



การศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ
Study on the Stability of Pandan Extract in Khanom Krong Krang
with Coconut Milk

สรุขนิย์	เต็มเปี่ยม
ศุภักษร	มาแสวง
คันสนีย์	ทิมทอง

งานวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568
ประเภท โครงการวิจัยเงินกองทุนเพื่อการวิจัย
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครongเครงน้ำกะทิ
Study on the Stability of Pandan Extract in Khanom Krong Krang
with Coconut Milk

สรรรชนี	เต็มเปี่ยม
ศุภักษร	มาแสวง
คันสนีย์	ทิมทอง

งานวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568
ประเภท โครงการวิจัยเงินกองทุนเพื่อการวิจัย
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

การผลิตขนมไทยที่ใช้สีจากธรรมชาติมักมีปัญหาความไม่คงตัวของสี โดยเฉพาะสีเขียวจากใบเตยซึ่งมีคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลัก เมื่อได้รับความร้อนหรืออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด คลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นฟิโอไฟดินและฟิโอฟอร์ไบด์ ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและลดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตขนมครกแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย โดยการเตรียมแป้งโดจากแป้งดิบและแป้งสุกบางส่วน ซึ่งในส่วนของแป้งสุกจะใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำใบเตยที่สกัดด้วยน้ำปูนใสอิมตัวที่ระดับ 10% 15% และ 20% (w/v) จากนั้นศึกษาผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.00% 0.10% 0.20% 0.30% และน้ำปูนใสอิมตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตยที่มีผลต่อค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมครกแครงน้ำกะทิ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครกแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลร่วมกับน้ำใบเตยในการผลิตตัวขนมครกแครงที่ระดับ 15% ได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) แป้งโดที่ได้มีความเหนียวพอเหมาะ แป้งไม่ร่วนและไม่เหนียวจนเกินไป ทำให้ขึ้นรูปเป็นตัวขนมครกแครงได้ดีที่สุด และมีสีเขียวกคงตัว ตัวขนมครกแครงมีลักษณะที่ดีไม่เหนียวจนเกินไป จึงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงกว่าที่ระดับอื่น ๆ สำหรับการศึกษาค่าผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตสกัดสีเขียวจากใบเตยที่ระดับความเข้มข้น 0.00% 0.10% 0.15% และ 0.20% (w/v) ในการผลิตตัวขนมครกแครงที่ระดับ 15% พบว่าแป้งสุกที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.10% ทำให้ตัวขนมครกแครงมีสีเขียว ($-a^*$) สูงและคงตัวที่สุด อีกทั้งมีค่าความแน่นเนื้อ ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว ค่าการทนต่อการเคี้ยว และค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุด เมื่อเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัวมากกว่าตัวอย่างอื่น ($p \leq 0.05$) การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวขนมครกแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.10% ได้รับการยอมรับสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการผลิตตัวขนมครกแครงที่มีส่วนผสมของแป้งดิบและแป้งสุกบางส่วนที่ใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำใบเตยที่ระดับ 15% เป็นสูตรที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพที่เหมาะสม จึงส่งผลให้ได้รับคะแนนการยอมรับทุกด้านมากที่สุด และการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.10% มีความเหมาะสมในการสกัดสีเขียวจากใบเตย เพื่อผลิตตัวขนมครกแครงใบเตยที่มีสีเขียวคงตัวและปรับปรุงให้มีคุณภาพทางกายภาพที่ดีขึ้น

คำสำคัญ: ขนมครกแครง, ใบเตย, สีเขียวจากใบเตย, แป้งมันสำปะหลัง

ABSTRACT

Thai desserts colored with natural pigments often suffer from poor color stability, particularly those containing the green pigment extracted from pandan (*Pandanus amaryllifolius*) leaves, in which chlorophyll is the primary pigment. Upon exposure to heat or acidic conditions, chlorophyll is converted to pheophytin and pheophorbide, causing the green color to turn brown and reducing the visual quality of the product. Therefore, this study aimed to determine the optimal processing conditions for producing pandan-colored *Khrong-Khrang*. The dough was prepared using a combination of native tapioca starch and partially gelatinized starch. The gelatinized starch was produced by mixing tapioca starch with pandan leaf extract obtained using saturated limewater at starch-to-extract ratios of 10%, 15% and 20% (w/v). Subsequently, the effects of sodium hydrogen carbonate solutions at concentrations of 0.00%, 0.10%, 0.20% and 0.30%, as well as saturated limewater, used for extracting the green pigment from pandan leaves were evaluated based on color characteristics, texture profile, and sensory attributes of *Khrong-Khrang* served in coconut milk. The results indicated that using 15% tapioca starch for preparing the gelatinized starch with pandan leaf extract produced *Khrong-Khrang* with the highest sensory acceptance scores for appearance, color, aroma, flavor, taste, texture, and overall liking ($p \leq 0.05$). The resulting dough exhibited suitable cohesiveness, being neither too crumbly nor excessively sticky, which facilitated shaping into well-formed *Khrong-Khrang* pieces while maintaining a stable green color. The cooked product also possessed a desirable texture without excessive stickiness, contributing to its superior consumer acceptance compared with the other formulations. For the extraction study, the use of sodium hydrogen carbonate solutions at concentrations of 0.00%, 0.10%, 0.15%, and 0.20% (w/v) in the formulation containing 15% gelatinized starch showed that a 0.10% sodium hydrogen carbonate solution produced *Khrong-Khrang* with the highest and most stable green color (lowest a value), as well as the greatest firmness, cohesiveness, gumminess, chewiness, and springiness. These textural properties were significantly higher than those obtained at the other concentrations and were most comparable to those of the sample extracted with saturated limewater ($p \leq 0.05$). Sensory evaluation further demonstrated that the sample prepared using 0.10% sodium hydrogen carbonate received the highest acceptance scores for appearance, color, aroma, flavor, taste, texture, and overall liking. These findings demonstrate that

a formulation containing both native and partially gelatinized tapioca starch, prepared using a 15% starch-to-pandan extract ratio, provided the most desirable physical characteristics and the highest overall sensory acceptance. In addition, the use of a 0.10% sodium hydrogen carbonate solution was the most suitable method for extracting green pigment from pandan leaves, enabling the production of pandan-flavored *Khrong-Khrang* with improved green color stability and enhanced physical quality.

Keywords: *Krong-Krang*, Pandan Leaves, Green Pigments from Pandan Leaves,
Tapioca Starch

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้โดยได้รับการจัดสรรงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ส่งเสริมให้บุคลากรในสังกัดของมหาวิทยาลัยได้ทำการวิจัย เพื่อตอบสนองการศึกษา การส่งเสริมวิชาการที่เน้นการปฏิบัติ ฯลฯ และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมทั้งยังให้ความอนุเคราะห์บุคลากรในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภักษร มาแสง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คันสนีย์ ทิมทอง ผู้ร่วมวิจัย ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในร่วมทำวิจัย ตลอดจนการช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จนทำให้งานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

ขอขอบคุณผู้ทดสอบชิมทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมครองแครงน้ำกะทิด้วยความเต็มใจ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอขอบคุณบุคคลในสำนักงานต่าง ๆ ที่อยู่เบื้องหลังงานวิจัยนี้ทุกคนที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยสำเร็จตามที่วัตถุประสงค์มา ณ ที่นี้ด้วย

สรรรชนี เต็มเปี่ยม
หัวหน้าโครงการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(4)
สารบัญ	(5)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
สารบัญแผนภูมิ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวความคิดในการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ขนบครองแครง	5
2.2 ใบเตย	8
2.3 คลอโรฟิลล์	10
2.4 แป้งมันสำปะหลัง	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดลอง	24
3.2 วิธีการทดลอง	26
3.3 สถานที่ทำการวิจัย	31
3.4 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	32
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย	32
4.2 ผลการศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผล	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก ลักษณะเส้นลวดช่องสิ่งค้ปรอบแห้งและต้มสุก	52
ภาคผนวก ข ขนมลวดครองแครงน้ำกะทิสำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	58
ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	61
ประวัติผู้วิจัย	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของไบโเตยสด	9
2.2 สมบัติทั่วไปของสตาร์ชมันสำปะหลัง	16
3.1 ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดไบโเตยในการผลิตตัวขนม ครองแครง	28
4.1 ค่าสีของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจล ต่อสารสกัดจากไบโเตย	33
4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ในการทำเจลต่อสารสกัดจากไบโเตย	34
4.3 คะแนนความชอบของขนมครองแครงน้ำกะทิจากการทดสอบทางประสาท สัมผัส	36
4.4 ค่า pH ของสารสกัดจากไบโเตย และค่าสีของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลาย NaHCO_3 และน้ำปูนใสอิมัลชันในการสกัดสีเขียว จากไบโเตย	39
4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ความเข้มข้นของ สารละลาย NaHCO_3 และน้ำปูนใสอิมัลชันในการสกัดสีเขียวจากไบโเตย	41
4.6 คะแนนความชอบของขนมครองแครงน้ำกะทิที่จากการทดสอบทางประสาท สัมผัส	43

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของใบเตยหอม	8
2.2	กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยพืชสีเขียว	10
2.3	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี	11
2.4	โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี	12
2.5	การสลายตัวของคลอโรฟิลล์	13
2.6	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟิโอฟิติน	14
2.7	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในผักสีเขียวเมื่อให้ความร้อนในภาชนะที่มีมีซิงค์ไอออน	15
2.8	โครงสร้างของอะไมโลส	17
2.9	โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน	18
2.10	ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 °C	19
3.1	สารสกัดจากใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสเป็นตัวเป็นตัวย่อย	26
3.2	ตัวชนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสารสกัดจากใบเตย 15% ในการทำเจล	29
3.3	สารสกัดจากใบเตยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอนเตเป็นตัวย่อย	30
4.1	ลักษณะตัวชนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย	32
4.2	ลักษณะตัวชนมครองแครงดิบใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย	37
4.3	ตัวชนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaHCO ₃ และน้ำปูนใสเป็นตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย	38

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสเป็นตัวทำละลาย	26
3.2	ขั้นตอนการผลิตตัวขนมครองแครงในการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ ทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย	28
3.3	ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอนेट เป็นตัวทำละลาย	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ครองแครงเป็นขนมไทยที่มีรูปร่างคล้ายฝัวยอแครงเล็ก ๆ ซึ่งตัวขนมเกิดจากการกดแป้งลงบนแม่พิมพ์ที่เป็นไม้หรือพลาสติกที่เจาะเป็นร่องๆ ขนมครองแครงจะมีทั้งหมด 3 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ ครองแครงกะทิ ครองแครงแก้ว และครองแครงกรอบ สำหรับครองแครงแก้วจัดเป็นขนมไทยประเภทน้ำที่มีการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมหลักในการทำตัวครองแครงแก้ว โดยลักษณะของขนมจะเป็นตัวหอย มีความใส ความเหนียว และมีความมันของกะทิ รสหวาน เค็มเล็กน้อย (อรรสสุนพพวรรค์, 2542) ได้มีการศึกษาการพัฒนาครองแครงแก้วให้ได้สูตรมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางในการนำมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น เป็นการเพิ่มรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งมันสำปะหลังให้มีความหลากหลาย ซึ่งจะช่วยขยายตลาดทำให้มีการแพร่หลายในการบริโภคขนมไทยมากขึ้น และเป็นการเผยแพร่ขนมไทยอีกด้วย (อังคณา จารุพิณทุโสภณ, 2548) โดยในกระบวนการผลิตขนมครองแครงจะนำแป้งมันสำปะหลังมานวดกับน้ำร้อน แล้วนำไปขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นตัวหอย เมื่อต้องการบริโภคจึงนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด ซึ่งจะได้ตัวขนมที่มีความใส ความเหนียว และจะนำมารับประทานกับน้ำกะทิ (รสชาติหวาน มัน เค็ม) หรือกะทิสดผสมกับน้ำเชื่อม หากต้องการแต่งสีขนมให้ดูน่ารับประทาน คนโบราณจึงนิยมนำสีเขียวยจากใบเตยมาใช้เป็นส่วนประกอบในการทำขนมเพื่อให้ขนมมีสีเขียวและให้กลิ่นหอม ด้วยใบเตยมีคุณสมบัติโดดเด่นในเรื่องการให้กลิ่นหอม นอกจากนี้ใบเตยยังมีสารหอมระเหยที่ให้กลิ่นรสหลักที่สำคัญซึ่งให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่วอีกด้วย (นิศานันท์ ตามกาล และคณะ, 2558) โดยทั่วไปการทำขนมไทยที่มีการเติมสีจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะไม่มีส่วนผสมของสี โดยเฉพาสีเขียวจากใบเตย ซึ่งใบเตยมีรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญคือคลอโรฟิลล์ เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปอาหาร สีเขียวของใบเตยเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่คงตัว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เมื่อได้รับความร้อน (Ngo & Zhao 2007; Zheng et al. 2014; Dewi et al. 2022) หรือการเปลี่ยนแปลง pH ที่มีความเป็นกรด (Indrasti et al., 2018)

สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นสีเขียวมัวน้ำตาลของฟิโอฟิติน ซึ่งเป็นผลมาจากแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในวงแหวนพอร์ไฟริน (Senklang & Anprung 2010; Gunawan & Barringer 2000; Koca et al. 2006) เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟิโอฟอไรบด์ และยังสามารถเปลี่ยนเป็นสีเขียวยสดของคลอโรฟิลล์โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ที่เกิดการสูญเสียหมู่ฟอสฟอริกออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549) โดยพบว่าสามารถรักษาคลอรอโรฟิลล์ในระหว่างการแปรรูปได้ เช่น การใช้อุณหภูมิที่สูงเวลาสั้น (HTST) (Minh et al., 2019) การแทนที่ Mg^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ด้วย Zn^{2+} (Ngo & Zhao, 2007) และ

