



ผลของส่วนผสมและการใช้เทคโนโลยีความดันสูง

ต่อคุณภาพของซอสหอยนางรม

Effect of Ingredients and High Pressure Processing Technology on Oyster Sauce Qualities

บุศราภา ลีละวัฒน์*, ปัทรา แสงโสภา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Bootsrapa Leelawat*, Pattrra Sangsopa

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,

Thammasat University, Pathum Thani 12120

Received 10 July 2021; Received in revised 13 September 2021; Accepted 14 October 2021

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของปริมาณสารสกัดหอยนางรม (9 - 30 เปอร์เซ็นต์) แป้งข้าวโพด (2 - 5 เปอร์เซ็นต์) และน้ำตาลทราย (8 - 12 เปอร์เซ็นต์) ต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรม และการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า ซอสหอยนางรมที่ใช้ส่วนผสมในอัตราส่วนที่ต่างกันมีพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ Herschel Bulkley และ shear thinning โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดมากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของซอสหอยนางรมสูงขึ้น ค่า yield stress และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลของซอสหอยนางรมลดลง นอกจากนี้พบว่าสูตรที่ใช้ปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย เท่ากับ 19.50:3.50:11.50 และ 9.00:3.50:11.50 โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกระแสวิทยาใกล้เคียงกับซอสหอยนางรมทางการค้ามากที่สุด โดยทั้งสองสูตรได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จึงเลือกสูตรที่ใช้สารสกัดหอยนางรม 9 เปอร์เซ็นต์ มาศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรส์ด้วยการใช้เทคโนโลยีความดันสูง (HPP) โดยแปรความดัน 2 ระดับ คือ 400 และ 600 MPa และระยะเวลา 2 ระดับ คือ 10 และ 15 นาที พบว่าสมบัติทางกระแสวิทยา และกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังนั้นสภาวะการพาสเจอร์ไรส์ที่ระดับความดัน 400 MPa เป็นเวลา 10 นาที ก็เพียงพอสำหรับการพาสเจอร์ไรส์ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง

คำสำคัญ: ซอสหอยนางรม; เทคโนโลยีความดันสูง; สมบัติทางกระแสวิทยา; พาสเจอร์ไรส์; อะไมเลส

Abstract

The effect of oyster extract (9 - 30%), corn flour (2 - 5%) and sugar (8 - 12%) on the rheological properties of oyster sauce and sensory acceptance evaluation were investigated. The rheological properties of oyster sauce with different ratios of ingredients were both Herschel Bulkley and shear thinning behavior. The increasing ratio of corn flour increased the consistency coefficient but decreased yield stress and flow behavior index. The rheological properties of oyster sauce containing the oyster extract: corn flour: sugar equaled to 9.00:3.50:11.50 and 19.50:3.50:11.50 by weight were the most similar properties to the commercial oyster sauce, and the sensory acceptance scores of both formulations were not significantly different ($p > 0.05$). The effect of high pressure processing (HPP) conditions, 2 high pressure levels (400 and 600 MPa) and 2 holding times (10 and 15 minutes), on the rheological properties and amylase activity in oyster sauce (9% oyster extract) was evaluated. The results revealed that both pressure levels and holding times did not significantly affect the rheological properties and amylase activity in oyster sauce. Therefore, the pasteurization at 400 MPa for 10 minutes is sufficient for pasteurization of oyster sauce by high pressure technology.

Keywords: Oyster sauce; High pressure processing; Rheological properties; Pasteurized; Amylase

1. บทนำ

ซอสหอยนางรม จัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มซอสปรุงรสที่มีลักษณะข้นหนืด มีสีน้ำตาลเข้ม นิยมนำมาใช้ปรุงในอาหารจีน ฟิลิปปินส์ และไทย เพื่อช่วยเพิ่มกลิ่นรสในอาหาร [1] ในประเทศไทยมีวางจำหน่ายหลายยี่ห้อ เช่น เด็กสมบูรณ์ แม่ครัว แม็กกี้ เมกาเซฟ เป็นต้น ในปี 2563 ผลิตภัณฑ์กลุ่มซอสและเครื่องปรุงรสมีมูลค่าตลาดราว 47,977 ล้านบาท เติบโต 4.8 เปอร์เซ็นต์ จากปี 2562 ที่มีมูลค่า 45,770 ล้านบาท ในปี 2563 ซอสหอยนางรมมียอดขายสูงเป็นลำดับที่ 5 คิดเป็น 8.3 เปอร์เซ็นต์ ของผลิตภัณฑ์กลุ่มซอสและเครื่องปรุงรส [2] ในกระบวนการผลิตซอสหอยนางรมได้จากการนำเนื้อหอยนางรมมาบดให้ละเอียดแล้วทำให้สุก หรือใช้ผงหอยนางรมสกัด ผสมกับส่วนผสมอื่น เช่น ซีอิ้ว น้ำตาลทรายเกลือ สารให้ความข้นหนืด ในอัตราส่วนที่เหมาะสม นำไปให้ความร้อนจนมีความหนืดตามที่ต้องการ แล้วบรรจุลงในภาชนะบรรจุปิดสนิท [3]

