



KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



ผลของวิธีการทำให้เส้นสุกก่อนการอบแห้งโดยการนึ่งและการต้มต่อ สมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของบะหมี่อบแห้ง Effects of Pre-cooking Methods (Steaming and Boiling) on Physicochemical Properties and Quality of Dried Noodles

โสสมรค์ม์ กล้ากลุ่มจิตร¹ มารศรี จันสี¹ นันธิดา แดงขาว¹ และ กรวิทย์ สักแกแก้ว^{1*}Sommarut Klamklomjit¹, Marasri Junsri¹, Nantida Dangkhaw¹ and Korawit Sakkaekaw^{1*}¹สาขาวิชาศิลปการประกอบอาหาร คณะศิลปการประกอบอาหาร วิทยาลัยดุสิตธานี กรุงเทพมหานคร 10250¹Culinary Arts program, Faculty of Culinary Arts, Dusit Thani College, Bangkok, 10250, Thailand

บทคัดย่อ

วิธีการทำให้สุกก่อน (pre-cooking method) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารประเภทแป้ง เพื่อให้มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการของผู้บริโภค เช่น ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของแป้ง ลดระยะเวลาในการหุงต้ม วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ คือ ศึกษาผลของวิธีการทำให้แป้งสุกก่อน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการนึ่ง และวิธีการต้ม ต่อคุณสมบัติของบะหมี่อบแห้ง จากการศึกษพบว่า การทำให้แป้งสุกก่อนนั้น ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้งและคุณภาพหลังปรุงสุกของบะหมี่ โดยการทำให้แป้งสุกก่อนการอบแห้งด้วยวิธีการต้มช่วยลดระยะเวลาปรุงสุก และสูญเสียปริมาณของแข็งระหว่างการปรุงสุกต่ำที่สุด ($p < 0.05$) อีกทั้งบะหมี่อบแห้งที่ผ่านวิธีการต้มยังมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 5.61 และค่า a_w เท่ากับ 0.27 เมื่อนำเส้นมาปรุงสุกค่า L^* เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า a^* และ b^* ลดลง นอกจากนั้นค่าความแข็ง (hardness) ลดลง ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าความแน่นเนื้อ (cohesiveness) ไม่แตกต่างจากบะหมี่เส้นสด ($p \geq 0.05$) จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า วิธีการต้มมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากบะหมี่เส้นสดทุกคุณลักษณะอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกวิธีการทำให้แป้งสุกด้วยวิธีการต้มเพื่อนำไปใช้ผลิตบะหมี่อบแห้งต่อไป

ABSTRACT

Pre-cooking is a commonly employed technique for improving the quality of starchy food products aiming to tailor their characteristics to align with consumer preferences, such as enhancing texture and reducing cooking time. This research aims to study the effects of two pre-cooking methods, steaming and boiling, on the properties of dried noodles. The results showed that pre-cooking starch before drying, particularly through boiling, reduced cooking time and loss. Noodles prepared with the boiling method had lower moisture content and water activity (a_w) with 5.61 and 0.27, respectively. When the pre-cooked noodles were cooked, increased L^* values, decreased a^* and b^* values, decreased hardness, and comparable springiness and cohesiveness to fresh noodles were observed. Sensory testing revealed that

*Corresponding Author, E-mail: korawit.sa@dtc.ac.th

Received: date: 12 March 2025 | Revised date: 19 June 2025 | Accepted date: 8 August 2025

doi: 10.14456/kkuscij.2025.33

the boiling method resulted in the same liking score as fresh noodles in all characteristics ($p \geq 0.05$). Therefore, the boiling method was selected for pre-cooking the starch, in preparation for its use in the production of dried noodles.

คำสำคัญ: บะหมี่ บะหมี่อบแห้ง การทำให้สุกก่อน การอบแห้ง คุณภาพของบะหมี่

Keywords: Noodles, Dried Noodle, Pre-cooking, Drying, Noodles Quality

บทนำ

บะหมี่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชีย รวมถึงประเทศไทย โดยมีต้นกำเนิดจากประเทศจีนและแพร่ขยายผ่านวัฒนธรรมการบริโภคอาหาร (สุทธิณีและคณะ, 2563) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2548) ให้นิยามบะหมี่ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเส้น ทำจากแป้งสาลีหรือแป้งชนิดอื่น ๆ ผ่านกระบวนการนวด รีด และตัดตามขนาดที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่แพร่หลายคือบะหมี่อบแห้ง ซึ่งนิยมผลิตในรูปแบบกึ่งสำเร็จรูป โดยผ่านการทำให้สุกบางส่วน (pre-cooking) แล้วนำไปอบแห้งให้มีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 8 - 12 จะทำให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Crosbie and Ross, 2016) ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่มีการทำสุกบางส่วนนั้น คือ บะหมี่ฮ็อกเกี้ยน (Hokkien noodles) ซึ่งเป็นบะหมี่ที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วนโดยการลวกหรือต้มในน้ำเดือด จากนั้นทำการล้างเพื่อลดความเหนียวและทำให้เย็นลง บางกระบวนการอาจเป่าลมเย็น และพรมน้ำมันบาง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นติดกัน บะหมี่ฮ็อกเกี้ยนจัดอยู่ในกลุ่มบะหมี่ด่าง (alkaline noodles) โดยใช้แป้งสาลีที่ผสมกับสารละลายด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีผลต่อคุณลักษณะของเส้น ทำให้เส้นมีความยืดหยุ่น เหนียว นุ่มลื่น และมีสีเหลือง (Hou, 2020)

อย่างไรก็ตาม บะหมี่อบแห้งที่ไม่ผ่านการทำให้สุกก่อนมักมีข้อจำกัดด้านความสะดวกในการบริโภค โดยต้องใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำและต้มที่ค่อนข้างนานก่อนบริโภค ซึ่งส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในเชิงพาณิชย์ที่ใช้เวลาในการคั้นรูปสั้นกว่า ด้วยเหตุนี้ การเตรียมเส้นบะหมี่ก่อนอบแห้งด้วยวิธีการทำให้สุกบางส่วน (pre-cooking) จึงเป็นทางเลือกที่สำคัญเพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่อบแห้ง และเพิ่มความสะดวกในการบริโภค โดยกระบวนการทำให้สุกก่อน เช่น การต้มและการนึ่ง จะส่งผลต่อโครงสร้างแป้งในเส้นบะหมี่ผ่านกระบวนการเจลลิตไนเซชัน (gelatinization) ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค (Pongpichaiudom and Songsermpong, 2018; อรุณา, 2562; รสพร, 2562) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบผลของกระบวนการทำให้สุกบางส่วน (pre-cooking) ด้วยวิธีการต้มและนึ่ง ก่อนการอบแห้งต่อคุณภาพของเส้นบะหมี่อบแห้ง ทั้งในด้านสมบัติทางเคมีกายภาพ ระยะเวลาในการคั้นรูปหลังปรุง และการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่อบแห้งที่ใช้เวลาปรุงสั้นลง มีคุณภาพที่ดี รวมถึงตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในด้านความสะดวกและสุขภาพ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาสูตรพื้นฐานของบะหมี่

คัดเลือกสูตรพื้นฐานของบะหมี่จากงานวิจัยของกุลยาและคณะ (2559) วิทยาลัยดุสิตธานี (2565) และ สุทธิณีและคณะ (2563) ตามลำดับ โดยมีการดัดแปลงสูตรแสดงดังตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตบะหมี่ เริ่มจากร่อนของแห้ง (แป้งสาลี อเนกประสงค์ แป้งดัดแปร เกลือป่น และโซเดียมคาร์บอเนต) 2 รอบ ใส่ในโถตี จากนั้นเตรียมของเหลว (ไข่ไก่ น้ำเปล่า และน้ำมันพืช) ค่อย ๆ ริมผสมกับของแห้ง ในเครื่องผสมกับหัวตีตะขอ (Kitchen Aid, Heavy Duty, USA) ความเร็วต่ำ (เบอร์ 1) เป็นเวลา 2 นาที ปรับความเร็วเพิ่มขึ้นที่ระดับปานกลาง (เบอร์ 4) เป็นเวลา 5 นาที นวดให้เหนียวดี หุ้มด้วยพลาสติกห่ออาหาร พักก่อนแบ่งประมาณ 30 นาที นำแบ่งแบ่งก้อนละ 100 กรัม เข้าเครื่องรีดเส้นพาสต้า (Imperia, Restaurant 010, Italy)

