

การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่ผ่านการสเตอริไลส์ในถุงแพซ

TEXTURAL IMPROVEMENT OF STERILIZED WIDE STRIP RICE NOODLE IN POUCH

อุทัยวรรณ ฉัตรธง และอังสนา ไชยแดง
Utaiwan Chattong and Angsana Chaidaeng

อาจารย์คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
nuwongs@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพซ โดยใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง ดัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (Cross-linked modified tapioca starch; CMS) ร้อยละ 12 14 และ 16 โดยน้ำหนัก และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl) ร้อยละ 0.2 และ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส พบว่า การเติม CMS ร้อยละ 14 และ NaCl ร้อยละ 0.5 เป็นปริมาณที่เหมาะสม การเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสทั้งสองชนิด มีผลให้ความหนืดของน้ำแป้งผสมสูง และการเพิ่มปริมาณ CMS มีผลให้ค่าแรงตัด (cutting force) แรงกดสูงสุด (hardness) และความเหนียวติดกัน (adhesiveness) เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเติม CMS ร้อยละ 14 และ NaCl ร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด การสเตอริไลส์ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพซที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15.42 นาที ($F_0 = 3.82$ นาที) เป็นสภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อการบริโภคและเป็นไปตามมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 301) พ.ศ. 2549

คำสำคัญ

ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ สตาร์ชดัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม เนื้อสัมผัส ถุงแพซ
การสเตอริไลส์

ABSTRACT

The research was to study the suitable types and quantities of the textural modification agents on production of wide strip rice noodle in pouch. The cross-linked modified tapioca starch (CMS) at 12 14 and 16% (w/w) and sodium chloride (NaCl) at 0.2 and 0.5% (w/w) were added in wide strip rice noodle for improving textural property. It was found that the addition of 14% (w/w) CMS and 0.5% (w/w) NaCl were the suitable quantities. The addition of this two agents provided a high viscosity value of mixed paste and textural measurement revealed the high cutting force, hardness and adhesiveness with increasing CMS levels. Nevertheless, the addition of 14% (w/w) CMS and 0.5% (w/w) NaCl gave the highest scores in the terms of color, toughness, softness, flavor and overall acceptance for sensory evaluation. The study on sterilized temperature found that sterilization at 121 °C for 15.42 mins ($F_0 = 3.82$ mins) was the most suitable condition for wide strip rice noodle in pouch. For microbial examination, the result found that this sample was safe and conformed with notification of the Thai Ministry of Public Health (No.301/2549).

Keywords

Wide strip rice noodle, Cross-linked modified starch, Texture, Pouch, Sterilization

บทนำ

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ได้รับความนิยมของชาวเอเชีย และบริโภคอย่างมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Sandhu et al., 2010) การพัฒนาก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคบรรจุในถุงพาส์ เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจในเชิงพาณิชย์และผู้บริโภค นิยมรับประทาน เนื่องจากสะดวกและ หาซื้อได้ง่าย ผลิตภัณฑ์นี้ได้พัฒนาร่วมกับโรงงาน ก๋วยเตี๋ยวนิคม สวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย ในการผลิตอาหารสำเร็จรูปในถุงพาส์ ต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และทำให้เก็บรักษาอาหารได้นานโดยไม่เน่าเสียที่อุณหภูมิห้อง แต่เส้นก๋วยเตี๋ยวหลังผ่านกระบวนการสเตอริไลเซชัน อาจมีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับ

ของผู้บริโภค (โสภิตา สืบวงษา, 2550) จึงต้องมีการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว หลังการสเตอริไลส์ โดยใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัสชนิดต่างๆ เช่น สตาร์ชจากถั่วแดง สตาร์ชจากถั่วมะแฮะ (Pigeonpea) สตาร์ชจากแป้งมันฝรั่ง สตาร์ชจากแป้งข้าวโพด รวมถึงสตาร์ชดัดแปรทางกายภาพ และสตาร์ชดัดแปรทางเคมี (Tan et al., 2009)

สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (cross-linked modified tapioca starch) เป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในเส้นก๋วยเตี๋ยวแทนการใช้สตาร์ชมันสำปะหลังที่ไม่มีการดัดแปร ซึ่งมีราคาถูก แต่เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตได้มีลักษณะนิ่มและไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ส่วนการใช้สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีสมบัติด้านความเหนียว ความใส ความสามารถในการดูดซับน้ำ และการสูญเสียเนื่องจากการละลายที่ดีกว่า รวมถึงผู้บริโภครู้สึกชอบเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้รับการปรับปรุงนี้มากกว่า (Kasemsuwan et al., 1998; Tan et al., 2009) เกลือเป็นส่วนผสมหนึ่งที่มีความสำคัญในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากเกลือสามารถปรับปรุงสมบัติการขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยเฉพาะเมื่อมีการดูดซับน้ำไว้ในปริมาณสูง เกลือช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้มีความรู้สึกในปาก (mouth-feel) ปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีเส้นที่นุ่มแต่เหนียวกว่าเส้นที่ไม่ได้เติมเกลือ นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Fu, 2008)

การสเตอริไลเซชัน (sterilization) เป็นกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เพื่อทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ของจุลินทรีย์ให้หมดไป (Frobisher et al., 1974) แต่การให้ความร้อนสูงดังกล่าว มีผลให้คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสสูญเสียไป ดังนั้นจึงต้องให้ความร้อนที่เรียกว่า การสเตอริไลส์ระดับการค้า (commercial sterilization) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนมากที่สุด จุลินทรีย์ก่อโรคทุกชนิด จุลินทรีย์สร้างสารพิษ และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียรวมถึง สปอร์ของจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่เก็บรักษา (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535) โดยใช้ถุงรีโอร์ตเพาซ์ ซึ่งสามารถทนความร้อนและความดันระหว่างการฆ่าเชื้อได้เช่นเดียวกับกระป๋องและขวดแก้ว แต่มีน้ำหนักเบา เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ (Hersom & Hulland, 1969) เปิดง่ายปลอดภัย และสามารถอุ่นรับประทานได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่มีต่อของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เพื่อการสเตอริไลส์ในถุงเพาซ์ ซึ่งเป็นการ