การควบคุม pH ด้วยสารแอลคาไลซิง (alkalizing agent) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้ pH ในระหว่างการแปรรูปสูงขึ้น และรักษาคลอโรฟิลล์ไม่ให้สลายไปหลังการแปรรูป (Koca et al. 2006; Gandul 2014; Kaur et al. 2018)

จากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร และเนื่องจากคลอโรฟิลล์มีความคงตัวในต่าง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย โดยลดการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ด้วยการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือน้ำปูนใส และศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการทำขนม เพื่อให้ได้ตัวขนมครองแครงที่มีสีเขียวของใบเตย ซึ่งเป็นสีจากธรรมชาติที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้สีเขียวยังเป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของขนมที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน และมุ่งหวังให้ขนมครองแครงที่มีสีเขียวของสารสกัดใบเตยเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย

1.2.2 เพื่อศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใบเตยที่ใช้ในการสกัดสีเป็นใบเตยหอมสด คัดเลือกเฉพาะส่วนของใบที่โตเต็มที่ตั้งแต่ใบที่ 7 เป็นต้นไปแต่ไม่เกินใบที่ 24 (Suryani et al., 2020) อัตราส่วนของใบเตยต่อตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เท่ากับ 1 : 4 (w/v)

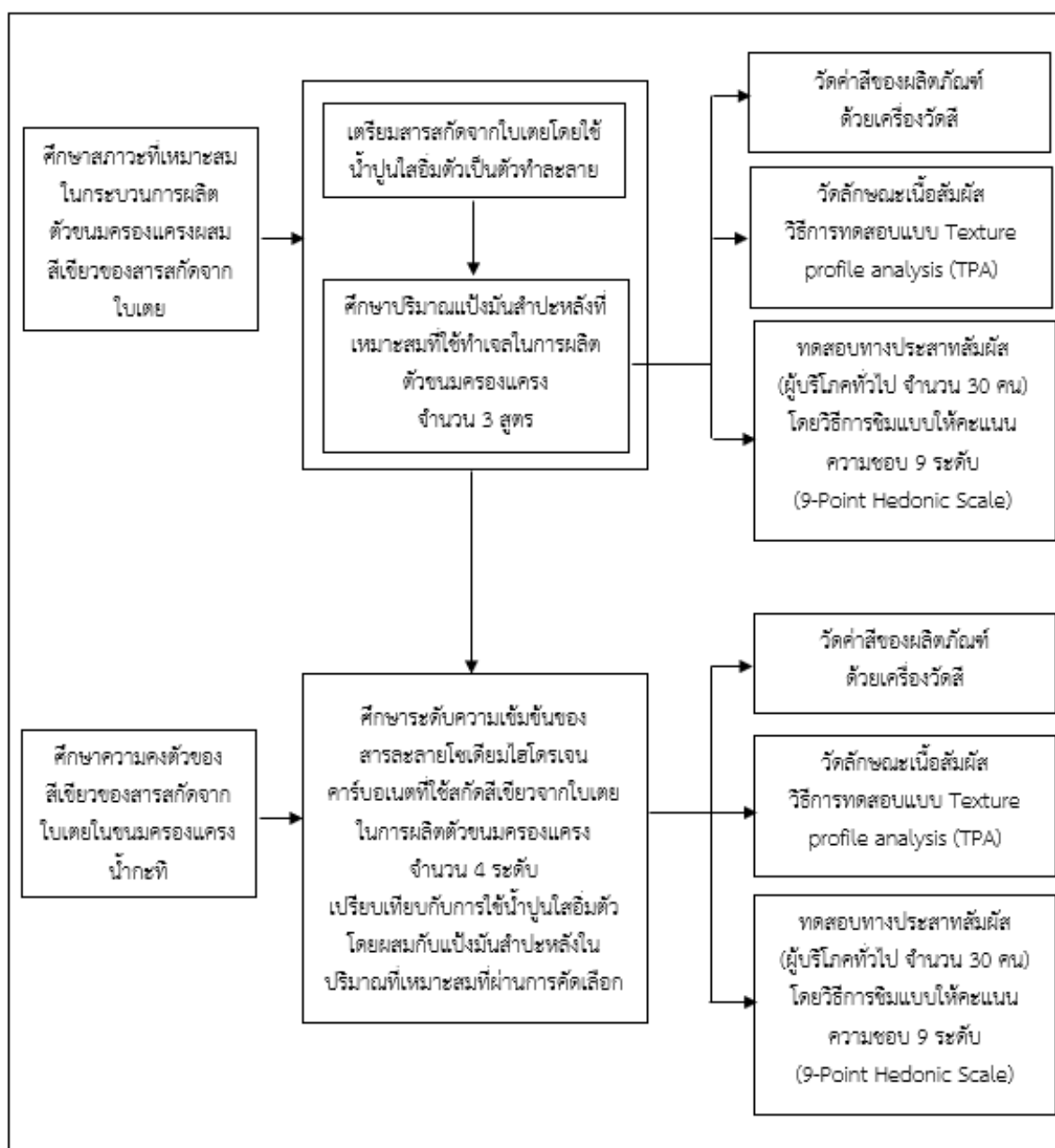
1.3.2 แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแป้งมันชนิดพิเศษ ตราแมวแดงดาวเทียม ลูกโลก ผลิตโดยบริษัท เกรียงไกร (เกียงไต้) จำกัด

1.3.3 สารที่ใช้เพิ่มความคงตัวของสารสีเขียวในการสกัดใบเตย ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือน้ำปูนใส และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต โดยเตรียมน้ำปูนใสจากการนำปูนแดง ข.ช้าง ผสมกับน้ำสะอาดอัตราส่วน 1 : 50 (w/v) คนให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ตกตะกอนไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์ ใช้เฉพาะส่วนของสารละลายใส

1.3.4 ตรวจสอบคุณภาพตัวขนมครองแครงด้วยการวัดค่าสี และวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ตัวขนมครองแครงต้มสุก และในรูปแบบขนมครองแครงน้ำกะทิสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.4 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

การศึกษาความคงตัวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ มีกรอบแนวความคิดในการวิจัย ดังนี้



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เป็นแนวทางในการต่อยอดการผลิตขนมไทย โดยใช้สีเขียวจากใบเตยที่มีสีสดสวยงามจากธรรมชาติและมีความคงตัว เพื่อบริโภคในครัวเรือนหรือพัฒนาสู่อุตสาหกรรมต่อไป
- 1.5.2 เป็นทางเลือกสำหรับคนที่ต้องการหารายได้เสริมจากอาชีพหลัก
- 1.5.3 เป็นการส่งเสริมการนำพืชสมุนไพรใกล้ตัวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้กับพืชสมุนไพรในท้องถิ่นของไทย

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1.6.1 ตัวขนมครองแครง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง โดยผสมแป้งดิบกับแป้งสุกที่มีลักษณะเป็นเจลบางส่วนขณะร้อน แล้วนวดให้เข้ากันจนนุ่มมือและเนื้อแป้งเนียน นำไปขึ้นรูปให้มีรูปร่างคล้ายฝายหอยแครงเล็ก ๆ โดยกดแป้งลงบนแม่พิมพ์ครองแครงให้เป็นตัว
- 1.6.2 สารสกัดจากใบเตย หมายถึง สารละลายที่ได้จากการนำใบของต้นเตยหอมที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Pandanus amaryllifolius* Roxb. ที่สดและอยู่ในสภาพดีมาล้างให้สะอาด ทำให้แห้งหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปบดให้ละเอียดกับน้ำหรือสารละลายต่างด้วยเครื่องบด และกรองแยกกากใบเตยออก เก็บเฉพาะส่วนของสารละลาย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขนมหอยแครง

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ได้ให้ความหมายของคำว่า “**หอยแครง**” ไว้ว่า ชื่อขนมทำด้วยแป้งกตบนิมพ์ที่เป็นรอยริ้ว ๆ คล้ายฝายหอยแครง ต้มกับกะทิ ถ้าทอดกรอบเคล้าน้ำตาลเคี้ยว เรียกว่า หอยแครงกรอบ ซึ่งขนมหอยแครงเป็นขนมที่มีการเรียกเพี้ยนไปจากคำเดิมคือ หอยแครง เพราะรูปร่างของขนมเป็นริ้ว ๆ ตัวป้อม ๆ มีสีขาวเหมือนกับหอยแครง (ส. พลายน้อย, 2554) หอยแครงเป็นขนมไทยที่มีรูปร่างคล้ายฝายหอยแครงเล็ก ๆ ซึ่งตัวขนมเกิดจากการกดแป้งลงบนแม่พิมพ์ที่เป็นไม้หรือพลาสติกที่เจาะเป็นร่องๆ ขนมหอยแครงจะมีทั้งหมด 3 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ หอยแครงกะทิ หอยแครงแก้ว และหอยแครงกรอบ สำหรับหอยแครงแก้วจัดเป็นขนมไทยประเภทน้ำที่มีการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมหลักในการทำตัวหอยแครง โดยลักษณะของขนมจะเป็นตัวหอย มีความใส ความเหนียว และมีความมันของกะทิ รสหวาน เค็มเล็กน้อย (อรรสนพพรค์, 2542)

2.1.1 ขนมหอยแครงแก้ว

2.1.1.1 หอยแครงแก้ว อรรสนพพรค์ (2542) ได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตหอยแครงแก้วไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเข้าด้วยกัน เติมน้ำเดือดใส่แป้งคนเร็ว ๆ ให้เข้ากันแล้วนวด แบ่งแบ่ง 0.5 ช้อนชาและปั้นเป็นก้อนกลม กดใส่พิมพ์ให้เป็นตัว จากนั้นนำไปลวกในน้ำเดือดให้ตัวหอยแครงลอยขึ้นมา และในขั้นตอนสุดท้ายผสมน้ำกะทิ น้ำตาล เกลือ นำไปตั้งไฟคนให้ละลายอย่าให้แตกมัน ใส่ตัวหอยแครงลงในน้ำกะทิ คนให้ทั่วแล้วยกลง จัดเสิร์ฟโดยตักใส่ถ้วย และโรยาคั่วที่เคล้าน้ำตาลและเกลือ

2.1.1.2 หอยแครงแก้ว อังคณา จารุพินทุโสภณ (2548) ได้กล่าวถึงกรรมวิธีการผลิตหอยแครงแก้วไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากผสมแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้า เติมน้ำเดือด คนแล้วนวดจนแป้งไม่ติดมือ แบ่งเป็นก้อนกลม ๆ ขนาด 1 กรัม นำมากดลงบนพิมพ์หอยแครงให้เป็นรูปตัวหอยนำไปลวกในน้ำเดือด 5 นาที แล้วตักขึ้นมาแช่น้ำเย็นสักครู่ เทใส่กระชอนให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นผสมกะทิ น้ำตาลทราย และเกลือ คนจนน้ำตาลทรายละลาย นำไปตั้งไฟคนไปด้วยตลอดเวลาจนเดือดยกลง ใส่ข้าวและตัวหอยแครงแก้ว

2.1.1.3 หอยแครงแก้ว สำนักพิมพ์แสงแดด (2551) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตขนมหอยแครงแก้วไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากนำน้ำเดือดราดลงบนแป้งมันสำปะหลัง ใช้ไม้พายคนให้เข้ากัน ให้แป้งมีลักษณะพองขึ้นได้ แล้วนวดแป้งจนเหนียว ปั้นเป็นก้อนกลม ๆ ขนาด 0.5 เซนติเมตร แล้วกดด้วยส้อมหรือไม้ร่อนสำหรับกดหอยแครง จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดจนตัวหอยแครงสุกใส แล้วตัก

ชั้นใส่น้ำเย็นแช่ไว้สักครู่ เทใส่กระชอนให้สะเด็ดน้ำ และในขั้นตอนสุดท้ายผสมกะทิ น้ำตาลทรายเกลือ นำไปตั้งไฟให้เดือด คนอย่าให้กะทิเป็นลูก ใส่ตัวครองแครงลงในน้ำกะทิ คนให้ทั่วแล้วยกลง จัดเสิร์ฟโดยตักใส่ถ้วยและโรยด้วยถั่วทองคั่ว

2.1.1.4 ครองแครงแก้ว อภิญญา มานะโรจน์ (2556) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตครองแครงแก้วไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากการทำตัวแป้งครองแครง โดยใส่น้ำเดือดจัดลงในแป้งมันสำปะหลังขนาดแป้งให้เป็นก้อนจมนุ่มมือและเนื้อแป้งเนียน แบ่งแป้งเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนเติมสีผสมอาหารและขนาดให้สีเข้ากับแป้ง คลึงแป้งเป็นเส้นยาว ๆ เด็ดแป้งให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร กดแป้งบนพิมพ์ครองแครงให้เป็นตัว จากนั้นนำไปต้มน้ำให้เดือด เมื่อสุกตัวครองแครงจะลอยตัวขึ้นมา ตักตัวครองแครงใส่ลงในน้ำเย็น ตักขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำ และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำครองแครงแก้ว โดยใส่น้ำกะทิลงในหม้อ ยกขึ้นตั้งไฟ ใส่น้ำตาลทรายและเกลือป่น ใส่ใบเตยคนให้น้ำตาลทรายละลายโดยใช้ไฟอ่อน ใส่หัวกะทิต่อไปจนเดือดเล็กน้อย คนจนกะทิขึ้นและมีไอร้อน ๆ ขึ้นมา ใส่ตัวครองแครงลงในน้ำกะทิ คนให้เข้ากัน ตักใส่ถ้วยและโรยด้วยถั่วทอง พร้อมเสิร์ฟ