ความหนา 1.5 มิลลิเมตร และตัดเส้นบะหมี่ด้วยชุดตัดเส้นให้มีความกว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร คลุกแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย จากนั้นนำบะหมี่ที่ได้ทั้ง 3 สูตร ต้มให้สุกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที แล้วทำให้เย็นโดยการแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที สะเด็ดน้ำ 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างบะหมี่ที่ผลิตได้ทั้ง 3 สูตร มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 - point Hedonic Scale) ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ให้คะแนน 1 - 9 (คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด และ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) เพื่อคัดเลือกสูตรพื้นฐานที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดมาใช้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของสูตรพื้นฐานบะหมี่

ส่วนผสม	สูตรพื้นฐานบะหมี่ (ร้อยละ)		
	1	2	3
แป้งสาลีเอนกประสงค์	65.79	57.97	63.45
ไข่ไก่	-	28.99	25.38
น้ำเปล่า	32.89	5.80	6.09
แป้งดัดแปร (MR-108)	-	-	2.79
เกลือป่น	0.66	1.45	1.27
โซเดียมคาร์บอเนต	0.66	-	1.02
น้ำมันพืช	-	5.80	-

หมายเหตุ: สูตรที่ 1 กุลยาและคณะ (2559) สูตรที่ 2 วิทยาลัยดุสิตธานี (2565) และ สูตรที่ 3 สุทธิณีและคณะ (2563)

2. การศึกษาวิธีการเตรียมบะหมี่และการอบแห้ง

2.1 การเตรียมบะหมี่ (pre-gelatinization)

นำสูตรบะหมี่ที่ได้คะแนนสูงสุดในทุกด้านมาเตรียมเส้นบะหมี่ก่อนอบแห้ง โดยเตรียมตัวอย่าง 3 วิธี ดังนี้

1) ไม่ผ่านความร้อน (unheated) นำบะหมี่เส้นสดน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ในพิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 4×4 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร แล้ววางบนตะแกรงรองด้วยแผ่นซิลิโคนตาข่าย (silicone mat)

2) การนึ่ง (steaming) นำบะหมี่เส้นสดน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ในพิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 4×4 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร บนแผ่นซิลิโคนตาข่าย จากนั้นนึ่งที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที จากนั้นพลิกกลับด้านบะหมี่นึ่งต่ออีก 10 นาที เพื่อให้สัมผัสไอน้ำอย่างสม่ำเสมอทั้ง 2 ด้าน วางบะหมี่บนตะแกรงรองด้วยแผ่นซิลิโคนตาข่าย (กุลยาและคณะ, 2559)

3) การต้ม (boiling) นำบะหมี่เส้นสดน้ำหนัก 200 กรัม ต้มกับน้ำ 2 ลิตร อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที แล้วทำให้เย็นโดยการแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที สะเด็ดน้ำ 1 นาที ชั่งน้ำหนักบะหมี่หลังต้มก่อนละ 100 กรัม ใส่ในพิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 4×4 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร แล้ววางบนตะแกรงรองด้วยแผ่นซิลิโคนตาข่าย (สุทธิณีและคณะ, 2563)

2.2 การอบแห้ง (dehydration)

นำบะหมี่ที่ได้ (ข้อ 2.1) ไปอบแห้งในเครื่องอบแห้ง (food dehydrator, Takion, China) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (สุทธิณีและคณะ, 2563) จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความชื้น a_w pH สี และเนื้อสัมผัสของบะหมี่ รวมถึงทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

3. การศึกษาคุณภาพของบะหมี่หลังปรุงสุก

3.1 เวลาในการปรุงสุก (cooking time)

นำตัวอย่างบะหมี่อบแห้ง 25 กรัม ต้มในน้ำเดือดปริมาตร 300 มิลลิลิตร ต้มบนเตาที่ให้ความร้อนสม่ำเสมอ ระหว่างการต้มคนให้เส้นบะหมี่กระจายตัว พร้อมจับเวลา สุ่มตัวอย่างเส้นบะหมี่ระหว่างการต้มทุก ๆ 30 วินาที (AACC, 2000) นำเส้นบะหมี่มาทอดด้วยแผ่นกระดาษซับ 2 แผ่น สังเกตแกนกลางของเส้นบะหมี่ให้บริเวณแกนกลางหายไป กำหนดให้เป็นเวลาในการต้มที่เหมาะสม (Lubowa *et al.*, 2021)

3.2 ร้อยละของผลผลิตหลังปรุงสุก (cooking yield)

นำตัวอย่างบะหมี่อบแห้ง 25 กรัม ต้มในน้ำเดือดปริมาตร 300 มิลลิลิตร ในปิกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตรตามเวลาที่เหมาะสม จากนั้นนำบะหมี่มาล้างด้วยน้ำอุณหภูมิห้องปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำมาวางบนกระดาษซับให้สะเด็ดน้ำนาน 1 นาที ชั่งน้ำหนักของบะหมี่ที่ได้หลังการต้ม (Tan *et al.*, 2016) คำนวณน้ำหนักที่ได้หลังการปรุงสุก ดังสมการที่ (1)

$$\text{cooking yield} = \frac{W1}{W2} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม

$W2$ = น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม

3.3 น้ำหนักที่สูญเสียไปหลังปรุงสุก (cooking loss)

นำน้ำต้มบะหมี่และน้ำหลังแช่บะหมี่ที่ได้จากข้อ 3.2 ใส่ปิกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไประเหยน้ำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Binder, FD 115, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักปิกเกอร์คงที่ จากนั้นนำปิกเกอร์มาชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ เพื่อคำนวณปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Guan *et al.*, 2020) คำนวณปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการปรุงสุก ดังสมการที่ (2)

$$\text{cooking loss} = \frac{W(s)}{W2} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ $W(s)$ = น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่

$W2$ = น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม

3.4 อัตราการดูดน้ำ (water absorption)

นำตัวอย่างบะหมี่อบแห้ง 25 กรัม ต้มในน้ำเดือดปริมาตร 300 มิลลิลิตร ต้มบะหมี่ตามเวลาที่เหมาะสมแล้วแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 30 วินาที เพื่อลดอุณหภูมิของบะหมี่ ต่อจากนั้นนำมาวางบนกระดาษซับให้สะเด็ดน้ำนาน 1 นาที ชั่งน้ำหนักของบะหมี่ที่ได้หลังการต้มเพื่อคำนวณค่าการดูดน้ำของบะหมี่อบแห้ง (Lubowa *et al.*, 2021) คำนวณอัตราการดูดน้ำ ดังสมการที่ (3)

$$\text{water absorption} = \frac{W1-W2}{W2} \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม

$W2$ = น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม

4. การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของบะหมี่

นำตัวอย่างบะหมี่วิเคราะห์สมบัติเคมีกายภาพ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

โดยใช้วิธีของ AOAC (2016) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ในภาชนะที่อบแห้งแล้ว (น้ำหนักคงที่) นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Binder, FD 115, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่เหลือ ทำการทดลองตัวอย่างละ 5 ซ้ำ นำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่าง

4.2 การวิเคราะห์ค่า a_w

โดยใช้เครื่อง a_w meter (RS-232, AQUA Lab, USA) วัดจำนวน 5 ซ้ำ บันทึกและหาค่าเฉลี่ยค่า a_w

4.3 การวิเคราะห์ค่า pH

โดยใช้เครื่อง pH meter (Denver Instrumental, Ultrabasic, USA) ชั่งตัวอย่างบะหมี่ปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร แช่ไว้ 20 นาที ทำการโฮมจีไนซ์ด้วยเครื่องโฮมจีไนเซอร์ (IKA, T18basic, Germany) ความเร็วระดับ 1 นาน 1 นาที และวัดค่า pH วิเคราะห์จำนวน 5 ซ้ำ (Xiong *et al.*, 2021)

4.4 การวิเคราะห์ค่าสี วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab, Color Flex, USA) รายงานค่าสีตามระบบ Hunter ค่าที่ปรากฏมีทั้งหมด 3 ค่า คือ ค่าสี L^* (ค่าความสว่างมีค่าเท่ากับ 0-100 โดยค่า 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว) ค่าสี a^* (ค่า + คือสีแดง และ ค่า - คือสีเขียว) และ b^* (ค่า + คือสีเหลือง และ ค่า - คือสีน้ำเงิน) วิเคราะห์จำนวน 5 ซ้ำ และบันทึกค่า L^* a^* และ b^*

