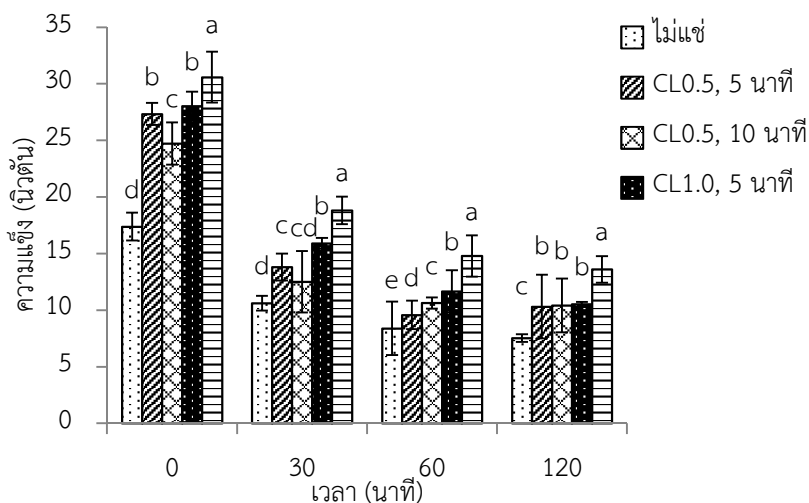
แช่แคลเซียมแลคเตทมีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (ร้อยละ 58.54) ในขณะที่เม็ดบีดส์ที่แช่แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1.0 กรัม/100 มิลลิลิตร นาน 10 นาที มีค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด (ร้อยละ 37.80) แสดงให้เห็นว่าการเติมประจุบวกเข้าไปในโครงสร้าง egg box ของเม็ดบีดส์สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรง

ให้กับเม็ดบีดส์ได้ โดยลดค่าการบวมน้ำและเพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดบีดส์

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่มีการศึกษาการแช่สารละลายแคลเซียมในการทำเม็ดบีดส์จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกัน [4] โดยพบว่าการแช่สารละลายแคลเซียมสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรง



รูปที่ 3 ค่าการบวมน้ำของเม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทที่เวลาต่าง ๆ [a, b, c, d, e ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน ในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)]



รูปที่ 4 ค่าความแข็งแรงของเม็ดบีดส์ที่ผ่านการแช่แคลเซียมแลคเตทที่เวลาต่าง ๆ [a, b, c, d, e ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน ในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)]

ลดการบวมน้ำได้ นอกจากนั้นยังบ่งชี้ให้เห็นว่าถึงแม้ความเข้มข้นของแคลเซียมจะมีผลต่อค่าความแข็งของเม็ดบีดส์ แต่อาจมีบางกรณีที่ให้ผลแตกต่างกันออกไป เนื่องจากการที่เม็ดบีดส์สามารถจับกับประจุบวกของสารชนิดอื่นได้นั้นขึ้นอยู่กับค่า M/G ratio ของโซเดียมแอลจิเนต ที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าสารละลายโซเดียมแอลจิเนต ที่ใช้นั้นมีความต้องการประจุบวกในการ cross link กับตำแหน่ง G-blocks ของโซเดียมแอลจิเนตแตกต่างกัน [18] การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียม

แลคเตท เป็นการเพิ่มประจุบวกให้เพียงพอกับความต้องการในการจับกันได้อย่างสมบูรณ์กับสารละลายโซเดียมแอลจิเนต ซึ่งขึ้นอยู่กับ M/G ratio ของโซเดียมแอลจิเนตดังที่กล่าวมาข้างต้น นั้นหมายความว่าหากสารละลายโซเดียมแอลจิเนตสามารถจับกับประจุของแคลเซียมได้อย่างเพียงพอแล้ว การเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นย่อมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเม็ดบีดส์อีกต่อไป [4]