2.1.2 ขนมครองแครงกะทิ

2.1.2.1 ครองแครงกะทิ อรวสุ นพพรค์ (2542) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตครองแครงกะทิไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเข้าด้วยกัน ค่อย ๆ ใส่น้ำและนวดจนน้ำหมด กวนแป้งโดยใช้ไฟระดับปานกลาง กวนจนล่อนจากกระทะ นวดขณะร้อน แบ่งแป้ง 0.5 ช้อนชา และปั้นเป็นก้อนกลม กดใส่พิมพ์ให้เป็นตัว จากนั้นนำไปลวกในน้ำเดือดให้ตัวครองแครงลอยขึ้นมา และในขั้นตอนสุดท้ายผสมน้ำกะทิ น้ำตาล เกลือ และผสมแป้งข้าวเจ้ากับน้ำ คนให้เข้ากัน เทใส่น้ำกะทิ ยกขึ้นตั้งไฟ คนอย่าให้แตกมัน ใส่ตัวครองแครงลงในน้ำกะทิ คนให้ทั่วแล้วยกลง จัดเสิร์ฟโดยตักใส่ถ้วยและโรยด้วยถั่วทองคั่ว

2.1.2.2 ครองแครงกะทิ อบเชย อัมสบาย (2554) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตตัวครองแครงไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเท้ายายหม่อมเข้าด้วยกัน ในกระทะทอง ค่อย ๆ ใส่น้ำที่เล็กน้อย นวดจนน้ำหมด จากนั้นยกกระทะขึ้นตั้งไฟระดับกลาง กวนจนแป้งจับตัวเป็นก้อนล่อนออกจากกระทะ ปิดไฟแล้วยกลง พักไว้พอแป้งอุ่น ขนาดแป้งให้นุ่มเหนียวและไม่ติดมือ ปั้นแป้งเป็นก้อนกลมเล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร แล้วนำไปกดบนพิมพ์ครองแครงให้เป็นตัว จากนั้นนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด เมื่อสุกตัวครองแครงจะลอยตัวขึ้นมา ช้อนขึ้นและนำไปแช่น้ำเย็น ตักขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำ รอใส่กะทิ และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำน้ำกะทิ โดยใส่กะทิ น้ำตาลทราย และเกลือลงในหม้อ ผสมให้เข้ากัน ตักน้ำกะทิออกมาเล็กน้อย ผสมกับแป้งข้าวเจ้าในถ้วยให้เข้ากัน ใส่ลงในหม้อกะทิ ใส่ใบเตย ยกขึ้นตั้งไฟระดับกลางค่อนข้างอ่อน พอเดือดและชั้นใส่ตัวครองแครงลงในน้ำกะทิ คนให้เข้ากันพอเดือด ตักใส่ถ้วยและโรยด้วยงาขาวคั่ว พร้อมเสิร์ฟ

2.1.2.3 ครองแครงกะทิสด เครือวัลย์ ศิริพงษ์ (2554) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตตัวครองแครงสดไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากนำแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าใส่น้ำและนวดให้เข้ากัน ปั้นเป็นก้อนกลม ๆ และกดทับลงบนพิมพ์ครองแครงให้เป็นตัว จากนั้นนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด เมื่อสุกตัวครองแครงจะลอยตัวขึ้นมา ช้อนขึ้นและนำไปแช่น้ำเย็น ตักขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำ รอใส่กะทิ และใน

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำน้ำกะทิ โดยใส่หัวกะทิลงในหม้อ ยกขึ้นตั้งไฟระดับอ่อน เติมเกลือและน้ำตาลทราย ตามด้วยใบเตย เคี่ยวพอกะทิแตกมัน โรยด้วยงาคั่วที่คั่วเรียบร้อยแล้ว จัดเสิร์ฟโดยตักครองแครงใส่ชามพร้อมด้วยน้ำกะทิตราหน้า

2.1.2.4 ครองแครงกะทิ อภิญา มานะโรจน์ (2556) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตครองแครงกะทิไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากการผสมตัวแป้ง โดยนำแป้งข้าวเจ้าและแป้งท้าวยายหม่อมผสมเข้าด้วยกัน เติมน้ำกะทิและน้ำเปล่าลงนวดกับแป้งจนแป้งนุ่ม เติมน้ำเปล่าละลายให้เป็นน้ำแป้ง ยกขึ้นตั้งไฟกวนให้แป้งข้นจนแป้งจับตัวเป็นก้อน นำมานวดให้นุ่มมือโดยใช้แป้งนวลแต่น้อย คลึงแป้งเป็นแท่งยาวและใช้มีดตัดให้เป็นก้อนขนาด 1 เซนติเมตร กดแป้งบนพิมพ์ครองแครงให้เป็นตัว จากนั้นนำไปต้มน้ำให้เดือด เมื่อสุกตัวครองแครงจะลอยตัวขึ้นมา ตักตัวครองแครงใส่ลงในน้ำเย็น ตักขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำ และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำครองแครงกะทิ โดยใส่น้ำกะทิลงในหม้อ ยกขึ้นตั้งไฟใส่น้ำตาลทราย เกลือป่น และใบเตย คนจนกะทิเดือดและส่วนผสมละลายเข้าด้วยกัน (อย่าให้กะทิแตกมัน) ใส่ตัวครองแครงลงในน้ำกะทิที่ยืดแล้ว โรยงาขาวคั่วคนให้เข้ากัน ตักใส่ถ้วย พร้อมเสิร์ฟ

นอกจากนี้ สุกัญญา สมสิงห์ (2556) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตขนมครองแครงไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากต้มน้ำเดือดใส่ลงบนแป้งมันสำปะหลัง ใช้ไม้คนให้เข้ากัน พอแป้งอุ่นใช้มีอนวดให้แป้งนิ่ม แบ่งแป้งเป็น 3 ส่วน นำแป้ง 2 ส่วนไปผสมสีชมพูและสีเขียว ปั้นแป้งเป็นก้อนกลม คลุกแป้งมันสำปะหลังให้ทั่วแล้วกดบนที่กดครองแครง จากนั้นนำตัวครองแครงไปต้มในน้ำเดือดให้สุก (ตัวครองแครงจะลอย) ตักขึ้นแช่น้ำเย็นไว้ เทใส่กระชอนให้สะเด็ดน้ำ คลุกกับมะพร้าวทึนทึกให้ทั่ว รับประทานกับน้ำตาลทราย งา และเกลือป่นที่ผสมไว้เรียบร้อยแล้ว

2.2 ใบเตย

เตยหอมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า แพนดานัส อะมาริลลิโฟลีส (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) จัดอยู่ในวงศ์ Pandanaceae เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศอินเดีย รวมถึงทวีปอื่น เช่น แอฟริกา และออสเตรเลีย ชอบขึ้นตามพื้นที่ชุ่ม ริมลำน้ำหรือบริเวณขึ้นแฉะที่มีน้ำขังเล็กน้อย (พืชเกษตร, 2559) ในประเทศไทยสามารถพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศ ซึ่งเตยหอมเป็นพืชที่คนไทยรู้จักกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและได้นำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะส่วนของใบที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารเป็นอย่างมาก ทำให้เรียกพืชชนิดนี้ว่า “ใบเตย” และพืชเกษตร (2559) ได้กล่าวถึงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของใบเตยไว้ว่า แตกกออกเป็นใบเดี่ยวด้านข้างรอบลำต้น และเรียงสลับวนเป็นเกลียวขึ้นตามความสูงของลำต้น ใบมีลักษณะเรียวยาวเป็นรูปดาบ ปลายใบแหลม สีเขียวสด ใบชูเฉียงแนบไปกับลำต้น แผ่นใบเป็นมัน กว้างประมาณ 2 - 3 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 - 50 เซนติเมตร แผ่นใบและขอบใบเรียบ แผ่นใบด้านล่างมีสีจางกว่าด้านบน มีเส้นกลางใบลึกเป็นแฉ่งตื้น ๆ ตรงกลาง ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของใบเตยหอม

2.2.1 ประโยชน์ของใบเตย

ใบเตยเป็นพืชสมุนไพรที่ได้รับความนิยมนำใบมาสกัดเอาสีเขียวและกลิ่นรสสำหรับเสริมแต่งกลิ่นหอมและให้สีเขียวในอาหาร เครื่องดื่ม หรือขนมไทย เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มสีสันทให้อาหารน่ารับประทาน ด้วยใบเตยมีทั้งรงควัตถุสีเขียวและสารให้กลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ จึงใช้ปรุงแต่งกลิ่นและสีในการทำขนมหรืออาหารบางชนิด เช่น ขนมลอดช่อง ขนมชั้น ขนมเปียกปูน รวมไปถึงเค้กและสลัด เป็นต้น อีกทั้งใบเตยยังมีสรรพคุณทางยาที่ช่วยทำให้ร่างกายสดชื่น ช่วยฟื้นฟูร่างกายจากอาการบาดเจ็บหรือหลังจากการหายป่วย แก้กษะหายน้ำ แก้ก้อนใน ช่วยขับปัสสาวะ และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้ ใบเตยยังมีประโยชน์ในการทำเครื่องหอมอีกด้วย เนื่องจาก

เป็นพืชที่มีกลิ่นหอมและมีน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดที่ช่วยให้ผ่อนคลาย ลดอาการปวดหัว แก้อาการตามข้อและกระดูก ช่วยลดอาการเจ็บคอ ลดอาการอักเสบในลำคอ เป็นต้น (พืชเกษตร, 2559)

2.2.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของใบเตย

ใบเตยมีสารอาหารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ด้วยคุณค่าทางโภชนาการของใบเตยจึงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบกับอาหารทั้งคาวหวานได้หลากหลาย มีงานวิจัยรายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของใบเตยหอมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 19.80% โปรตีน 31.81% ไขมัน 1.56% เกลือ 7.70% และกากใยหยาบ 39.13% ของน้ำหนักแห้ง (นิศานันท์ ตามกาล และคณะ, 2558)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของใบเตยสด

องค์ประกอบทางโภชนาการ	ใบเตย 100 กรัม
พลังงาน	55 Kcal
น้ำ	85.3 g
โปรตีน	1.9 g
ไขมัน	0.8 g
คาร์โบไฮเดรต	10.1 g
แคลเซียม	124 mg
ฟอสฟอรัส	27 mg
เหล็ก	0.1 mg
เบต้าแคโรทีน	2987 µg
วิตามินเอ	498 µg RE
วิตามินบี 2	0.20 mg
ไนอะซิน	1.2 mg
วิตามินซี	8.3 mg

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย (2544)

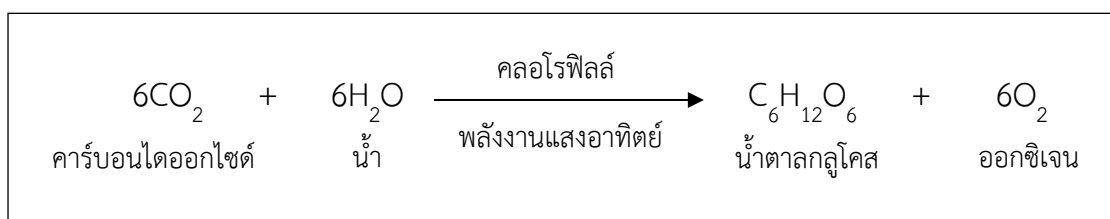
2.2.3 สารให้กลิ่นในใบเตย

ใบเตยหอมมีทั้งรงควัตถุสีเขียวและสารให้กลิ่น โดยองค์ประกอบหลักของกลิ่นใบเตยคือ 2-acetyl-1-pyrroline เรียกว่า ACPY หรือ 2AP มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ ละลายในน้ำได้ดีกว่าเอทานอล นิศานันท์ ตามกาล และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและสารหอมระเหยของใบเตยหอมสกัดด้วยน้ำ ซึ่งใช้วิธีคั้นสดโดยการบดแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 30 นาที พบสารหอมระเหย ACPY ปริมาณมากที่สุดซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหลักที่สำคัญที่ให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว และยังพบสารหอมระเหยทั้งหมด 18 ชนิด ได้แก่ 1-hexanol, 2-penten-1-ol และ 3-methyl-2(5H)-furanone และยังมีงานวิจัยรายงานว่า

สารหลักที่ให้กลิ่นรสในใบเตยหอม ได้แก่ ACPY และ 3-methyl-2(5H)-furanone (ศิริวัฒน์ ไทยอุดม และสิรินาฏ เนติศิริ, 2555) ซึ่งสาร ACPY เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมคล้ายกับกลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิ หรือกลิ่นหอมของข้าวใหม่ ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกัน และจะให้กลิ่นเมื่อผ่านความร้อน สำหรับสาร 3-methyl-2(5H)-furanone เป็นสารหลักที่ให้กลิ่นหอมขณะที่เป็นใบเตยสด (พีชเกษตร, 2559)

2.3 คลอโรฟิลล์

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 (2556) ได้ให้ความหมายของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ไว้ว่า สารสีเขียว มีปรากฏในพืช ซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาผลิตคาร์โบไฮเดรตได้ โดยคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบได้ทั่วไปในทุกส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช มักพบมากที่ใบของพืช และในส่วนอื่น ๆ เช่น ลำต้น กิ่ง ดอก ผล และรากที่มีสีเขียว โดยเฉพาะในพืชตระกูลผักที่มีสีเขียวเกือบทุกส่วน นอกจากนี้ ยังพบในสาหร่ายเกือบทุกชนิด และแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้