4.5 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT Plus texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) โดยวัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) โดยใช้หัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) โดยตั้งค่า Load cell เท่ากับ 5 กิโลกรัม ความเร็วของหัววัดก่อนทดลอง (pre-test speed) เท่ากับ 3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดขณะทดลอง (test speed) เท่ากับ 3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดลอง (post-test speed) เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะยัดของตัวอย่าง (distance) เท่ากับ 50.0 มิลลิเมตร โดยเตรียมเส้นบะหมี่ต้มสุกที่มีความยาว 20 เซนติเมตร นำมาพันกับหัววัดด้านบนและด้านล่าง ด้านละ 3 รอบ (สุทธิณีและคณะ, 2563) ร่วมกับการวัดด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) โดยใช้หัววัด P/35 โดยกำหนด Load cell เท่ากับ 5 กิโลกรัม ความเร็วของหัววัดก่อนทดลอง (pre-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดขณะทดลอง (test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดลอง (post-test speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะทางที่หัววัดกดลงบนตัวอย่าง (distance) เท่ากับร้อยละ 90 ของเส้น รายงานค่าความแข็ง (hardness) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (adhesiveness) ค่าความแน่นเนื้อ (cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดยเตรียมเส้นบะหมี่ต้มสุกที่มีความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 5 เส้น จากนั้นวางเส้นบะหมี่เรียงชิดติดกันกึ่งกลางบนฐานที่ทำจากกระดาษร่อนขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ติดเทปกาวที่ฐานวัดเนื้อสัมผัส เมื่อหัววัดกดลงมาเส้นจะได้ไม่เคลื่อนย้าย ซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที (กุลยาและคณะ, 2559) หลังจากการต้มทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

5. การประเมินทางประสาทสัมผัส

การเตรียมตัวอย่างบะหมี่เพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส นำบะหมี่ต้มในน้ำเดือดตามเวลาที่เหมาะสมในการต้ม จากนั้นนำบะหมี่จำนวน 20 กรัม ใส่ในถ้วยพลาสติกใส แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 - point Hedonic Scale) ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ให้คะแนน 1 - 9 (คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบจะทดสอบตัวอย่างทีละ 1 ตัวอย่าง ระหว่างการทดสอบให้ผู้ทดสอบดื่มน้ำล้างปากก่อนการทดสอบตัวอย่างถัดไป

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบจะได้รับทราบส่วนผสมและข้อมูลที่อาจส่งผลต่อสุขภาพก่อนการทดสอบ (ไพโรจน์, 2561) โดยมีเอกสารให้การยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละท่าน เพื่อลดความเสี่ยงต่อการแพ้อาหารจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต และผู้วิจัยจะยุติการทดสอบทันที เมื่อผู้ทดสอบมีอาการแพ้จากอาหารดังกล่าว ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยรังสิต COA. No. RSUERB2024-121

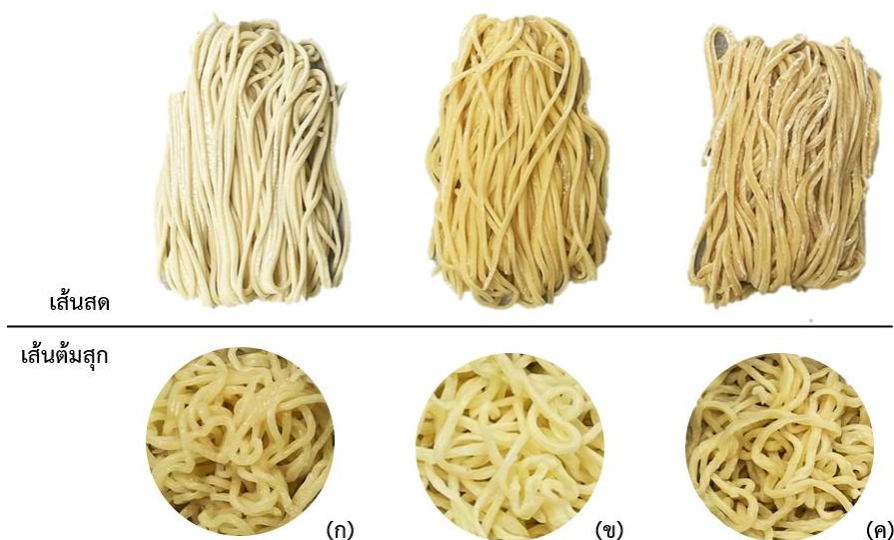
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพตามแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) และวิเคราะห์คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสตามแผน Randomized complete block design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS (SPSS 26.0, SPSS Inc., Chicago, USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลของการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของบะหมี่

ลักษณะปรากฏของบะหมี่เส้นสดทั้ง 3 สูตร พบว่า บะหมี่สูตร 1 มีสีขาวนวล ขณะที่สูตร 2 และ 3 มีสีเหลืองอ่อน-เข้ม ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 เมื่อนำเส้นบะหมี่ไปต้มสุกเป็นเวลา 2 นาที พบว่า บะหมี่สูตรที่ 1 มีสีเหลืองขึ้น อาจเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำมาก และพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เรียกว่า การเกิดเจลลาตินไนเซชัน (gelatinization) ของแป้ง และอาจเกิดการย่อยสลายของรงควัตถุที่ให้สีของแป้ง (ฟลาโวน) กับต่าง จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีได้ (Oyim *et al.*, 2022) อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีก็มีฟอสโฟลูปอลออกซิเดส สารประกอบฟีนอลิกและเม็ดสีเหลืองตามธรรมชาติที่สูง เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ซานโทฟิลล์ (xanthophyll) และฟลาโวน (flavone) (พรรัตน์และคณะ, 2561; Asenstorfer *et al.*, 2006)



รูปที่ 1 ลักษณะของบะหมี่ (สูตรพื้นฐาน); สูตร 1 (ก) สูตร 2 (ข) และ สูตร 3 (ค)

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนแบ่งสาส์ในสูตรที่ 1 มีสัดส่วนมากที่สุด จึงทำให้เส้นมีเนื้อสัมผัสยืดหยุ่นจากกลูเตน เมื่อปริมาณแบ่งสาส์สูงจะมีปริมาณโปรตีนที่สูง จึงมีแนวโน้มที่ทำให้เบะหมี่มีความแน่นและยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสที่ดี (พรรรัตน์และคณะ, 2561) รวมถึงอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างโปรตีนในแบ่งสาส์หรือกลูเตนกับโซเดียมคาร์บอเนต ในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นด่างสูงและอุณหภูมิที่ร้อนที่ใช้ต้มเส้นเบะหมี่ จึงเป็นปัจจัยเร่งให้โปรตีนเสื่อมสภาพมากขึ้น (Li *et al.*, 2018) ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเบะหมี่ทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 2) มีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.00 - 8.17 จัดอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุด เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบร่วมกับความคิดเห็นของผู้ทดสอบ พบว่า คะแนนความชอบของสูตรที่ 1 มีค่าสูงที่สุดในทุกคุณลักษณะ และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกเบะหมี่สูตร 1 เป็นสูตรพื้นฐานในการศึกษาการอบแห้งของเบะหมี่ต่อไป

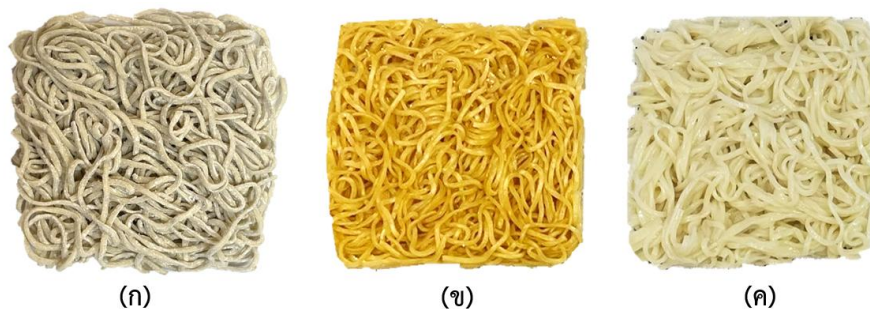
ตารางที่ 2 ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเบะหมี่ (สูตรมาตรฐาน)