ตารางที่ 2 ขนาดของเม็ดบีดส์สวารสที่แช่ในสารละลายโซเดียมแอลจิเนตรูปแบบต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ขนาดด้านยาว (มม.)	ขนาดด้านสั้น (มม.)	อัตราส่วน
NS-SA5	6.79±0.28 ^c	6.28±0.32 ^{ab}	1.08±0.05 ^c
NS-SA25	7.27±0.28 ^b	6.42±0.22 ^a	1.13±0.06 ^{bc}
S-SA5	7.74±0.67 ^a	6.50±0.22 ^a	1.19±0.13 ^b
S-SA25	7.74±0.68 ^a	6.04±0.38 ^b	1.29±0.08 ^a

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลของรูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตและอุณหภูมิในการเกิดเจล

การศึกษารูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ใช้ในการทำเม็ดบีดส์ พบว่า NS-SA5 มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (6.79±0.28 มิลลิเมตร) และมีความกลมมากที่สุด (1.08±0.05) สังเกตได้จากอัตราส่วนที่แสดงความแตกต่างระหว่างขนาดด้านสั้นกับขนาดด้านยาว ค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเม็ดบีดส์มีความแตกต่างระหว่างขนาดด้านสั้นกับขนาดด้านยาวน้อย หมายความว่าเม็ดบีดส์มีความกลมมาก ในขณะที่ตัวอย่าง S-SA25 มีขนาดเม็ดบีดส์ใหญ่ที่สุด (7.74±0.68 มิลลิเมตร) และมีความกลมน้อยที่สุด (1.29±0.08) (ตารางที่ 2) จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เม็ดบีดส์มีความกลมมากกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้

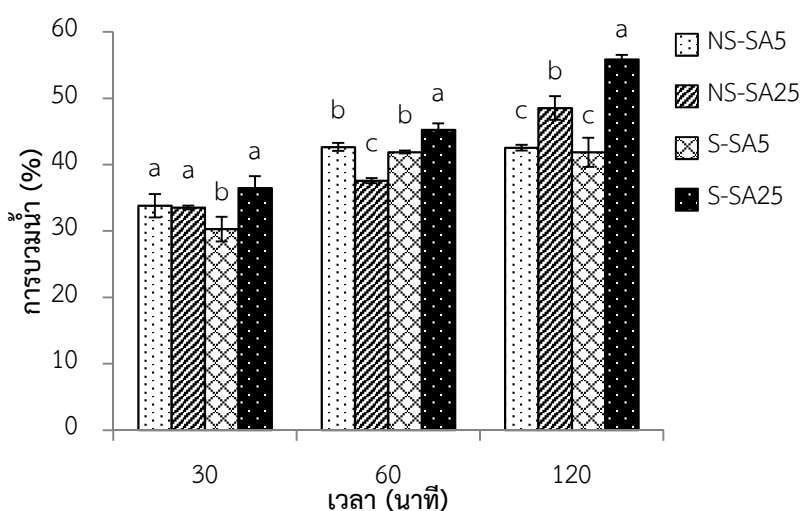
เนื่องจากโซเดียมแอลจิเนตเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถเกิดเจลได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ [19] ทำให้สามารถจับกับประจุบวกของแคลเซียมแลคเตทได้ดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง เม็ดบีดส์จึงมีความกลมและขนาดเล็กกว่าที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อเปรียบเทียบที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการใช้งานมาแล้ว 1 ครั้ง พบว่าเม็ดบีดส์ที่ผลิตจากโซเดียมแอลจิเนตที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาก่อนมีความกลมมากกว่าเม็ดบีดส์ที่ผลิตจากโซเดียมแอลจิเนตที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 1 ครั้ง เนื่องจากการใช้โซเดียมแอลจิเนตที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะทำให้โซเดียมแอลจิเนตบางส่วนถูกทำลายโครงสร้าง โดยการแทนที่ไอออนประจุบวกบนตำแหน่งไฮโดรเจนของหมู่คาร์บอกซิลในโครงสร้างแอลจิเนต ทำให้เกิดการฟอร์มพันธะบางส่วน เมื่อนำมาทำให้เกิดเจลอีกครั้ง โครงสร้างของแอลจิเนตที่ถูก