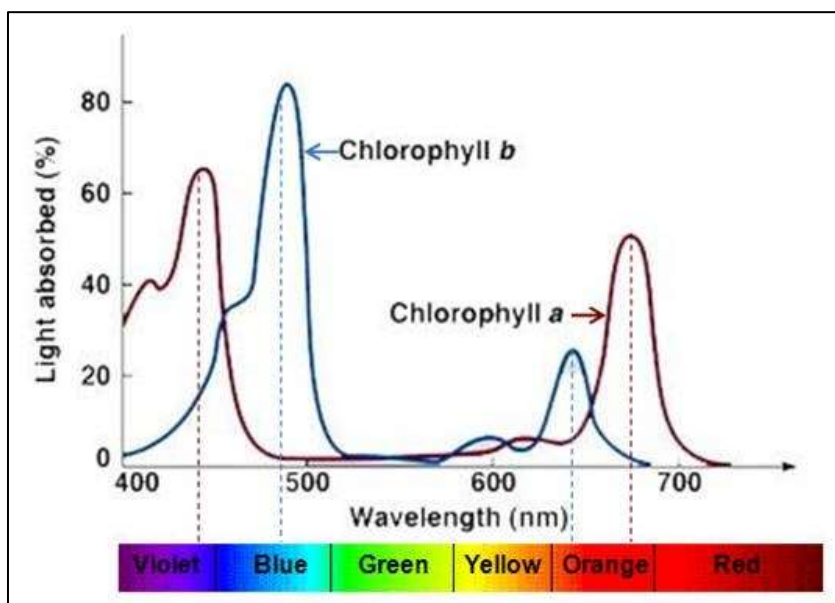
ภาพที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยพืชสีเขียว

ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิยา รัตนานนท์ (2549)

2.3.1 ชนิดของคลอโรฟิลล์

ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกัน คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชสีเขียวชั้นสูงประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) อัตราส่วนประมาณ 3 : 1 (Humphrey, 2004) และยังมีคลอโรฟิลล์อีก 3 ชนิดที่พบในแบคทีเรียและสาหร่าย เช่น คลอโรฟิลล์ ซี (Chlorophyll c) และคลอโรฟิลล์ ดี (Chlorophyll d) โดยจะพบคลอโรฟิลล์อยู่ในพลาสติด (plastid) เรียกว่า คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเล็ก ๆ เรียกว่า กรานา (grana) และโครงสร้างของกรานาจะประกอบด้วยลามลลา (lamella) โดยมีโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ฝังตัวอยู่ที่ลามลลา (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีฟ้าและสีแดง แต่จะดูดกลืนแสงสีเหลืองและสีเขียวได้น้อย ดังนั้น เมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีม่วง-น้ำเงินและสีแดงไว้ได้ดี ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ถูกดูดกลืนจึงสะท้อนออกมา

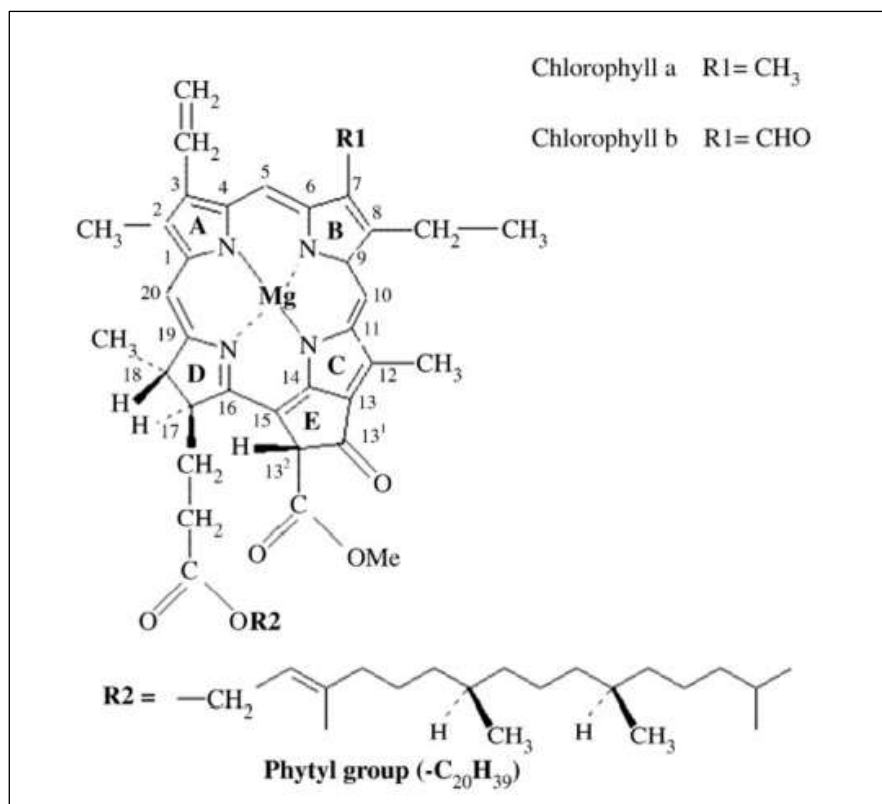
ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ที่พบได้ในพืชที่มีสีเขียว จะมีสมบัติการดูดกลืนแสงต่างกัน ทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีแตกต่างกัน โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ จะมีสีเขียวแกมน้ำเงิน (สีเขียวเข้ม) ส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวแกมเหลือง (สีเขียวอ่อน) (Ngamwonglumlert et al., 2017) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี
ที่มา: ขวัญชนก ศรีธธาสุข (2557)

2.3.2 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ทำให้พืชมีสีเขียว ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล อะซีโตน และเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น โดยโครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนหัว เรียกว่า พอร์ไฟริน (porphyrin) และส่วนหางที่มีไฮโดรคาร์บอนสายยาว เรียกว่า ไฟทอล (phytol) โครงสร้างของพอร์ไฟรินประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (Pyrrole ring) จำนวน 4 วง ซึ่งมีอะตอมแมกนีเซียม (Mg) อยู่ตรงกลางโมเลกุล โดยแมกนีเซียมอะตอมยึดติดกับอะตอมไนโตรเจน 2 ตัวด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ส่วนไนโตรเจนอีก 2 ตัว ต่างแบ่งอิเล็กตรอน 2 ตัวเพื่อใช้ร่วมกับแมกนีเซียมเกิดเป็นพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ (coordinate covalent) โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี จะแตกต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวที่วงแหวนไพโรล โดยวงที่สองของคลอโรฟิลล์ เอ คาร์บอนตำแหน่งที่ 7 (Carbon C-7) มีไฮโดรเจนเป็นหมู่เมทิล ($-CH_3$) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ ($-CHO$) ดังภาพที่ 2.4

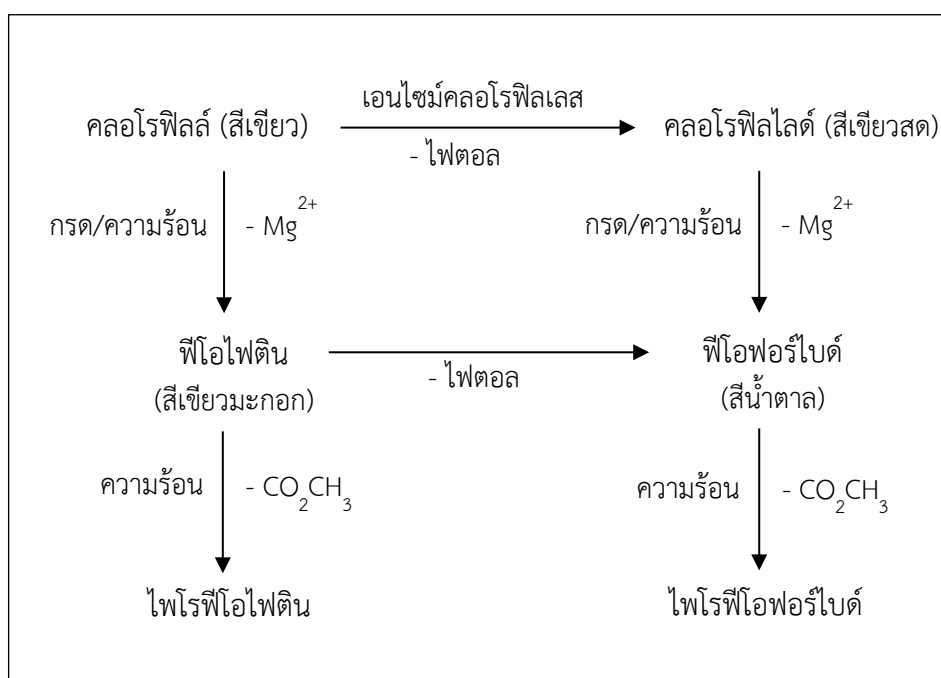


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี
 ที่มา: Fernandes et al. (2007)

2.3.3 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

การเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์และการเปลี่ยนแปลงของสีสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายเมื่อคลอโรฟิลล์สัมผัสกับความร้อน แสง ออกซิเจน กรด และเอนไซม์ ทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการสูญเสียอะตอมแมกนีเซียมในโครงสร้าง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งมีสีน้ำตาลมะกอก (olive brown) (Aramrueang et al., 2019) เมื่อคลอโรฟิลล์ถูกแสงและออกซิเจน สีจะจางลงและทำให้คืนกลับไม่ได้ ไม่ว่าจะอยู่ในใบพืชหรืออยู่ในสารละลาย ในกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาฟีโอไฟติไนเซชัน (pheophytinization) โดยแมกนีเซียมไอออนจะถูกแทนที่ด้วยอะตอมไฮโดรเจน ทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติน จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) ซึ่งเกิดได้ดีในสถานะที่เป็นกรด ดังภาพที่ 2.5 นอกจากนี้ ยังมีการแตกออกของหมู่ไฟตอล ซึ่งจะเกิดคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllides) เนื่องจากเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) คลอโรฟิลไลด์จะให้สีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ แต่จะสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ ปฏิกิริยาฟีโอไฟติไนเซชันเป็น

สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียความคงตัวของสีเขียวในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน



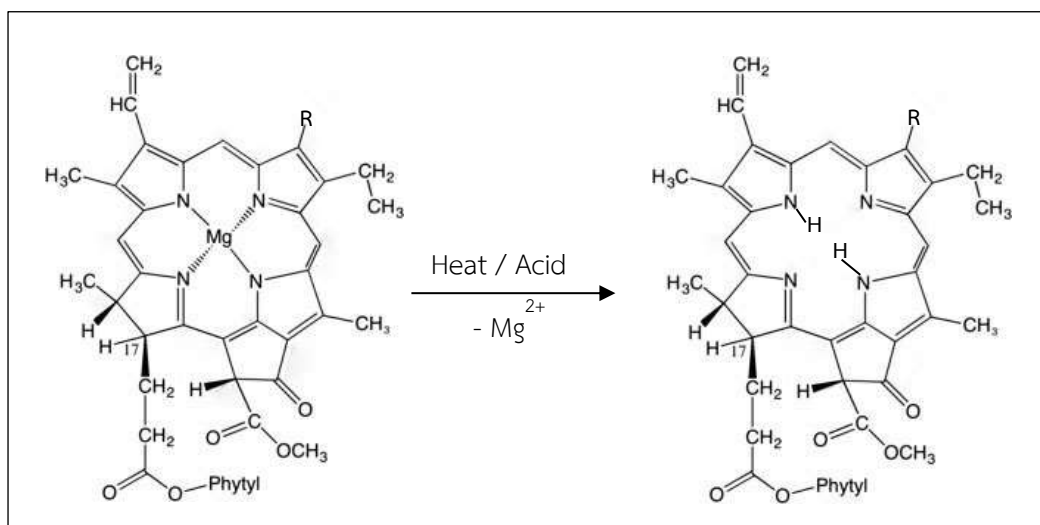
ภาพที่ 2.5 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์
ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิยา (2549)

2.3.4 การรักษาสภาพคลอโรฟิลล์

2.3.4.1 การลวก การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นในการลวกผักให้ผลดีในการช่วยรักษาวิตามิน กลิ่น รสชาติ และสีเขียวหรือปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้นาน แต่จะเกิดการสูญเสียได้ในระหว่างการเก็บรักษา โดยกระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนสูงและระยะเวลาสั้นจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าวิธีอื่น ซึ่งจะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จึงไม่มีผลดีต่อคุณภาพของคลอโรฟิลล์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน อัตราเร็วของการเปลี่ยนสีของคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วย โดยคลอโรฟิลล์ เอ จะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟตินได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์ บี ประมาณ 5 – 10 เท่า (นิธิยา รัตนานนท์, 2549)

2.3.4.2 การเติมต่าง ในสถานะที่เป็นกรดคลอโรฟิลล์จะละลายน้ำได้เล็กน้อย โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟตินที่มีสีเขียวมะกอก ดังภาพที่ 2.6 การเติมสารที่เป็นด่างจะช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลาง ทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ไม่หลุดออกจากวงแหวนพอร์ไฟริน ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดฟีโอไฟตินของคลอโรฟิลล์ได้ เกลือของด่างที่นิยมใช้เติม เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้คลอโรฟิลล์มีความคงตัวโดยจะยังคงสีเขียวอยู่ เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีความคงตัวในด่าง ดังนั้น หากมี

การควบคุมความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาให้เหมาะสม จึงเป็นวิธีที่ดีในการรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์

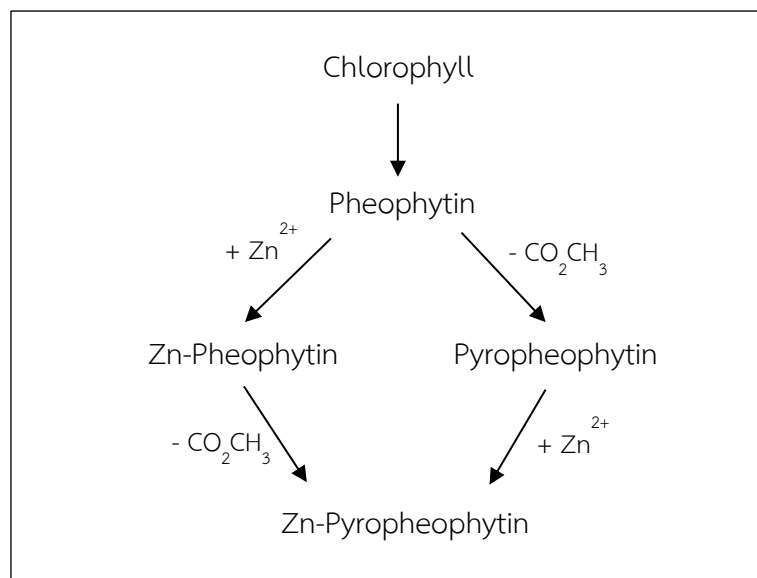


ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Aramrueang et al. (2019)

