

การศึกษาการสกัดที่เหมาะสมและสมบัติทางเคมีกายภาพของเจลจากสารสกัดหมากจอง

Optimization study on Extraction and Physicochemical Properties of Gel from Mhakjong's Extract

จิตรา สิงห์ทอง
Jittra Singthong

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture,
Ubon Ratchathani University, Warinchamrap, Ubon Ratchathani, 34190 Thailand.
E-mail: jittra.w@ubu.ac.th

Received: 26 May 19

Revised: 15 Jun 20

Accepted: 13 Aug 20

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมและสมบัติทางเคมีกายภาพของเจลจากสารสกัดหมากจอง โดยใช้อัตราส่วนของหมากจองต่อน้ำ 1:25, 1:50 และ 1:75 ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส และเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลหมากจอง คือ อัตราส่วนหมากจองต่อน้ำ 1:75 อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ที่สภาวะเป็นกลาง (pH 6.5-7.0) ส่งผลให้เจลหมากจองมีค่าร้อยละการผลิต ความหนืด และความแข็งแรงของเจลสูงสุด น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ น้ำตาลอราบินอส แรมโนส กาแลคโตส และมีน้ำตาลอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย (กลูโคส ไซโรส และ แมนโนส) จากการศึกษาสมบัติของเจลหมากจองที่สกัดได้พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเจลหมากจองเพิ่มขึ้นความหนืดและค่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้นโดยที่ค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.75 การเติมเกลือ NaCl และ CaCl₂ ทำให้ความหนืดของเจลหมากจองลดลงโดยเกลือทั้งสองชนิดให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน น้ำตาลมีผลทำให้ความหนืดและค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นน้ำตาลร้อยละ 30 จะมีค่าความหนืดและค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดและมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นน้ำตาลสูงกว่าร้อยละ 30 เมื่อ pH มีค่าเพิ่มขึ้นค่าความหนืดและค่าความแข็งแรงของเจลจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ pH เท่ากับ 7 จะมีค่าความหนืดและค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดและจะลดลงเมื่อ pH มากกว่า 7

คำสำคัญ: หมากจอง สมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืด ความแข็งแรงของเจล

Abstract

The purpose of this research was to optimize the extraction process and identify physicochemical properties of gel from Mhakjong's extract. Mhakjong: water ratios in the extraction experiments were 1:25, 1:50, and 1:75. The extractions were carried out at 40, 60, and 80°C for 60, 120, and 180 min using Central Composite Design (CCD). Optimized condition for the extraction of Mhakjong's extract was using the 1:75 ratio of solid: solvent in distilled water at 66°C, extraction time 60 minutes, and natural pH (6.5-7.0). With this condition, Mhakjong's extract exhibited the maximum yield, viscosity, and gel strength. The major monosaccharide constituents of extract were arabinose, rhamnose, galactose, and trace amounts of other neutral sugars (glucose, xylose, and mannose). When the concentration of gel in Mhakjong's extract increased higher than 0.75% (w/v), viscosity, and gel strength significantly increased. Mhakjong's extract (0.5%w/v) also formed gel under neutral conditions (pH 6-7). The addition of NaCl and CaCl₂ significantly decreased the Mhakjong's extract viscosity. It was also observed that the addition of sugar increased the viscosity and gel strength of Mhakjong's extract, the excessive amount of sugar (>30%) decreased the viscosity and gel strength. An increment of pH increased the viscosity and gel strength of Mhakjong's extract and pH more than 7, which resulted in a decrease of viscosity and gel strength.

Keywords: Mhakjong, Physicochemical properties, Viscosity, Gel strength

1. บทนำ

สารรอง พงทะลาย (ภาคใต้) หรือหมากจอบ (อีสาน) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Sterculiaceae ชื่อสามัญคือ Malva nut มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Scaphium maccropodum* พบได้ตามป่าดงดิบและป่าพื้นราบ เป็นไม้ยืนต้น สูงประมาณ 20-30 เมตร ลำต้นกลมตรง ใบเดี่ยว เรียงสลับรูปไข่แกมขนานหรือรูปไข่แกมใบหอก กว้าง 10-12 เซนติเมตร ยาว 15-25 เซนติเมตร แตกกิ่งก้านสาขาเฉพาะเรือนยอด ออกดอกที่ปลายกิ่ง แยกเพศ กลีบดอกสีขาวอ่อน มีขนสีแดงที่กลีบเลี้ยง ผลแก่มีสีน้ำตาล ผิวหยาบเนียน แห้งและขรุขระ มีลักษณะเหมือนเรือติดอยู่ด้วย ซึ่งเรียกกันว่าปีก หรือสำเภา ทำให้สามารถปลิวตามลมไปได้ไกล ๆ มีเมล็ดรูปรี สีน้ำตาล ผลสารรองแก่เมื่อนำไปแช่น้ำ เนื้อบาง ๆ ที่หุ้มเมล็ดจะพองตัว ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น 5-10 เท่า พืชในวงศ์นี้เป็นไม้เขตร้อนหรือกึ่งเขตร้อน จากการสังเกตพบว่ากลีบสารรองจากเมล็ดในปีแรกใบจะมีลักษณะเปลี่ยนเป็นรูป 3 แฉก ประมาณปีที่ 3 ใบจะเปลี่ยนเป็นรูป 5 แฉก ซึ่งจะเป็นรูป 5 แฉกนี้อยู่หลายปี และในที่สุดก็มีลักษณะคล้ายรูปกระสวยฐานกว้าง ซึ่งเป็นใบแบบสุดท้ายนี้ตลอดไป [1] [2]