ซีอิ้วซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซอสหอยนางรม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลืองด้วยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ซึ่งผลิตเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) สำหรับย่อยโปรตีนในถั่วเหลืองให้เป็นกรดอะมิโน และผลิตเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ซึ่งสามารถย่อยสลายให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ หลังจากผ่านกระบวนการหมัก ซีอิ้วจะถูกนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70-80°C [4] ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวอาจไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสเมื่อนำมาใช้ในการผลิตซอสหอยนางรม เอนไซม์อะไมเลสในซีอิ้วจึงย่อยแป้งที่ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ ทำให้สมบัติด้านความหนืดของซอสหอยนางรมเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดการลดลงของค่าความหนืดเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่ออายุการไม่ยอมรับของผู้บริโภค

เทคโนโลยีความดันสูงเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูงในการแปรรูปอาหาร โดยใช้

ความดันอยู่ในช่วง 100 – 1,000 MPa และใช้น้ำเป็นตัวกลางในการผ่านความดันให้อาหาร การใช้เทคโนโลยีความดันสูงสามารถรักษากลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ เนื่องจากกลีนิรสรและวิตามินเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลเล็ก เมื่อมีการให้ความดันจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง [5] การใช้ความดันที่มากกว่า 200 MPa เริ่มส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส และที่ความดันมากกว่า 400 MPa ส่งผลให้การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลง [6] นอกจากนี้ยังทำให้เม็ดแป้งในอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบเกิดการเจลาติไนเซชันในระดับต่างๆ ที่สภาวะความดัน อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความดันที่แตกต่างกัน [7] มีงานวิจัยการใช้ความดันสูงในน้ำสลัดแบบ French และแบบ Ranch ที่ 500 และ 800 MPa เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C และ 50°C พบว่าสภาวะดังกล่าวไม่ส่งผลต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของน้ำสลัด แต่ส่งผลต่อพฤติกรรมความหนืดยืดหยุ่น (Viscoelastic behavior) โดยน้ำสลัดแบบ French ซึ่งมีไข่แดงเป็นองค์ประกอบจะมีความคงตัวน้อยกว่าน้ำสลัดแบบ Ranch ซึ่งมีโปรตีนและแซนแทนกัมเป็นองค์ประกอบ [8]

สมบัติทางกระแสวิทยา (Rheological properties) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินพฤติกรรม การไหลของอาหาร หรือใช้ในการศึกษาการตอบสนองของผลิตภัณฑ์ด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือการไหลภายใต้แรงกระทำ ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยหลายงานที่ใช้การวัดสมบัติทางกระแสวิทยาในการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ซอส เช่น ผลของการใช้แป้งมันฝรั่งร่วมกับแซนแทนกัมต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสคาราเมล [9] และผลของการใช้แป้งข้าวโพด แป้งข้าวโอ๊ต ร่วมกับแซนแทนกัมต่อสมบัติทางกระแสวิทยาและการทดสอบทางประสาทสัมผัสในซอสขนมหวาน (dessert sauce) [10]

อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของส่วนผสมหลักที่ใช้ในการผลิตซอสหอยนางรม และผลของการใช้เทคโนโลยีความดันสูงในการพาสเจอร์ซอสต์ของซอสหอยนางรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ

อัตราส่วนแป้งข้าวโพด น้ำตาลทราย และสารสกัดหอยนางรม ต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรม และการยอมรับทางประสาทสัมผัส รวมถึงผลของการใช้เทคโนโลยีความดันสูงต่อสมบัติทางกระแสวิทยา และกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในซอสหอยนางรม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ สารเคมี และเครื่องมือ

2.1.1 วัตถุดิบ สารเคมี

ผงหอยนางรมสกัด (Moisture 78.00 เปอร์เซ็นต์, Fat 0.52 เปอร์เซ็นต์, Ash 2.82 เปอร์เซ็นต์, Protein 7.79 เปอร์เซ็นต์, Carbohydrate 10.90 เปอร์เซ็นต์ and Sodium Chloride 1.22 เปอร์เซ็นต์) และซีอิ้ว จากบริษัทสินวาริพัฒนา จำกัด น้ำตาลทราย จากบริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด แป้งข้าวโพด จากบริษัทอาร์ แอนด์ บี ฟู้ด ซีพพลาย จำกัด เกลือ จากบริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด ผงชูรส จากบริษัทอายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด Glucono Delta Lactone (GDL) จากบริษัทเคมีภัณฑ์ คอร์-ปอเรชั่น จำกัด ซอสหอยนางรมทางการค้า จำนวน 4 ยี่ห้อ โดยใช้สัญลักษณ์ A-D แทนยี่ห้อซอสหอยนางรม soluble starch ยี่ห้อ KE-MAUS และ 3,5-Dinitrosalicylic acid ยี่ห้อ SIGMA-ALDRICH

2.1.2 เครื่องมือ

เครื่องแปรรูปด้วยเทคโนโลยีความดันสูง ยี่ห้อ KFHP รุ่น HPP600MPa ประเทศจีน เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield รุ่น RV DV-II+ Viscometer ประเทศสหรัฐอเมริกา ติดตั้งกับอุปกรณ์ small sample adapter รุ่น SC4-13R เข็มวัดเบอร์ SC4-28 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Unicam รุ่น 9423 UV2 1000F ประเทศอังกฤษ

2.2 การศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรม จากการแปรปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทรายเปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมทางการค้า

