

ผลของเกลือโซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียมต่อคุณสมบัติของมอสซาเรลล่าชีส Effect of Sodium, Calcium, and Potassium Salts on Mozzarella Cheese Properties

กมลพรรณ ปิงดี รวงข้าว ตรางา และกรรพกา อรรคณิตย์*

Kamonpan Pingdee, Ruangkhaw Tanga and Kornpaka Arkanit*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Department of Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry

Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: k_arkanit@hotmail.com

Received: September 12, 2023

Revised: February 28, 2025

Accepted: March 27, 2025

Abstract

Mozzarella is a soft textured cheese with mild flavor and natural white to light cream color. It is classified as a pasta-filata. In cheese making, acetic acid in vinegar was used for protein precipitation and salt addition is relevant to several factors that affected the product qualities. The objective of this research was to increase the yield and sensory quality of Mozzarella cheese by adding 1% (w/v) of different salts: NaCl, CaCl₂, and KCl. It was found that cheese with CaCl₂ had the lowest moisture content at 41.09% but gave the highest yield, hardness, and resilience at 8.28%, 9.28 N, and 0.83, respectively. Cheese with KCl showed the best melting, flow, and stretching qualities at 74.10%, 13.50 cm, and 5.40 inch, respectively. Different types of salts had no significant effect on sensory quality ($P>0.05$). After baking, the cheese with CaCl₂ showed good melting and had the best oiling-out.

Keywords: yield, mozzarella cheese, NaCl, CaCl₂, KCl

บทคัดย่อ

มอสซาเรลล่าเป็นชีสที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสอ่อน สีขาวธรรมชาติถึงสีครีมสว่าง จัดอยู่ในกลุ่ม pasta-filata ในการทำชีสใช้กรดแอซิติกจากน้ำส้มสายชูทำให้โปรตีนตกตะกอน และการเติมเกลือมีความเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมอสซาเรลล่าชีสโดยการเติมเกลือ 1% (w/v) ที่ต่างชนิดกัน คือ NaCl CaCl₂ และ KCl พบว่าชีสที่ใส่ CaCl₂ มีปริมาณความชื้นต่ำสุดที่ 41.09% แต่ให้ปริมาณ

ผลผลิต ความแข็ง และการยืดหยุ่นสูงสุด ที่ 8.28%, 9.28 N และ 0.83 ตามลำดับ ตัวอย่างชีสที่ใส่ KCl มีคุณภาพทางด้านการหลอมละลาย การไหล และการยืดดีที่สุด ที่ 74.10% 13.50 ซม. และ 5.40 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งเกลือต่างชนิดกันไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) หลังการอบตัวอย่างชีสที่ใส่ CaCl₂ มีลักษณะหลอมละลายได้ดี และมีน้ำมันออกมามากที่สุด

คำสำคัญ: ผลผลิต มอสซาเรลล่าชีส NaCl, CaCl₂, KCl

คำนำ

ชีสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนํานม บัตเตอร์มิลค์ (butter milk) หรือเวย์ (whey) อย่างหนึ่งอย่างใด หรือหลายอย่างมาผสมกับเอนไซม์ (enzyme) หรือกรด หรือจุลินทรีย์จนเกิดการรวมตัวเป็นก้อนแล้วแยกส่วนที่เป็นน้ำออก ซึ่งชีสสามารถนำมาบริโภคได้ในลักษณะสด หรือผ่านการบ่ม (Ministry of Public Health, 2000) มอสซาเรลล่าชีส เป็นชีสที่มีต้นกำเนิดในประเทศอิตาลี มีเนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสอ่อน สีขาวธรรมชาติถึงสีครีมสว่าง จัดอยู่ในกลุ่ม pasta-filata ซึ่งหมายถึง ความร้อนและการยืด ชีสที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ Boccacini, Caciocavallo, Kashkaval, Ragusano และ String cheese เป็นต้น มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 45–60 ปริมาณไขมันอยู่ในช่วงที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และปริมาณเกลืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 1.2–1.8 โดยน้ำหนัก สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานกว่า 90 วัน ที่อุณหภูมิ 1–5 องศาเซลเซียส การผลิตเนยแข็งนั้นต้องใช้ นํานมปริมาณมาก เนื่องจากนํานมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเพียงร้อยละ 11.50 โดยน้ำหนัก (Kindstedt *et al.*, 2004; USDA, 1980; 2001)