หมากจอบ สารรอง หรือ พงทะลาย จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของชาวอำเภอนาจะหลวย จังหวัดอุบลราชธานี เนื่องจากสามารถส่งขายไปยังประเทศจีนได้ นอกจากนี้ ชาวอำเภอนาจะหลวยยังนำหมากจอบมาทำเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นชื่อของอำเภอนาจะหลวย คือการทำน้ำหมากจอบ เนื่องจากหมากจอบมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อถูกน้ำจะพองตัวเป็นฟอง จาก 1 เท่า เป็น 5-10 เท่า มีลักษณะสีน้ำตาลคล้ายกับสาหร่ายทะเล ซึ่งสามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของอาหารคาว เช่น ลาบ ปั่นอีสาน แกงจืด (แทนสาหร่าย) ใช้รับประทานเป็นขนมหวาน ใช้แทนรังนกหรือใช้ทำเป็นสารรองลอยแก้ว ต้นสารรองในประเทศไทยมีเพียงบางพื้นที่เท่านั้น โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี และอุทยานแห่งชาติภูจองนายอย จังหวัดอุบลราชธานี [3] [4]

ทางผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นสมบัติของหมากจอบที่สามารถขยายตัวได้ 5-10 เท่า เมื่อแช่ในน้ำ ซึ่งน่าจะมีสารไฮโดรคอลลอยด์อยู่จำนวนมาก ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมจากหมากจอบเพื่อให้ได้ปริมาณสูง มีความหนืดสูงสุด และมีความสามารถในการเกิดเจลได้ดี พร้อมทั้งศึกษาถึงสมบัติการเกิดเจลจากหมากจอบที่ได้ เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

หมากจอบ ซื้อจากตลาดท้องถิ่น ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น เก็บไว้สำหรับนำไปศึกษาต่อไป

2.2 การสกัดสารเกิดเจลจากหมากจอบด้วยน้ำ

ศึกษาสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสม ได้วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design หรือ Partial Factorial Design 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ (ตารางที่ 1) ดังต่อไปนี้

- อัตราส่วนระหว่างผลหมากจอบต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 1:25, 1:50 และ 1:75 w/v
- อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 3 ระดับ ได้แก่ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส

- เวลาที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง

ขั้นตอนการสกัด ดัดแปลงจาก Singthong และคณะ [5] [6] โดยชั่งน้ำหนักผลหมากจอบอบแห้ง ผสมน้ำตามอัตราส่วนที่จะศึกษา ต้มในอ่างควบคุม (water bath) ตามอุณหภูมิที่จะศึกษา เมื่ออุณหภูมิได้ตามต้องการ เริ่มจับเวลาทุก ๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง กรองแยกเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ด และโยกออกด้วยผ้าขาวบาง และเครื่องกรองสุญญากาศ นำส่วนที่ได้ทั้งหมดมาตกตะกอนด้วย ethyl alcohol ความเข้มข้นร้อยละ 95 แยกเอาส่วนที่ตกตะกอนโดยกรองด้วยผ้าขาวบางและเครื่องกรองสุญญากาศ นำไปอบให้แห้ง บดเป็นผง ซึ่งน้ำหนักเจลผงที่ได้

วิเคราะห์หาค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) โดยใช้เครื่อง Universal Testing (LLOYD Model LR 5K, Lloyd Instruments Ltd., Segensworth, UK) และวัดค่าความหนืด (viscosity) โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield viscometer model DV-II+, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, USA) ทำการวัดตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

นำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert 6.0.10 [7] เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยการเลือกสภาวะการสกัดที่ให้ผลผลิต (%yield), ค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) และค่าความหนืด (viscosity) สูงที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.3 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัดเจลหมากจอบ

นำสารสารประเภทกัมหรือไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากกระบวนการสกัดที่เหมาะสม มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน ตามวิธีของ AOAC [8] ปริมาณโมโนแซคคาไรด์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ด้วยเครื่อง Dionex High Performance Anion-Exchange Chromatography (HPAEC) system (Dionex Canada Ltd., Oakville, Ont., Canada) ที่มีเครื่องตรวจวัดแบบ pulsed amperometric detector (PAD) โดยจะทำการไฮโดรไลซิสตัวอย่างด้วยกรดที่อุณหภูมิ

100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งให้เย็น เจือจางด้วย น้ำกลั่น กรองผ่านแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมครอน ก่อนนำไป ผิดเข้าคอมลัมน์ [9]

ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดเจลที่ได้ อนุกรมเกลือแกง (NaCl) และเกลือแคลเซียม (CaCl_2) น้ำตาลซูโครส และ pH ต่อคุณสมบัติด้านความหนืด (viscosity) ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield viscometer model DV-II⁺, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, USA) และ ความแข็งแรงของเจล (gel strength) โดยใช้เครื่อง Universal Testing (LLOYD Model LR 5K, Lloyd Instruments Ltd., Segensworth, UK) โดยทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

จากการศึกษาการสกัดสารเกิดเจลจากหมากจองที่ สภาวะต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต (% yield) ความหนืด (viscosity) และความแข็งแรงของเจล (gel strength) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดเจลประเภทกัมหรือไฮโดรคอลลอยด์ โดยที่ สภาวะการสกัดนั้นจะต้องให้ร้อยละผลผลิต ความหนืดและความ แข็งแรงของเจลสูงที่สุด