แทนที่ไปแล้วจึงไม่สามารถจับกับประจุบวกของแคลเซียมได้อีก [4] และมีการปนเปื้อนของประจุบวกจากสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่ผ่านการทำให้เกิดเจลมาแล้ว 1 ครั้ง ซึ่งประจุบวกที่ปนเปื้อนในสารละลายโซเดียมแอลจิเนตเหล่านี้จะไปขัดขวางการสานโครงสร้างระหว่างหมู่ G-group ของโซเดียมแอลจิเนตกับประจุบวกของแคลเซียมแลคเตท เนื่องจากในขั้นตอนการแช่สารละลายโซเดียมแอลจิเนตต้องการเติมประจุลบให้กับน้ำเสารสที่มีส่วนผสมของแคลเซียมแลคเตทที่เป็นประจุบวก เมื่อแอลจิเนตบางส่วนถูกแทนที่ด้วยประจุบวกไปแล้วทำให้ปริมาณประจุลบที่จะ cross-link กับน้ำเสารสไม่เพียงพอ

เมื่อนำมาใช้ซ้ำจึงเกิดการสานโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากการจับกันอย่างหลวม ๆ ทำให้โครงสร้างเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และมีช่องว่างภายในโครงสร้าง egg box ของโซเดียมแอลจิเนต ทำให้มีความกลมกลดลง และเม็ดบีดมีขนาดใหญ่ขึ้น [17]



รูปที่ 5 ตัวอย่างขนาดของเม็ดบีดเสารสที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตท



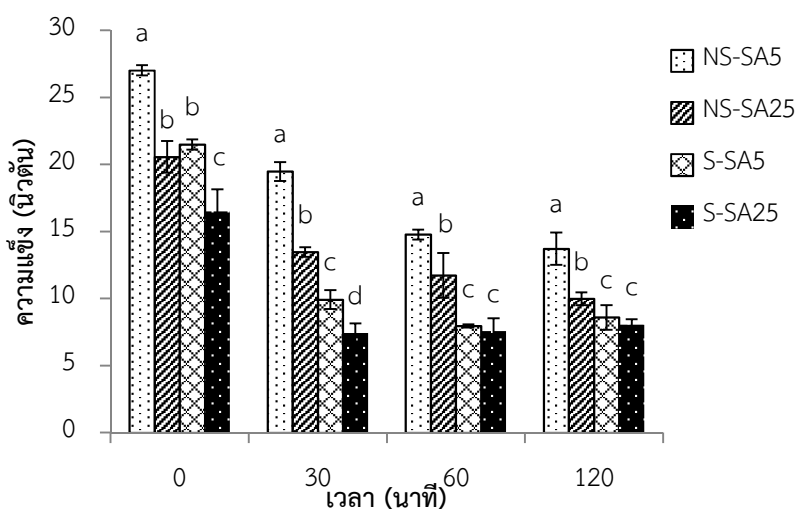
รูปที่ 6 ค่าการบวมน้ำของเม็ดบีดที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตรูปแบบต่าง ๆ [a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)]

การทดลองวัดค่าการบวมน้ำของเม็ดบีดที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าเมื่อพิจารณาการแช่ที่เวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เม็ดบีดมีค่าการบวมน้ำสูงที่สุดก่อนที่ค่าการบวมน้ำจะเข้าสู่สภาวะสมดุล (คงที่) ตัวอย่าง S-SA25 มีค่าการบวมน้ำสูงที่สุด (ร้อยละ 54.01) รองลงมา คือ ตัวอย่าง NS-SA25 (ร้อยละ 47.83), NS-SA5 (ร้อยละ 42.57) และ S-SA5 (ร้อยละ