การผลิตมอสซาเรลล่าชีส เริ่มจากนํานมดิบมา ปรับปริมาณไขมันให้ได้ตามมาตรฐาน (standardization) ทำการพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นทำให้เย็นลง แล้วเติมกลูตาเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดแล็กติก (lactic acid bacteria) และเอนไซม์เรนเนท (rennet) เมื่อเกิดลิ่มนํานมหรือเคิร์ด (curd) แล้ว ทำการตัดและกวนเคิร์ดเพื่อให้หางนม (whey) แยกออกจากก้อนเคิร์ด หลังจากนั้นตัดให้เป็นก้อนแล้วทิ้งไว้ให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงเหลือประมาณ 5.20–5.30 แล้วนวดผสม ขึ้นรูป เติมเกลือ ทำให้แห้งและบรรจุ (Kosikowski and Mistry, 1997) เอนไซม์เรนเนท (rennet) หรือเอนไซม์เรนนิ (rennin) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เคซีนเกิดการตกตะกอน โดยมีการตัด (cleave) เฉพาะระหว่างพันธะเพปไทด์ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างฟีนิลอลานีน (phenylalanine)

ในตำแหน่งที่ 105 และเมธิโอนีน (methionine) ในตำแหน่งที่ 106 ได้เป็น 2 ส่วน คือ พารา-แคปตา-เคซีน (para-K-casein) และไกลโคแมคโครเพปไทด์ ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ แต่พารา-แคปตา-เคซีนจะตกตะกอนเมื่อมีแคลเซียมไอออน ซึ่งโดยปกติแล้วในนํานมจะมีแคลเซียมไอออนอยู่ ดังนั้นเมื่อเติมเอนไซม์ชนิดนี้ลงไปนํานม จึงทำให้เคซีนเกิดการตกตะกอน (Belitz and Grosch, 1999) ในกรณีการใช้กรดเป็นตัวตกตะกอน ประจุไฟฟ้าของเคซีนจะถูกทำให้เป็นกลาง โดยปกติแล้ว ความเป็นกรดของนํานมจะอยู่ที่พีเอชประมาณ 6.6 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย หากลดพีเอชต่ำลงด้วยการเติมกรดที่ละน้อยเคซีนจะไม่คงตัว และตกตะกอนที่พีเอช 4.7 เรียกสภาวะของความเป็นกรดนี้ว่าไอโซอิเล็กทริกพอยต์ (isoelectric point) ของเคซีน ซึ่งเป็นสภาวะที่เคซีนมีประจุไฟฟ้ารวมเท่ากับศูนย์ (สภาพเป็นกลาง) กรดที่สามารถใช้ตกตะกอนเคซีนได้แก่ กรดแล็กติก (lactic acid) กรดเกลือ (hydrochloric acid) กรดแอสติค (acetic acid) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid)

ในกระบวนการทำชีส เกลือมีบทบาทสำคัญเนื่องจากปัจจัยหลายประการ นอกจากอิทธิพลโดยตรงต่อรสชาติของชีสแล้ว การใส่เกลือในชีสยังมีบทบาทสำคัญในการผลิตและอายุการเก็บรักษาของชีส การเติมเกลือแคลเซียมจะช่วยแยกเวย์ออกจากชีส (Fox *et al.*, 2004) ทำให้ชีสมีลักษณะรสชาติตามที่ต้องการ รวมถึงสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ ลดวอเตอร์แอคทีวิตี ช่วยในการเกาะตัวและความสมดุลของแร่ธาตุในชีส (Fox *et al.*, 2017)

แคลเซียมไอออนมีความสำคัญต่อโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของชีส เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถเกิดพันธะกับโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นเส้นใยโปรตีน ปริมาณแคลเซียมที่หลงเหลือในเคิร์ดมีผลต่อลักษณะชีส หากปริมาณแคลเซียมคงเหลือในเคิร์ดสูง จะทำให้เกิดเส้นใยโปรตีนที่ยาวและมีการจัดเรียงตัวที่ดีได้เนยแข็งที่มีเนื้อสัมผัสแน่น ส่วนเนยแข็งที่มีปริมาณแคลเซียมเหลืออยู่ในเคิร์ดต่ำจะมีเส้นใยโปรตีนที่สั้นและจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จึงมีลักษณะเนื้อร่วน

(crumbly) เนยแข็งชนิดเดียวกันแต่ปริมาณแคลเซียมต่างกันจะมีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกัน เช่น เนยแข็งมอซเชอเรลล่าที่มีปริมาณแคลเซียมสูงมีความสามารถในการยืด (stretchability) ดีกว่าเนยแข็งที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ ความสามารถในการยืดขึ้นอยู่กับความยาวเส้นใยและการจัดเรียงตัวของโปรตีน (Lucey and Fox, 1993)