2.2.1 การเตรียมซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อน

เตรียมสารสกัดหอยนางรม โดยใช้อัตราส่วนผงหอยนางรมต่อน้ำ คือ 1:3 โดยน้ำหนัก นำมาสกัดที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 10 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง นำสารสกัดหอยนางรมที่กรองได้มาผสมกับซีอิ๊ว น้ำตาลทราย เกลือ ผงชูรส GDL และน้ำแป้งข้าวโพด พาสเจอร์ไรซ์

ที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 18 นาที [11] แปรปริมาณของสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย วางแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) โดยมี code levels สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 1 ซึ่งได้ทริทเมนต์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 17 ทริทเมนต์ แสดงดังตารางที่ 2

Table 1 Code levels for experimental factors

Factors	Levels				
	-α	-1	0	1	α
Oyster extract (%)	9.00	13.26	19.50	25.74	30.00
Corn flour (%)	2.00	2.61	3.50	4.39	5.00
Sugar (%)	8.00	9.42	11.50	13.58	15.00

2.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกระแสวิทยา

นำซอสหอยนางรมที่เตรียมได้ทั้งหมด 17 ทริทเมนต์มาวิเคราะห์สมบัติทางกระแสวิทยา เปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมทางการค้าจำนวน 4 ยี่ห้อ ซึ่งระบุเป็นยี่ห้อ A B C และ D โดยนำซอสหอยนางรมปริมาตร 12 มิลลิลิตร ใส่ลงใน small sample adapter chamber ใช้เข็มวัดเบอร์ SC4-28 ติดตั้งกับเครื่อง Brookfield viscometer ใช้ความเร็วรอบ 0.3 – 60 rpm นำค่า shear stress (σ) และ shear rate ($\dot{\gamma}$) ที่ได้มาแทนค่าในสมการของ Herschel-Bulkley เพื่อหาค่า yield stress (σ_0) ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) [12] ดังสมการที่ (1) หรือนำมาแทนในสมการ Shear thinning เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) [13] ดังสมการที่ (2) แล้วคัดเลือกซอสหอยนางรมที่ได้จากการทดลองที่มีสมบัติทางกระแสวิทยาใกล้เคียงกับซอสหอยนางรมทางจากค้าไปประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในการทดลองที่ 2.3

เมื่อ σ คือ shear stress (Pa), σ_0 คือ yield

$$\sigma = \sigma_0 + k(\dot{\gamma})^n \tag{1}$$

$$\sigma = k(\dot{\gamma})^n \tag{2}$$

stress (Pa), k คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด (Pa sⁿ), $\dot{\gamma}$ คือ shear rate (1/s) และ n คือ ดัชนีพฤติกรรมการไหล

2.3 การศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

2.3.1 การประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสซอสหอยนางรมที่คัดเลือกได้จากการทดลองที่ 2.2 ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน จัดเสิร์ฟตัวอย่างซอสหอยนางรม โดยนำซอสหอยนางรมราดบนผักแขนงลาว เพื่อประเมินลักษณะปรากฏ สี ความหนืด กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วย 9-point hedonic scale โดย 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ดัดแปลงจาก Eakpiyakul (2006) [14] แล้วคัดเลือกซอสหอยนางรมสูตรที่ได้รับการยอมรับทาง

ประสาทสัมผัสของผู้บริโภคมากที่สุดมาศึกษาในการทดลองที่ 2.4

2.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง

2.4.1 การเตรียมซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูง

นำซอสหอยนางรมที่มีการแปรปริมาณส่วนผสมคัดเลือกได้จากการทดลองที่ 2.3 มาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง โดยเตรียมสารสกัดหอยนางรมอัตราส่วนผงหอยนางรมต่อน้ำ คือ 1:3 โดยน้ำหนัก นำมาสกัดที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 10 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง นำสารสกัดหอยนางรมที่กรองได้มาผสมกับซีอิ้ว น้ำตาลทรายเกลือ ผงชูรส GDL และน้ำแป้งข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 10 นาที บรรจุลงถุงรีโอร์ท พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงโดยแปรความดัน 2 ระดับ คือ 400 และ 600 MPa และระยะเวลาการให้ความดัน 2 ระดับ คือ 10 และ 15 นาที

2.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกระแสวิทยา

นำซอสหอยนางรมที่แปรสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงทั้ง 4 สภาวะ มาศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาเปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนที่คัดเลือกได้จากการทดลองที่ 2.3 โดยวิเคราะห์สมบัติทางกระแสวิทยาวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 2.2.2

2.4.3 การประเมินกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส

นำซอสหอยนางรมที่แปรสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงทั้ง 4 สภาวะ มาศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสเปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อน โดยนำซอสหอยนางรม 1 ml

ผสมกับสารละลายแป้ง (soluble starch) 1 เปอร์เซ็นต์ที่เตรียมในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตริก (pH 5.6) 1 ml ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม DNS reagent 2 ml นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 540 nm คำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ (Unit of enzyme) โดย 1 ยูนิตของเอนไซม์หมายถึง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เทียบเท่ากับน้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกปล่อยออกมา 1 μmol ในเวลา 1 นาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดสอบ [15]

2.5 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษานี้ดำเนินการที่ภาควิชาของซอสหอยนางรม จากการแปรปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทรายเปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมทางการค้า และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

การศึกษานี้ดำเนินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรมจากการแปรปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทรายเปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมทางการค้า

จากการศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรม โดยแปรปริมาณสารสกัดหอยนางรม 9 เปอร์เซ็นต์ - 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แป้งข้าวโพด 2 เปอร์เซ็นต์ - 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และน้ำตาลทราย

8 เปอร์เซ็นต์ - 12 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่า ซอสหอยนางรมมีพฤติกรรมการไหลแบบ Herschel Bulkley และ shear thinning โดยมีซอสหอยนางรม 2 สูตร คือ สูตรที่มีปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย 13.26:4.39:13.58 และ 19.50:5.00:11.50 โดยน้ำหนัก มีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning ส่วนซอสหอยนางรมอีก 15 สูตร มีพฤติกรรมการไหลแบบ Herschel Bulkley [16] เหมือนซอสหอยนางรมทางการค้า ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดอยู่ในช่วง 2.57 - 94.83 Pa.sⁿ ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

Table 2 Yield stress, consistency coefficient and flow behavior of oyster sauce from different ratios of oyster extract, corn flour, and sugar

Oyster extract: corn flour: sugar	σ_0 (Pa)	k (Pa s ⁿ)	n
13.26:4.39:13.58	0.00 ^a ± 0.00	55.87 ^h ± 0.08	0.51 ^{bcdef} ± 0.01
13.26:2.61:13.58	2.46 ^{abc} ± 0.49	5.84 ^{ab} ± 0.81	0.55 ^{bcdef} ± 0.03
19.50:3.50:15.00	5.64 ^{efghi} ± 0.55	14.34 ^{cdef} ± 1.85	0.59 ^{def} ± 0.07
19.50:2.00:11.50	1.03 ^{ab} ± 0.18	2.57 ^a ± 1.19	0.54 ^{bcdef} ± 0.01
30.00:3.50:11.50	3.52 ^{bcde} ± 0.14	10.43 ^{bcd} ± 1.06	0.61 ^{ef} ± 0.04
19.50:3.50:11.50	6.28 ^{fghi} ± 0.65	14.56 ^{cdef} ± 1.43	0.57 ^{cdef} ± 0.02
19.50:3.50:11.50	5.24 ^{defgh} ± 1.94	18.54 ^{ef} ± 4.81	0.53 ^{bcdef} ± 0.01
25.74:4.39:13.58	11.23 ^j ± 2.59	67.24 ⁱ ± 6.99	0.54 ^{bcdef} ± 0.04
25.74:4.39:9.42	11.05 ^j ± 1.59	51.66 ^h ± 6.17	0.48 ^{abcd} ± 0.02
13.26:2.61:9.42	3.51 ^{bcde} ± 0.28	7.51 ^{abc} ± 0.06	0.58 ^{cdef} ± 0.01
25.74:2.61:13.58	3.92 ^{cdef} ± 1.66	10.94 ^{bcde} ± 2.86	0.62 ^f ± 0.12
19.50:3.50:8.00	6.40 ^{fghi} ± 1.82	14.37 ^{cdef} ± 1.63	0.52 ^{bcdef} ± 0.04
13.26:4.39:9.42	6.36 ^{fghi} ± 1.97	73.89 ⁱ ± 4.92	0.38 ^a ± 0.00
19.50:5.00:11.50	0.00 ^a ± 0.00	94.83 ^j ± 3.21	0.46 ^{abc} ± 0.08
9.00:3.50:11.50	7.17 ^{hi} ± 0.86	30.74 ^g ± 3.49	0.48 ^{abc} ± 0.08
25.74:2.61:9.42	2.93 ^{bcd} ± 0.25	7.69 ^{abc} ± 0.81	0.52 ^{bcdef} ± 0.08
19.50:3.50:11.50	6.95 ^{hi} ± 0.54	19.04 ^f ± 7.71	0.52 ^{bcdef} ± 0.11
Brand A	6.72 ^{ghi} ± 0.06	20.04 ^f ± 0.08	0.43 ^{ab} ± 0.00
Brand B	5.15 ^{defgh} ± 0.01	15.82 ^{def} ± 0.08	0.48 ^{abcde} ± 0.00
Brand C	4.18 ^{cdefg} ± 0.28	8.77 ^{abcd} ± 0.34	0.48 ^{abcde} ± 0.01
Brand D	8.06 ⁱ ± 0.34	19.25 ^f ± 0.38	0.47 ^{abcd} ± 0.01

^{a,b,c} Mean values with different letters in each column are significantly different (p ≤ 0.05)

Table 3 Regression equation of yield stress, the consistency coefficient, and flow behavior index of oyster sauce from different ratios of oyster extract, corn flour, and sugar

Rheological properties	R ²	Model	Regression equations
yield stress (σ_0)	0.6409	Quadratic	$9.35 - 2.02A + 14.23B - 1.78C + 0.34AB + 0.08AC - 0.41BC + 0.00A^2 - 2.13B^2 + 0.06C^2$
consistency coefficient (k)	0.9727	Quadratic	$196.95 - 6.05A - 69.53B - 8.36C - 0.36AB + 0.37AC - 0.27BC + 0.07A^2 + 15.75B^2 + 0.09C^2$
flow behavior index (n)	0.8423	Quadratic	$7.14 + 0.52A - 7.82B + 2.50C + 9.65E-003AB - 0.02AC - 0.05BC - 6.96E-003A^2 + 0.62B^2 - 0.08C^2$