คุณลักษณะ	เบะหมี่ (คัดเลือกสูตรมาตรฐาน)		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ลักษณะปรากฏ	7.43 ± 1.01^a	6.67 ± 1.09^b	6.13 ± 0.82^c
สี	7.80 ± 0.89^a	6.83 ± 0.91^b	6.03 ± 0.93^c
กลิ่น	7.93 ± 1.08^a	6.33 ± 1.09^b	6.00 ± 0.98^b
รสชาติ	8.03 ± 1.10^a	6.57 ± 0.90^b	6.16 ± 1.15^b
เนื้อสัมผัส	8.07 ± 0.87^a	6.40 ± 1.38^b	6.03 ± 0.96^b
ความชอบโดยรวม	8.17 ± 0.83^a	6.53 ± 1.04^b	6.33 ± 0.96^b

หมายเหตุ: ^{a, b, c} หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) $n = 50$

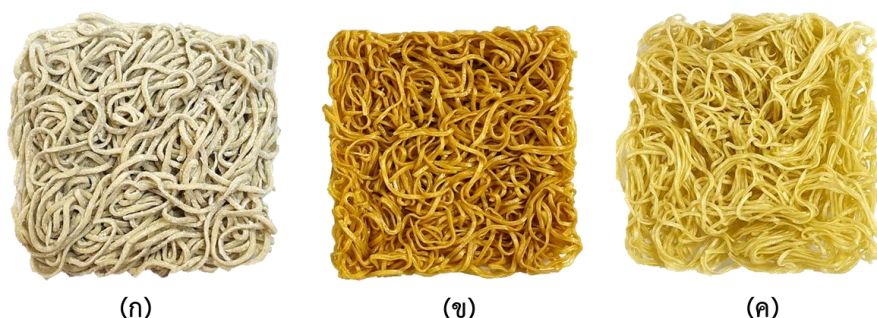
2. ผลของวิธีการเตรียมเบะหมี่และการอบแห้ง

ลักษณะปรากฏของเส้นเบะหมี่สูตรที่ 1 หลังจากการเตรียมตัวอย่างเบะหมี่ทั้ง 3 วิธีการ แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า เบะหมี่ที่ผ่านวิธีการหนึ่ง (รูปที่ 2 ข) มีสีเหลืองเข้ม เกาะติดกันแน่น เส้นมีลักษณะสุกไม่สมบูรณ์ สาเหตุที่เบะหมี่มีสีเข้มอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่สามารถเกิดขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิที่ 80 - 90 องศาเซลเซียส (Feillet *et al.*, 2000) ระหว่างนี้ ขณะที่เบะหมี่ที่ผ่านวิธีการต้ม (รูปที่ 2 ค) มีสีขาวนวล เส้นนุ่ม มีการกระจายตัวดี อาจจะเป็นผลมาจากวิธีการต้ม จึงทำให้แบ่งในเส้นเบะหมี่ดูนุ่ม และเกิดการละลายน้ำของเบะหมี่เพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างที่ลดลง โมเลกุลของโมเลกุลบางส่วนจึงถูกชะล้างออกไป รวมถึงขั้นตอนการล้างเจลดด้วยน้ำเย็นจัด จึงทำให้แบ่งเกิดการคืนตัวของเส้น (retrogradation) จึงทำให้สีอ่อนลงและกระจายตัวดี (Ma *et al.*, 2022) ในการต้มเส้นเบะหมี่ในน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 ± 2 องศาเซลเซียส ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญภายใต้อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส และในสภาวะแห้ง หรือมีความชื้นต่ำ ดังนั้นวิธีการต้มเส้นเบะหมี่จึงไม่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เพราะการต้มมีความชื้นสูง และอุณหภูมิไม่เพียงพอ (Sikorski *et al.*, 2008; Coultate, 2023)



รูปที่ 2 ลักษณะบะหมี่หลังเตรียมก่อนอบแห้ง; ไม่ผ่านความร้อน (ก) วิธีการนึ่ง (ข) และวิธีการต้ม (ค)

เมื่อนำบะหมี่ทั้ง 3 วิธีการไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะปรากฏของบะหมี่ที่ผ่านวิธีการทั้ง 3 มีลักษณะที่ต่างกันอย่างชัดเจน คือ วิธีการนึ่ง (รูปที่ 3 ข) มีการเปลี่ยนแปลงสีที่เข้มขึ้น ขึ้นบะหมี่มีการเรียงตัวที่แน่นขึ้น และแข็ง ไม่เปราะง่าย ส่วนวิธีการต้ม (รูปที่ 3 ค) มีสีเหลืองเข้มขึ้น เส้นขุ่นทึบ มีน้ำหนักรับ และเปราะเล็กน้อย ขณะที่บะหมี่ที่ไม่ผ่านความร้อน (รูปที่ 3 ก) มีสีที่สว่างขึ้น และมีความเปราะมากที่สุด



รูปที่ 3 ลักษณะบะหมี่อบแห้ง; ไม่ผ่านความร้อน (ก) วิธีการนึ่ง (ข) และวิธีการต้ม (ค)

ในกระบวนการผลิตบะหมี่อบแห้งที่มีการทำให้เส้นสุกบางส่วนก่อน พบว่า วิธีการให้ความร้อนมีผลต่อโครงสร้างและลักษณะภายนอกของเส้นบะหมี่อย่างชัดเจน เนื่องจากบะหมี่ที่ผ่านวิธีการนึ่งมีลักษณะเส้นที่เรียงตัวกันแน่นและติดกันมากกว่าที่ผ่านการต้ม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเกิดเจลลิตินในเซชันบางส่วน (partial gelatinization) บริเวณผิวของเส้นในระหว่างการนึ่ง ทำให้ผิวของเส้นมีลักษณะเหนียวและเกิดการยึดเกาะกันมากขึ้นในขณะบรรจุลงพิมพ์ (Zou *et al.*, 2021) เมื่อเส้นที่ผ่านการนึ่งถูกนำไปอบแห้งโดยไม่มีการแยกหรือกระจายเส้นก่อน องค์ประกอบของเจลที่เกิดขึ้นบริเวณผิวจึงคงอยู่และทำให้เส้นบะหมี่มีลักษณะชิดติดกันแน่นภายหลังจากอบแห้ง ในทางตรงกันข้าม เส้นบะหมี่ที่ผ่านการต้มจะถูกกระจายตัวและบรรจุลงในพิมพ์ใหม่หลังจากต้มและสะเด็ดน้ำแล้ว ส่งผลให้เกิดการเกาะตัวของเส้นน้อยกว่า สำหรับบะหมี่เส้นสด (ไม่ผ่านวิธีการทำให้แป้งสุกก่อน) มักมีการใช้แป้งมันสำปะหลังหรือแป้งวอลคูลูกเคล้าเส้นในระหว่างการผลิต เพื่อป้องกันการเกาะติดกันของเส้นก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง จากการศึกษาของ Zhang *et al.* (2020) รายงานว่า อุณหภูมิในการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่อบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ การอบแห้งบะหมี่เส้นสดโดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิต่ำ เช่น การตากลมหรือตากแดด หรืออบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 30 - 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ช่วยให้ความชื้นระเหยออกอย่างช้า ๆ โดยไม่สร้างความร้อนสูงจนทำให้เส้นแข็งหรือเปราะ เมื่อความชื้นลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป กระบวนการนี้จะช่วยรักษาโครงสร้างของแป้งและโปรตีนภายในเส้นให้คงรูป ทำให้เส้นบะหมี่มีความยืดหยุ่น ความเหนียว และทนต่อการแตกหักได้ดีกว่าการอบด้วยอุณหภูมิสูง (Li *et al.*, 2017)

3. ผลของคุณภาพของบะหมี่หลังการปรุงสุก

จากการประเมินคุณภาพของบะหมี่หลังปรุงสุกทั้ง 3 ตัวอย่างเทียบกับเส้นสดได้ผลการประเมินดังตารางที่ 3 และลักษณะของบะหมี่หลังปรุงสุกแสดงดังรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ผลของการประเมินคุณภาพของบะหมี่หลังปรุงสุกของบะหมี่อบแห้ง

คุณภาพของเส้น	วิธีการเตรียมบะหมี่			เส้นสด
	ไม่ผ่านความร้อน	วิธีการนึ่ง	วิธีการต้ม	
เวลาในการปรุงสุก (นาท)	9.50	17.50	8.00	2.00
ร้อยละของผลผลิตหลังปรุงสุก (ร้อยละ)	356.42 ± 23.38 ^b	445.28 ± 15.29 ^a	436.01 ± 18.93 ^a	208.01 ± 2.10 ^c
น้ำหนักที่สูญเสียไปหลังปรุงสุก (ร้อยละ)	11.36 ± 0.38 ^b	9.56 ± 0.36 ^c	5.36 ± 0.42 ^d	13.98 ± 1.07 ^a
อัตราการดูดน้ำ (ร้อยละ)	255.67 ± 15.31 ^b	348.58 ± 19.49 ^a	328.50 ± 18.99 ^a	108.01 ± 2.10 ^c