2.3.4.3 การเติมเอนไซม์ เอนไซม์ที่ใช้สำหรับรักษาสภาพของคลอโรฟิลล์ คือ คลอโรฟิลเลส เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลล์ไลด์ที่มีสีเขียวสามารถละลายได้ในน้ำและความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์ โดยจะเกิดการไฮโดรไลซิสแยกเอาหมู่ไฟตอลออก เอนไซม์คลอโรฟิลเลสจะทำงานได้ดีในภาวะที่มีน้ำเป็นตัวกลาง อุณหภูมิระหว่าง 65 – 75 °C และแอกติวิตี (activity) จะหายไปอย่างสมบูรณ์เมื่อได้รับอุณหภูมิ 70 °C นาน 10 นาที (นิธิยา รัตนานนท์, 2549)

2.3.4.4 การเติมแร่ธาตุ การเติมเกลือของโลหะบางชนิด เช่น ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) และคอปเปอร์ไอออน (Cu^{2+}) ในรูปของเกลือคลอไรด์และซัลเฟต สามารถรักษาสภาพความคงตัวของคลอโรฟิลล์หรือสารสกัดคลอโรฟิลล์ได้นานขึ้น เนื่องจากเกลือของโลหะดังกล่าวเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมไอออนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัวมาก เมื่อผักสีเขียวได้รับความร้อนในภาวะที่มีมีซิงค์ไอออน คลอโรฟิลล์จะทำปฏิกิริยากับกรดในเนื้อเยื่อพืชเพื่อสร้างฟีโอไฟติน ซึ่งอาจรวมกับซิงค์ไอออนเพื่อสร้างซิงค์ฟีโอไฟติน หรือถูกดีคาร์บอกซิเลตเพื่อสร้างไพโรฟีโอไฟติน (Laborde & Von Elbe, 1994) ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในผักสีเขียวเมื่อให้ความร้อนในภาวะที่มีมีซิงค์ไฮดรอกไซด์ไอออน
ที่มา: Laborde & Von Elbe (1994)

2.4 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ลักษณะของแป้งเป็นผงสีขาว เนื้อแป้งมีความละเอียด สลีนเป็นมัน เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำ ไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งจะเหนียวติดภาชนะ หนืดขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเป็นใยติดกันหมด เนื้อแป้งใสเป็นเงา พอเย็นแล้วจะติดกันเป็นก้อนเหนียวติดภาชนะ เหมาะกับการนำไปทำอาหารที่มีความเหนียวแต่ใสและดูขึ้นเงา ได้แก่ ลอดช่องสิงคโปร์ เต้าส่วน ครองแครงแก้ว ทับทิมกรอบ เป็นต้น และยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกาวอีกด้วย พิมพ์เพ็ญพรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์ (2564) ได้ให้ความหมายของแป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) ไว้ว่า สตาร์ชที่ผลิตได้จากหัวมันสำปะหลัง อาจเรียกว่า สตาร์ชมันสำปะหลัง (cassava starch)

2.4.1 สตาร์ช

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ (Macromolecule) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งพืชจะเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ที่อาจมีหรือไม่มีเมมเบรน (membrane) หุ้มก็ได้ เรียกว่า อะไมโลพลาสต์ (amyloplast) สตาร์ชเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสำคัญที่สุดแก่มนุษย์ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549) ซึ่งสตาร์ชที่ผลิตขายในอุตสาหกรรมทั่วไปได้จากข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าว มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง เป็นต้น พืชสร้างสตาร์ชและเก็บสะสมไว้ในรูปของเม็ดสตาร์ชที่มีลักษณะเฉพาะของพืช เม็ดสตาร์ช

ของพืชแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน และสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกันด้วย สมบัติของสตาร์ชจึงมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ต้องการ

ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของสตาร์ชมันสำปะหลัง

สมบัติทั่วไป	สตาร์ชมันสำปะหลัง
ขนาดของอนุภาค (ไมโครเมตร)	4 – 35
อัตราส่วนอะไมโลสกับอะไมโลเพกทิน	17 : 83
อุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชัน (°C)	52 – 64
ความหนืดสัมพัทธ์	สูง
ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเหนียว	ยาว (long flow)
ความชุ่ม-ใสของสารละลาย	ใส
ความสามารถในการเกิดเจลและรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)	ปานกลาง
ลิพิด (% สตาร์ชแห้ง)	0.1
โปรตีน (% สตาร์ชแห้ง)	0.1
ฟอสฟอรัส	0

ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิยา รัตนานนท์ (2549) และ วรณา ตูลยธัญ (2549)

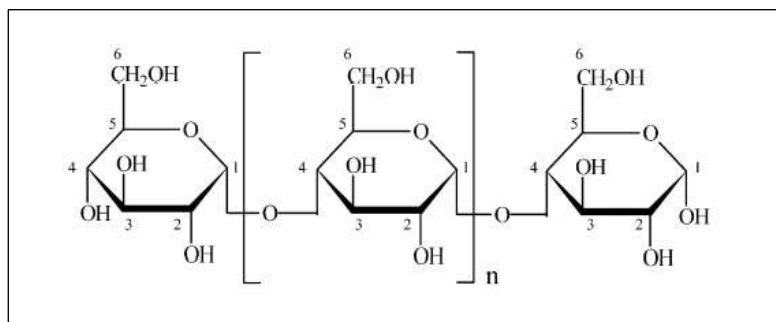
2.4.2 เม็ดสตาร์ช

เม็ดสตาร์ชของพืชแต่ละชนิดส่วนใหญ่จะมีอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) เป็นองค์ประกอบประมาณ 97 – 99% ของสตาร์ช และองค์ประกอบส่วนน้อยประมาณ 1 – 3% ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้า นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุเล็กน้อย เช่น มันฝรั่ง จะมีฟอสฟอรัสสูงกว่าสตาร์ชอื่น (วรณา ตูลยธัญ, 2549) ซึ่งจะไม่พบฟอสฟอรัสในสตาร์ชมันสำปะหลัง เม็ดสตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันจะมีสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะไมโลสประมาณ 15 – 25% ที่เหลือเป็นอะไมโลเพกทิน 85 – 75% สำหรับเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลส 17% และอะไมโลเพกทิน 83% (วรณา ตูลยธัญ, 2549) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เม็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็นผลึก (crystalline) บางส่วนไม่ละลายน้ำเย็น สามารถไฮเดรตน้ำได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนถึงอุณหภูมิเจลลิตีในเซชัน (gelatinization temperature) ของสตาร์ชแล้ว เม็ดสตาร์ชสามารถไฮเดรตน้ำได้มากและขยายขึ้นได้หลายเท่า ให้สารละลายที่มีความหนืด การที่พืชต่างชนิดกันมีปริมาณอะไมโลสต่างกันจึงทำให้มีสมบัติด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการ

นำไปใช้ประโยชน์ต่างกันด้วย เช่น การเกิดเจลลาตินเซชัน (gelatinization) ความหนืด (viscosity) เป็นต้น

2.4.3 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นตรงหรือแตกแขนงเล็กน้อย ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส หรือหน่วยแอลฟา-ดี- กลูโคไพราโนซิล (α -D-Glucopyranosyl) ประมาณ 200 – 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่ง α -D(1 $\rightarrow$ 4) ดังภาพที่ 2.8 จึงจัดว่าโมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่มาก มีน้ำหนักโมเลกุล 10^6 คาลตัน (นิธิยา รัตนาพนนท์, 2549) เนื่องจากอะไมโลสมีสายโมเลกุลที่ยาว เมื่ออยู่ในสารละลาย อะไมโลสจะอยู่ในรูปแบบเกลียว (helix) ที่สามารถจับกับไอโอดีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไอโอดีน (amylose-iodine complex) ที่มีสีน้ำเงิน (ค่าความยาวคลื่นประมาณ 640 นาโนเมตร) นอกจากนี้ อะไมโลสไม่ละลายน้ำ เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีแนวโน้มที่โมเลกุลจะรวมกลุ่มระหว่างสายโซ่เกิดโมเลกุลเกลียวคู่ ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้น ส่งผลให้อะไมโลสเกิดการรีโทรเกรด (retrograde) ได้เจลหรือตะกอนที่ไม่ละลายน้ำเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออะไมโลสมีระดับความเข้มข้นต่ำ เช่น 1% (วรรณา ตูลย์ธัญ, 2549)



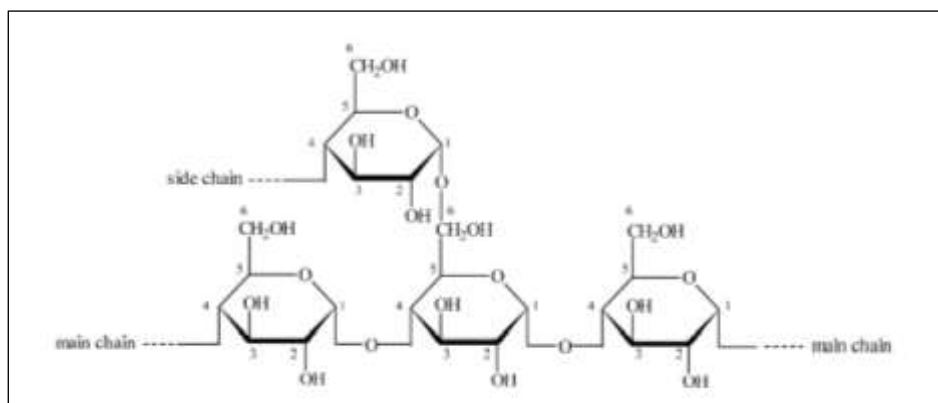
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Herrero-Martínez et al. (2004)

2.4.4 อะไมโลเพกทิน

อะไมโลเพกทินเป็นโมเลกุลของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสหลายเท่าและมีกิ่งมาก มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายกิ่งแยกออกมา ซึ่งแต่ละกิ่งจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20 – 35 หน่วย ดังนั้น ในโมเลกุลของอะไมโลเพกทินจึงมีน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -(1 $\rightarrow$ 4) และ α -(1 $\rightarrow$ 6) ดังภาพที่ 2.9 โดยมีปริมาณสายกิ่งประมาณ 4 -5% ของพันธะทั้งหมด (นิธิยา รัตนาพนนท์, 2549) อะไมโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุล 10^7 - 10^8 คาลตัน และทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน (I_2/KI) ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีม่วงแดง (ค่าความยาวคลื่นประมาณ 540 นาโนเมตร) เมื่ออะไมโลเพกทินอยู่ในสารละลายในภาวะที่

เป็นกลางจะไม่เกิดการรีโทรเกรด โมเลกุลจะเสถียรหรือคงตัว เพราะการมีกิ่งมากทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันได้ง่ายเหมือนอะไมโลส (วรรณา ตูลย์ธัญ, 2549)

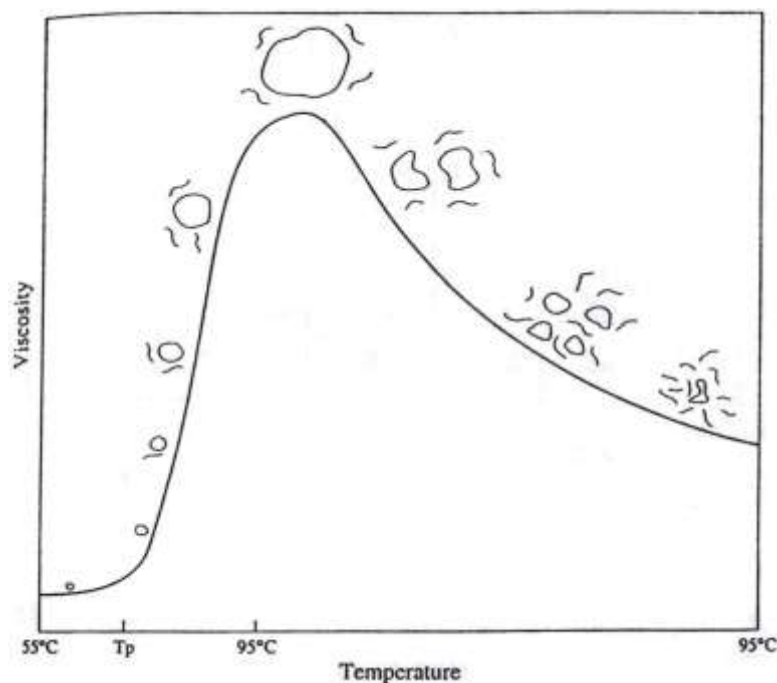


ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน

ที่มา: Herrero-Martínez et al. (2004)