A = oyster extract; B = corn flour; C = sugar

เนื่องจากสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรมทั้ง 17 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) ดังนั้นเพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรมได้ชัดเจนมากขึ้น จึงนำค่า yield stress ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย ในรูปของสมการ โดยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า yield stress ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล กับปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยกำลังสอง (Quadratic model) (ตารางที่ 3)

จากกราฟคอนทัวร์ระหว่างสารสกัดหอยนางรมกับแป้งข้าวโพด (ภาพที่ 1) พบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวโพดและสารสกัดหอยนางรมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า yield stress เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณสารในแป้งข้าวโพด เมื่อได้รับความร้อนขณะกวนผสม จะเกิดเจลาตินไนซ์หรือดูดน้ำในระบบและพองตัวมากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าเมื่อมีการเติมเกลือลงใน

สารละลายแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น 0.05-2 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้แป้งมันสำปะหลังมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น [17]

เมื่อเพิ่มสารสกัดหอยนางรมในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชของตัวมากขึ้น และเม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้วจึงอยู่ใกล้ชิดกัน จึงมีการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลที่อยู่ชิดกันได้มากขึ้น จึงต้องใช้แรงเริ่มต้นสูงในการทำให้ซอสเกิดการไหล ส่งผลให้ค่า yield stress เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณากราฟคอนทัวร์ระหว่างสารสกัดหอยนางรมกับน้ำตาลทราย จะเห็นว่าอิทธิพลของการเพิ่มน้ำตาลทรายมีมากกว่าสารสกัดหอยนางรม โดยเมื่อสารสกัดหอยนางรมคงที่ การเพิ่มน้ำตาลทราย ส่งผลให้มีค่า yield stress ลดลงจากการที่เม็ดแป้งพองตัวได้จำกัด ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสออกมาจากสตาร์ชแกรนูลลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลแบ่งลดลง [18] จึงใช้แรงเริ่มต้นน้อยที่ทำให้ซอสเกิดการเคลื่อนที่ แต่เมื่อเพิ่มทั้งน้ำตาลทรายและเกลือพร้อมกัน ส่งผลให้ค่า yield stress เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกลือในสารสกัดหอยนางรมและน้ำตาลทรายซึ่งมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดีทั้งคู่ จึงทำให้น้ำในระบบน้อยลงยิ่งขึ้น การเพิ่มขึ้นของ yield stress จึงอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้างต้น

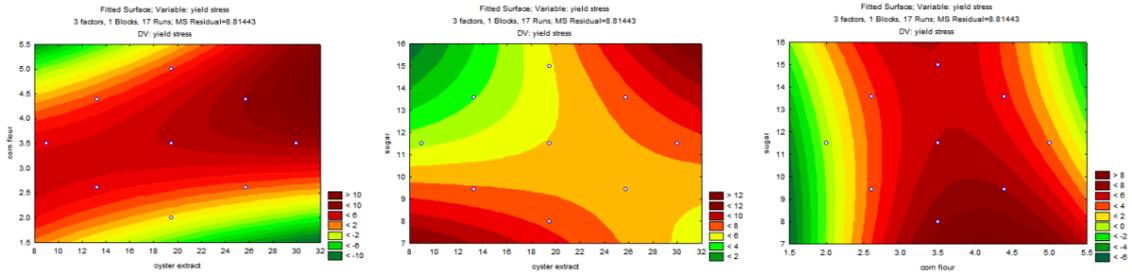


Figure 1 Contour plots of the relationship between ratios of oyster extract, corn flour, sugar, and yield stress of oyster sauce

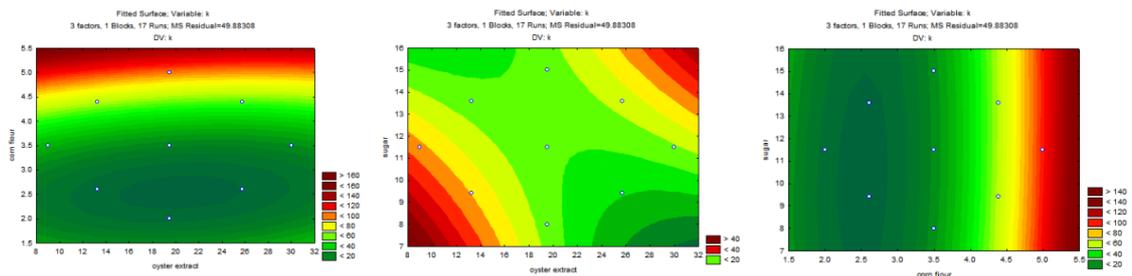


Figure 2 Contour plots of the relationship between ratios of oyster extract, corn flour, sugar, and the consistency coefficient of oyster sauce