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 1 มาทำการวิเคราะห์หา สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Design-Expert 6.0.10 [7] ซึ่งวิเคราะห์ออกมาในรูปของสภาวะ ที่เหมาะสม (optimized condition) โดยสภาวะที่เหมาะสมใน การสกัดคือ อัตราส่วนหมากจองต่อน้ำ 1:75 อุณหภูมิในการ สกัดคือ 66 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที จะให้ค่าร้อยละ ผลผลิต ความหนืดและความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด จาก สภาวะที่เหมาะสมที่ได้ เพื่อที่จะดูแนวโน้มของค่าร้อยละผลผลิต ความหนืดและความแข็งแรงของเจลโดยพิจารณาจากอิทธิพล ของตัวแปร อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนในการสกัดว่ามีผลต่อ ค่าต่าง ๆ อย่างไร ดังแสดงในภาพที่ 1-3 ซึ่งแสดงในลักษณะ กราฟ 3 มิติ (3D response surface plots) ผลของอัตราส่วน อุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อค่าความแข็งแรงของเจล ดัง แสดงในภาพที่ 1 โดยภาพที่ 1(a) แสดงแนวโน้มของค่าความ แข็งแรงของเจล เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนหมากจองต่อน้ำที่ใช้ใน การสกัดคงที่ที่ 1:75 พบว่าเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการสกัด เพิ่มขึ้นทำให้ค่า ความแข็งแรงของเจล มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เช่นกัน แต่เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากกว่า 120 นาที และ อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส แนวโน้มของค่าความ แข็งแรงของเจล จะเริ่มลดลง สำหรับภาพที่ 1(b) แสดงแนวโน้ม ของค่าความแข็งแรงของเจล เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิในการสกัด คงที่ที่ 66 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาและอัตราส่วนในการ สกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้แนวโน้มของค่าความแข็งแรงของเจล มี แนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อเวลามากกว่า 120 นาที และ อัตราส่วนหมากจองต่อน้ำมากกว่า 1:80 ภาพที่ 1(c) แสดง

แนวโน้มของค่าความแข็งแรงของเจล เมื่อกำหนดให้เวลาในการ สกัดคงที่ที่ 60 นาที พบว่าเมื่ออัตราส่วนของหมากจองต่อน้ำ น้อยกว่า 1:40 ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล มีแนวโน้มลดลง และเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของ เจล มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส

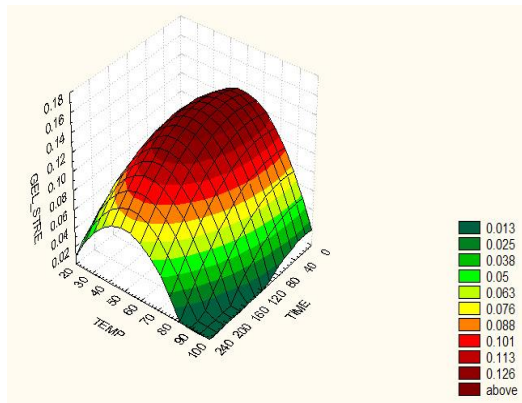
สำหรับผลของอัตราส่วนหมากจองต่อน้ำ อุณหภูมิและ เวลาในการสกัดต่อค่าความหนืด แสดงดังภาพที่ 2 โดยภาพที่ 2(a) แสดงแนวโน้มของค่าความหนืด เมื่อกำหนดให้อัตราส่วน หมากจองต่อน้ำในการสกัดคงที่ที่ 1:75 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิ และเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดมีแนวโน้มที่ เพิ่มขึ้น โดยที่จะเริ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงกว่า 60 องศา เซลเซียส ภาพที่ 2(b) แสดงแนวโน้มของค่าความหนืด เมื่อ กำหนดให้อุณหภูมิในการสกัดคงที่ที่ 66 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออัตราส่วนหมากจองต่อน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 1:60 ความหนืด จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาใน การสกัดมากกว่า 120 นาที ส่วนภาพที่ 2(c) แสดงแนวโน้มของ ค่าความหนืด เมื่อกำหนดให้เวลาในการสกัดคงที่ที่ 60 นาที เมื่อ อัตราส่วนหมากจองต่อน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 1:70 และอุณหภูมิใน การสกัดมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แนวโน้มของค่าความหนืด จะเพิ่มขึ้น

ส่วนผลของอัตราส่วนหมากจองต่อน้ำ อุณหภูมิและ เวลาในการสกัดต่อร้อยละผลผลิต แสดงดังภาพที่ 3 จากภาพที่ 3(a) แสดงแนวโน้มของร้อยละผลผลิต เมื่อกำหนดให้อัตราส่วน ในการสกัดคงที่ที่ 1:75 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นทำให้ ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิในการสกัด เพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิ สูงมากกว่า 70 องศาเซลเซียสจะทำให้ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้ม ลดลง สำหรับภาพที่ 3(b) แสดงแนวโน้มของร้อยละผลผลิต เมื่อ กำหนดให้อุณหภูมิในการสกัดคงที่ที่ 66 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออัตราส่วนหมากจองต่อน้ำเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ร้อยละผลผลิต มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วยแต่เมื่อเวลาในการสกัดมากกว่า 120 นาที ร้อยละผลผลิตจะมีแนวโน้มที่ลดลง ส่วนภาพที่ 3(c) แสดง แนวโน้มของค่าความหนืด เมื่อกำหนดให้เวลาในการสกัดคงที่ที่ 60 นาที พบว่าอัตราส่วนหมากจองต่อน้ำในการสกัดมากขึ้นจะ ทำให้ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่ให้อ้อย ละผลผลิต สูงที่สุดจะอยู่ในช่วง 1:30 ถึง 1:90 และเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มขึ้นร้อยละผลผลิตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และจะมี แนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส

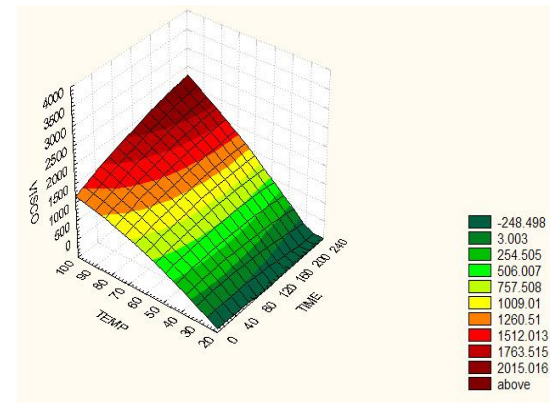
ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Somboonpayakul และคณะ [10] ที่ศึกษาการสกัดสารประเภทกัมจากหมากจอง พบว่าที่อัตราส่วนหมากจองมากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลผลิต ความหนืดและความแข็งแรงของเจลของกัมที่ได้สูงขึ้นตามไปด้วย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srichamroen และคณะ [11] ที่ พบว่าเมื่อความเข้มข้นสารสกัดประเภทกัมจากหมากจองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นของแข็งของเจล (Storage Modulus: G') เพิ่มขึ้น

Table 1 Effect of extraction conditions on % yield, viscosity และ gel strength of Mhakjong's extract

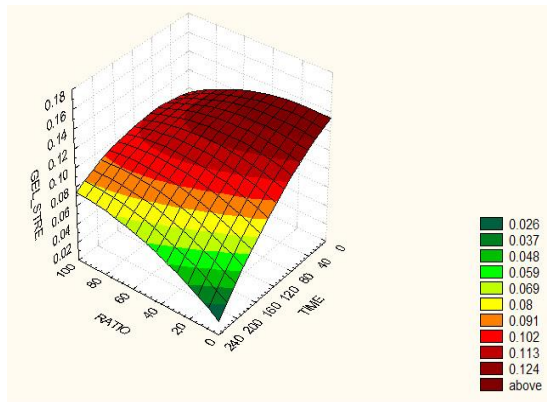
treatment	Extraction Conditions			Results		
	Mhakjong:Water	Temperature (°C)	Time (hour)	% yield	viscosity (cP)	gel strength (N)
1	1 : 25	40	1	22.921±1.559	93.1±9.62	0.1292±0.0310
2	1 : 25	40	3	25.167±0.223	198.2±1.98	0.1215±0.0209
3	1 : 25	80	1	23.494±1.909	625.40±10.32	0.1379±0.0040
4	1 : 25	80	3	25.175±0.864	2039.00±24.04	0.0855±0.0120
5	1 : 75	40	1	24.236±0.695	215.25±1.06	0.1626±0.0200
6	1 : 75	40	3	22.908±0.020	263.65±32.31	0.1534±0.0181
7	1 : 75	80	1	25.049±1.581	3373.00±26.87	0.0712±0.0108
8	1 : 75	80	3	23.289±1.789	2898.00±53.03	0.0691±0.0081
9	1 : 8	60	2	21.038±1.845	90.70±9.90	0.0617±0.0145
10	1 : 92	60	2	23.659±1.631	280.70±45.96	0.0933±0.0392
11	1 : 50	26	2	24.01±0.408	44.70±15.21	0.027±0.0184
12	1 : 50	94	2	18.133±0.283	109.35±14.21	0.0248±0.0060
13	1 : 50	60	19.2	21.895±0.210	174.55±38.89	0.1249±0.0025
14	1 : 50	60	3.41	25.218±0.737	136.55±41.51	0.0268±0.0058
15	1 : 50	60	2	22.021±0.778	1076.00±86.05	0.1296±0.0288
16	1 : 50	60	2	26.209±1.396	1002.00±72.71	0.1572±0.0093
17	1 : 50	60	2	22.412±0.595	923.00±52.33	0.1455±0.0252
18	1 : 50	60	2	25.385±0.750	754.20±31.11	0.1307±0.0037



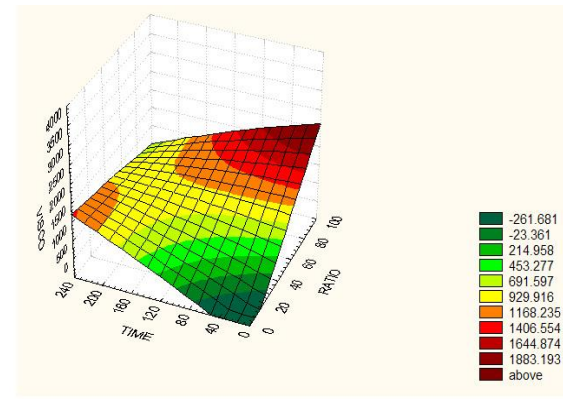
(a)



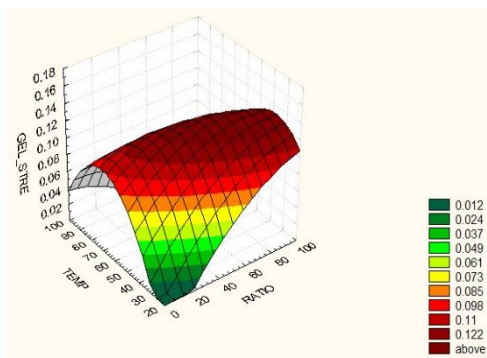
(a)



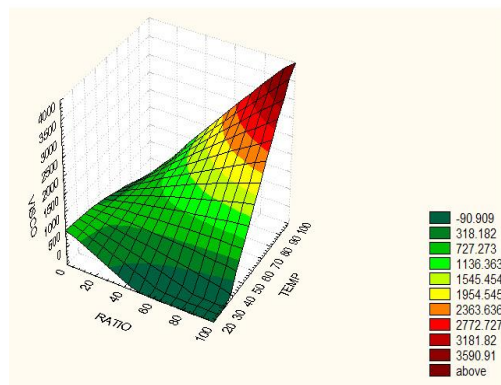
(b)



(b)



(c)



(c)

Figure 1 Response surface of the effect of extraction conditions on gel strength.