2.4.5 เจลาตินเซชันของสตาร์ช

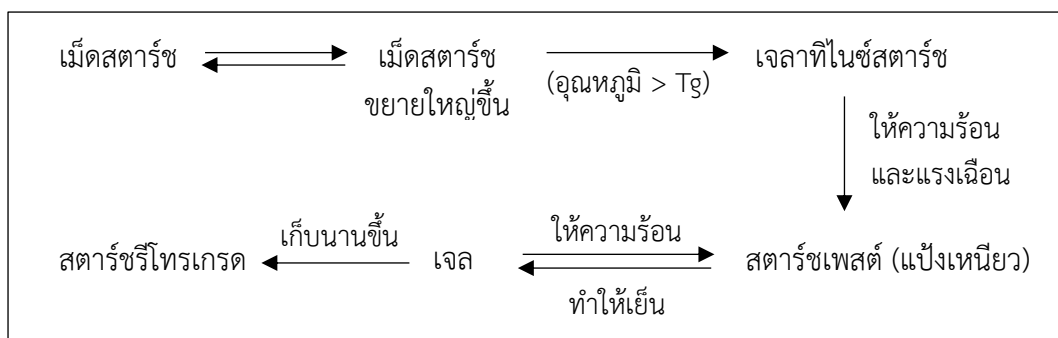
สตาร์ชมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบหรืออยู่ในรูปของผลึก เม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์จะไม่ละลายน้ำเย็นและสามารถดูดน้ำเย็นได้เพียงเล็กน้อย ความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น เมื่อละลายอยู่ในน้ำอุ่นเม็ดสตาร์ชจะค่อย ๆ ดูดน้ำและพองตัวออก จะมีผลให้เกิดการหลอมละลายบริเวณผลึกภายในเม็ดสตาร์ช น้ำก็จะเข้าได้มากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวมากขึ้นจนมีขนาดใหญ่และจะแตกออก ดังภาพที่ 2.10 ได้เป็นสารละลายข้นหนืด (starch paste) เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาตินเซชัน ซึ่งสารละลาย ข้นหนืดที่ได้จะเป็นส่วนผสมของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน โดยกระบวนการนี้ทำให้คืนกลับไม่ได้ เมื่อเม็ดสตาร์ชขยายใหญ่เต็มที่ความเป็นระเบียบของโครงสร้างภายในถูกทำลายหมดไป ดังนั้น เม็ดสตาร์ชจะสูญเสียโครงสร้างที่เป็นผลึก และจะมีโมเลกุลของอะไมโลสหลุดออกมาอยู่นอกเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินเซชัน อาจเรียกว่า pasting temperature คืออุณหภูมิที่น้ำแป้งเกิดการเจลาตินส์ เป็นอุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และเม็ดสตาร์ชสุก สตาร์ชต่างชนิดกันจะมีช่วงอุณหภูมิเจลาตินเซชันที่แตกต่างกัน สำหรับอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินเซชันของสตาร์ชมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 52 -64 °C ดังแสดงในตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.10 ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 °C
ที่มา: นิธิยา รัตนাপนนท์ (2549)

2.4.6 รีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

รีโทรเกรเดชันของสตาร์ช หรือการคืนตัวของสตาร์ช เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนซ์มาแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำแล้วเกิดเป็นเจล จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสในสายจะมาเชื่อมต่อกันเองใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน และขับน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล เรียกว่า การบีบของเหลวออกจากเจล หรือซินเนอริซิส (syneresis) ทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนাপนนท์, 2564) โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งเป็นเส้นตรงมีผลโดยตรงต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ส่วนอะไมโลเพกทินจะเกิดได้ช้ากว่า เนื่องจากมีโมเลกุลที่ใหญ่และค่อนข้างเกาะเกาะเพราะมีสายกิ่งมาก จะไปขัดขวางการเคลื่อนที่กลับมารวมกันใหม่ของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ได้แก่ สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินในสตาร์ช อุณหภูมิ ปริมาณสตาร์ชที่ใช้ ปริมาณน้ำในเจล และองค์ประกอบอื่นในส่วนผสม เช่น โปรตีน น้ำตาล เกลือ ไขมัน และกรด เป็นต้น



ภาพที่ 2.11 แผนผังการแปลงโครงสร้างกายภาพของสตาร์ช (T_g คือ อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน)
ที่มา: วรรณา ตูลยธัญ (2549)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตขนมครองแครงจากสูตรพื้นฐานที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า ศึกษาผลของแป้งสาลีในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย และได้ศึกษาการเปรียบเทียบความคงตัวของสีเขียวและคุณภาพของลอดช่องสิงคโปร์ที่ทำจากใบเตยโดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใส เพื่อนำข้อมูลพื้นฐานไปประยุกต์ใช้ในการผลิตตัวขนมครองแครงที่มีความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

สรรรชนี เต็มเปี่ยม และคณะ (2568) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความคงตัวของสีเขียวและคุณภาพของลอดช่องสิงคโปร์ที่ทำจากใบเตย (*Pandan amaryllifolius* Roxb.) โดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใส โดยทำการศึกษาผลของการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 (w/v) และน้ำปูนใสอิมิตัว ในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยที่มีผลต่อค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย ซึ่งใช้วิธีการเตรียมแป้งโดจากส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังสุกร้อยละ 30 ผสมกับแป้งดิบในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย (สรรรชนี เต็มเปี่ยม และคณะ, 2566) ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีความเหมาะสมในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยมากที่สุด เนื่องจากสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ทำให้ลอดช่องสิงคโปร์มีสีเขียว ($-a^*$) สูงและคงตัวที่สุด อีกทั้งมีแรงดึง (tensile strength) และค่าความยืดหยุ่น (elasticity) สูงที่สุด เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้ น้ำปูนใสอิมิตัวมากกว่าตัวอย่างสูตรอื่น และสำหรับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตยที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ได้รับการยอมรับสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

สรรพชัย เต็มเปี่ยม และคณะ (2566) ได้ศึกษาผลของแป้งสาลีในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย โดยทำการศึกษาปริมาณของแป้งสาลีและแป้งดิบที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสีในผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย จำนวน 3 สูตร ที่เตรียมแป้งโดจากแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 30 35 และ 40 กวนด้วยน้ำใบเตยที่ใช้น้ำปูนใสอิมัลชันในการสกัด จากนั้นนำไปนวดผสมกับแป้งดิบส่วนที่เหลือ ผลการศึกษาพบว่า เส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งสาลีร้อยละ 30 ในแป้งโด เป็นสูตรที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพที่เหมาะสมและส่งผลให้ได้รับคະណະการยอมรับทุกด้านมากที่สุด จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส สูตรที่ 1 ได้รับคະណະการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด การตรวจวัดค่าสี พบว่าสีเขียวจากใบเตยมีความคงตัวมากที่สุดในเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 1 ซึ่งค่าสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีเขียว (a^*) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งสาลิลดลงและแป้งดิบเพิ่มขึ้น สำหรับการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 1 ที่มีปริมาณแป้งสาลีน้อยและแป้งดิบมากในแป้งโด เส้นมีค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และความยืดหยุ่น (Elasticity) เพิ่มขึ้น

อังคณา จารุพินทุโสภณ (2548) ได้ศึกษาการพัฒนาขนมครองแครงแก้วให้ได้สูตรมาตรฐาน โดยทำการคัดเลือกสูตรขนมครองแครงแก้วที่ผู้ชิมให้การยอมรับมากที่สุด จากสูตรในเอกสารต่าง ๆ ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า จำนวน 3 สูตร ทำการคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 30 คน จากนั้นนำสูตรที่ได้รับการยอมรับมาศึกษากรรมวิธีการผลิตตัวครองแครงแก้วเป็นสูตรพื้นฐาน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งข้าวเจ้าในการผลิตตัวครองแครง 4 ระดับ อัตราส่วน 65:35 75:25 85:15 และ 95:5 และนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ความเหนียว ความใส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ โดยใช้ผู้ชิม จำนวน 30 คน ผลการศึกษาพบว่า ตัวครองแครงแก้วที่ใช้แป้งมันสำปะหลังต่อแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน 85:15 ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด จากนั้นจึงนำไปใช้ในการผลิตขนมครองแครงแก้วขั้นต่อไป

ด้วยสีเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์จากพืช ซึ่งสาเหตุหลักของการสูญเสียสีเขียวของคลอโรฟิลล์ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง pH และการได้รับความร้อน ได้มีการศึกษาจำนวนมากเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีหรือการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการให้ความร้อน ผู้วิจัยจึงได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือสังกะสีต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย ผลของ pH ต่อการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์และการสูญเสียสีในถั่วลิสงเตาลวก และผลของสารเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของผงน้ำอ้อยในการผลิตแบบดั้งเดิม เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสีเขียวจากใบเตยที่มีความคงตัวในผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ณัฐธญาณ ศรีสุว และคณะ (2559) ได้ศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของผงน้ำอ้อยในการผลิตแบบดั้งเดิม โดยศึกษาชนิดของสารเคมีที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผงน้ำอ้อยที่ผลิตโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ผงฟู และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) พบว่าการเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำให้ผงน้ำอ้อยได้รับคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด อาจเนื่องจากผู้บริโภคชอบสีผงน้ำอ้อยที่มีสีน้ำตาลทอง และขนาดของผงน้ำอ้อย สำหรับตัวอย่างที่เติมผงฟูได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด เนื่องจากผงน้ำอ้อยมีสีน้ำตาลออกเหลืองเล็กน้อย ไม่มีกลิ่นและรสชาติของน้ำอ้อยอย่างเป็นธรรมชาติ และสำหรับตัวอย่างที่เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้รับคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสและรสชาติสูงที่สุด เนื่องจากผงน้ำอ้อยมีกลิ่นรสและรสชาติที่เป็นธรรมชาติมากกว่า จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสสรุปได้ว่า ตัวอย่างที่เติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมสูงที่สุด แม้จะมีคะแนนกลิ่นรสและรสชาติรองลงมาจากตัวอย่างที่เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติสูงที่สุด งานวิจัยนี้จึงเลือกโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นสารเคมีที่ใช้ในการเปรียบเทียบแหล่งของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตจากตลาดท้องถิ่นในจังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และหมู่บ้านป่าปู้ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของผงน้ำอ้อยต่อไป

Koca et al. (2006) ได้ศึกษาผลของ pH ต่อการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์และการสูญเสียสีในถั่วงอกเตาสุก (Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas) เพื่อหาผลของ pH ต่อค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และการเสื่อมสภาพของสีเขียวที่มองเห็นได้ โดยนำถั่วงอกในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.5 6.5 และ 7.5 มาลวกที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 °C ซึ่งใช้ระยะเวลาในการลวกแตกต่างกัน พบว่า คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีแนวโน้มคล้ายกันในสภาวะ pH ที่แตกต่างกัน การเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี เป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง พลังงานกระตุ้นมีตั้งแต่ 4.80 ± 0.91 ถึง 14.0 ± 0.71 kcal/mol สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และจาก 6.84 ± 0.29 ถึง 11.0 ± 1.06 สำหรับคลอโรฟิลล์ บี อัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี เร่งตัวขึ้นเมื่อ pH ลดลง และค่าคงที่อัตราการสูญเสียสีเขียวลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สีเขียวคงอยู่ที่สภาวะ pH ที่สูงขึ้น ทั้งนี้ยังพบว่า คลอโรฟิลล์ เอ เสื่อมเร็วกว่าคลอโรฟิลล์ บี ที่ค่า pH ทั้งหมดสำหรับแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ และในสภาวะที่เป็นกรดคลอโรฟิลล์ เอ ไวต่อการเสื่อมสภาพของสารมากกว่าคลอโรฟิลล์ บี แสดงว่า สภาวะที่เป็นกรดเอื้อต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เอ

ประพันธ์ ปันศิริโรตม (2546) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือสังกะสีคลอไรด์ต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย โดยนำน้ำสกัดใบเตยที่เติมเกลือ ZnCl_2 ระดับความเข้มข้นต่างกัน (0 100 200 และ 300 ppm) มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 75 และ 100 °C พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ ZnCl_2 เดียวกัน ที่อุณหภูมิ 100 °C มีผลทำให้สีเขียวของสารสกัดใบเตยมีความคงตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 75 °C นอกจากนี้ การเติมเกลือ ZnCl_2 ในระดับความเข้มข้นสูงขึ้นจาก 100 ppm เป็น 300 ppm มีผลต่อการเพิ่มความคงตัวของ

สีเขียวของสารสกัดใบเตยที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตยที่อุณหภูมิ 50 และ 75 °C และจากการศึกษาผลของความเข้มข้นต่าง และเกลือ $ZnCl_2$ ต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C แก่น้ำสกัดใบเตยที่เติมเกลือ $ZnCl_2$ ระดับความเข้มข้นต่างกัน (0 100 200 และ 300 ppm) ที่ระดับ pH 4 7 และ 10 พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ $ZnCl_2$ เดียวกัน ความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตยที่ pH 7 และ 10 จะสูงกว่า pH 4 และการเติมเกลือ $ZnCl_2$ ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตยทุกระดับ pH ที่ศึกษา Laborde and Von Elbe (1994) ได้ศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีกับอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ในผักสีเขียวที่ให้ความร้อน (Chlorophyll Degradation and Zinc Complex Formation with Chlorophyll Derivatives in Heated Green Vegetables) โดยนำถั่วลันเตาที่มีการเติมซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ความเข้มข้น 300 ppm มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 150 นาที พบว่าหลังจากให้ความร้อนผ่านไป 20 นาที มีสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์ไฟโอไฟติน เอ (zinc pheophytin a) และซิงค์ไพโรไฟีโอไฟติน เอ (zinc pyropheophytin a) เกิดขึ้น และเมื่อให้ความร้อนนานถึง 150 นาที การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์ไฟีโอไฟติน เอ ลดลง และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์ไพโรไฟีโอไฟติน เอ เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ การศึกษาผลของ pH โดยนำถั่วลันเตาที่มีการเติมซิงค์ไอออน ความเข้มข้น 300 ppm ปรับค่า pH ระหว่าง 4.0 ถึง 10.0 มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีเพิ่มขึ้นระหว่าง pH 4.0 ถึง 6.0 แต่จะลดลงที่ค่า pH 8.0 หรือมากกว่า สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ ถูกคงไว้ที่ pH 8.0 หรือสูงกว่า ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการแปรรูปที่มีค่า pH สูง อาจลดปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี โดยการลดปริมาณอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1.1 ใบเตยสด
- 3.1.1.2 แป้งมันสำปะหลัง ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก
- 3.1.1.3 ปูนแดง ช.ช้าง
- 3.1.1.4 โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมสารสกัดจากใบเตย

- 3.1.2.1 ซ้อนสแตนเลส
- 3.1.2.2 ขามผสมสแตนเลส
- 3.1.2.3 ถ้วยพลาสติก
- 3.1.2.4 กระชอนพลาสติก
- 3.1.2.5 มีด
- 3.1.2.6 เขียงพลาสติก
- 3.1.2.7 นาฬิกาจับเวลา
- 3.1.2.8 เครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 2 และ 3 ตำแหน่ง
- 3.1.2.9 เครื่องปั่น Tefal รุ่น BL42S166

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตตัวขนมครองแครง

- 3.1.3.1 ซ้อนสแตนเลส
- 3.1.3.2 ขามผสมสแตนเลส
- 3.1.3.3 หม้อสแตนเลส
- 3.1.3.4 หม้อต้มสแตนเลส
- 3.1.3.5 กระชอนอะลูมิเนียม
- 3.1.3.6 ไม้พายไม้
- 3.1.3.7 พิมพ์ครองแครง
- 3.1.3.8 ถาด
- 3.1.3.9 ถุงพลาสติก
- 3.1.3.10 กล่องพลาสติก
- 3.1.3.11 นาฬิกาจับเวลา

3.1.3.12 เครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.1.3.13 เตาแผ่นความร้อนจากการเหนี่ยวนำ อิมาร์เฟล็กซ์ (Imarflex) รุ่น IF-404

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

3.1.4.1 ถ้วยพลาสติกสำหรับชิม

3.1.4.2 ช้อนและส้อมพลาสติก

3.1.4.3 แก้วน้ำ

3.1.4.4 ปากกา

3.1.4.5 ถาดรองภาชนะ

3.1.5 เครื่องมือในการทดลอง

3.1.5.1 เครื่องวัดค่าสี Chroma Meter (Konica Minolta รุ่น CR-400)

3.1.5.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT.plus)

3.1.5.3 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO

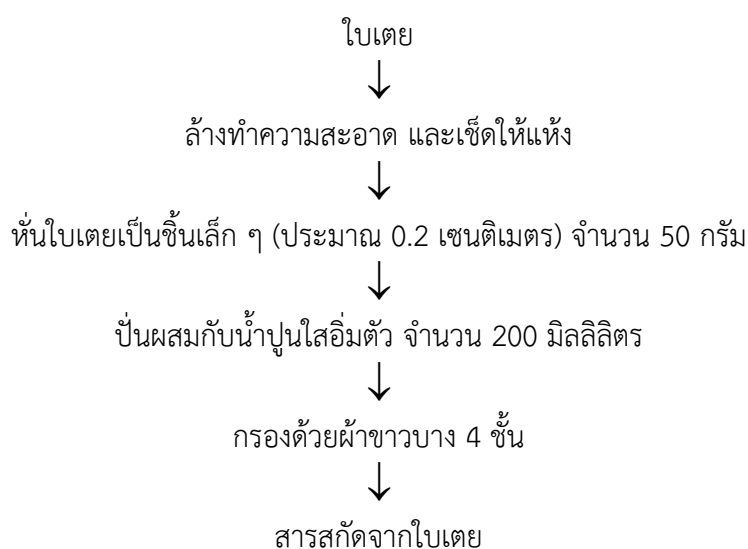
3.1.5.4 แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เป็นแบบ 9- point hedonic scale

3.2 วิธีการทดลอง

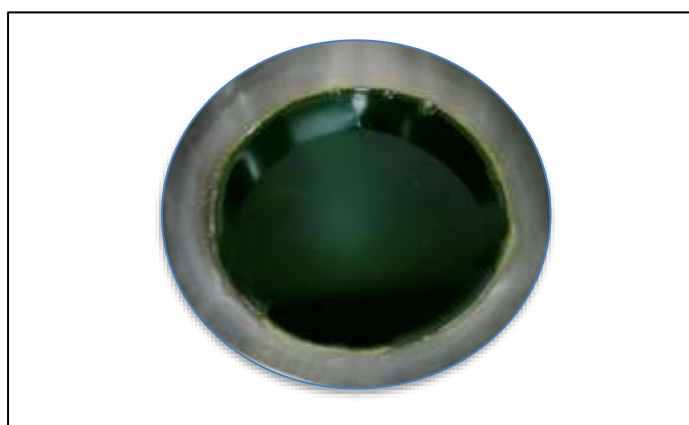
3.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย

3.2.1.1 การเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสเป็นตัวทำละลาย

นำต้นเตยหอมที่มีจำนวนของใบเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20 – 24 ใบต่อต้น มาคัดเลือกเอาเฉพาะส่วนของใบที่โตในระดับปานกลาง ตั้งแต่ใบที่ 7 เป็นต้นไป (Suryani et al., 2020) หั่นส่วนหัวและส่วนท้ายของใบออกประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วล้างด้วยน้ำให้สะอาด เช็ดใบเตยให้แห้งด้วยผ้า จากนั้นหั่นใบเตยตามความกว้างของใบประมาณ 0.2 เซนติเมตร และนำใบเตยไปปั่นผสมกับน้ำปูนใสเป็นตัวให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ที่ระดับความเร็ว 2 เป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้อัตราส่วนใบเตยหั่นฝอยต่อน้ำปูนใสตัวเท่ากับ 1 : 4 (w/v) กรองสารสกัดใบเตยที่ได้ด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น จะได้สารสกัดใบเตยสีเขียวอมกะกอก นำไปหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงต่อไป ดังแผนภาพที่ 3.1



แผนภูมิที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสเป็นตัวทำละลาย



ภาพที่ 3.1 สารสกัดจากใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสเป็นตัวทำละลาย

3.2.1.2 ศึกษาปริมาณน้ำมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตตัวขนม

โครงร่าง

ศึกษาปริมาณน้ำมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตตัวขนมโครงร่าง จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 10% 15% และ 20% (w/w) ของสารสกัดใบเตยที่ใช้เป็นส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 นาที โดยใช้ไม้พายคนไปด้วยตลอดเวลาระหว่างการให้ความร้อน นำเจลที่ได้มานวดผสมกับแป้งมันสำปะหลังส่วนที่เหลือทันทีขณะร้อนจนเนื้อแป้งเนียนไม่ติดมือ เป็นเวลา 4 นาที แล้วนำแป้งโดที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นตัวโครงร่าง โดยกดแป้งลงบนพิมพ์กดโครงร่าง ดังแผนภาพที่ 3.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการตรวจสอบคุณภาพตัวขนมโครงร่าง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เพื่อเลือกปริมาณน้ำมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลสำหรับการผลิตตัวขนมโครงร่าง โดยทำการตรวจสอบคุณภาพตัวขนมโครงร่าง ดังนี้

1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยการนำตัวขนมโครงร่างมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี และแสดงผลค่าสีที่วัด ได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง มีค่า 0 ถึง 100 โดยค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L^* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีดำ) ค่า a^* (ค่า a^* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ถ้าค่า a^* ที่เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว) และค่า b^* (ค่า b^* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b^* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน)

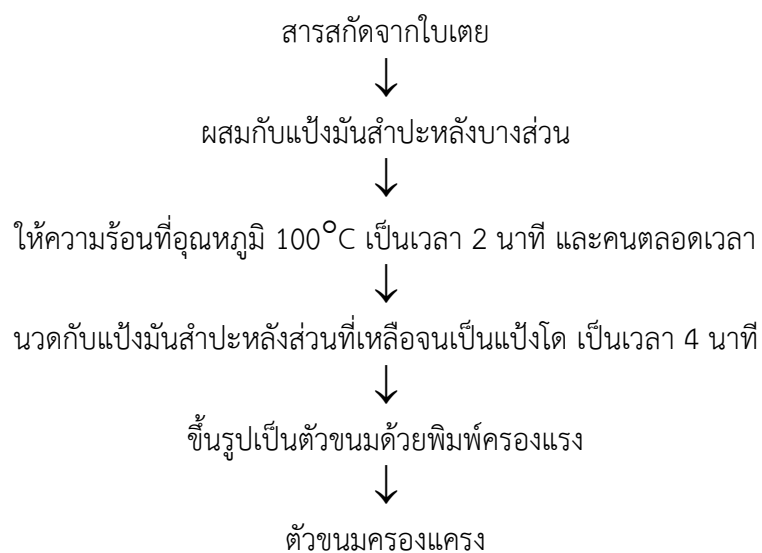
2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการนำตัวขนมโครงร่างมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที สะเด็ดน้ำอีก 5 นาที จากนั้นนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยใช้หัวกดสแตนเลสรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P/50) กำหนดการวัดค่าของเครื่องมือ ดังนี้ ใช้ความเร็วก่อนการวัดค่าตัวอย่าง (Pre-Test Speed) 5.00 mm/sec ความเร็วขณะวัดค่าตัวอย่าง (Test Speed) 5.00 mm/sec และความเร็วหลังวัดค่าตัวอย่าง (Post-Test Speed) 5.00 mm/sec กดลงไป (Strain) 90.0% ของความสูงตัวอย่าง พิจารณาจากค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะติดพื้นผิว (Adhesiveness) ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)

3) การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการนำตัวขนมโครงร่าง มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมโครงร่างที่มีส่วนผสมของน้ำเชื่อมและน้ำกะทิ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่รู้ลักษณะที่ดีของขนม จำนวน 30 คน ทำการประเมินคุณภาพทาง

ประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale)

ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำมันสำหรับใช้ทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตยในการผลิตตัวขนม
ทรงเครื่อง

ส่วนผสม	ปริมาณน้ำมันสำหรับใช้ทำเจล		
	10%	15%	20%
น้ำมันสำหรับใช้ทำเจล (g)	10	15	20
สารสกัดจากใบเตย (g)	100	100	100
น้ำมันสำหรับส่วนที่เหลือ (g)	140	135	130



แผนภูมิที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตตัวขนมทรงเครื่องในการศึกษาปริมาณน้ำมันสำหรับใช้ทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย

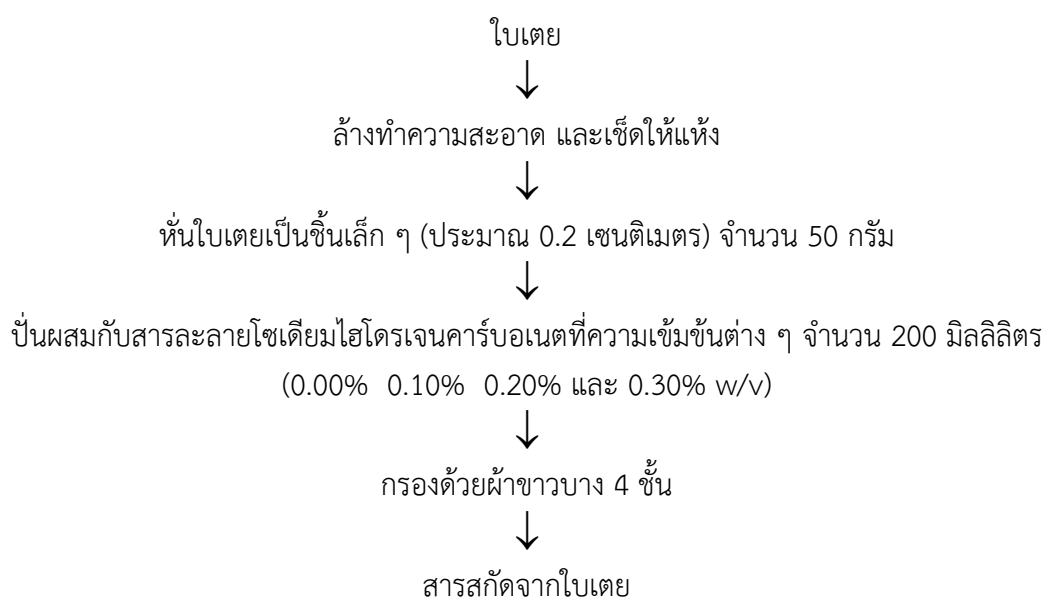


ภาพที่ 3.2 ตัวขนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสารสกัดจากใบเตย 15% ในการทำเจล

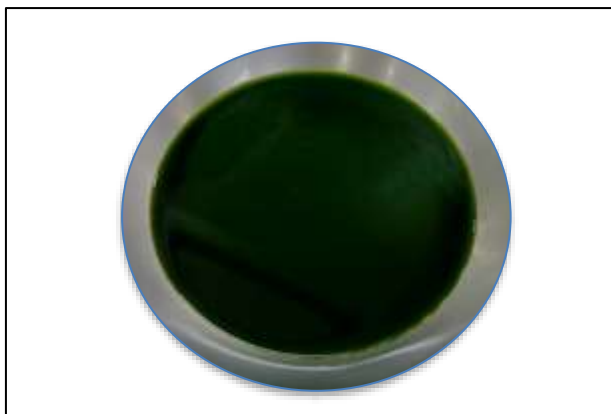
3.2.2 ศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ

3.2.2.1 การเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นตัวทำละลาย

ในขั้นตอนการเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นตัวทำละลาย ให้ทำเช่นเดียวกับการใช้น้ำปูนใสเป็นตัวทำละลาย โดยเปลี่ยนตัวทำละลายจากน้ำปูนใสเป็นตัวเป็นสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.00% 0.10% 0.20% และ 0.30% w/v และให้ปั่นใบเตยพร้อมกับสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาแทน ซึ่งจะได้สารสกัดใบเตยสีเขียวมรกต ดังแผนภาพที่ 3.2



แผนภูมิที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดจากใบเตยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นตัวทำละลาย



ภาพที่ 3.3 สารสกัดจากใบเตยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นตัวทำละลาย

3.2.2.2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้

สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตตัวขนมครองแครง

ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้

สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตตัวขนมครองแครง ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 4 ระดับ คือ 0.00% 0.10% 0.20% และ 0.30% w/v เปรียบเทียบกับการใช้น้ำปูนใสอิมิตัว โดยผสมกับแป้งมันสำปะหลังในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้ศึกษาตามข้อ 3.2.1.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เพื่อเลือกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยสำหรับการผลิตตัวขนมครองแครงต่อไป โดยทำการตรวจสอบคุณภาพตัวขนมครองแครง ดังนี้