Hokes *et al.* (1982) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเกิดเคิร์ดจากแคลเซียมเคซีน พบว่าเคิร์ดของแคลเซียมเคซีนที่เกาะกันอย่างมีระเบียบเมื่อปริมาณโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (0.775, 1.550 และ 3,100 มิลลิโมล) แต่โซเดียมขัดขวางการเกาะตัวกันของโปรตีน ทำให้มีโปรตีนบางส่วนหลุดออกมา เมื่อตรวจสอบโดยอิเล็กโตรโฟรีซิสพบว่า ของเหลวที่แยกออกจากเคิร์ดมีอัลฟาเอส 1 และบีตาเคซีนปนอยู่ด้วย เนื่องจากโซเดียมไอออนซึ่งมีประจุบวกหนึ่งสามารถจับกับโปรตีนได้เช่นเดียวกับแคลเซียม ทำให้โปรตีนสูญเสียพันธะระหว่างแคลเซียมและโปรตีน เนื่องจากโซเดียมเข้าไปจับกับโปรตีนแทนแคลเซียม ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของอนุภาคโปรตีนลดลง (Whitney, 1988) โปแทสเซียมคลอไรด์มักจะถูกใช้เป็นสารทดแทนโซเดียม เนื่องจากเกลือโพแทสเซียมไม่ก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูงในผู้บริโภคเหมือนกับเกลือโซเดียม (Cruz *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2009) การศึกษาของ Fitzgerald and Buckley (1985) พบว่าเซตต้าชีสที่ใช้โพแทสเซียมทดแทนโซเดียม 50% มีค่าในการสลายโปรตีน รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชีสที่ใช้โซเดียม 100% ในการศึกษาของ Ong *et al.* (2013) พบว่าชีสที่ทำจากนมที่เสริมด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 200–600 mg L⁻¹ ช่วยลดการสูญเสียไขมันในเวย์เมื่อเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมัน และในการศึกษาของ Costa *et al.* (2019) การทดแทนโซเดียมคลอไรด์บางส่วนด้วย

โปแตสเซียมคลอไรด์ (25 และ 50%) ในชีส Minas Padrao ไม่ส่งผลต่อความชื้น โปรตีน ไขมัน แลคติกแอคทิวิตีของน้ำ คอลไรต์ ฟิเอช และการสลายตัวของโปรตีน แต่ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าฟิเอชต่ำและความชื้นลดลง การทดสอบการยอมรับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในชีสที่ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ 25% ด้วยโปแตสเซียมคลอไรด์เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมอซซาเรลล่าชีส โดยการเติมเกลือต่างชนิด คือ NaCl, CaCl₂ และ KCl

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมี

นํ้านมดิบ นํ้าส้มสายชู โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

วิธีการผลิตมอซซาเรลล่าชีส

ดัดแปลงจากวิธีของ Thibaudeau *et al.* (2015) นํ้านมดิบ 4,500 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิไม่เกิน 50°C เมื่ออุณหภูมิถึง 45°C เติมนํ้าส้มสายชู 120 มิลลิลิตร นมจะเริ่มแยกตัวเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (curd) อีกส่วนจะเป็นนํ้าเวย์ (whey) เติมเกลือ 1% (w/v) ใช้กระชอนรองด้วยผ้าขาวบางกรองเอานํ้าเวย์ออก และนํ้านํ้าเวย์ที่ได้มาต้มให้ถึงอุณหภูมิ 90°C ก่อนชีสมาแช่ในนํ้าเวย์และทำการนวด-ยืดออก (ทำซ้ำ ๆ) จากนั้นใส่พิมพ์และใช้ของหนักทับไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง บรรจุใส่กล่องและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเคมี

ความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture) โดยใช้เครื่องวัดความชื้น (moisture balance)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความสามารถในการละลาย (meltability) ด้วยวิธี Schreiber test โดยดัดแปลงวิธีของ Kosikowski and Mistry (1997) และ USDA (1980; 2001)

นำตัวอย่างมอสซาเรลล่าชีสขนาด 2×2 เซนติเมตร ใส่ในกึ่งกลางจาน Petri dish นำไปอบที่อุณหภูมิ 232°C เป็นเวลา 4 นาที และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ทำการวัดขนาดที่เพิ่มขึ้น

$$\text{Meltability} = \frac{[(\text{ขนาดชีสสุดท้าย}-\text{ขนาดชีสเริ่มต้น})] \times 100}{\text{ขนาดชีสสุดท้าย}}$$

2) ความสามารถในการไหล (flowability) โดยดัดแปลงวิธีของ Oberg *et al.* (1992) และ Wang *et al.* (1998)