หมายเหตุ: a, b, ... หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) $n = 3$



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4 ลักษณะบะหมี่อบแห้งหลังปรุงสุก; ไม่ผ่านความร้อน (ก) วิธีการนึ่ง (ข) และวิธีการต้ม (ค)

ลักษณะบะหมี่อบแห้งของทุกตัวอย่างหลังปรุงสุกมีขนาดเส้นที่ใหญ่ขึ้น สีอ่อนลงเมื่อเทียบกับเส้นอบแห้ง บะหมี่ที่ได้รับความร้อนขึ้น (moist cooking method) จะทำให้แป้งดูดน้ำและพองตัว ช่วงแรกของการปรุงสุกเส้นบะหมี่จะเรียงตัวอัดแน่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการนึ่ง เนื่องจากวิธีการนึ่งส่งผลให้เส้นบะหมี่มีการเรียงตัวอัดแน่นตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมเส้น จึงทำให้เวลาที่ใช้ในการปรุงสุกนานถึง 17.50 นาที อาจเกิดจากการส่งผ่านความร้อนและดูดซับไอน้ำในขั้นตอนการนึ่ง บะหมี่ ทำให้เส้นบะหมี่สุกไม่ทั่วถึง ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของสุทธิณีและคณะ (2563) ที่รายงานว่า บะหมี่ที่ถูกทำให้สุกก่อนที่ร้อยละ 75 ใช้ระยะเวลาในการต้มมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ที่ถูกทำให้สุกก่อนร้อยละ 25 ทั้งนี้เนื่องจากการสุกบางส่วนของการแป้งมีผลต่อการส่งผ่านความร้อนที่ไม่ทั่วถึงในระหว่างการต้ม เนื่องจากแป้งที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันโครงสร้างจะเรียงตัวกันและขัดขวางการนำความร้อนเข้าสู่เส้นบะหมี่ ดังนั้นบะหมี่ที่ผ่านวิธีการนึ่งสุกที่ไม่สมบูรณ์จึงใช้ระยะเวลาในการปรุงสุกนานที่สุด รสพร (2562) กล่าวว่า การต้มทำให้เกิดกระบวนการเกิดเจลลาตินในเซชันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเม็ดแป้ง (starch granule) สามารถดูดน้ำได้อย่างเต็มที่ ส่วนการนึ่งทำให้เกิดกระบวนการเกิดเจลลาตินในเซชันอย่างสมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งที่มากกว่า รวมถึงอัตราส่วนของแป้งและน้ำในสารละลายแป้งด้วย ดังนั้นหากต้องการลดระยะเวลาในการปรุงสุกของบะหมี่วิธีการนึ่ง จึงควรนึ่งบะหมี่ให้นานขึ้นเพื่อให้แป้งสุกอย่างสมบูรณ์ก่อน ขณะที่เวลาของบะหมี่ที่ไม่ผ่านความร้อนและวิธีการต้มใช้เวลาเพียง 9.50 และ 8.00 นาที ตามลำดับ ถือว่าใช้เวลาน้อยกว่าเป็น 2 เท่า ขณะเดียวกันบะหมี่เส้นสดใช้เวลาต้มสุกเพียง 2 นาที เวลาในการปรุงสุกที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้ง หากระดับเจลลาตินในเซชันที่สูงจะเป็นการช่วยในการคืนสภาพบะหมี่อบแห้งได้อย่างรวดเร็ว (Pongpichaiudom and Songsermpong, 2018) เมื่อพิจารณาบะหมี่อบแห้งทั้ง 3 ตัวอย่างทำให้สรุปได้ว่า บะหมี่วิธีการต้มมีอัตราการดูดน้ำกลับสูงที่สุดและทำให้เส้นสุกในระยะเวลาที่สั้นเพียง 8 นาที

ร้อยละของผลผลิตหลังปรุงสุก (cooking yield) ของตัวอย่างบะหมี่อบแห้งทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 356.42 - 469.41 น้ำหนักหลังต้มถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกคุณภาพของบะหมี่ เพราะน้ำหนักหลังต้มสามารถใช้เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงอัตราการคืนสภาพของบะหมี่ หากเส้นบะหมี่มีคุณสมบัติการคืนสภาพ (rehydration rate) สูง จะช่วยเพิ่มน้ำหนักหลังการปรุงสุก และลดการสูญเสียปริมาณของแข็งได้ (สุทธิณีและคณะ, 2563) โดยทั่วไปเส้นบะหมี่ที่มีคุณภาพดีจะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียปริมาณของแข็งที่ต่ำและอัตราการดูดน้ำที่สูง (Liu *et al.*, 2019) โดยชนิดและประเภทของแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูงจะสามารถช่วยเพิ่มร้อยละของผลผลิตหลังปรุงสุกได้ ทั้งนี้การกระจายของขนาดอนุภาคในแป้งสาลีจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติการพองตัว การเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งด้วย (พรรัตน์และคณะ, 2561)

น้ำหนักที่สูญเสียไปหลังปรุงสุก (cooking loss) พบว่า บะหมี่เส้นสดมีร้อยละการสูญเสียปริมาณของแข็งมากที่สุดแสดงดังตารางที่ 3 ในการทดลองผู้วิจัยไม่ได้ล้างแป้งนวลออกจากบะหมี่เส้นสดและเส้นไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนนำไปอบแห้ง ดังนั้นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังปรุงสุกจึงนับว่าเป็นน้ำหนักที่แท้จริงของเส้น เพราะในการผลิตเส้นบะหมี่มักมีการโรยแป้งนวลเพื่อป้องกันการเกาะติดของเส้นอยู่แล้ว ดังนั้นแป้งนวลจึงปะปนอยู่ในน้ำด้วยเช่นกัน การสูญเสียจากการปรุงสุกหมายถึงปริมาณของแข็งทั้งหมดในบะหมี่ปรุงสุก ซึ่งอาจเกิดจากการชะล้างของอะไมโลสและการละลายของโปรตีนบางชนิดที่ละลายน้ำได้ของเส้นบะหมี่ เมื่อให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 - 5 นาที (Pongpichaiudom and Songsermpong, 2018) โดยการสูญเสียปริมาณของแข็งไม่ควรเกินร้อยละ 10 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ยอมรับได้สำหรับผลิตภัณฑ์บะหมี่ (Tan *et al.*, 2009) ซึ่งผลการทดลองในครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Gatade and Sahoo (2015) รายงานว่าการนึ่งบะหมี่เป็นเวลา 10 นาทีก่อนการอบแห้ง จะช่วยลดปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ที่ไม่ผ่านการนึ่ง การสูญเสียปริมาณของแข็งของบะหมี่ขณะปรุงสุกมีความเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกลูเตนและสมบัติของแป้ง เช่น ชนิดของแป้ง ขนาดของอนุภาคแป้ง เป็นต้น ในระหว่างการปรุงสุกเส้นบะหมี่ ส่วนใหญ่จะสูญเสียอนุภาคแป้งจากโครงสร้างเครือข่ายกลูเตนได้ง่าย (Guan *et al.*, 2020) นอกจากนั้นการเสริมแป้งด้วยรำข้าวสาลี ที่อุดมไปด้วยกากใยและโปรตีน (กลูเตน) ส่งผลให้การสูญเสียของแข็งเส้นพาสต้าแห้งจากการปรุงสุกลดลงได้ถึงร้อยละ 7.6 - 9.2 (Song *et al.*, 2013)

อัตราการดูดน้ำ (water absorption) พบว่า บะหมี่อบแห้งทั้ง 3 ตัวอย่างมีอัตราการดูดน้ำสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 255.67 - 348.58 อาจจะเป็นผลมาจากกระบวนการอบแห้งบะหมี่จึงมีความชื้นค่อนข้างต่ำกว่ามาตรฐาน คือความชื้นมาตรฐานของบะหมี่อบแห้งต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) โครงสร้างร่างแหที่มีรูพรุนจะช่วยให้ น้ำซึมเข้าไปในตัวอย่างได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เกิดการคืนสภาพหรือบะหมี่ดูดน้ำอย่างรวดเร็ว (Pongpichaiudom and Songsermpong, 2018) ในทางตรงกันข้ามโครงสร้างที่หนาแน่น (วิธีการนึ่ง) จะลดช่องว่างของการลำเลียงน้ำเข้าสู่ด้านในของก้อนบะหมี่ ในระหว่างการต้มจึงอาจจะต้องใช้เวลาในการต้มสุกที่นานขึ้น (Jang *et al.*, 2016) อัตราการดูดน้ำถือว่าเป็นสิ่งสำคัญต่อการปรุงบะหมี่อบแห้ง หากลดระยะเวลาในการคืนสภาพลงก็จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการรับประทานบะหมี่อบแห้งมากขึ้น