เพิ่มมูลค่าของข้าวไทย โดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และเป็นการสร้างนวัตกรรมการแปรรูปข้าวในเชิงพาณิชย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของวัตถุดิบ

ศึกษาสมบัติของแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตจากโรงงานสตาร์ช มันสำปะหลังดัดแปรทางเคมีแบบพันธะข้าม (Cross-linked modified tapioca starch; CMS) และแป้งมันสำปะหลัง โดยตรวจสอบสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971) สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ การวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting properties) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (โสภิตา สืบวงษา, 2550)

2. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจ

ผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ตามวิธีการของโรงงานนิதிய์ สวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย โดยใช้สูตรพื้นฐานในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว คือ น้ำต่อแป้งในอัตราส่วน 70 : 30 ซึ่งแป้งที่ใช้เป็นแป้งข้าวเจ้าผสมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 5 : 1 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส 2 ชนิดคือ CMS 3 ระดับ คือ ร้อยละ 12 14 และ 16 (โดยน้ำหนัก) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 2 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2 และ 0.5 (โดยน้ำหนัก) แสดงดังตารางที่ 1 วางแผนการทดลองโดยจัดสิ่งทดลองแบบ 3×2 Factorial in Complete Randomized Design (CRD) จากนั้นตรวจสอบสมบัติของน้ำแป้งผสมสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส ได้แก่ วัดสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) วัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA วัดกำลังการพองตัวและการละลาย (Yoenyongbuddhagal & Noomhorm, 2002)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมชนิดและปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่ใช้ในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่

สิ่งทดลอง	CMS (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	NaCl (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	12	0.2
2	12	0.5
3	14	0.2
4	14	0.5
5	16	0.2
6	16	0.5

นำน้ำแป้งผสมสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตเป็นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และตรวจสอบสมบัติ ได้แก่ การพองตัวของเส้นในระหว่างการต้ม (swelling index) ตามวิธีการของ Lee et al. (2005) ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม (cooking loss) ตามวิธีการของ Lii and Chang (1981) วัดเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyzer (Mohamed et al., 2006) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point Hedonic Scale) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545) โดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว 30 คน ร่วมกับโรงงานก๋วยเตี๋ยวชนิด สวรรคโลก ทดสอบคุณลักษณะด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบรวม โดยวางแผนการทดลองด้านประสาทสัมผัสแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากพบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

3. ศึกษาผลของความร้อนในระดับการสเตอริไลส์ที่ 121 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพช

ผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่มีชนิดและปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมจากข้อ 2 บรรจุในถุงแพช นำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง water spray retort ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส กำหนดค่าเวลาเป็นนาทีที่ทำลายจุลินทรีย์ได้ ณ อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 121 องศาเซลเซียสหรือ F_0 ให้อยู่ในช่วง 3.0-4.0 นาที (โสภิตา สืบวงษา, 2550 ; กระทรวงสาธารณสุข, 2549) ตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ คือ ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) วัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer (Mohamed et al., 2006) วิเคราะห์คุณภาพ

ด้านจุลชีววิทยา ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 301) พ.ศ.2549 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4) ได้แก่ จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 37 และ 55 องศาเซลเซียส ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโคลิฟอร์ม (Coliform) E. coli ยีสต์และรา จากนั้นประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีให้คะแนนความชอบ 9-point Hedonic Scale) (ไพโรจน์ วิริยวารี, 2545) โดยผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว 30 คน ร่วมกับโรงงานก๋วยเตี๋ยวมิตรสวรรค์โลก ทดสอบคุณลักษณะด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบรวม นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของวัตถุดิบ

การตรวจสอบปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตจากโรงงาน CMS และแป้งมันสำปะหลัง พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุด ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.60 รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลัง และ CMS มีปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 17.80 และ 16.53 ตามลำดับ

ผลการตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งทั้งสามชนิด (ตารางที่ 2) พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของน้ำแป้งข้าวเจ้า CMS และแป้งมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำแป้ง CMS มีค่า peak viscosity มากที่สุด รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงทนต่ออุณหภูมิสูงของเม็ดแป้ง พบว่า ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลัง สูงที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ CMS และแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีค่า breakdown สูงถัดมา ตามลำดับ ส่วนค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เป็นค่าชี้บ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหรือเจลที่เกิดขึ้น พบว่า CMS มีค่ามากที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีค่า final viscosity สูงถัดมา ส่วนค่าความหนืดคืนตัว (setback) เป็นดัชนีบ่งชี้ลักษณะการเกิดเจลของแป้ง พบว่า แป้งข้าวเจ้าและ CMS มีค่ามากที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แป้งมันสำปะหลังมีค่า setback ที่น้อยที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้า CMS และแป้งมันสำปะหลัง

วัตถุดิบแป้ง	peak viscosity (cP)	breakdown (cP)	final viscosity (cP)	setback (cP)
แป้งข้าวเจ้า	2,742.00±28.58 ^c	864.33±60.35 ^c	3,630.33±46.80 ^b	1,752.67±78.12 ^a
CMS	6,193.00±60.51 ^a	1,850.67±35.56 ^b	6,046.00±69.07 ^a	1,703.67±95.44 ^a
แป้งมันสำปะหลัง	4,683.56±89.95 ^b	2,877.67±51.25 ^a	2,690.33±58.80 ^c	951.00±20.81 ^b