ชั่งมอสซาเรลล่าชีส 5 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้ว โดยกดลงไปให้แน่นที่ก้นหลอด แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 30 นาที ในลักษณะแนวตั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 60 นาที โดยวางในลักษณะแนวนอน นำออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดระยะทางที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างมอสซาเรลล่าชีสที่เกิดการหลอมเหลว

3) ความสามารถในการยืดขยาย (stretchability) ด้วยวิธี Fork test โดยดัดแปลงวิธีของ Fife *et al.* (2002); Mizuno and Lucey (2005); USDA (1980; 2001)

เตรียมขนมปังขนาด 3×3 เซนติเมตร และชีสขนาด $3 \times 3 \times 0.5$ เซนติเมตร นำชีสวางบนขนมปังและอบที่อุณหภูมิ 232°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการยืดตัวอย่างมอสซาเรลล่าชีสที่หลอมเหลวด้วยมือโดยการดึงขึ้นในแนวตั้งจนกระทั่งชีสขาดและบันทึกระยะทางที่ได้

4) การวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Profile Analysis (TPA) (Stable Micro รุ่น TA-XT Plus, UK) นำตัวอย่างก้อนชีส รูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ใช้หัววัด TA41 Pretest

1.00 mm/s, Test 1.00 mm/s, trigger force 0.5 N แรงกดลึก 25% วิเคราะห์คุณสมบัติของเนื้อสัมผัสด้าน hardness และ resilience ดัดแปลงจากวิธีของ Costa *et al.* (2018)

5) การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การยืด ความหนืด รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยประเมินความชอบ 9 ระดับ (nine-point hedonic scale) จากผู้บริโภควัยอายุ 18–22 ปีที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

6) คุณสมบัติหลังการอบดัดแปลงจากวิธีของ Rizvi *et al.* (1999) และ USDA (1980; 2001) นำมอสซาเรลล่าชีสขนาด 2×2 ซม. วางลงในกึ่งกลางจาน petri dish นำไปอบที่อุณหภูมิ 232°C เป็นเวลา 4 นาที แล้วสังเกตคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- ตรวจสอบดูรอยพอง (blister coverage) โดยดูจากรอยไหม้ว่าครอบคลุมพื้นที่มากน้อยเพียงใด

- ตรวจสอบดูสีของรอยพอง (blister color) โดยดูจากสีของรอยไหม้ว่ามีสีใด

- ตรวจสอบดูปริมาณของน้ำมันที่ไหลเยิ้มออกมา (oiling out) โดยดูจากปริมาณน้ำมันที่เป็นของเหลวว่ามีมากน้อยเพียงใด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) รายงานผลเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี ANOVA ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรม Excel Macros DSASTAT ver. 1.514

ผลการวิจัยและวิจารณ์

คุณสมบัติด้านเคมี

จากการวิเคราะห์พบว่าเกลือมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมอสซาเรลล่าชีสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) Table 1 ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณความชื้นมากที่สุด เนื่องจากชีสตัวอย่างอื่นมีการเติมเกลือ โดยเกลือมีคุณสมบัติไล่ความชื้น ตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl มีปริมาณความชื้นรองลงมา เนื่องจากโซเดียมไอออนเพิ่มการดูดซึมน้ำ การพองตัว (swelling) และการละลายของเคซีนในเซลล์ ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโซเดียมไอออนอยู่สูง จึงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและสามารถหลอมได้ดี (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991; Lucy and Fox, 1993)

ปริมาณความชื้นของผิวชั้นนอกของชีสมีค่าต่ำกว่าเกิดจากการเคลื่อนที่ของ Na^+ และ Cl^- ไอออนจากน้ำเกลือเข้าสู่โครงสร้างเมทริกซ์ของชีส ความชื้นจะถูกกำจัดออกจากชั้นนอกของชีสเพื่อคืนสมดุลออสโมติก (Guinee and Fox, 2017) ในงานวิจัยของ Pastorino *et al.* (2003) การฉีดสารละลายแคลเซียมเข้าไปในชีสทำให้เกิดการหดตัวของเมทริกซ์โปรตีน พร้อมกับการปล่อยซีรัมและสูญเสียความชื้น ซึ่งทำให้เมทริกซ์โปรตีนมีน้ำน้อยลงส่งผลให้ชีสมีความกระด้างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเก็บรักษาชีสทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของไอออน ส่งผลให้ชีสมีความแข็งเพิ่มขึ้น (Buriti *et al.*, 2005)

Table 1 Moisture content

Treatment	Moisture (%)
Control	54.76 $\pm$ 0.99 ^a
NaCl	51.32 $\pm$ 0.42 ^b
CaCl ₂	41.09 $\pm$ 0.42 ^d
KCl	49.19 $\pm$ 0.64 ^c