(a) The effect of extraction temperature and time on the gel strength at ratio 1:75.

(b) The effect of extraction ratio and time on the gel strength at temperature 66°C.

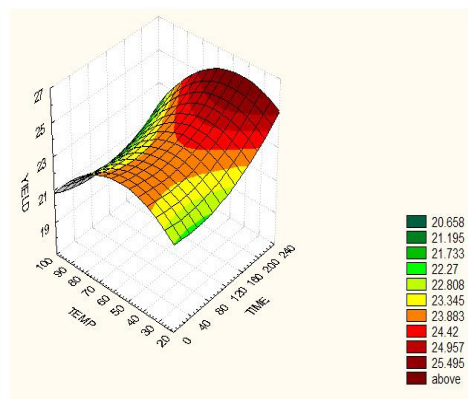
(c) The effect of extraction temperature and ratio on the gel strength at time 60 min.

Figure 2 Response surface of the effect of extraction conditions on viscosity.

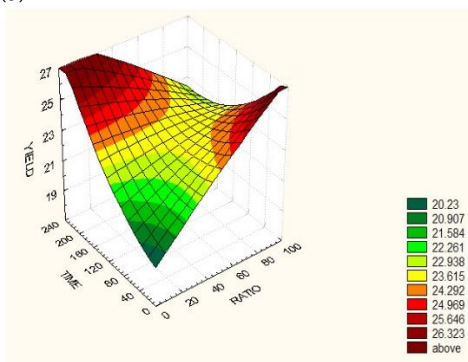
(a) The effect of extraction temperature and time on the viscosity at ratio 1:75.

(b) The effect of extraction ratio and time on the viscosity at temperature 66°C.

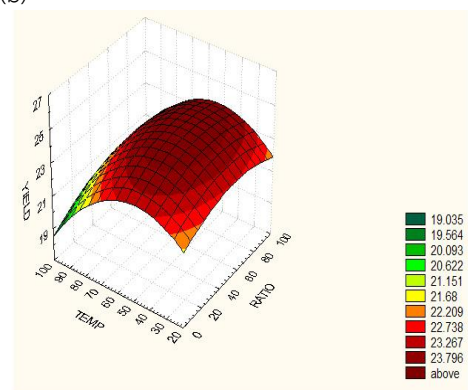
(c) The effect of extraction temperature and ratio on the viscosity at time 60 min.



(a)



(b)



(c)

Figure 3 Response surface of the effect of extraction conditions on %yield.

(a) The effect of extraction temperature and time on %yield at ratio 1:75.

(b) The effect of extraction ratio and time on %yield at temperature 66°C.

(c) The effect of extraction temperature and ratio on %yield at time 60 min.

3.2 สมบัติทางเคมีกายภาพของเจลจากสารสกัด

หมากจอบ

หลังจากที่ได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว จึงนำสภาวะดังกล่าวมาทำการสกัดเจลจากหมากจอบเพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ผลแสดงดังภาพที่ 10-19 และตารางที่ 2

3.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าสารสกัดเจลหมากจอบมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ของสารสกัดเจลหมากจอบที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ น้ำตาลอราบินอส (arabinose) รองลงมาคือ น้ำตาลกาแลคโตส (galactose) น้ำตาลแรมนโนส (rhamnose) และมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และไซโลสเพียงเล็กน้อย ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 4 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Somboonpayakul และคณะ [10] และ Srichamroen และคณะ [11]

Table 2 Proximate analysis of Mhakjong's extract.

Proximate analysis (%)	Mhakjong's extract
Moisture	7.53±1.30
Ash	8.40±0.89
Protein	8.59±0.07
Lipid	1.20±0.97
Crude fiber	4.97±0.95
Carbohydrate	69.31
(by different)	
Monosaccharide	
(relative %)	
Arabinose	42.60
Galactose	27.91
Rhamnose	26.01
Glucose	2.10
Mannose	2.10
Xylose	1.13

Note: Mean±SD (n=3)