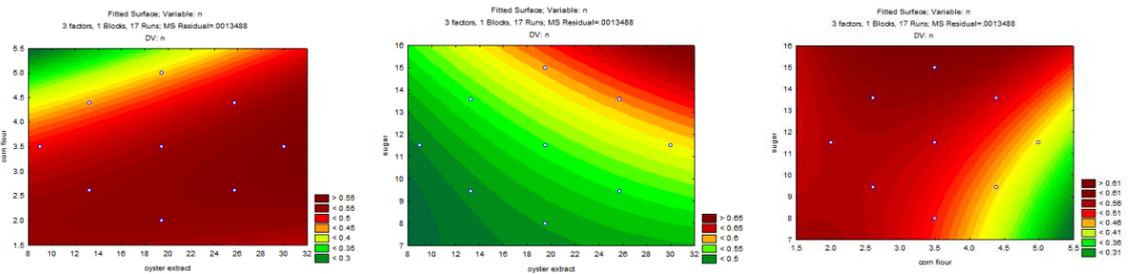


Figure 3 Contour plots of the relationship between ratios of oyster extract, corn flour, sugar, and flow behavior index of oyster sauce

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของส่วนผสมทั้ง 3 ชนิด ต่อสัมประสิทธิ์ความหนืดจากสมการถดถอยกำลังสองในตารางที่ 3 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังสองของแป้งข้าวโพดมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังสองของสารสกัดหอยนางรมและน้ำตาล เท่ากับ 225 และ 175 เท่าตามลำดับ และเมื่อพิจารณาร่วมกับกราฟคอนทัวร์ใน

ตารางที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อแป้งข้าวโพดมีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ซอสหอยนางรมมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวโพดมากขึ้น จึงดูดน้ำ และพองตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ซอสหอยนางรมมีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณากราฟคอนทัวร์ระหว่างสารสกัดหอยนางรมกับน้ำตาลทราย พบว่าเมื่อเพิ่ม

ปริมาณสารสกัดหอยนางรม และน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ซอสหอยนางรมมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดลดลง เนื่องจากจากเกลือในสารสกัดหอยนางรมและน้ำตาลทรายมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี ทำให้มีน้ำในระบบน้อย ส่งผลให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อย จึงมีความต้านทานการไหลน้อยลง [17, 18]

สำหรับผลการศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมต่อดัชนีพฤติกรรมการไหลของซอสหอยนางรมจากสมการถดถอยกำลังสองในตารางที่ 3 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ของแป้งข้าวโพดมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ของสารสกัดหอยนางรม และน้ำตาลทราย เท่ากับ 579 และ 21 เท่า ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวโพดส่งผลต่อค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลของซอสหอยนางรม มากกว่าสารสกัดหอยนางรมและน้ำตาลทราย เมื่อพิจารณากราฟคอนทัวร์ระหว่างสารสกัดหอยนางรมกับแป้งข้าวโพด (รูปที่ 3) พบว่าเมื่อแป้งข้าวโพดมีอัตราส่วนมากขึ้น ส่งผลให้ซอสหอยนางรมมีดัชนีพฤติกรรมการไหลลดลง หรือซอสหอยนางรมมีความเป็น shear thinning มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าสารละลายแป้งข้าวโพดที่มีความเข้มข้นมากขึ้น มีความเป็น shear thinning มากขึ้น [19] เนื่องจากเม็ดสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการดูดน้ำและพองตัวมากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งนี้มลง และเมื่อมีการเพิ่มความเร็วในการกวนผสมหรือให้ความเครียด (stress) กับเม็ดแป้ง จะทำให้เกิดการเสียรูปร่าง (deformation) และเกิดการไหลได้มากขึ้น [20, 21] เมื่อพิจารณากราฟคอนทัวร์ระหว่างสารสกัดหอยนางรมกับน้ำตาลทราย พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารสกัดหอยนางรม และน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ซอสหอยนางรมมีดัชนีพฤติกรรมการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการพองตัวของเม็ดสตาร์ชถูกจำกัดจากการที่มีน้ำเหลืออยู่ระบบน้อย ทำให้เม็ดแป้งมี

ความแข็งแรง จึงคงทนต่อแรง shear มากกว่าเม็ดแป้งที่พองตัวมากกว่า

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่า yield stress ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลของซอสหอยนางรมและซอสหอยนางรมทางการค้าจำนวน 19 ตัวอย่าง พบว่าซอสหอยนางรมสูตรที่มีปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย 19.50:3.50:11.50 และ 9.00:3.50:11.50 โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกระแสวิทยาใกล้เคียงกับซอสหอยนางรมทางการค้า จึงเลือกซอสหอยนางรมทั้ง 2 สูตร มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อไป

3.2 การศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

จากการคัดเลือกสูตรซอสหอยนางรมที่ใช้สารสกัดหอยนางรม 9 เปอร์เซ็นต์ และ 19.5 เปอร์เซ็นต์ มาศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ด้วยวิธี 9-point hedonic scale กับผู้บริโภคจำนวน 50 คน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าซอสหอยนางรมทั้ง 2 สูตร มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี ความหนืด กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสร่วมกับต้นทุนในการผลิต พบว่าสารสกัดหอยนางรมมีราคา กิโลกรัมละ 1,700 บาท [22] หากใช้สารสกัดหอยนางรมในปริมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ สามารถประหยัดต้นทุนสารสกัดหอยนางรมได้ 2.17 เท่า จึงคัดเลือกซอสหอยนางรมสูตรที่มีปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย 9.00:3.50:11.50 มาใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

Table 4 Sensory evaluation scores of oyster sauces

Oyster extract: Corn flour: Sugar	Appearance	Color	Viscosity	Flavor	Taste	Overall Likings
19.50:3.50:11.50	7.30 ± 1.02	7.50 ± 0.97	6.93 ± 1.23	6.63 ± 0.96	6.30 ± 1.26	6.60 ± 1.04
9.00:3.50:11.50	7.53 ± 1.04	7.53 ± 0.78	7.00 ± 1.20	6.57 ± 1.25	6.00 ± 1.46	6.47 ± 1.19