^{a-d} Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

คุณสมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพใน Table 2 พบว่าความสามารถในการละลาย (meltability) โดยคิดเป็นพื้นที่ในการละลายของชีสที่เพิ่มขึ้น ชีสในแต่ละตัวอย่างทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใส่ CaCl₂ และ KCl ให้ค่าการละลายมากที่สุด เท่ากับ 79.89 $\pm$ 1.40 และ 74.10 $\pm$ 2.77% ตามลำดับ ($p > 0.05$) รองลงมาคือ NaCl เท่ากับ 65.02 $\pm$ 4.29% และตัวอย่างควบคุมให้ค่าการละลายน้อยที่สุด เท่ากับ 47.67 $\pm$ 3.85% ส่วนการวัดระยะทางการไหลของชีส (flowability) พบว่าชีสในแต่ละตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ตัวอย่างที่ใส่ KCl มีค่ามากที่สุด ($p < 0.05$)

เท่ากับ 13.5 $\pm$ 0.89 ซม. ตัวอย่างควบคุมมีค่าน้อยที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 5.77 $\pm$ 0.38 ซม. ตัวอย่างที่ใส่ NaCl และ CaCl₂ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ 8.17 $\pm$ 0.35 และ 8.57 $\pm$ 1.10 ซม. ตามลำดับ และความสามารถในการยืดขยาย (Stretchability) พบว่าชีสในแต่ละตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยตัวอย่างชีสที่ใส่ KCl, CaCl₂, NaCl และควบคุม มีค่าการยืดมากที่สุด เท่ากับ 5.40 $\pm$ 0.49, 5.32 $\pm$ 0.43, 5.13 $\pm$ 0.31 และ 5.06 $\pm$ 0.69 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งแต่ละตัวอย่างสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kindstedt *et al.* (2004) กล่าวว่าคุณสมบัติหลังอบชีสควรยืดให้ได้อย่างน้อย 3 นิ้ว

Table 2 Meltability, flowability and stretchability

Treatment	Meltability (%)	Flowability (cm)	Stretchability (inch) ^{ns}
Control	47.67±3.85 ^c	5.77±0.38 ^c	5.06±0.69
NaCl	65.02±4.29 ^b	8.17±0.35 ^b	5.13±0.31
CaCl ₂	79.89±1.40 ^a	8.57±1.10 ^b	5.32±0.43
KCl	74.10±2.77 ^a	13.5±0.89 ^a	5.40±0.49

^{a-c} Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

จากการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิต จากการทดลองพบว่า ชีสในแต่ละตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชีสที่ใส่ CaCl₂ ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 8.28% รองลงมาคือ ตัวอย่างควบคุมและ NaCl เท่ากับ 6.5 และ 6.64% ตามลำดับ และชีสที่ใส่ KCl เท่ากับ 5.26% ดัง Table 3 จะเห็นว่าชีสที่ได้จะเป็นส่วนโปรตีนและไขมันนม ส่วนน้ำหนักรที่หายไปเยื่อจะเป็นเวย์โปรตีน ในตัวอย่างที่ใส่ CaCl₂ มีผลต่อการช่วยตกตะกอนโปรตีน นมมากที่สุด ช่วยในการแยกเวย์โดยการเพิ่ม syneresis ของอนุภาคเคิร์ด เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถเกิดพันธะกับโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นเส้นใยโปรตีนขึ้น (Lucey and Fox, 1993)

การเติม Ca²⁺ ช่วยลดศักยภาพพื้นผิวของพารา-เคซีนไมเซลล์ และ Ca²⁺ จับกับเคซีนไมเซลล์ ผ่านการ

เชื่อมโยงแบบไฟฟ้าสถิต หรือการจับโดยตรงกับกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกของ α -เคซีนและ β -เคซีน (Asp, Glu) ซึ่งจะทำให้ประจุเป็นกลาง และเป็นผลการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นของไมเซลล์ (Dalgleish, 1983) การเติมแคลเซียมช่วยเพิ่มปฏิกริยาระหว่างเคซีนไมเซลล์ เกิดการปล่อยโมเลกุลของน้ำออกจากโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างของชีสแข็งแรงและหนาแน่นขึ้น (Luo *et al.*, 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ustunol and Hicks (1990) เติมนแคลเซียมเพื่อเพิ่มการเชื่อมโยงแคลเซียมระหว่างเคซีนไมเซลล์ และช่วยกักเก็บไขมันในระหว่างการผลิตเคิร์ดชีส เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wolfschoon-Pombo (1997) ที่เติมนแคลเซียมคลอไรด์ลงในนมชีสระหว่างการทำชีสเพื่อช่วยให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน ปรับปรุงกระบวนการผลิตชีสหรือเพิ่มผลผลิตด้วยการเติมนแคลเซียมซึ่งเติมในช่วง 0–0.5 g/L