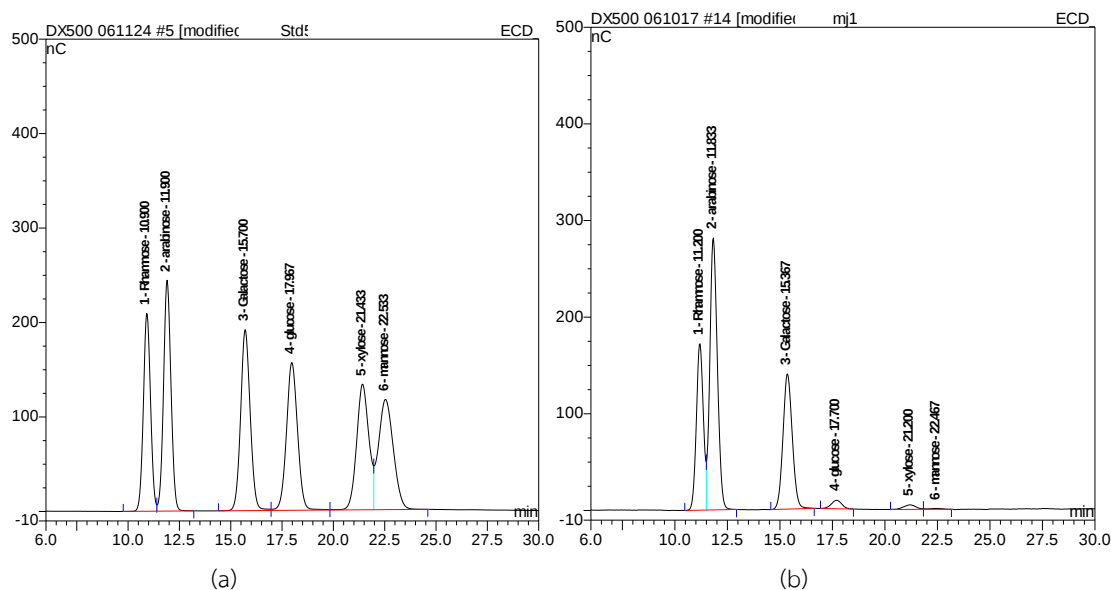


Figure 4 Chromatogram of monosaccharides.

(a) Standard sugars

(b) Mhakjong's extract

3.2.2 ความหนืด (viscosity)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของเจล หมาจอง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้จากหมาจอง อุณหภูมิ เกลือ NaCl เกลือ CaCl_2 น้ำตาล และ pH ได้ผลดังภาพที่ 5-13

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นต่อความหนืดของเจลหมาจอง (ภาพที่ 5) โดยศึกษาที่ความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 (w/v) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเจลหมาจองเพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของเจลหมาจองเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25-0.5 ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่เมื่อความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.75 ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยสามารถดูได้จากเส้นกราฟมีความชันมากกว่าช่วงความเข้มข้นแรก ๆ เนื่องจากว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเจลหมาจองเพิ่มมากขึ้นทำให้มีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งทำให้มีปริมาณน้ำที่ลดลงเป็นผลทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น [12] สำหรับภาพที่ 6 แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของเจลหมาจอง โดยศึกษาที่ระดับอุณหภูมิ 25, 35, 45, 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ความหนืดของเจลหมาจองเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด Imeson [12] ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของโลคัสต์บินกัม (locust bean gum) ว่าไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น ต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารที่มีความหนืดสูงที่สุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสารสกัดจากหมาจองที่สกัดได้นั้นอาจจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

กับโลคัสต์บินกัมซึ่งเป็นกัมหรือสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากเมล็ดที่อาจเป็นไปได้ [12]

จากการศึกษาผลของเกลือ NaCl และ CaCl_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อค่าความหนืดของเจลหมาจองพบว่า การเติมเกลือ NaCl และ CaCl_2 ส่งผลให้ความหนืดของเจลหมาจองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 7-8 ซึ่งเกิดจากไอออน Na^+ และ Ca^{2+} จะไปแย่งจับกับน้ำ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า salting out ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการตกตะกอนของเจลหมาจอง [13] หรืออาจเกิดจากการที่ไอออน Na^+ และ Ca^{2+} เกิดการผลักรบกวนของตัวมันเองซึ่งเป็นผลทำให้ความหนืดของเจลหมาจองลดลงเช่นกัน อัตราการดูดน้ำของสารไฮโดรคอลลอยด์จะลดลงเมื่อมีเกลือและสารในกลุ่ม binding agent เช่น น้ำตาลอยู่ในการละลาย [13] ผลของน้ำตาลต่อความหนืดของเจลหมาจอง (ภาพที่ 9) โดยใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 15, 30, 45 และ 55 พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลทรายมีผลต่อความหนืดของเจลหมาจองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเติมน้ำตาลลงไปจะทำให้ความหนืดของเจลหมาจองเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 30 เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลมากกว่านั้น จะทำให้ความหนืดของเจลลดลง ซึ่งเกิดจากการมีน้ำตาลมากเกินไปจะไปแย่งจับกับน้ำทำให้เจลหมาจองจับกับน้ำได้ลดลงทำให้มีความหนืดลดลง

จากการศึกษาผลของ pH ต่อความหนืดของเจลหมาจอง (ภาพที่ 10) โดยศึกษาที่ pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 พบว่า pH มีผลต่อความหนืดของเจลหมาจอง ($p < 0.05$) โดยที่เมื่อ pH มากกว่า 5 จะทำให้เจลมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วจนถึงระดับ pH ที่ 7 จะให้เจลมีความหนืดสูงสุด แต่เมื่อ pH มากกว่า 7 ความหนืดของเจลจะลดลงเรื่อย ๆ เกิดจาก $[H^+]$ จะไปลดพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุลของไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเป็นไปได้ที่จะทำให้การขยายตัวของโมเลกุลได้เพียงเล็กน้อยในสารละลายที่เป็นด่างเพราะว่าพันธะระหว่างน้ำกับโมเลกุลของไฮโดรคอลลอยด์มีอยู่เพียงเล็กน้อย แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีน้อยลง ซึ่งจะนำไปสู่การลดลงของความหนืด [14]

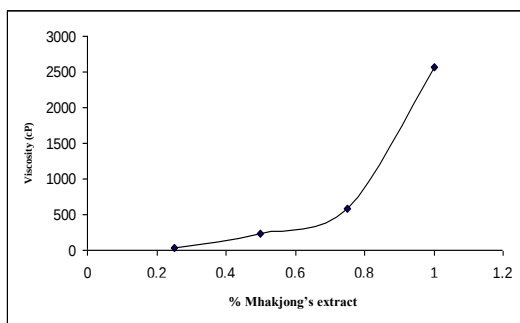


Figure 5 Effect of concentration of Mhakjong's extract on viscosity

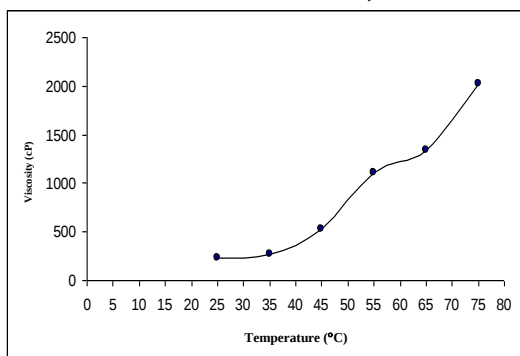


Figure 6 Effect of temperature on viscosity.