42.56) ตามลำดับ (รูปที่ 5) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าทั้งอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลและรูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตล้วนมีผลต่อค่าการบวมน้ำ โดยเม็ดบีดที่เกิดเจลที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มของค่าการบวมน้ำสูงกว่าเม็ดบีดที่เกิดเจลที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และการใช้สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ไม่ผ่านการแช่มาก่อนสามารถลดค่าการบวมน้ำได้ (รูปที่

6) เมื่อพิจารณาที่ค่าความแข็ง พบว่ามีความสอดคล้องกับค่าการบวมน้ำ โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตัวอย่าง NS-SA5 มีค่าความแข็งสูงที่สุดในทุกช่วงเวลาของการทดลอง ($p \leq 0.05$) โดยค่าความแข็งเริ่มต้นเป็น 27.02 นิวตัน รองลงมาเป็นตัวอย่าง NS-SA25 (20.56 นิวตัน) S-SA5 (21.49 นิวตัน) และ S-SA25 (16.50 นิวตัน) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงเวลาเริ่มต้นกับเวลาสุดท้ายในการทดลอง พบว่าค่าความแข็งแต่ละตัวอย่างลดลงร้อยละ 49, 51, 54 และ 51 ในตัวอย่าง NS-SA5,

NS-SA25, S-SA5 และ S-SA25 ตามลำดับ (รูปที่ 7) ซึ่งจะเห็นว่าตัวอย่าง NS-SA5 มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งน้อยที่สุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการใช้โซเดียมแอลจิเนตที่ยังไม่ผ่านการแช่มาก่อนที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เจลของโซเดียมแอลจิเนตมีโครงสร้างที่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เหมาะสมในการเกิดเจลแบบ ionotropic gelation โดยการจับกับไอออนประจุบวกของแคลเซียมแลคเตททำให้เมดบีดส์สามารถเกิดเจลได้ดีและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



รูปที่ 7 ค่าความแข็งของเมดบีดส์ที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตรูปแบบต่าง ๆ [a, b, c, d ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)]

4. สรุป

การศึกษาพบว่าการแช่แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1.0 กรัม/100 กรัม ที่เวลา 10 นาที ทำให้ค่าความแข็งมีค่าสูงสุด การบวมน้ำมีค่าต่ำสุด และทำให้เมดบีดส์มีลักษณะกลม ส่วนรูปแบบของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่เหมาะสมในการทำเมดบีดส์ คือ การใช้สารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ไม่ผ่านการแช่มาก่อน และทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยทำให้เมดบีดส์เสารสมีความกลมมากที่สุด มีค่าการบวมน้ำต่ำ และมีค่าความแข็งสูงที่สุด จากข้อมูล

ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายแอลจิเนตที่ผ่านการใช้งานแล้วให้ผลลบต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเมดบีดส์ ทั้งนี้อาจจำเป็นต้องสมบัตศึกษาปัจจัยอื่นเพิ่มเติมหากต้องใช้สารละลายแอลจิเนตซ้ำเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตในอนาคต เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของเมดบีดส์ให้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนวิจัยเพื่อพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ

ประมาณ 2559 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

6. รายการอ้างอิง

- [1] United States Department of Agriculture, 2016, Basic Report: 09231, Passion-Fruit, (Granadilla), Purple, Raw, Available Source: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2308>, December 7, 2017.
- [2] ธงชัย เนมขุนทด, 2534, แพสชั่นฟรุต, โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, สำนักพิมพ์เรืองแสงการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 72 น.
- [3] Mohy Eldin, M.S., Kamoun, E.A., Sofan, M.A. and Elbayomi, S.M., 2014, L-arginine grafted alginate hydrogel beads: a novel pH-sensitive system for specific protein delivery, Arab. J. Chem. 8: 355-365.
- [4] Tsai, F.H., Chiang, P.Y., Kitamura, Y., Kokawa, M. and Islam, M.Z., 2017, Producing liquid-core hydrogel beads by reverse spherification: Effect of secondary gelation on physical properties and release characteristics, J. Food Hydrocoll. 62: 140-148.
- [5] Sinha, P., Ubaidulla, U., Hasnain, M.S., Nayak, A.K. and Rama, B., 2015, Alginate-okra gum blend beads of diclofenac sodium from aqueous template using ZnSO₄ as a cross-linker, Int. J. Biol. Macromol. 79: 555-563.
- [6] Pawar, S.N. and Edgar, K.J., 2012, Alginate derivatization: A review of chemistry properties and applications, J. Biomat. 33: 3279-3305.
- [7] Hu, S.H., Tsai, C.H., Liao, C.F., Liu, D.M. and Chen, S.Y., 2008, Controlled rupture of magnetic polyelectrolyte microcapsules for drug delivery, Langmuir 24: 11811-11818.
- [8] Phawaphuthanon, N., Behnam, S., Koo, S.Y., Pan, C.H. and Chung, D., 2014, Characterization of core-shell calcium-alginate macrocapsules fabricated by electro-coextrusion, Int. J. Biol. Macromol. 65: 267-274.
- [9] Correia, C.R., Sher, P., Reis, R.L. and Mano, J.F., 2013, Liquified chitosan-alginate multilayer capsules incorporating poly (l-lactic acid) microparticles as cell carriers, Soft Matter. 9: 2125-2130.
- [10] Blandino, A., Macias, M. and Cantero, D., 1999, Formation of calcium alginate gel capsules: Influence of sodium alginate and CaCl₂ concentration on gelation kinetics, J. Biosci. Bioeng. 88: 686-689.
- [11] Tsai, F.H., Kitamura, Y. and Kokawa, M., 2017, Liquid-core alginate hydrogel beads loaded with functional compounds of radish by-products by reverse spherification: Optimization by response surface methodology, Int. J. Biol. Macromol. 96: 600-610.
- [12] Gong, R., Li, C., Zhu, S., Zhang, Y., Du, Y.

- and Jiang, J., 2011, A novel pH-sensitive hydrogel based on dual crosslinked alginate/N-a glutaric acid chitosan for oral delivery of protein, *Carbohydr. Polym.* 85: 869-874.
- [13] Belščak-Cvitanovića, A., Komesa, D., Karlovića, S., Djakovićalgor, S., Špoljarićb, I., Mršićb, G. and Ježeka, D., 2015, Improving the controlled delivery formulations of caffeine in alginate hydrogel beads combined with pectin, carrageenan, chitosan and psyllium, *Food Chem.* 167: 378-386.
- [14] Chan, E.S., Lee, B.B., Ravindra, P. and Poncelet, D., 2009, Prediction models for shape and size of ca-alginate macrobeads produced through extrusion-dripping method, *J. Colloid Interf. Sci.* 338: 63-72.
- [15] Wichchukit, S., Oztop, M.H., McCarthy, M.J. and McCarthy, K.L., 2013, Whey protein/alginate beads as carriers of a bioactive component, *J. Food Hydrocoll.* 33: 66-73.
- [16] Messaoud, G.B., Sánchez-González, L., Jacquot, A., Probst, L. and Desobry, S., 2015, Alginate/sodium caseinate aqueous-core capsules: A pH-responsive matrix, *J. Colloid and Interf. Sci.* 440: 1-8.
- [17] Messaoud, G.B., Sánchez-González, L., Probst, L., Jeandel, C., Arab-Tehrany, E. and Desobry, S., 2016, Physico-chemical properties of alginate/shellac aqueous-core capsules: Influence of membrane architecture on riboflavin release, *Carbohydr. Polym.* 144: 428-437.
- [18] Bajpai, S.K. and Sharma, Sh., 2004, Investigation of swelling/degradation behaviour of alginate beads crosslinked with Ca^{2+} and Ba^{2+} ions, *React. Funct. Polym.* 59: 129-140.
- [19] Phillips, G.O. and Williams, P.A., 2000, *Handbook of Hydrocolloids*, CRC press, New York.