Table 3 Yield

Treatment	%Yield
Control	6.51 ^b
NaCl	6.64 ^b
CaCl ₂	8.28 ^a
KCl	5.26 ^c

^{a-c} Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

ในการวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มอลซาลาเรลล่าชีส แสดงใน Table 4 จะเห็นได้ว่า เกลือมีผลต่อ hardness และ resilience อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างชีสที่ใส่ CaCl_2 มีความแข็งและการยืดหยุ่นสูงสุด เพราะแคลเซียมมีผลต่อความแข็ง เนื่องจากปริมาณเคซีนที่แยกตัวออก (degree of casein dissociation) จากการเกิดพันธะระหว่างแคลเซียมและโปรตีน ทำให้โมเลกุลจับตัวกันแน่นส่งผล

ให้ความแข็งเพิ่มขึ้น (Cavalier and Cheftel, 1991) ตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl มีความแข็งและความยืดหยุ่นต่ำ เนื่องจากโซเดียมไอออนสามารถแย่งจับกับโปรตีนได้เช่นเดียวกับแคลเซียมไอออน แต่ไม่สามารถทำให้โปรตีนเกิดโครงสร้างที่แข็งแรง (Lucey and Fox, 1993) สอดคล้องกับการศึกษาของ Cruz *et al.* (2011) พบว่า KCl (โปแตสเซียมคลอไรด์) มีผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญมากกว่า NaCl ในด้านรีโอโลยีความเสถียรของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

Table 4 Rheological properties

Treatment	Hardness (N)	Resilience
Control	1.64±0.04 ^d	0.16±0.01 ^d
NaCl	3.62±0.30 ^c	0.23±0.01 ^c
CaCl_2	9.28±0.30 ^a	0.83±0.02 ^a
KCl	4.49±0.06 ^b	0.35±0.01 ^b

^{a-d} Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสดัง Table 5 พบว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl, CaCl_2 KCl ให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การยืด ความหนืด รสชาติ และความชอบโดยรวม มีคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ

Ayyash *et al.* (2013) พบว่ามอลซาลาเรลล่าชีสที่เติมเกลือ NaCl/KCl มีคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเหมือนกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากเกลือช่วยในการตกตะกอนและดึงน้ำออก แต่เมื่อได้รับความร้อนทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพจึงไม่มีผลต่อการประสาทสัมผัส

Table 5 Sensory test

Treatment	Appearance ^{ns}	Color ^{ns}	Odor ^{ns}	Stretching ^{ns}	Toughness ^{ns}	Flavor ^{ns}	Overall liking ^{ns}
Control	6.76±0.25	6.6±0.25	6.24±0.24	5.92±0.25	6.14±0.26	6.24±0.25	6.42±0.21
NaCl	6.78±0.26	6.66±0.26	6.36±0.26	6.00±0.29	6.46±0.28	6.52±0.27	6.50±0.26
CaCl_2	6.98±0.40	6.88±0.26	6.72±0.24	6.16±0.29	6.66±0.28	6.44±0.27	6.62±0.25
KCl	7.06±0.28	7.02±0.50	7.62±1.00	6.34±0.30	6.50±0.29	6.58±0.32	6.66±0.29

^{ns} no significant difference ($p > 0.05$)

การตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านลักษณะในการละลาย รอยพอง สีของรอยพอง ปริมาณของน้ำมันอิสระ และลักษณะการยืดขยาย ดังแสดงใน Figure 1 ในตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl มีลักษณะหลอมละลายน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ มีรอยไหม้สีน้ำตาลทองที่ขอบเล็กน้อย ในตัวอย่างชีสที่ใส่ CaCl_2 มีลักษณะหลอมละลายได้ดี มีรอยพองเล็กน้อยบริเวณผิวหน้าและขอบ ซึ่งรอยพองมีสีน้ำตาลทอง มีน้ำมันออกมามากที่สุดที่ผิวหน้าและบริเวณรอบ ๆ

เนื่องจาก Ca^{2+} สามารถกักเก็บปริมาณไขมันให้ตกตะกอนพร้อมกับเคซีนได้มากที่สุด ในส่วนตัวอย่างชีสที่ใส่ KCl ลักษณะหลอมละลายเกิดได้ดี ไม่เกิดรอยไหม้เกิดสีเหลืองทองเข้มบริเวณขอบ มีปริมาณน้ำมันออกมาเล็กน้อย และในตัวอย่างควบคุมลักษณะการหลอมละลายเกิดได้ไม่ดี ที่บริเวณขอบเกิดรอยไหม้สีน้ำตาลมากที่สุด เกิดการพองบริเวณผิวหน้าและมีหยดน้ำมันเล็กน้อย