3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง

จากการศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรม (ตารางที่ 5) พบว่า ซอสหอยนางรมมีพฤติกรรมการไหลแบบ Herschel-Bulkley โดยมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลอยู่ในช่วง 0.40-0.48 สอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าสารละลายแป้งข้าวโพด 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนและหลังการผ่านความดันมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning [23] เมื่อพิจารณาซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงเปรียบเทียบกับซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อน พบว่า ซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูง 400 และ 600 MPa เป็นเวลา 10 และ 15 นาที มีค่า yield stress ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีค่า yield stress และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดน้อยกว่าซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมด้วยความร้อน 85°C นาน 18 นาที ทำให้สตาร์ชในแป้งข้าวโพดเกิดการเจลาติไนเซชัน และพองตัว ส่งผลให้ซอสเกิดความต้านทานการไหลมาก จึงมีค่า yield stress และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดมากกว่า ในขณะที่ซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วย

เทคโนโลยีความดันสูงได้รับความร้อนในช่วงการเตรียมซอสที่ 85 °C เพียง 10 นาที ดังนั้นการเกิดเจลาติไนเซชันอาจจะยังไม่สมบูรณ์ ซอสจึงมีค่า yield stress และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดน้อยกว่า

เมื่อนำซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงและด้วยความร้อนมาศึกษา กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส พบว่า การพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมทั้ง 2 วิธี มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามได้มีงานวิจัยที่พบว่าความดันมากกว่า 400 MPa ส่งผลให้การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์อะไมเลสลดลง เนื่องจากความดันสูงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง configuration ของโปรตีน ทำให้บริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์คลายตัว [6, 24] เอนไซม์ไม่สามารถไปทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสลดลง

ซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงส่งผลต่อสมบัติทางกระแสวิทยา และกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสใกล้เคียงกับซอสหอยนางรมที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อน ดังนั้นสภาวะที่พอเพียงในการพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง คือที่ระดับความดัน 400 MPa เป็นเวลา 10 นาที

Table 5 Rheological properties and amylase activity of high pressure processing and heat oyster sauce

Oyster sauce	σ_0 (Pa)	k (Pa sn)	n ^{ns}	Amylase activity ^{ns} ($\mu\text{mol/mL}$)
Heat	7.17 ^b \pm 0.86	30.74 ^b \pm 3.49	0.48 \pm 0.07	3.71 \pm 0.15
400 MPa 10 min	5.01 ^a \pm 0.06	12.13 ^a \pm 0.96	0.40 \pm 0.00	3.94 \pm 0.31
400 MPa 15 min	4.75 ^a \pm 0.88	12.51 ^a \pm 0.03	0.42 \pm 0.01	3.81 \pm 0.02
600 MPa 10 min	4.93 ^a \pm 0.55	12.47 ^a \pm 1.72	0.42 \pm 0.00	3.55 \pm 0.09
600 MPa 15 min	5.13 ^a \pm 0.40	10.72 ^a \pm 1.35	0.42 \pm 0.00	3.65 \pm 0.00

^{a,b,c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} Mean values with different letters in each column are not significantly different ($p > 0.05$)

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปริมาณสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทรายระดับต่างๆ ต่อสมบัติทางกระแสวิทยาของซอสหอยนางรม พบว่าอัตราส่วนของส่วนผสมมีผลร่วมกันต่อค่า yield stress สัมประสิทธิ์ความหนืด และดัชนีพฤติกรรมการไหล โดยแป้งข้าวโพดส่งผลต่อค่า yield stress สัมประสิทธิ์ความหนืด และดัชนีพฤติกรรมการไหลของซอสหอยนางรมมากกว่าสารสกัดหอยนางรมและน้ำตาลทราย เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของซอสหอยนางรมสูงขึ้น ค่า yield stress และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลของซอสหอยนางรมลดลง ซอสหอยนางรมสูตรที่มีอัตราส่วนของสารสกัดหอยนางรม แป้งข้าวโพด และน้ำตาลทราย เท่ากับ 9.00:3.50:11.50 และ 19.50:3.50:11.50 โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกระแสวิทยาใกล้เคียงกับซอสหอยนางรมทางการค้ามากที่สุด และได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิต จึงเลือกซอสหอยนางรมที่มีปริมาณสารสกัดหอยนางรม 9 เปอร์เซ็นต์ มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูง พบว่าการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความ

ดันสูง 400 และ 600 MPa เป็นเวลา 10 และ 15 นาที มีสมบัติทางกระแสวิทยา และกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสภาวะที่พอเพียงในการพาสเจอร์ไรซ์ซอสหอยนางรมด้วยเทคโนโลยีความดันสูง คือที่ระดับความดัน 400 MPa เป็นเวลา 10 นาที