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงพาส์

การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของน้ำแป้งผสมที่ใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในระดับที่ต่างกัน 6 สิ่งทดลอง พบว่า การใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature; T_o) อุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature; T_c) และพลังงานเอนทัลปี (enthalpy; ΔH) ในการเกิดเจลลิตีในเซชันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิสูงสุด (peak temperature; T_p) ในการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยค่า T_p ของน้ำแป้งผสมทั้ง 6 สิ่งทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 75.33–77.19 องศาเซลเซียส และพบว่าการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 มีผลให้ค่า T_o สูงที่สุด แต่พบว่าเมื่อเพิ่มค่า T_c และค่า ΔH ในการเกิดเจลลิตีในเซชันต่ำที่สุด (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิและพลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลลิตีในเซชันของน้ำแป้งผสมที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	T _o (°C)	T _p ^{ns} (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)
12.0 : 0.2	69.42±0.80 ^{bc}	75.33±1.22	87.48±2.61 ^a	26.81±2.55 ^a
12.0 : 0.5	69.14±0.57 ^{bc}	76.87±0.18	82.86±1.76 ^b	23.64±1.41 ^{ab}
14.0 : 0.2	68.85±0.47 ^c	75.33±0.37	82.99±0.64 ^b	20.58±0.66 ^b
14.0 : 0.5	69.84±0.22 ^{bc}	76.63±0.37	83.07±1.05 ^b	13.84±1.11 ^c
16.0 : 0.2	70.22±0.25 ^b	77.07±0.11	86.76±0.04 ^a	11.84±1.11 ^c
16.0 : 0.5	71.63±0.19 ^a	77.19±0.74	80.84±0.33 ^b	8.00±0.81 ^d

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ผลตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งผสมสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสทั้ง 2 ชนิด 6 สิ่งทดสอบ พบว่า การใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลให้ค่า peak viscosity ค่า final viscosity และค่า setback แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า breakdown ซึ่งพบว่า ค่า breakdown ของน้ำแป้งผสมทั้ง 6 สิ่งทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 324.20–337.80 cP (ตารางที่ 4) เมื่อพิจารณาการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl พบว่า การใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณที่มากขึ้น มีผลให้ค่า peak viscosity final viscosity และค่า setback มีค่าสูงขึ้น โดยการใช้ CMS

การวัดกำลังการพองตัวของน้ำแป้งผสมที่ใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ปริมาณแตกต่างกัน พบว่า ค่ากำลังการพองตัวของแป้งผสมที่อุณหภูมิ 55 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส การใช้ CMS ร้อยละ 14 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ให้ค่าสูงที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.2 และร้อยละ 0.5 ซึ่งให้ค่ากำลังการพองตัวของน้ำแป้งผสมต่ำกว่า (ตารางที่ 5) ส่วนกำลังการละลายน้ำแป้งผสมทั้ง 6 สิ่งทดสอบ พบว่า กำลังการละลายของแป้งผสมที่ 55 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.92-2.39 ของน้ำหนักแป้งแห้ง นอกจากนี้

ยังพบว่ากำลังการละลายของน้ำแป้งผสมที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลให้กำลังการละลายของน้ำแป้งผสมทุกอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลง และการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 มีค่ากำลังการละลายของน้ำแป้งผสมทุกอุณหภูมิต่ำที่สุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งผสมที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	peak viscosity (cP)	breakdown ^{ns} (cP)	final viscosity (cP)	setback (cP)
12.0 : 0.2	2,233.20±16.90 ^b	330.20±40.11	3,368.20±16.72 ^d	1,445.20±48.91 ^d
12.0 : 0.5	2,269.40±30.06 ^b	337.00±16.84	3,530.40±89.20 ^c	1,478.00±31.69 ^{cd}
14.0 : 0.2	2,250.20±24.28 ^b	325.60±47.33	3,460.00±52.31 ^c	1,495.40±64.15 ^{bcd}
14.0 : 0.5	2,342.60±21.61 ^a	337.80±33.54	3,466.60±52.80 ^c	1,521.80±27.70 ^{abc}
16.0 : 0.2	2,362.20±34.74 ^a	332.60±16.89	3,585.40±39.69 ^b	1,556.80±32.94 ^{ab}
16.0 : 0.5	2,376.00±69.01 ^a	324.20±37.92	3,791.00±56.63 ^a	1,579.20±56.38 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ตารางที่ 5 กำลังการฟองตัวของน้ำแป้งผสมที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	กำลังการฟองตัว (กรัม/กรัม น้ำหนักแป้งแห้ง)			
	55°C ^{ns}	65°C ^{ns}	75°C	85°C ^{ns}
12.0 : 0.2	2.17±0.31	2.80±0.39	5.98±0.49 ^{ab}	6.69±0.47
12.0 : 0.5	2.39±0.12	2.90±0.74	5.82±0.53 ^{ab}	6.47±0.44
14.0 : 0.2	2.34±0.07	2.76±0.06	5.75±0.56 ^{ab}	6.10±0.21
14.0 : 0.5	2.37±0.60	2.67±0.01	6.22±0.12 ^a	6.07±0.43
16.0 : 0.2	2.39±0.22	2.89±0.45	5.13±0.39 ^b	6.50±0.53
16.0 : 0.5	1.92±0.46	2.60±0.48	5.35±0.40 ^b	6.43±0.66

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ตารางที่ 6 กำลังการละลายของน้ำแป้งผสมที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	กำลังการละลาย (ร้อยละของน้ำหนักแป้งแห้ง)			
	55°C ^{ns}	65°C	75°C	85°C
12.0 : 0.2	1.28±0.34	2.88±0.27 ^a	6.45±0.25 ^a	8.58±0.28 ^a
12.0 : 0.5	1.93±0.69	2.05±0.38 ^b	4.53±0.44 ^b	8.22±0.67 ^a
14.0 : 0.2	1.51±0.17	1.86±0.19 ^b	4.72±0.67 ^b	5.76±0.34 ^{cd}
14.0 : 0.5	1.60±0.73	1.80±0.39 ^b	4.31±0.30 ^b	7.03±0.61 ^b
16.0 : 0.2	1.37±0.29	1.58±0.26 ^b	3.38±0.16 ^c	6.68±0.89 ^{bc}
16.0 : 0.5	1.26±0.32	1.55±0.24 ^b	3.26±0.14 ^c	5.34±0.57 ^d