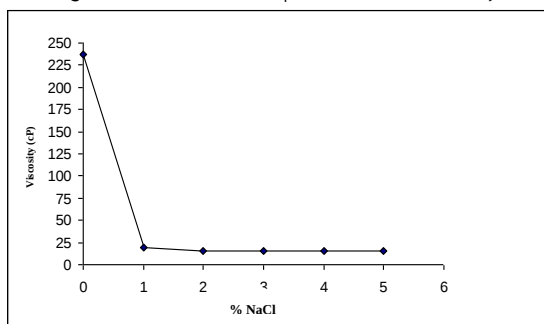


Figure 7 Effect of NaCl concentration on viscosity

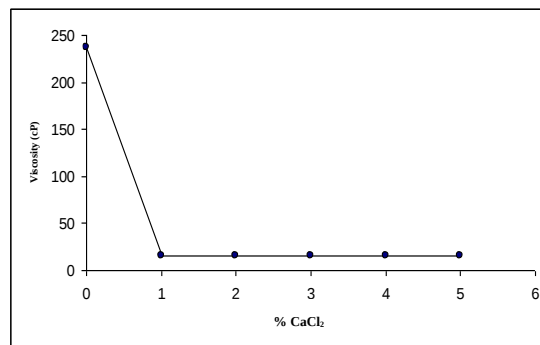


Figure 8 Effect of $CaCl_2$ concentration on viscosity

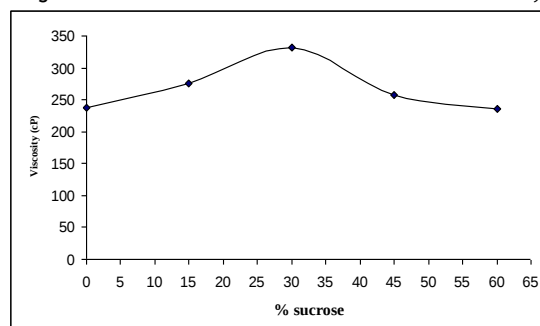


Figure 9 Effect of sucrose concentration on viscosity

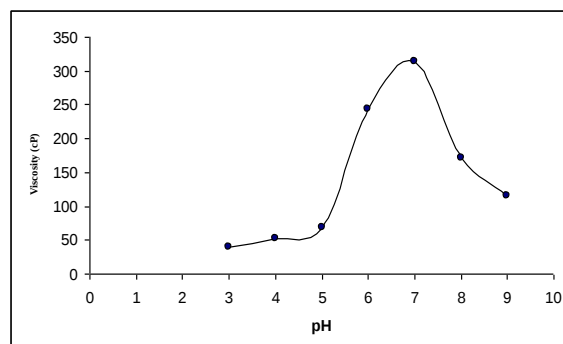


Figure 10 Effect of pH on viscosity.

3.2.3 ความแข็งแรงของเจล (gel strength)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลหมากจอบ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัดเจล หมากจอบ น้ำตาล และ pH ได้ผลดังภาพที่ 11-13

ผลของความเข้มข้นต่อค่าความแข็งแรงของเจลหมากจอบ (ภาพที่ 11) โดยศึกษาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 (w/v) พบว่าความเข้มข้นของเจลหมากจอบร้อยละ 1 จะให้ค่าความแข็งแรงของเจลต่ำที่สุด และที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2 จะมีค่าความแข็งแรงของเจลไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 เจลหมากจอบจะมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด เนื่องจากว่าเมื่อความเข้มข้นของเจลหมากจอบเพิ่มมากขึ้นทำให้มีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งทำให้มีปริมาณน้ำที่ลดลงเป็นผลทำให้มีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของน้ำตาลต่อค่าความแข็งแรงของเจลหมากจอบ (ภาพที่ 12) โดยใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 15, 30, 45 และ 55 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล ($p < 0.05$) โดยที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นค่าความ

แข็งแรงของเจลจะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นน้ำตาลร้อยละ 30 และเมื่อความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 30 ค่าความแข็งแรงของเจลจะมีค่าลดลงซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับผลต่อความหนืด

จากการศึกษาผลของ pH ต่อค่าความแข็งแรงของเจลหมากจอบ (ภาพที่ 13) โดยศึกษาที่ pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 พบว่า pH มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล หมากจอบ ($p < 0.05$) โดยที่เมื่อ pH มากกว่า 5 จะทำให้เจลมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับ pH ที่ 7 จะให้เจลมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด แต่เมื่อ pH มากกว่า 7 ค่าความแข็งแรงของเจลจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับผลต่อความหนืด

ผลการศึกษาผลของเกลือ NaCl และ CaCl_2 พบว่าเกิดการตกตะกอนของเจลหมากจอบ และมีการแยกเป็นสองชั้น ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่สามารถวัดค่าความแข็งแรงของเจลเนื่องจากปรากฏการณ์ salting out [13] ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srichamroen และคณะ [11]