4. ผลของสมบัติทางเคมีกายภาพของบะหมี่

ค่าสีของบะหมี่ทั้ง 4 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง (ค่า L^*) ค่าความเป็นสีแดง (ค่า a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (ค่า b^*) พบว่า เมื่อพิจารณาเส้นอบแห้ง บะหมี่ไม่ผ่านความร้อน มีค่า L^* สูงที่สุด ขณะที่บะหมี่วิธีการนึ่งมีค่า a^* และค่า b^* สูงที่สุด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของบะหมี่ เมื่อได้รับความร้อนขณะนึ่ง (สุทธิณีและคณะ, 2563; กฤติยาและคณะ, 2563) โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส และมีความชื้นของเส้นลดลงถึงร้อยละ 10-15 จะทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นด้วย (Feillet *et al.*, 2000) เมื่อนำบะหมี่อบแห้งไปปรุงสุกตามเวลาที่เหมาะสม พบว่า บะหมี่วิธีการต้มมีค่า L^* สูงที่สุด และบะหมี่วิธีการนึ่งยังคงมีค่า a^* และค่า b^* สูงที่สุด บะหมี่ที่ผ่านวิธีการต้มและการนึ่งที่ปรุงสุกมีค่า a^* และค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4 ในกระบวนการทำแห้งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดต่อคุณภาพ

ของด้านสี่ของผลิตภัณฑ์เส้น สำหรับวิธีการทำแห้งแบบดั้งเดิมนิยมใช้อุณหภูมิต่ำ (29 - 40 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 - 60 ชั่วโมง กระบวนการอบแห้งในระยะเวลาสั้นอุณหภูมิสูง (มากกว่า 40 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อความเข้มของสี (Tamanna and Mahmood, 2015)

ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (tensile strength) พบว่า บะหมี่เส้นสดมีความต้านทานต่อการดึงขาดสูงที่สุด บะหมี่ที่ผ่านการพรีเจลาติไนซ์ด้วยวิธีการนึ่งและต้มมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ขณะที่บะหมี่อบแห้งที่ไม่ผ่านการพรีเจลาติไนซ์ขาดง่ายที่สุด สอดคล้องกับ Cabrera-Chávez *et al.* (2012) ที่รายงานว่าแป้งที่ผ่านการพรีเจลาติไนซ์จะช่วยให้ความแข็งแรงของเส้นพาสต้าและมีความต้านทานต่อการดึงขาด และ Loubes *et al.* (2016) รายงานว่าวิธีการพรีเจลาติไนซ์ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของเส้น เพิ่มความสามารถในการยืดตัว (extensibility) หรือการขยายตัวของเส้นบะหมี่ก่อนที่จะขาด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความยืดหยุ่น อีกทั้งแสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทโด (dough) พาสต้า และเส้นก๋วยเตี๋ยว นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Wang *et al.* (2020) และ Guo *et al.* (2023) ระบุว่า วิธีการนึ่งทำให้โครงสร้างของแป้งและกลูเตนคงตัวได้ดีกว่า เนื่องจากมีการดูดซึมน้ำอย่างช้า ๆ และไม่เกิดการพองตัวมากเกินไป โครงสร้างของกลูเตนหนาแน่นขึ้น ส่งผลต่อการคืนรูป ความแน่นเนื้อและความยืดหยุ่นเส้น ดังนั้นเส้นที่ผ่านวิธีการนึ่งจึงทนการต้านทานต่อการดึงขาดได้ดีกว่า ในขณะที่วิธีการต้มทำให้เส้นบะหมี่ดูดน้ำในปริมาณมากและพองตัว ส่งผลให้โครงสร้างอ่อนตัวลงเมื่อนำไปอบแห้งเส้นที่ผ่านการต้มจะมีเนื้อสัมผัสที่เปราะบางมากกว่า และแตกง่ายขึ้น จึงทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดมีค่าต่ำกว่า (Zou *et al.*, 2021)

ค่าความแข็ง (hardness) บะหมี่วิธีการนึ่งมีค่าสูงที่สุดซึ่งมีความใกล้เคียงกับบะหมี่เส้นสด โดยบะหมี่วิธีการนึ่งมีโครงสร้างแน่นและคืนสภาพช้า เนื่องจากแป้งไม่ได้พรีเจลาติไนซ์เต็มที่ระหว่างการทำ จึงมีโครงสร้างที่ไม่เป็นรูพรุน แต่ก็มีข้อดีคือมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าเมื่อปรุงสุกในน้ำเดือด (Hou *et al.*, 2010) ขณะที่ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ของบะหมี่ที่ไม่ผ่านความร้อนมีค่าต่ำที่สุด โดยบะหมี่ที่ผ่านวิธีการทำให้แป้งสุกทั้ง 2 วิธีการมีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าและค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จากการรายงานของอรอุมา (2562) เส้นบะหมี่ที่มีส่วนผสมของแป้งพรีเจลาติไนซ์จะทำให้ค่าความแข็งและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแป้งพรีเจลาติไนซ์เป็นแป้งที่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากกว่าบริเวณผิวของเส้นบะหมี่และทำให้ผิวของเส้นยึดเกาะติดได้มากขึ้น ขณะที่ค่าความแน่นเนื้อ (cohesiveness) ของบะหมี่ทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 60 องศาเซลเซียสมีอาจจะผลต่อการเพิ่มความแน่นเนื้อ และลดความเหนียวของเส้นลงได้ (Baiano *et al.*, 2006) นอกจากนี้การเติมสารละลายต่าง (โซเดียมคาร์บอเนต) ในบะหมี่จะทำให้แป้งดูดซับน้ำได้ดี จึงทำให้มีความแน่นเนื้อที่มากกว่าบะหมี่ที่ใส่เพียงแคเกลือเท่านั้น (Cato and Li, 2020) สอดคล้องกับการศึกษาของ Li *et al.*, (2018) กล่าวว่า การเชื่อมโยงของโปรตีนในเส้นบะหมี่เกิดจากสารละลายต่าง อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของกลูเตนอีกด้วย

ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของบะหมี่อบแห้งที่ไม่ผ่านวิธีการทำให้แป้งสุกก่อนมีค่าความชื้นและค่า a_w สูงกว่าบะหมี่ที่ผ่านการทำให้แป้งสุกก่อน เนื่องจากบะหมี่ที่ผ่านการทำให้แป้งสุกก่อนทำให้เม็ดแป้งพองตัว โครงสร้างที่มีรูพรุนจะทำให้การระเหยน้ำขณะอบแห้งได้ดีกว่า (สุทธิณีและคณะ, 2563) นอกจากนี้จากนี้จะขึ้นกับคุณสมบัติการอุ้มน้ำของอะไมโลสและโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในแป้งสาลีด้วย (พรรัตน์และคณะ, 2561) จึงส่งผลทำให้บะหมี่วิธีการต้มมีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำที่สุด โดยปริมาณความชื้นของบะหมี่วิธีการนึ่งและการต้มมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของบะหมี่อบแห้งทุกตัวอย่างมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของบะหมี่สำเร็จรูปที่ระบุว่ามีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับสุนันและคณะ (2561) ที่รายงานว่ากระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 130 นาที ทำให้ค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอาหารแห้งที่เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตและสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

จากการศึกษาของ Zou *et al.* (2021) พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการต้มมีสัดส่วนน้ำอิสระ (free water) สูงกว่าการนึ่งหลังจากอบแห้ง เนื่องจากการต้มทำให้เส้นบะหมี่เกิดการเจลาติไนเซชันมากกว่า และการจับน้ำ (water binding) ต่ำกว่าภายใต้ความชื้นที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงช่วยให้น้ำที่รวมอยู่กับอาหาร (bound water) เปลี่ยนเป็นน้ำอิสระได้ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง (ตารางที่ 4) พบว่า บะหมี่ที่ผ่านการนึ่งกลับมีค่า a_w หลังการอบแห้ง สูงกว่าการต้ม ซึ่งไม่สอดคล้องกับ Zou *et al.* (2021) ที่รายงานว่า การต้มจะส่งผลให้เกิดการดูดน้ำมากกว่า และคงเหลือ free water มากกว่า โดยความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความแตกต่างของโครงสร้างเส้นบะหมี่หลังการให้ความร้อน ความแตกต่างของการสูญเสียไอน้ำในกระบวนการอบแห้ง การเสียน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งอุณหภูมิและการกระจายความร้อนระหว่างการอบแห้ง เป็นต้น