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

การวัดค่าการพองตัวของเส้นก้วยเตี่ยวและร้อยละของเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างการต้ม พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าการพองตัวของเส้นและร้อยละของเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างการต้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น มีผลให้ค่าการพองตัวของเส้นและร้อยละของเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ให้ค่าทั้งสองต่ำที่สุด (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การพองตัวของเส้นและร้อยละของเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้มของก้วยเตี่ยวเส้นใหญ่ที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	การพองตัวของเส้นระหว่างการต้ม (กรัม)	ร้อยละของเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างการต้ม
12.0 : 0.2	1.91±0.14 ^a	2.73±0.02 ^a
12.0 : 0.5	1.87±0.12 ^a	2.52±0.15 ^b
14.0 : 0.2	1.71±0.06 ^{ab}	2.01±0.10 ^c
14.0 : 0.5	1.73±0.05 ^{ab}	1.62±0.44 ^d
16.0 : 0.2	1.77±0.06 ^{ab}	1.76±0.13 ^d
16.0 : 0.5	1.52±0.03 ^{ab}	1.69±0.13 ^d

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นก้วยเตี่ยวที่มีการใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัสทั้ง 6 สิ่งทดลอง พบว่า การใช้ CMS และ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น มีผลให้ค่าแรงตัด (cutting force) แรงกดสูงสุด (hardness) และความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ของเส้นก้วยเตี่ยว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีผลให้ค่าแรงตัด แรงกดสูงสุด และความเหนียวติดกันของเส้นก้วยเตี่ยวสูงขึ้น ซึ่งการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ให้ค่าแรงตัดสูงที่สุด ในขณะที่ให้ค่าแรงกดสูงสุดและความเหนียวติดกันสูงรองจากการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ซึ่งทั้งสองสิ่งทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ค่าแรงตัด แรงกดสูงสุด และความเหนียวติดกันของเส้นก่วยเดี่ยวที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	แรงตัด (กรัม)	แรงกดสูงสุด (กรัม)	ความเหนียวติดกัน (กรัม.วินาที)
12.0 : 0.2	345.03±24.97 ^e	5,302.72±5.64 ^b	2.09±0.60 ^b
12.0 : 0.5	344.54±22.94 ^e	5,358.14±3.24 ^b	2.55±0.59 ^a
14.0 : 0.2	383.62±33.59 ^d	5,419.72±2.49 ^b	2.59±0.72 ^a
14.0 : 0.5	427.74±27.62 ^c	5,689.22±5.86 ^a	2.59±0.89 ^a
16.0 : 0.2	480.77±35.90 ^b	5,811.32±6.41 ^a	2.89±0.73 ^a
16.0 : 0.5	555.19±33.79 ^a	5,786.11±4.90 ^a	2.64±0.71 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันตามแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นก่วยเดี่ยวทั้ง 6 สิ่งทดลอง พบว่าการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น มีผลให้คะแนนคุณลักษณะด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบรวมแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้ CMS ร้อยละ 14 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในทุกคุณลักษณะข้างต้นมากที่สุด (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 คะแนนความชอบจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่มีปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl แตกต่างกัน

CMS : NaCl	คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (คะแนน)				
	สี	ความเหนียว	ความนุ่ม	กลิ่นรส	ความชอบรวม
12.0 : 0.2	7.38 ± 1.85 ^b	6.88 ± 2.30 ^{bc}	7.63 ±	7.13 ± 1.13 ^b	7.25 ± 0.71 ^b
12.0 : 0.5	7.38 ± 1.85 ^b	6.38 ± 2.07 ^c	0.74 ^{ab}	7.25 ± 0.89 ^b	6.88 ± 1.46 ^b
14.0 : 0.2	7.25 ± 1.83 ^b	6.63 ± 1.60 ^{bc}	7.38 ±	7.13 ± 1.25 ^b	6.88 ± 1.55 ^b
14.0 : 0.5	8.63 ± 0.52 ^a	8.38 ± 0.92 ^a	0.92 ^{ab}	8.50 ± 0.53 ^a	8.75 ±
16.0 : 0.2	7.75 ± 1.28 ^b	6.75 ± 1.91 ^{bc}	6.88 ± 1.25 ^b	7.38 ± 0.92 ^b	0.46 ^a
16.0 : 0.5	7.63 ± 1.77 ^b	7.63 ± 1.77 ^{abc}	8.38 ± 1.06 ^a	7.38 ± 0.92 ^b	6.88 ± 1.13 ^b
			7.50 ±		6.63 ± 1.50 ^b
			1.96 ^{ab}		
			7.25 ± 1.67 ^b		

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3. ผลของความร้อนในระดับการสเตอริไลเซชันที่ 121 องศาเซลเซียส ต่อการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงพาส

การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ที่พัฒนาแล้วนำไปให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15.42 นาที ค่าพารามิเตอร์ F_0 ได้เท่ากับ 3.82 นาที จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพ พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าร้อยละ 54.44 ± 0.60 ค่า pH เท่ากับ 6.31 ± 0.01 มีค่าแรงตึงเท่ากับ 214.29 ± 5.69 กรัม ส่วนค่าแรงกดสูงสุดมีค่า $5,385.70 \pm 93.59$ กรัม

การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยา พบว่า ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ส่วนโคลิฟอร์ม (Coliform) และ E. coli มีปริมาณน้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 กรัม ซึ่งตรวจโดยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number) นอกจากนี้ผลการตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่ามีปริมาณไม่เกิน 10,000 ต่ออาหาร 1 กรัม ส่วนยีสต์และราามีปริมาณไม่เกิน 100 ต่ออาหาร 1 กรัม ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 301) พ.ศ. 2549 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท จึงสามารถยืนยันได้ว่าสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเพียงพอต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้

อาหารเสื่อมเสีย ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบด้านสีเท่ากับ 4.88 ± 1.64 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ ความชอบด้านความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวเท่ากับ 5.12 ± 2.17 คะแนน อยู่ในช่วงคะแนนเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย คะแนนด้านความนุ่มเท่ากับ 7.50 ± 1.07 คะแนน อยู่ในช่วงคะแนนชอบปานกลางถึงชอบมาก คะแนนด้านกลิ่นรสเท่ากับ 5.87 ± 1.64 คะแนน อยู่ในช่วงคะแนนเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย และคะแนนความชอบรวมเป็น 7.12 ± 0.83 คะแนน อยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก

อภิปรายผลการวิจัย

1. สมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของวัตถุดิบ

ปริมาณอะไมโลสของแป้งที่ใช้ในการวิจัยนี้สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ แป้งข้าวเจ้า ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.6 จัดว่าเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง จะมีปริมาณอะไมโลสช่วงร้อยละ 20-25 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ส่วนแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ จะมีปริมาณอะไมโลสช่วงร้อยละ 10-19 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) คือ CMS และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 16.53 และ 17.80 ตามลำดับ โดยปริมาณอะไมโลสที่มีในแป้งข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะเป็นแผ่นก๋วยเตี๋ยว (Mestres et al., 1988) และมีผลต่อการลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว (Sandhu et al., 2010) นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของอะไมโลส การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดไขมันอิสระ และการเกิดเป็นเกลียวกับอะไมโลเพกติน จะมีส่วนช่วยให้โครงสร้างของเจลแข็งแรงขึ้น (Jane and Chen, 1992)

การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งทั้งสามชนิด จะเห็นได้ว่า CMS มีค่า peak viscosity สูงที่สุด ซึ่งค่านี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้คาดคะเนลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ คือ ถ้าน้ำแป้งหรือเพสต์ (paste) มีค่า peak viscosity มาก หมายถึง เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวมาก จะทำให้ได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เหนียว (พิมพ์เพ็ญ ธิรพร, 2533) นอกจากนี้มีค่า breakdown ปานกลาง แสดงว่า เม็ดแป้งมีความคงทนต่ออุณหภูมิได้ปานกลาง มีค่า final viscosity สูงที่สุด ซึ่ง บ่งบอกลักษณะของเจลแป้ง มักพิจารณาร่วมกับค่า setback ซึ่งบอกลักษณะการเกิดเจลของแป้ง และบอกถึงความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยถ้าค่า setback มาก แป้งนั้นจะมีความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ได้ดี แสดงว่า แป้งนั้นเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี และมีแนวโน้มเกิดเจลที่แข็งแรง (Beta and Corke, 2001) Sandhu et al. (2010) กล่าวว่า ค่า peak viscosity ที่มีค่าสูง เกิดจากในสตาร์ชมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ซึ่ง CMS เป็นการ

ดัดแปรสตาเร็กซ์แบบพันธะข้ามด้วยวิธีทางเคมี โดยทั่วไปมักใช้ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ และ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่มีหมู่ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับโครสลิงกิงกับหมู่ไฮดรอกซิลของ โมเลกุลสตาเร็กซ์ จึงเกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมขวางระหว่างสายพอลิเมอร์ในสภาพแขวนลอย ซึ่งพันธะดังกล่าวจะช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนที่ทำหน้าที่ยึดโครงสร้างของเม็ดสตาเร็กซ์ไว้ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (โสภิตา สืบวงษา, 2550) ดังนั้นเจลของ CMS จึงเป็นเจลที่มีความแข็งแรง ซึ่งจะทำให้ได้เส้นก๊วยเตียที่มีความคงทนต่ออุณหภูมิสูงได้ปานกลาง และมีเนื้อสัมผัสเหนียวกว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Han et al. (2011) ที่เปรียบเทียบความหนืดของสตาเร็กซ์จากข้าวเจ้ากับสตาเร็กซ์จากมันฝรั่ง พบว่า สตาเร็กซ์จากข้าวมีค่าความหนืดทุกค่าต่ำกว่าสตาเร็กซ์จากมันฝรั่ง ทั้งนี้เนื่องจากสตาเร็กซ์จากธัญพืชมีผลึกชนิดเอ (A-type crystals) ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำกว่าสตาเร็กซ์ที่ผลิตจากพืชหัวซึ่งมีผลึกชนิดบี (B-type crystals) และจากพฤติกรรมด้านความหนืด พบว่า สตาเร็กซ์จากข้าวเจ้าเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้ในการผลิตเส้นก๊วยเตียที่มีคุณภาพดีได้ ดังนั้น การเสริม CMS ในเส้นก๊วยเตียจึงทำให้เส้นก๊วยเตียมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากขึ้น

2. ชนิดและปริมาณของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ก๊วยเตีย เส้นใหญ่ในอุณหภูมิต่ำ

การวัดอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลในเซชันของน้ำแป้งผสมสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่า T_0 สูงขึ้น และมีแนวโน้มให้ค่า T_p สูงขึ้น หมายถึง อุณหภูมิในการเกิด เจลในเซชันสูงขึ้น แป้งจะสุกได้ช้ากว่าการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณต่ำ ทั้งนี้เกิดจากการใช้ CMS เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณพันธะข้าม (crosslink) ให้มากขึ้น แต่มีผลให้ค่า T_c และค่า ΔH มีแนวโน้มต่ำลง ซึ่งหมายถึง น้ำแป้งผสมมีพลังงานในการเกิดเจลด้อยลง แสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาเร็กซ์มีความทนต่อความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chatakanonda et al. (2000) ที่ได้ทดสอบสมบัติการเกิด เจลในเซชันของสตาเร็กซ์ข้าวเจ้าดัดแปร ด้วยเครื่อง DSC พบว่า T_0 และ T_p ในการเกิดเจลในเซชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของการเกิดพันธะข้ามที่สูงขึ้น นอกจากนี้ Choi and Kerr (2004) รายงานว่า การเกิดพันธะข้ามของเม็ดสตาเร็กซ์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความทนต่อความร้อนได้สูงขึ้นและสามารถให้ความร้อนได้ระยะเวลานานขึ้น โดยพันธะข้ามที่เกิดขึ้นจะเกิดระหว่างสายสตาเร็กซ์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากขึ้น (Singh et al., 2007) นอกจากนี้ปริมาณ NaCl ที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้อุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชันต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับ Fu (2008) ซึ่งรายงานว่าการเติมเกลือในเส้นก๊วยเตียจะทำให้ใช้เวลาในการสุกสั้นลง

สำหรับการตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณที่มากขึ้น มีผลให้ค่า peak viscosity final viscosity และค่า setback มีค่าสูงขึ้น นั่นคือ การใช้ CMS ปริมาณเพิ่มขึ้น การเกิดพันธะข้ามจึงเพิ่มขึ้น และมีผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณากระดับของ NaCl ที่แตกต่างกัน จะเห็นว่า ความหนืดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มระดับของ CMS มากกว่าการเพิ่มระดับของ NaCl โดยพฤติกรรมของความหนืดที่เพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อให้ความร้อนกับเม็ดแป้งในสภาวะที่มีน้ำ เม็ดแป้งจะเริ่มดูดซึมน้ำไว้ ความร้อนและแรงดันจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งในส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบในเม็ดแป้งก่อน ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปภายในเม็ดแป้ง และเกิดการพองตัวได้มากขึ้น เมื่อให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเม็ดแป้งที่ขยายใหญ่ขึ้น โมเลกุลแป้งบางส่วนที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง รวมถึงจากปริมาณน้ำภายนอกที่ลดลงจนเมื่อเม็ดแป้งเกิดการพองตัวเต็มที่จึงแตกออกซึ่งทำให้ความหนืดลดลง การทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบพันธะข้ามเป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งเข้าไปเพิ่มเติมนอกเหนือจากพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิม และเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ดังนั้นเม็ดแป้งจึงสามารถพองตัวเพิ่มมากขึ้นได้ก่อนที่จะแตกออกทำให้ความหนืดของแป้งมีค่าสูงขึ้นตามระดับ CMS ร่วมกับ NaCl ที่เติมลงไป (อิสราภรณ์ เอ็มรัตน์ ยูรี วันดี; สันทนิย์ ปัญจอนันท์; ดุษฎี อดุลภาพ; จุริรัตน์ พุดตาลเล็ก; และวิไล รังสาดทอง, 2554) ส่วนค่า Setback เป็นดัชนีบ่งชี้ลักษณะของแป้ง ซึ่งถ้า setback มีค่ามาก แป้งนั้นจะมีความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ได้ดี แสดงว่า แป้งนั้นเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี และมีแนวโน้มเกิดเจลที่แข็งแรง (Beta & Corke, 2001) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลตาโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ ทำให้เจลแป้งมีความหนืดสูงขึ้น การเพิ่ม CMS ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณพันธะข้ามทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น (กล้านรงค์ และ ก้อยกุล, 2546)

การวัดกำลังการพองตัวและการละลายของน้ำแป้งผสม จะเห็นว่า กำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิต่ำ (55 องศาเซลเซียส) มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่ากำลังการพองตัวและการละลายของน้ำแป้งผสมมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้ CMS และ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น จะเห็นค่ากำลังการพองตัวและการละลายมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณ CMS มากกว่าการเพิ่มปริมาณ NaCl ซึ่งไม่

ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าวิเคราะห์ดังกล่าว การเพิ่มปริมาณ CMS เป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแบ่งมากขึ้น และพันธะที่เกิดมีความแข็งแรงมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดที่เกิดขึ้น โดยกำลังการพองตัวและการละลายนี้จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการเกิดการพันธะระหว่างสตาร์ซในส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous domain) กับส่วนที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (crystalline domain) (Kaur et al., 2010) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ CMS จึงมีผลให้กำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดแบ่งลดลง

การวัดค่าการพองตัวของก๊วยเตียเส้นใหญ่และร้อยละ เนื้อแบ่งที่สูญเสียระหว่างการต้ม โดยการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น มีผลให้ค่าการพองตัวของเส้นและร้อยละเนื้อแบ่งที่สูญเสียระหว่างต้มมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ให้ค่าทั้งสองต่ำที่สุด ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณ CMS มีผลให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของสตาร์ซดังที่กล่าวมาแล้ว และสอดคล้องกับงานวิจัยของ โสภิตา สืบวงษา (2550) ที่พบว่า การพองตัวของเส้นก๊วยเตียที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมสตาร์ซไขมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 6 มีการพองตัวของเส้นในระหว่างการต้มต่ำ ลงกว่าเส้นก๊วยเตียที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมสตาร์ซ ไขมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 3 เมื่อพิจารณา NaCl พบว่า เส้นก๊วยเตียสูตรที่ใช้ NaCl ร้อยละ 0.5 มีปริมาณเนื้อแบ่งที่สูญเสียในระหว่างการต้มน้อยกว่าการใช้ NaCl ร้อยละ 0.2 ทั้งนี้อาจเนื่องจาก NaCl มีสมบัติเป็น plasticizer สามารถดูดซับ (absorb) น้ำได้ (Farahnaky et al., 2009) จึงมีผลให้ปริมาณเนื้อแบ่งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง เมื่อใช้ NaCl ในปริมาณสูงกว่า

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นก๊วยเตียโดยวัดค่าแรงตัด ความแน่นแข็ง และความเหนียวติดกัน (adhesiveness) พบว่า ค่าแรงทั้ง 3 ชนิดนี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจาก CMS ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่มีความยืดหยุ่น (elastic network) ดังนั้นก๊วยเตียที่เพิ่ม CMS จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากขึ้น (กล้านรงค์ ศรีวรรต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ (2536) ที่ได้ตรวจสอบผลของสตาร์ซดัดแปรแบบโครสลิงค์ที่มีต่อคุณภาพของก๊วยเตียเส้นใหญ่ โดยผสมสตาร์ซดัดแปรแบบโครสลิงค์ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 พบว่า ก๊วยเตียที่ผลิตจากแป้งผสมสตาร์ซดัดแปรแบบโครสลิงค์มีเนื้อสัมผัสดีกว่าก๊วยเตียที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า โดยมีความเหนียว และความยืดหยุ่นมากขึ้น โดยการผสมสตาร์ซดัดแปรแบบโครสลิงค์ในระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้ก๊วยเตียมีความเหนียว และความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนการเติม NaCl ในเส้นก๊วยเตียจะส่งผลให้เส้นก๊วยเตียมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม แต่มีความยืดหยุ่น (elastic) มากกว่าเส้นก๊วยเตียที่ไม่ได้เติม