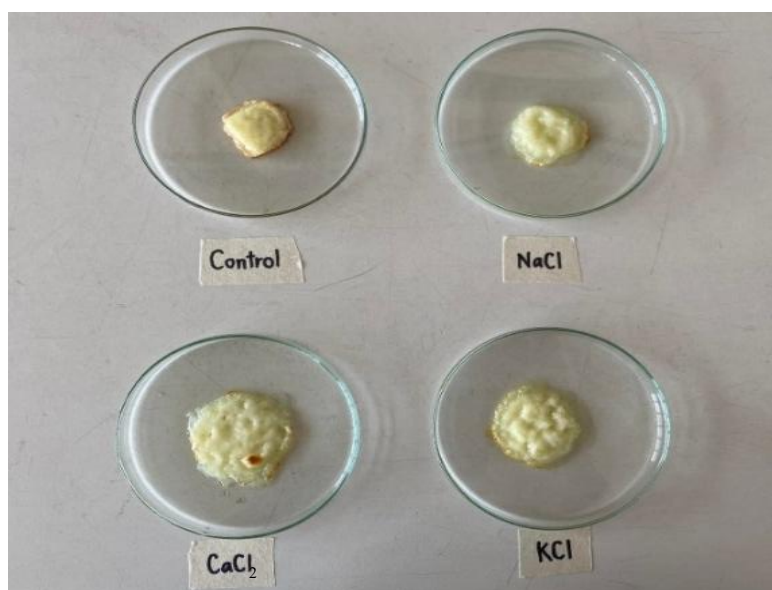


Figure 1 Mozzarella cheese after baking

สรุปผลการวิจัย

การใส่ CaCl_2 ในการผลิตมอสซาเรลล่าชีสช่วยเพิ่มปริมาณร้อยละผลผลิต ชีสที่ได้มีความชื้นต่ำที่สุด ความแข็ง และการยืดหยุ่นสูงที่สุด การใส่เกลือต่างชนิดกันไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ayyash, M.M., F. Sherkat and N.P. Shah. 2013. Effect of partial NaCl substitution with KCl on the texture profile, microstructure, and sensory properties of low-moisture Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Research* 80(1): 7–13. <https://doi.org/10.1017/S002202991200043X>
- Belitz, H.D. and W. Grosch. 1999. Aroma Substances. pp. 319-377. In Belitz, H.D. and W. Grosch (Eds.). *Food Chemistry*. Heidelberg: Springer.

- Buriti, F.C., J.S. Da Rocha and S.M. Saad. 2005. Incorporation of *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and its implications for textural and sensorial properties during storage. **International Dairy Journal** 15(12): 1279–1288.
- Cavalier-Salou, C. and J.C. Cheftel. 1991. Emulsifying salts influence on characteristics of cheese analogs from calcium caseinate. **Journal of Food Science** 56(6): 1542–1547.
- Costa, R.G.B., R.C. Alves, da Cruz, A.G. Sobral, V.A.M.D. Teodoro, L.C.G.C. Junior and E.M. Miguel. 2018. Manufacture of reduced-sodium Coalho cheese by partial replacement of NaCl with KCl. **International Dairy Journal** 87: 37–43.
- Costa, R.G.B., A.C. Junior, A.G. da Cruz, D. Sobral, L.C.G.C. Júnior, J.C.J. de Paula and V.A.M. Teodoro. 2019. Effect of partial replacement of sodium chloride with potassium chloride on the characteristics of Minas Padrão cheese. **International Dairy Journal** 91: 48–54.
- Cruz, A.G., J.A Faria, M.A. Pollonio, H.M. Bolini, R.M. Celeghini, D. Granato and N.P. Shah. 2011. Cheeses with reduced sodium content: effects on functionality, public health benefits and sensory properties. **Trends in Food Science and Technology** 22(6): 276–291.
- Dalgleish, D.G. 1983. Coagulation of renneted bovine casein micelles: dependence on temperature, calcium ion concentration and ionic strength. **Journal of Dairy Research** 50(3): 331–340.
- Fife, R.L., D.J. McMahon and C.J. Oberg. 2002. Test for measuring the stretchability of melted cheese. **Journal of Dairy Science** 85(12): 3539–3545.
- Fitzgerald, E. and J. Buckley. 1985. Effect of total and partial substitution of sodium chloride on the quality of Cheddar cheese. **Journal of Dairy Science** 68(12): 3127–3134.
- Fox, P.F., P.L. McSweeney, T.M. Cogan and T.P. Guinee. 2004. **Cheese: Chemistry Physics and Microbiology Volume 1: General Aspects**. Burlington: Academic Press Burlington. 640 p.
- Fox, P.F., T.P. Guinee, T.M. Cogan and P.L. McSweeney. 2017. Starter Cultures. pp. 121–183. *In* Fox, P.F., T.P. Guinee, T.M. Cogan and P.L. McSweeney (Eds.). **Fundamentals of Cheese Science**. New York: Springer Science+Business Media LLC.
- Guinee, T.P. and P.F. Fox. 2017. Salt in cheese: Physical, Chemical and Biological Aspects pp. 317–375. *In* Guinee, T.P. and P.F. Fox (Eds.). **Cheese**. London: Academic Press.
- Hokes, J.C., M.E. Mangino and P.M.T. Hansen. 1982. A model system for curd formation and melting properties of calcium caseinates. **Journal of Food Science** 47(4): 1235–1249.