ค่า pH ของบะหมี่ทั้ง 4 ตัวอย่างอยู่ในช่วง 8.12 - 8.84 จัดอยู่ในช่วงความเป็นด่าง เนื่องจากในส่วนผสมมีการเติมโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) จึงทำให้บะหมี่อบแห้งมีค่า pH ลดลง เมื่อเทียบกับบะหมี่เส้นสด ค่า pH อาจจะมีแนวโน้มลดลงจากค่า pH เริ่มต้นของส่วนผสม จากการวัดค่า pH น้ำต่างเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 9.3 (ค่าเริ่มต้นที่วัดได้) (Foo *et al.*, 2011) ทั้งนี้ค่า pH ของบะหมี่จากวิธีการต้มมีค่าลดลงอาจเกิดจากการสูญเสียสารละลายต่างไปกับน้ำที่ใช้ลวก (พรรัตน์และคณะ, 2561) ยังมีการศึกษาถึงผลของค่า pH ของเส้นบะหมี่จะแตกต่างกันไปตามประเภทของเส้นบะหมี่ เช่น บะหมี่น้ำเกี๊ยว (pH 6.5 - 7.0) และบะหมี่น้ำต่าง (pH 9.0 - 11.0) ซึ่งระดับอัลคาไลน์ในเส้นบะหมี่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับระดับความเป็นกรด - ด่างของบะหมี่ (Ling, 2010)

ตารางที่ 4 ผลของสมบัติทางเคมีกายภาพของบะหมี่อบแห้ง

สมบัติทางเคมีกายภาพ	วิธีการเตรียมบะหมี่			เส้นสด
	ไม่ผ่านความร้อน	วิธีการนึ่ง	วิธีการต้ม	
ค่าสี (เส้นบะหมี่แห้ง)				
L^*	57.32 ± 1.28^b	41.47 ± 1.16^c	39.79 ± 1.46^d	77.61 ± 0.34^a
a^*	1.24 ± 0.16^c	7.76 ± 0.49^a	0.59 ± 0.15^d	1.62 ± 0.06^b
b^*	15.06 ± 0.64^b	27.45 ± 0.64^a	14.11 ± 0.34^c	13.18 ± 0.67^d
ค่าสี (เส้นบะหมี่ปรุงสุก)				
L^*	77.34 ± 0.23^b	73.31 ± 0.45^c	81.29 ± 0.57^a	71.81 ± 0.56^d
a^*	-2.05 ± 0.12^b	1.47 ± 0.30^a	-2.97 ± 0.10^c	-1.96 ± 0.15^b
b^*	20.06 ± 0.98^b	23.09 ± 1.08^a	13.93 ± 0.63^d	17.78 ± 0.57^c
ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g f)	11.83 ± 0.35^d	17.40 ± 0.29^b	16.50 ± 0.24^c	20.88 ± 0.52^a
ค่าความแข็ง (N)	33.21 ± 2.52^c	71.48 ± 3.25^a	59.71 ± 5.02^b	69.16 ± 6.87^a
ค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้า (g.sec)	-51.23 ± 4.09^a	-129.46 ± 8.60^c	-111.90 ± 7.98^b	-309.41 ± 17.41^d
ค่าความแน่นเนื้อ	0.57 ± 0.02^b	0.57 ± 0.02^b	0.55 ± 0.03^b	0.64 ± 0.01^a
ค่าความยืดหยุ่น	0.47 ± 0.04^b	0.80 ± 0.08^a	0.86 ± 0.05^a	0.81 ± 0.02^a
ค่าความชื้น (ร้อยละ)	7.82 ± 0.09^b	5.73 ± 0.09^c	5.61 ± 0.08^c	27.70 ± 1.07^a
ค่า a_w	0.46 ± 0.00^b	0.39 ± 0.00^c	0.27 ± 0.01^d	0.97 ± 0.01^a
ค่า pH	8.75 ± 0.03^b	8.60 ± 0.02^c	8.12 ± 0.01^d	8.84 ± 0.03^a

หมายเหตุ: ^{a, b, c, d} หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) $n = 5$

5. ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของบะหมี่

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ทั้ง 4 ตัวอย่าง (ตารางที่ 5) พบว่า คะแนนความชอบทุกด้านมีระดับความชอบอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.60 ถึง 7.28 จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยแต่ละคุณลักษณะของบะหมี่วิธีการนึ่งมีค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ขณะที่วิธีการต้มมีคะแนนความชอบที่สูงกว่าบะหมี่วิธีการนึ่งและไม่ผ่านความร้อนการอย่างเห็นได้ชัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บะหมี่วิธีการต้มมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากบะหมี่เส้นสดทุกคุณลักษณะ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่อบแห้ง

คุณลักษณะ	วิธีการเตรียมบะหมี่			เส้นสด
	ไม่ผ่านความร้อน	วิธีการนึ่ง	วิธีการต้ม	
ลักษณะปรากฏ	5.94 ± 1.32^b	6.06 ± 1.42^b	6.68 ± 1.19^a	7.04 ± 0.94^a
สี	6.40 ± 1.49^b	5.80 ± 1.39^c	6.70 ± 1.25^{ab}	7.06 ± 1.07^a
กลิ่น	6.02 ± 1.04^b	5.90 ± 1.42^b	6.72 ± 1.05^a	6.96 ± 1.19^a
รสชาติ	6.26 ± 1.45^{ab}	5.98 ± 1.71^b	6.82 ± 1.35^a	6.72 ± 1.16^a
เนื้อสัมผัส	5.60 ± 1.22^c	6.24 ± 1.55^b	6.86 ± 1.44^a	7.12 ± 1.47^a
ความชอบโดยรวม	6.02 ± 1.68^b	6.04 ± 1.14^b	7.06 ± 1.10^a	7.28 ± 1.51^a

หมายเหตุ: ^{a, b, c...} หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) $n = 50$

สรุปผลการวิจัย

วิธีการทำให้เส้นสุกก่อนกระบวนการอบแห้งส่งผลต่อคุณภาพหลังปรุงสุกของบะหมี่ กล่าวคือ วิธีการต้มสามารถช่วยลดระยะเวลาปรุงสุกเหลือเพียง 8 นาที และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการปรุงสุกต่ำที่สุด น้ำหนักหลังปรุงสุกและอัตราการดูดน้ำมีค่าสูง อีกทั้งบะหมี่อบแห้งจากวิธีการต้มยังมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 5.61 และค่า a_w เท่ากับ 0.27 ถือว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่วิธีการต้มทั้งแบบอบแห้งและหลังปรุงสุก พบว่า บะหมี่วิธีการต้มมีค่า L^* เพิ่มขึ้น ค่า a^* และ b^* ลดลง นอกจากนั้นมีค่าความแข็งลดลง ค่าความยืดหยุ่นและค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างจากบะหมี่สด คะแนนความชอบของบะหมี่วิธีการต้มไม่แตกต่างจากบะหมี่สดทุกคุณลักษณะ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกการทำให้แป้งสุกด้วยวิธีการต้มเพื่อนำไปใช้ผลิตบะหมี่อบแห้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัย วิทยาลัยดุสิตธานี ประจำปีการศึกษา 2566 และช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.ภาสกร กิ่งวัชรพงศ์ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- กฤติยา เชื้อนเพชร, จันทกานต์ แสงเสริมเศรษฐ์, เมธพร ธรรมรัตน์ และศุภวัฑร์ คล้ายแดง. (2563). การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตบะหมี่สำเร็จรูปเสริมโปรตีนและใยอาหาร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 9(5): 711 - 728. doi: 10.14456/tjst.2020.75.
- กุลยา ลีมรุ่งเรืองรัตน์, สมถวิล จริตควร, อโนชา สุขสมบูรณ์ และบงกช วรธนะภูติ. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สำเร็จรูปแบบไม่ทอดเพื่อสุขภาพเสริมสหาย. ใน: รายงานการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี. 23 - 26.