เกลือ (Fu, 2008) ดังนั้น การเพิ่มปริมาณ NaCl จึงมีผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นหรือเหนียวมากขึ้นสัมพันธ์กับค่าความเหนียวติดกันที่เพิ่มขึ้น แต่เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 มีค่าแรงกดสูงสุด และความเหนียวติดกันน้อยกว่าการใช้ CMS ร้อยละ 16 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.2 ทั้งนี้เนื่องจาก NaCl สามารถดูดซับน้ำได้ดี (Farahnaky et al., 2009) ดังนั้น การใช้ในปริมาณสูงเกินไปอาจทำให้ค่าแรงกดสูงสุดและความเหนียวติดกันน้อยลง

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเส้นก๋วยเตี๋ยวในด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบรวม พบว่า การใช้ CMS ร้อยละ 14 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในทุกคุณลักษณะข้างต้นมากที่สุด เมื่อพิจารณาการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น โดยรวมพบว่า คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะข้างต้นไม่แตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มของคะแนนความชอบด้านสี ความเหนียว และกลิ่นรสเพิ่มขึ้น แต่คะแนนความชอบด้านความนุ่ม และความชอบโดยรวมลดลง ซึ่งคะแนนความชอบด้านความเหนียวที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าความหนืดของน้ำแป้งผสมที่เพิ่มขึ้น และค่าวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะค่า ความเหนียวติดกันที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้ CMS ปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลให้เกิดพันธะข้ามโดยเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชมากขึ้น น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเกิดเจลที่มีความแข็งแรงส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตได้มีความยืดหยุ่นและมีความเหนียวมากขึ้น (โสภิตา สืบวงษา, 2550) ผู้ทดสอบชิมจึงชอบลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เหนียวมากขึ้น ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากการเพิ่ม NaCl มากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและเพิ่มกลิ่นรสของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยให้ความรู้สึกในปาก (mouth-feel) ซึ่งอาจกำจัตรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ออกและปรับสมดุลด้านกลิ่นรสให้ดีขึ้น (Fu, 2008) จึงทำให้คะแนนกลิ่นรสมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณ NaCl เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านความนุ่มที่ลดลงเมื่อใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการใช้ CMS ร้อยละ 12 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.2 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความนุ่มที่ระดับนี้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับกำลังการพองตัวของน้ำแป้งที่มีค่าสูงที่สุด เมื่อใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในระดับนี้ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดความลื่น (smoothness) มากขึ้น (Sandhu et al., 2010) ดังนั้นผู้ทดสอบชิมจึงให้คะแนนความนุ่มสูงกว่าระดับอื่น เมื่อไม่พิจารณาการใช้ CMS ร้อยละ 14 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 และการที่เม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้นทำให้ค่าความแน่นแข็งและความยืดหยุ่นลดลง ส่งผลให้คุณภาพโดยรวมของเนื้อสัมผัสลดลง (Sandhu et al., 2010) ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงตึงแรงกดสูงสุด หรือความ

แน่นแข็ง และความเหนียวติดกันที่มีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้ CMS ร้อยละ 12 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.2

ดังนั้นการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชันและค่าความหนืดของน้ำแป้งผสมมีค่ามากขึ้น กำลังการพองตัวและการละลายมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากปริมาณ CMS ที่เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิม และเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ซึ่งเมื่อผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวจะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความเหนียวซึ่งสอดคล้องกับการพองตัวของเส้นและปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเส้นก๋วยเตี๋ยว และจากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ และจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส การใช้ CMS ร้อยละ 14 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนในคุณลักษณะด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่นรส และความชอบรวมสูงที่สุด ดังนั้นการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในระดับนี้จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจ ที่เนื้อสัมผัสของเส้นมีความเหนียวและผูบริโภคชื่นชอบ

3. ผลของความร้อนในระดับการสเตอริไลเซชันที่ 121 องศาเซลเซียส ต่อการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจ

การให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15.42 นาที ค่าจำนวนค่า F_0 ได้ 3.82 นาที เป็นสภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมกับก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจ ซึ่งไม่มีผลให้เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวขาดง่าย ทั้งนี้เนื่องจากรีทอร์ทแพคเกจเป็นภาชนะบรรจุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ากระป๋องและขวดแก้ว สามารถถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็ว จึงช่วยลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อลงได้ประมาณร้อยละ 30-50 ทำให้อาหารบรรจุรีทอร์ทแพคเกจ มีคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัสความแน่นแข็ง กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าอาหารบรรจุกระป๋อง (Mermelstien, 1978) และสอดคล้องกับงานวิจัยของโสภิตา สืบวงษา (2550) ที่ศึกษาการฆ่าเชื้อก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการฆ่าเชื้อนาน 30 นาที ค่าจำนวนค่า F_0 ได้เท่ากับ 7.41 นาที เปรียบเทียบกับการฆ่าเชื้อก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่บรรจุรีทอร์ทแพคเกจ ที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ใช้เวลาการฆ่าเชื้อนาน 15 นาที ค่าจำนวนค่า F_0 ได้เท่ากับ 7.58 นาที ซึ่งอาหารบรรจุรีทอร์ทแพคเกจ ใช้เวลาในการฆ่าเชื่อน้อยกว่าอาหารบรรจุกระป๋องถึงร้อยละ 50 ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจที่ผ่านความร้อนสูงนี้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 7.12 ± 0.83 คะแนน อยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก นอกจากนี้ตรวจวิเคราะห์ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 37 และ 55 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณโคลิฟอร์ม *E. coli* จุลินทรีย์ทั้งหมดยีสต์และราไม่พบปริมาณไม่เกินมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 301) ที่กำหนด ดังนั้นสภาวะที่ใช้ฆ่าเชื้อจึงเพียงพอต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และปลอดภัยต่อผู้บริโภค