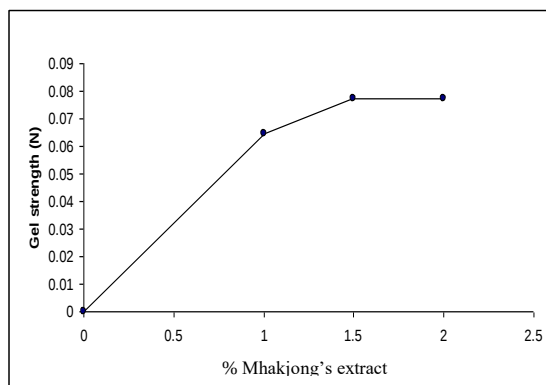


Figure 11 Effect of concentration of Mhakhong's extract on gel strength

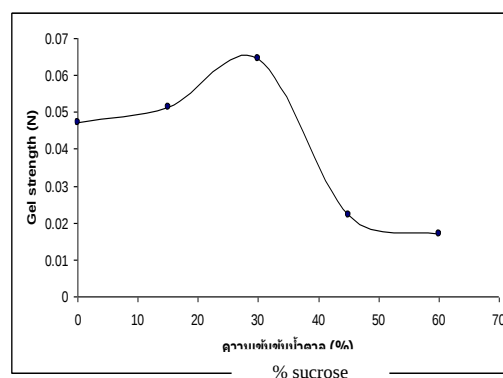


Figure 12 Effect of sucrose concentration on gel strength

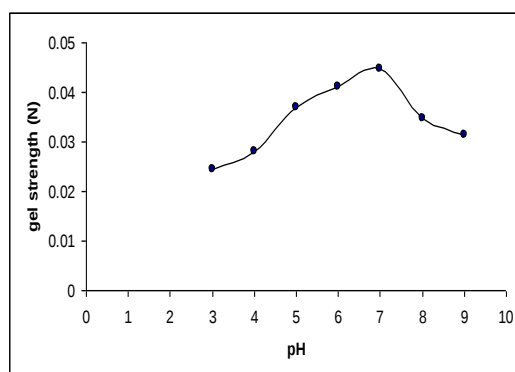


Figure 13 Effect of pH on gel strength.

4. สรุปผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลหมากจอบคือ อัตราส่วนหมากจอบต่อน้ำ 1:75 อุณหภูมิในการสกัด 66 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที จะทำให้ได้ร้อยละ การผลิต ความหนืด และความแข็งแรงของเจลสูงสุด โดยเมื่อ ความเข้มข้นของเจลหมากจอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดและ

ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น แนวโน้มเช่นเดียวกับน้ำตาลและ pH ในทางตรงข้ามการเติมเกลือ NaCl และ CaCl₂ ส่งผลให้ ความหนืดของเจลหมากจอบลดลง การสกัดเจลหมากจอบเป็น แนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับหมากจอบ และสามารถ นำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเกิดเจลหรือเพิ่มความหนืดให้กับ ผลิตภัณฑ์อาหาร รวมทั้งเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบ ท้องถิ่นให้เป็นประโยชน์ยิ่งขึ้น

5. References

- [1] Sarintra. 2018. **Malva Nut**. Forestry Economics Division, Royal Forest Department. <https://www.forest.go.th/economy/th>. Accessed 4 April 2019. (in Thai).
- [2] Wikipedia. 2019. **Malva Nut**. <https://th.wikipedia.org/wiki/malva>. Accessed 14 April 2019. (in Thai).
- [3] Medthai. 2017. **Malva Nut**. <https://medthai.com/malva>. Accessed 14 April 2019. (in Thai).
- [4] Homhual, S. 2012. **Malva Nut**. Phargarden, Faculty of Pharmacy, Ubon Ratchathani University. <https://www.phargarden.com>. Accessed 4 April 2019. (in Thai).
- [5] Singthong, J. and et al. 2004. "Structural characterization, degree of esterification and some gelling properties of Krueo ma noy (*Cissampelos pareira*) pectin". **Carbohydrate polymers**. 58(4): 391-400.
- [6] Singthong, J. and et al. 2005. "Extraction and physicochemical characterization of Krueo ma noy pectin". **Food Hydrocolloids**. 19:793-801.
- [7] Design-Expert® Version 6.010. stat-Ease, Inc., USA.
- [8] AOAC. 2000. **Official of Association of Analytical Chemistry**. 17th ed. Washington D.C.: Association of Analytical Chemistry.
- [9] Singthong, J., Ningsanond, S. and Cui, S. 2009. "Extraction and physicochemical characterization of polysaccharide gum from Yanang (*Tiliacora teiandra*) leaves". **Food Chemistry**. 114(4): 1301-1307.
- [10] Somboonpanyakul, P. and et al. 2006. "Malva nut gum (part I): Extraction and physicochemical characterization". **Carbohydrate Polymers**. 64: 247-253.
- [11] Srichamroen, A. and Chavasit, V. 2011. "Rheological properties of extracted malva nut (*Scaphium scaphigerum*) in different conditions of solvent". **Food Hydrocolloids**. 25(3): 444-450.
- [12] Imeson, A. 1997. **Thickening and Gelling Agents for Food**. UK: Blackie Academic & Professional.
- [13] Whistler, R.L. and Bemiller, J.N. 1993. **Industrial Gums**. California: Academic Press, Inc.
- [14] Wang, Q., Ellis, P.R. and Ross-Murphy, S.B. 1999. "The stability of guar gum in an aqueous under acidic condition". **Food Hydrocolloids**. 14(2): 129-134.