- Johnson, B., J. Muller, B. Gregersen and J. Orozco. 2009. Pitfalls and opportunities in knowledge sharing: experiences from a research capacity building project in Central America. **International Journal of Technological Learning, Innovation and Development** 2(4): 250–273.
- Kindstedt, P., M. Carić and S. Milanović. 2004. Pasta-filata Cheeses. Vol. 2. pp. 251–277. In Kindstedt, P., M. Carić and S. Milanović (Eds.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. London: Academic Press.
- Kosikowski, F.V. and V.V. Mistry. 1997. **Cheese and Fermented Milk Foods**. Volume 1: Origins and Principles (Ed. 3). Westport, CT: F.V. Kosikowski. 739 pp.
- Lucey, J.A. and P.F. Fox. 1993. Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture: a review. **Journal of Dairy Science** 76(6): 1714–1724.
- Luo, J., T. Pan, H.Y. Guo and F.Z. Ren. 2013. Effect of calcium in brine on salt diffusion and water distribution of Mozzarella cheese during brining. **Journal of Dairy Science** 96(2): 824–831.
- Ministry of Public Health. 2000. **Announcement of the Ministry of Public Health (No. 209), B.E. 2000 Subject**. Bangkok: Ministry of Public Health. 854 p. [in Thai]
- Mizuno, R. and J.A. Lucey. 2005. Effects of two types of emulsifying salts on the functionality of nonfat pasta filata cheese. **Journal of Dairy Science** 88(10): 3411–3425.
- Oberg, C.J., R.K. Merrill, R.J. Brown and G.H. Richardson. 1992. Effects of milk-clotting enzymes on physical properties of Mozzarella cheese. **Journal of Dairy Science** 75(3): 669–675.
- Ong, L., R.R. Dagastine, S.E. Kentish and S.L. Gras. 2013. The effect of calcium chloride addition on the microstructure and composition of Cheddar cheese **International Dairy Journal** 33(2): 135–141.
- Pastorino, A.J., C.L. Hansen and D.J. McMahon. 2003. Effect of salt on structure-function relationships of cheese. **Journal of Dairy Science** 86(1): 60–69.
- Rizvi, S.S., A. Shukla and J. Srikiatden. 1999. **U.S. Patent No. 5,925,398**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 571 p.
- Thibaudeau, E., D. Roy and D. St-Gelais. 2015. Production of brine-salted Mozzarella cheese with different ratios of NaCl/KCl. **International Dairy Journal** 40: 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.07.013>
- USDA (United States Department of Agriculture). 1980. **USDA specifications for Mozzarella cheese**. [Online]. Available <http://www.ams.usda.gov/dairy/mozz.pdf>. (September 22, 2022).

- USDA (United States Department of Agriculture).
2001. **USDA specifications for loaf and shredded lite Mozzarella cheese.**
[Online]. Available http://www.ams.usda.gov/dairy/shreddedlitemozz_03-01-2001.pdf (September 22, 2022).
- Ustunol, Z. and C.L. Hicks. 1990. Effect of calcium addition on yield of cheese manufactured with *Endothia parasitica* protease. **Journal of Dairy Science** 73(1): 17–25.
- Wang, W., P.S. Kindstedt, J.A. Gilmore and M.R. Guo. 1998. Changes in the composition and meltability of Mozzarella cheese during contact with pizza sauce. **Journal of Dairy Science** 81(3): 609–614.
- Whitney, R.M. 1988. Proteins of Milk. pp. 81-169. *In* Whitney, R.M. (Ed.). **Fundamentals of Dairy Chemistry.** Boston: Springer.
- Wolfschoon-Pombo, A.F. 1997. Influence of calcium chloride addition to milk on the cheese yield. **International Dairy Journal** 7(4): 249–254.