สรุปผลการวิจัย

CMS มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง มีค่า peak viscosity และ final viscosity สูงที่สุด ดังนั้นเจลของ CMS จึงเป็นเจลที่มีความแข็งแรง เมื่อใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิในการเกิดเจลตาในเซชันสูงขึ้น แต่มีพลังงานในการเกิดเจลน้อยลง และยังมีผลให้ค่า peak viscosity final viscosity และค่า setback มีค่าสูงขึ้น มีแนวโน้มเกิดเจลที่แข็งแรง และได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เหนียว โดยการเพิ่มปริมาณ CMS จึงมีผลให้กำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง นอกจากนี้การใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในปริมาณสูงขึ้น มีผลให้ค่าการพองตัวของเส้นและร้อยละเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างต้มมีแนวโน้มลดลง แต่มีค่าแรงตัด ความกดสูงสุด และความเหนียวเพิ่มขึ้น การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเส้นก๋วยเตี๋ยวในด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่น รส และความชอบรวม พบว่า การใช้ CMS ร้อยละ 14 ร่วมกับ NaCl ร้อยละ 0.5 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในทุกคุณลักษณะข้างต้นมากที่สุด ดังนั้นการใช้ CMS ร่วมกับ NaCl ในระดับนี้จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจ ที่ให้เนื้อสัมผัสของเส้นมีความเหนียวและผู้บริโภคชื่นชอบ การสเตอร์ไรส์ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในถุงแพคเกจที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15.42 นาที ($F_0 = 3.82$ นาที) เป็นสภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อการบริโภคและเป็นไปตามมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 301) พ.ศ. 2549

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัยทุน สกว. อุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และโรงงานเส้นก๋วยเตี๋ยววันดีสวรรค์โลก จังหวัดสุโขทัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2549). **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 301 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท**. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์เพ็ญ ถิรพร. (2533). **ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2545). **การวางแผนและการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส**. เชียงใหม่ : ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2535). **วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- โสภิตา สืบวงษา. (2550). **การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเตอริไลเซชันและการประยุกต์ในก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล; จิตธนา แจ่มเมฆ; สนิทนาถ จริยโชติเลิศ; นุชฤดี ศิริบุญ; ณรงค์ เอื้อวัฒนชะคร และนรินทร์ ชีโน- สุนทรากร. (2536). **ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ กึ่งสำเร็จรูป**. **วารสารเกษตรศาสตร์**, 27, 74-78.
- อิสราภรณ์ เอ็มรัตน์; ยurit วันดี; สันทณีย์ ปัญจอนนท์; ดุษฎี อดุภาพ จุริรัตน์ พุดตาลเล็ก และวิไล รังสาดทอง. (2554). **การดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีโครอสลิงกิงค์โดยใช้โซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต**. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร**, 34, 357-368.
- AOAC. (2000). **Official Method of Analysis**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemistry. Arlington: Virginia.
- Beta, T., & Corke, H. (2001). Noodle quality as relate to sorghum starch properties. **Cereal Chemistry**, 78(4), 417-420.

- Chatakanonda, P., Varavinit, S., & Chinachoti, P. (2000). Effect of crosslinking on thermal and microscopic transitions of rice starch. **LWT-Food Science and technology**, 33(4), 276-284.
- Choi, S.G., & Kerr, W.L. (2004). Effects of chemical modification of wheat starch on molecular mobility as studied by pulsed ¹H NMR. **LWT-Food Science and Technology**, 36, 105–112.
- Farahnaky, A., Ansari, S., & Majzoobi, M. (2009). Effect of glycerol on the moisture isotherms of figs. **Journal of Food Engineering**, 93, 468-473.
- Frobisher, M., Hinsdill, R.D., Crabtree, K.T., & Good heart, C.R. (1974). **Fundamentals of Microbiology**. Philadelphia : W.B. Saunders company.
- Fu, B.X. (2008). Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. **Food Research International**, 41, 888-902.
- Han, J.A., Seo, T.R., Lim, S.T., & Park, D.J. (2011). Utilization of rice starch with gums in asian starch noodle preparation as substitute for sweet potato starch. **Food Science and Biotechnology**, 20(5), 1173-1178.
- Hersom, A.C., & Hulland, E.D. (1969). **Canned Foods**. 6th ed. London: J&A Churchill Ltd.
- Jane, J., & Chen, J.F. (1992). Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chemistry**, 69, 60-65.
- Juliano. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, 16, 334-340.
- Kasemsuwan, T., Bailey, T., & Jane, J. (1998). Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches. **Carbohydrate Polymers**, 32, 301–312.
- Kaur, M., Sandhu, K.S., Lim, S.T. (2010). Microstructure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens culinaris*) cultivars. **Carbohydrate Polymers**, 79, 349-355.

- Lee, S.Y., Woo, K.S., Lim, J.K., Kim, H.I., Lim, S.T. (2005). Effect of processing variables on texture of sweet potato starch noodles prepared in a nonfreezing process. **Cereal Chemistry**, 82(4), 475-478.
- Lii, C.H., & Chang, S.H. (1981). Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. Aurea) starch and its noodle quality. **Journal Food Science**, 46, 78-80.
- Mermelstein, N.H. (1978). Retort pouch earns: food technology industrial achievement award. **Food Technology**, 32(6), 22-33.
- Mestres, C., Colonna, P., & Buleon, A. (1988). Characteristics of starch networks within rice flour noodles and mungbean starch vermicelli. **Journal of Food Science**, 53, 1809-1812.
- Mohamed, A., Peterson, S.C., Grant, L.A., & Duarte, P.R. (2006). Effect of jet-cooked wheat gluten/lecithin blends on maize and rice starch retrogradation. **Journal of Cereal Science**, 43, 293- 300.
- Sandhu, K.S., Kaur, M, Mukesh. (2010). Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties. **LWT - Food Science and Technology**, 43, 1289-1293.
- Singh, J, Kaur L, McCarthy OJ. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. **Food Hydrocolloids**, 21, 1-22.
- Tan, H.Z, Li, Z.-G., & Tan, B. (2009). Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. **Food Research International**, 42, 551-576.
- Yoenyongbuddhagal, S., & Noomhorm, A. (2002). Effect of physical properties of high-amylose Thai rice flours on vermicelli quality. **Cereal Chemistry**, 79(4), 481-485.