แนะนำให้มีการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ศึกษาการประเมินทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูงและความร้อนแบบดั้งเดิม อาจมีผลต่อกลิ่นรส รสชาติ และการยอมรับของผู้บริโภค หรือศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุซอสที่พาสเจอร์ไรซ์ด้วยเทคโนโลยีความดันสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2562 ภายใต้ชุดโครงการวิจัย “การเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันทางการค้าของผลิตภัณฑ์อาหารไทยสู่การตลาดโลกโดยใช้เทคโนโลยีความดันสูง” และบริษัทสินวารีพัฒนา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนและวัตถุดิบในการทำงานวิจัย

6. References

- [1] Trang, N. H. and Chang, W. X., 2009, Solid-phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry to determine volatile compounds in oyster sauce, *As. J. Food Ag-Ind.* 2(02): 189-202.
- [2] Nalisa, Sauce and Seasonings market, Available source: <https://marketeeronline.co/archives/216406>, August 31, 2021. (in Thai)
- [3] Chuapoe huk, P., 1990, A comparative study on the use of acid and enzyme in the production of sauce from oyster and green Mussel, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok, 65 p. (in Thai)
- [4] Pornchaloempong, P. and Rattanapanone, N., Fermented soy sauce, Available source: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1435/fermented-soy-sauce>, October 14, 2019. (in Thai)
- [5] Theparoonrat, S., 2003, High pressure processing, Department of Science Service. 163: 21-25. (in Thai)
- [6] Buckow, R., Weiss, U., Heinz, V. and Knorr, D., 2007, Stability and catalytic activity of α -Amylase from barley malt at different pressure-temperature conditions, *Biotechnol. Bioeng.* 97(1): 1-11.
- [7] Teixeira, A.S., Deladino, L., García, M.A., Zaritzky, N.E., Sanz, P.D. and Molina-García, A.D., 2018, Microstructure analysis of high pressure induced gelatinization of maize starch in the presence of hydrocolloids, *Food Bioprod. Process.* 112: 119-130.
- [8] Pandrangi, S. and Balasubramaniam, V. M., 2005, High-pressure processing of salads and ready meals, *Emerging technologies for food processing*, The Ohio State University, Columbus, pp. 34-45.
- [9] Krystyjan, M., Sikora, M., Adamczyk, G. and Tomasik, P., 2012, Caramel sauces thickened with combinations of potato starch and xanthan gum, *J. Food Eng.* 112: 22-28.
- [10] Sikora, M., Kowalski, S., Tomasik, P. and Sady, M., 2007, Rheological and sensory properties of dessert sauce thickened by starch-xanthan gum combinations, *J. Food Eng.* 79: 1144-1151.
- [11] Eakpiyakul, W., 2006, Product development of blood clam (*Anadara granosa*) sauce, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok, 108 p. (in Thai)
- [12] Román, L., Reguilón, M.P. and Gómez, M., 2018, Physicochemical characteristics of sauce model systems: Influence of particle size and extruded flour source, *J. Food Eng.* 219: 93-100.
- [13] Diantom, A., Curti, E., Carini, E. and Vittadini, E. 2017, Effect of added ingredients on water status and physico-chemical properties of tomato sauce, *Food Chem.* 236: 101-108.
- [14] Eakpiyakul, W., 2006, Product development of blood clam (*Anadara granosa*) sauce, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok, 108 p. (in Thai)
- [15] Li, Q., Yang, A. and Zhang, W., 2019, Higher endogenous bioactive gibberellins

- and α -amylase activity confer greater tolerance of rice seed germination to saline-alkaline stress, *Environ. Exp. Bot.* 162: 357-363.
- [16] Heyman, B., Depypere, F., Delbaere, C. and Dewettinck, K., 2010, Effects of non-starch hydrocolloids on the physicochemical properties and stability of a commercial béchamel sauce, *J. Food Eng.* 99: 115-120.
- [17] Chen, H.H., Wang, Y.S., Leng, Y., Zhao, Y. and Zhao, X., 2014, Effect of NaCl and sugar on physicochemical properties of flaxseed polysaccharide-potato starch complexes, *Science Asia.* 40: 60-68.
- [18] Gaonkar, A.G. and McPherson, A. 2006. Starch selection and interaction in food. Chpt. 5 in *Ingredient interaction effect on food quality*, ed. Mitolo, J.J., London, pp. 139-165.
- [19] Ojewumi, M.E., Emetere, M.E., Ogboso, O.A. and Bolujo, E.O., 2019, Rheological properties of cassava and corn starch, *Int. J. Appl. Sci. Eng.* 15: 1-11.
- [20] Mandala, I.G., Savvas, T.P. and Kostaropoulos, A.E., 2004, Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce, *J. Food Eng.* 64: 335-342.
- [21] Okechukwu, P.E. and Rao M.A., 1995, Influence of granule size on viscosity of corn starch Suspension, *J. Texture Stud.* 26: 501-516.
- [22] Rongshening, High quality pure oyster extract powder, Available source: https://thai.alibaba.com/product-detail/high-quality-pure-oyster-extract-powder-1600265454163.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.61ec26e8eaAf5P, September 10, 2021.
- [23] Hussain, R., Vatankhah, H., Singh A. and Ramaswamy, H.S., 2016, Effect of high-pressure treatment on the structural and rheological properties of resistant corn starch/locust bean gum mixtures, *Carbohydr. Polym.* 150: 299-307.
- [24] Gomes, M.A., Clark, R. and Ledward, D.A., 1998, Effects of high pressure on amylase and starch in wheat and barley flours, *Food Chem.* 63: 363-372.