- พรรัตน์ สิ้นชัยพานิช, ศศพินท์ ดิษนิล, นฤมล แหวนทองคำ, ชารรัตน์ ทองชีว และนันทพรพรรณ แก้วทรัพย์. (2561). ผลของชนิดแป้งสาลีต่อคุณลักษณะทางกายภาพของบะหมี่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. ธัญบุรี 8(1): 106 - 115.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2561). การประเมินทางประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 259 - 308.
- รสพร เจียมจรรย์ธรรม. (2562). คาร์โบไฮเดรตในอาหารชนิดและการใช้เป็นส่วนผสมอาหาร. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. หน้า 118 - 119.
- วิทยาลัยดุสิตธานี. (2565). เอกสารประกอบการสอนวิชา ออ3702 อาหารจีน. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยดุสิตธานี. หน้า 34 - 35.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2548). บะหมี่อบแห้ง. มอก. 271-2548. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- สุทธิณี สีสังข์, จารุวรรณ วิชัยพรหม และจันทร์เพ็ญ ชำมิน. (2563). การพัฒนาคุณภาพของบะหมี่ปลาถึงสำเร็จรูปจากปลานิล. ใน: เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2563 กรุงเทพฯ: กรมประมง กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. 9 - 21.
- สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, อารียา ไชยพล และ อภิสิทธิ์ สุขประसार. (2561). ผลของการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวผลิตจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลินึ่งร่วมกับแป้งข้าวผสม. แก่นเกษตร 46(1): 117 - 128.
- อรอุมา เป็เลียนสร. (2562). การปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่ต่างแบบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าโดยการเติมแป้งข้าวพรีเจลาติไนซ์ กวาร์กัมและเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี. 184 หน้า.
- AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). American Association of Cereal Chemists Inc.
- AOAC. (2016). Official Methods of Analysis of International. 20th edition, Benjamin Franklin Station, Washington DC.
- Asenstorfer, R.E., Wang, Y. and Mares, D.J. (2006). Chemical structure of flavonoid compounds in wheat (*Triticum aestivum* L.) flour that contribute to the yellow colour of Asian alkaline noodles. Journal of Cereal Science 43(1): 108 - 119.
- Baiano, A., Conte, A. and Del Nobile, M.A. (2006). Influence of drying temperature on the spaghetti cooking quality. Journal of Food Engineering 76(3): 341 - 347.
- Cato, L. and Li, M. (2020). Functional ingredients in Asian noodle manufacturing. In G.G. Hou (Ed.), Asian noodle manufacturing. (pp. 25 - 42). UK: Woodhead Publishing. doi: 10.1016/B978-0-12-812873-2.00003-0.
- Coultate, T. (2023). Chapter 13 Water. In: Food: The chemistry of its components. (7th ed). UK: Royal Society of Chemistry. 447 - 464.
- Crosbie, G.B. and Ross, A.S. (2016). Noodles: Asian Wheat Flour Noodles, In: Encyclopedia of Food Grains. (2nd ed). UK: Academic Press. 72 - 78.
- Feillet, P., Autran, J.C. and Icard-Verniere, C. (2000). Mini review pasta brownness: An assessment. Journal of Cereal Science 32(3): 215 - 233.
- Foo, W.T., Yew, H.S., Liong, M.T. and Azhar, M.E. (2011). Influence of formulations on textural, mechanical and structural breakdown properties of cooked yellow alkaline noodles. International Food Research Journal 18(4): 1295 - 1301.

- Gatade, A.A. and Sahoo, A.K. (2015). Effect of additives and steaming on quality of air-dried noodles. *Journal of Food Science and Technology* 52(12): 8395 - 8402.
- Guan, E., Pang, J., Yang, Y., Zhang, T., Li, M. and Bian, K. (2020). Effects of wheat flour particle size on physicochemical properties and quality of noodles. *Journal of Food Science* 85(12): 4209 - 4214.
- Guo, X., Gu, F., Li, Y., Zhang, Q., Hu, R., Jiao, B., Wang, F. and Wang, Q. (2023). Precooking treatments affect the sensory and tensile properties of autoclaved recooked noodles via moisture distribution and protein structure. *Food Chemistry* 421: 136218.
- Hou, G.G. (2020). Chapter 1 Introduction to Asian noodles. In: Hou, G.G. (Ed.), *Asian noodle manufacturing: Ingredients, technology, and quality* (pp. 1 - 12). UK: Woodhead Publishing and AACC International Press.
- Hou, G.G., Otsubo, S., Okusu, H. and Shen, L. (2010). Noodle processing technology. In G.G. Hou (Ed.), *Asian Noodles: Science, Technology, and Processing* (pp. 99 - 140) NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Jang, A., Kim, J.Y. and Lee, S. (2016). Rheological, thermal conductivity, and microscopic studies on porous-structured noodles for shortened cooking time. *LWT- Food Science and Technology* 74: 1 - 6.
- Li, M., Ma, M., Zhu, K.X., Guo, X.N. and Zhou, H.M. (2017). Critical conditions accelerating the deterioration of fresh noodles: A study on temperature, pH, water content, and water activity. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(4): e13173.
- Li, T., Guo, X.N., Zhu, K.X. and Zhou, H.M. (2018). Effects of alkali on protein polymerization and textural characteristics of textured wheat protein. *Food Chemistry* 239: 579 - 587.
- Ling, Q. (2010). Packaging of Noodle Products. In G.G. Hou (Ed.), *Asian Noodles: Science, Technology, and Processing* (pp. 155 - 181) NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Liu, S., Li, Y., Obadi, M., Jiang, Y., Chen, Z., Jiang, S. and Xu, B. (2019). Effect of steaming and defatting treatments of oats on the processing and eating quality of noodles with a high oat flour content. *Journal of Cereal Science* 89: 102794.
- Loubes, M.A., Flores, S.K. and Tolaba, M.P. (2016). Effect of formulation on rice noodle quality: Selection of functional ingredients and optimization by mixture design. *LWT-Food Science and Technology* 69: 280 - 286.
- Lubowa, M., Yeoh, S.Y., Varastegan, B. and Easa, A.M. (2021). Effect of pre-gelatinised high-amylose maize starch combined with Ca^{2+} -induced setting of alginate on the physicochemical and sensory properties of rice flour noodles. *International Journal of Food Science & Technology* 56(2): 1021 - 1029.
- Ma, H., Liu, M., Liang, Y., Zheng, X., Sun, L., Dang, W., Li, J., Li, L. and Liu, C. (2022). Research progress on properties of pre-gelatinized starch and its application in wheat flour products. *Grain & Oil Science and Technology* 5(2): 87 - 97.
- Oyim, I.R., Anyango, J.O. and Omwamba, M.N. (2022). Effect of Pre-Gelatinization Conditions on the Total Oxalate Content and Techno-Functional Properties of Taro (*Colocasia esculenta*) Flour. *Food and Nutrition Sciences* 13(6): 511 - 525. doi: 10.4236/fns.2022.136039.

- Pongpichaiudom, A. and Songsermpong, S. (2018). Characterization of frying, microwave-drying, infrared-drying, and hot-air drying on protein-enriched, instant noodle microstructure, and qualities. *Journal of Food Processing and Preservation* 42(3): e13560.
- Sikorski, Z.E., Pokorny, J. and Damodaran, S. (2008). Physical and Chemical Interactions of Components in Food Systems. *Fennema's food chemistry*. CRC Press. 849 - 875.
- Song, X., Zhu, W., Pei, Y., Ai, Z. and Chen, J. (2013). Effects of wheat bran with different colors on the qualities of dry noodles. *Journal of Cereal Science* 58(3): 400 - 407.
- Tamanna, N. and Mahmood, N. (2015). Food processing and maillard reaction products: effect on human health and nutrition. *International Journal of Food Science* 2015(1): 526762.
- Tan, H.Z., Li, Z.G. and Tan, B. (2009). Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International*. 42: 551 - 576.
- Tan, T.C., Phatthanawiboon, T. and Mat Easa, A. (2016). Quality, textural, and sensory properties of yellow alkaline noodles formulated with salted duck egg white. *Journal of Food Quality* 39(4): 342 - 350.
- Wang, Y. H., Zhang, Y. R., Xu, F., and Zhang, Y. L. (2020). Effect of boiling and steaming on the surface tackiness of frozen cooked noodles. *LWT* 130: 109747.
- Xiong, X., Liu, C. and Zheng, X. (2021). Regulation of structure and quality of dried noodles by liquid pre-fermentation. *Foods* 10(10): 2408.
- Zou, S., Wang, L., Wang, A., Zhang, Q., Li, Z. and Qiu, J. (2021). Effect of moisture distribution changes induced by different cooking temperature on cooking quality and texture properties of noodles made from whole Tartary buckwheat. *Foods* 10(11): 2543.