1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยการนำตัวขนมครองแครงมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี และแสดงผลค่าสีที่วัด ได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง มีค่า 0 ถึง 100 โดยค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L^* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีดำ) ค่า a^* (ค่า a^* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ถ้าค่า a^* ที่เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว) และค่า b^* (ค่า b^* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b^* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน)

2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการนำตัวขนมครองแครงมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที สะเด็ดน้ำอีก 5 นาที จากนั้นนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยใช้หัวกดสแตนเลสรูป

ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P/50) กำหนดการวัดค่าของเครื่องมือ ดังนี้ ใช้ความเร็วก่อนการวัดค่าตัวอย่าง (Pre-Test Speed) 5.00 mm/sec ความเร็วขณะวัดค่าตัวอย่าง (Test Speed) 5.00 mm/sec และความเร็วหลังวัดค่าตัวอย่าง (Post-Test Speed) 5.00 mm/sec กดลงไป (Strain) 90.0% ของความสูงตัวอย่าง พิจารณาจากค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะติดพื้นผิว (Adhesiveness) ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)

3) การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการนำตัวขนมครองแครงมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมครองแครงที่มีส่วนผสมของน้ำเชื่อม และน้ำกะทิ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่รู้ลักษณะที่ดีของขนม จำนวน 30 คน ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale)

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.4 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

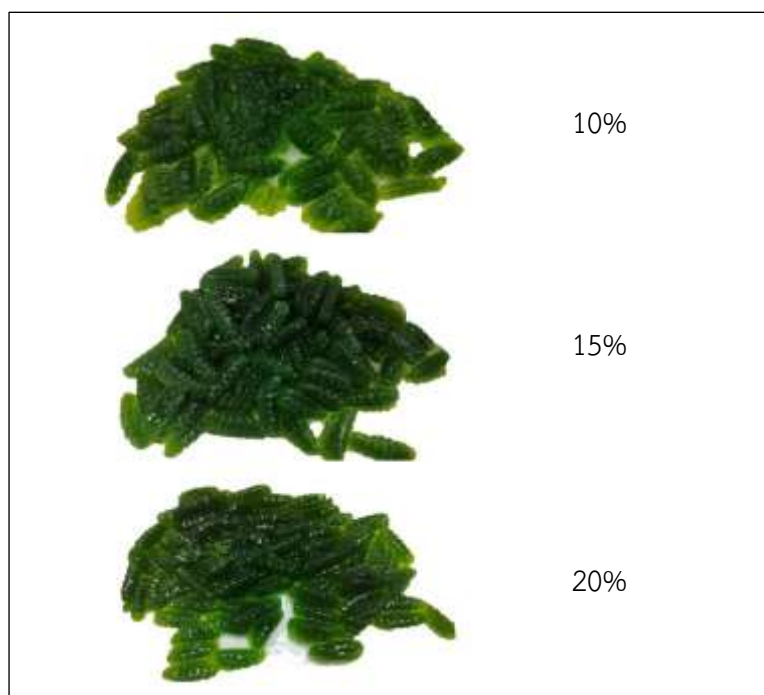
การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการวิจัย จำนวน 1 ปี ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2568 – เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2568

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย เริ่มต้นได้ทำการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตตัวขนมครองแครงจากสารสกัดใบเตย โดยใช้ น้ำปูนใสเป็นตัวเป็นตัวยาละลายในการสกัดสีเขียวจากใบเตย อัตราส่วนใบเตยต่อน้ำปูนใสคือ 1 : 4 (w/v) จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนของการเตรียมแป้งโด โดยนำแป้งมันสำปะหลังบางส่วนมาทำให้เกิดเจลร่วมกับน้ำใบเตย จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 10% 15% และ 20% (w/v) สำหรับนำมาผลิตเป็นตัวขนมครองแครง และนำตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพด้วยการวัดค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังบางส่วนที่ทำให้เกิดเจลมีผลทำให้ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้แป้งมันสำปะหลังในการทำเจลทั้ง 3 ระดับมีสีเขียวเข้ม ดังภาพที่ 4.1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการทำเจลในสภาวะที่เป็นต่าง Mg^{2+} ในคลอโรฟิลล์ไม่ถูกแทนที่ด้วย H^+ จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน (ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม, 2546)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย

ตารางที่ 4.1 ค่าสีของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย

ค่าสี	ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย		
	10%	15%	20%
L*	29.11 ± 0.46 ^a	27.55 ± 0.38 ^b	26.05 ± 0.38 ^c
a*	-10.29 ± 0.35 ^a	-9.18 ± 0.28 ^b	-8.03 ± 0.24 ^c
b*	13.00 ± 0.42 ^a	11.14 ± 0.42 ^b	10.16 ± 0.43 ^c

หมายเหตุ: ^{a,b,c} ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของการวัดค่าสีตัวขนมครองแครงต้มสุกด้วยเครื่องวัด พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของตัวขนมครองแครงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าตัวขนมครองแครงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 10% มีสีเขียว (-a*) มากที่สุด และสีเขียวลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.1 สำหรับค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่าตัวขนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 10% มีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองมากที่สุดเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการคงตัวของสารสีเขียวในกระบวนการทำเจลและแป้งโด โดยที่ 10% ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลดน้อยที่สุด และใช้ปริมาณของแป้งดิบในการเตรียมแป้งโดมากที่สุด ดังนั้น ปริมาณแป้งสุกในแป้งโดจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสรุขนิย์ เต็มเปี่ยม และคณะ (2566) ที่ได้ทำการศึกษาผลของแป้งสุกในแป้งโดที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ โดยใช้สัดส่วนแป้งสุกและแป้งมันสำปะหลังดิบในการเตรียมแป้งโดสำหรับขึ้นรูปเป็นเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ต่างกัน จำนวน 3 สูตร และใช้น้ำปูนใสอิมตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตยเช่นเดียวกัน ได้รายงานค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง และค่าสีเขียวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสุกน้อยและแป้งดิบเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสีเขียวจากใบเตยมีความคงตัวมากที่สุดในตัวขนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 10% และ Cansee et al. (2008) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของมวลแป้งแห้งต่อปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น จึงไปจำกัดการเคลื่อนที่ของสารละลายแป้งและน้ำ ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโด โดยที่ระดับ 10% ใช้ปริมาณของแป้งดิบมากที่สุด ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากเจลไปยังแป้งดิบเกิดขึ้นช้ากว่าที่ 15% และ 20% เมื่อความสามารถของเม็ดแป้งและน้ำในการนำความร้อนระหว่างโมเลกุลลดลง จึงอาจส่งผลให้สารสีเขียวในตัวขนมครองแครงที่ 10% ถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่าที่ 15% และ 20% ที่มีปริมาณของเจลมากกว่า และในขั้นตอนการต้มตัวขนมครองแครงในน้ำร้อนที่ 15% และ 20% ความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเสียหายหรือมีระดับการเกิดเจลในเซชันที่มากกว่า เกิดการสูญเสีย

ของแข็งในผลิตภัณฑ์ระหว่างการต้มสูงขึ้น ซึ่งการดูดซึมน้ำระหว่างการปรุงอาหารอาจเกิดขึ้นได้ จะถูกเร่งและเกิดการถ่ายเทความร้อน/มวลอย่างมีประสิทธิภาพ (Jang et al., 2016) อาจส่งผลให้คลอโรฟิลล์ในตัวขนมครองแครงเสียสภาพธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อนมากขึ้น จึงเกิดการสูญเสียสีเขียวและละลายอยู่ในน้ำที่ใช้ต้ม อีกทั้งการให้ความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียได้ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ ที่มีสีเขียวแกมน้ำเงิน และคลอโรฟิลล์ บี ที่มีสีเขียวแกมเหลือง โดยคลอโรฟิลล์ เอ สลายตัวได้เร็วกว่าคลอโรฟิลล์ บี (Canjura et al. 1991; Koca et al. 2006) และในสภาวะที่เป็นด่างการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ เอ ไปเป็นฟิโอฟิตินลดลง แต่ไม่มีผลต่อคลอโรฟิลล์ บี ซึ่งมีความเสถียร (Fuke et al., 1985) อาจทำให้คลอโรฟิลล์ บี สลายตัวน้อยไปด้วย ดังนั้น การเพิ่มปริมาณแป้งที่ใช้ทำเจลในตัวขนมครองแครงที่ 15% และ 20% จึงมีสีเขียว สีเหลือง และมีความสว่างน้อยกว่าที่ 10% เนื่องจากแป้งถูกทำลายด้วยความร้อนมากกว่า

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย

ลักษณะเนื้อสัมผัส	ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย		
	10%	15%	20%
ค่าความแน่นเนื้อ (g)	7,927.62 ± 998.32 ^c	10,521.45 ± 683.61 ^b	11,039.58 ± 896.75 ^a
ค่าการเกาะติดพื้นผิว (g.sec)	114.90 ± 32.48 ^b	146.89 ± 48.60 ^a	151.53 ± 18.95 ^a
ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน	0.71 ± 0.04 ^b	0.75 ± 0.02 ^a	0.77 ± 0.02 ^a
ค่าความยืดหยุ่น ^{ns} (%)	84.18 ± 0.06	84.11 ± 0.03	83.61 ± 0.03
ค่าความเหนียว	5,660.20 ± 951.73 ^c	7,925.50 ± 571.07 ^b	8,453.99 ± 762.47 ^a
การทนต่อการเคี้ยว	4,741.71 ± 724.04 ^c	6,664.20 ± 489.97 ^b	7,063.66 ± 631.70 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c} ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลของการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสตัวขนมครองแครงต้มสุกด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA) พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทำเจลมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวของตัวขนมครองแครงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าตัวขนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 20% มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวมากที่สุด และค่าเหล่านี้ลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลลดลง ดังตารางที่ 4.2 อาจเนื่องมาจากอัตราส่วน

ของสารละลาย Ca(OH)_2 และแป้งมันสำปะหลังในการทำเจล โดยที่ 20% ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลมากที่สุด และสอดคล้องกับแป้งดิบปริมาณน้อยที่สุดในการเตรียมแป้งโด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 15% และ 10% ซึ่งมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลลดลง โดยค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยว สามารถเชื่อมโยงกับอัตราส่วนของสารละลาย Ca(OH)_2 กับปริมาณแป้งมันสำปะหลังในระหว่างกระบวนการเจลาตีไนเซชัน ซึ่ง Oosten (1983) รายงานว่า แป้งเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนที่ดูดซับไอออนบวกจากสารละลายแลกเปลี่ยนกับไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการแทนที่ไฮโดรเจนไอออนที่มีขนาดเล็กด้วยไอออนบวก โครงร่างของแป้งถูกขยายตัวออกทำให้เกิดการเพิ่มปริมาตรที่ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว การเพิ่มปริมาตรของเม็ดแป้งโดยการดูดซับของไอออนบวกยังเป็นสาเหตุให้แป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้นอีกด้วย และ Lai et al. (2004) รายงานว่า ต่างทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นก่อนที่จะแตกออก โดยการเกิดพันธะระหว่าง Ca^{2+} กับแป้ง และ Ca(OH)^+ กับแป้ง และความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโดและการให้ความร้อนระหว่างการต้ม โดยที่ 20% เม็ดแป้งดูดซับไอออนบวกได้มากกว่า เจลจึงมีความเข้มข้นของ Ca^{2+} สูง สามารถเกิดพันธะกับแป้งดิบได้มากกว่าที่ 15% และ 10% ในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโด และเม็ดแป้งมีการดูดซับไอออนบวกได้ดีเมื่อนำไปให้ความร้อนระหว่างการต้ม ส่งผลให้ตัวขนมครองแครงที่ 20% มีความแน่นเนื้อ การเกาะติดพื้นผิว ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยวสูงสุด และในขณะเดียวกันเมื่ออัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลลดลง ทำให้สัดส่วนของแป้งที่เป็นเจลในส่วนผสมน้อยลงด้วย ซึ่งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวขนมครองแครงที่ 15% และ 10% ให้ความแน่นเนื้อ การเกาะติดพื้นผิว ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยวลดลงตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นของตัวขนมครองแครง ($p>0.05$) โดยที่ค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทำเจลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 คะแนนความชอบของขนมครองแครงน้ำกะทิจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบของขนมครองแครงน้ำกะทิ		
	10%	15%	20%
ลักษณะปรากฏ	7.40 ± 1.00 ^b	7.83 ± 0.70 ^a	7.63 ± 0.89 ^{ab}
สี ^{ns}	7.43 ± 0.82	7.73 ± 0.91	7.57 ± 0.97
กลิ่น ^{ns}	7.17 ± 0.91	7.23 ± 0.90	7.40 ± 0.81
กลิ่นรส ^{ns}	7.20 ± 0.85	7.40 ± 0.89	7.43 ± 0.63
รสชาติ ^{ns}	7.43 ± 0.90	7.50 ± 0.97	7.40 ± 0.97
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.47 ± 0.94 ^a	7.60 ± 0.93 ^a	6.93 ± 0.94 ^b
ความชอบโดยรวม	7.37 ± 1.00 ^{ab}	7.70 ± 0.65 ^a	7.23 ± 0.97 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมครองแครงน้ำกะทิ พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ระดับ 15% ต่างจาก 10% และ 20% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ด้านสี กลิ่น กลิ่นรส และรสชาติ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 4.3 ขนมครองแครงน้ำกะทิที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 15% มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น อาจเนื่องมาจากตัวขนมครองแครงมีอัตราส่วนของแป้งสุกและแป้งดิบในการเตรียมแป้งโดที่เหมาะสม แป้งโดที่ได้มีความเหนียวพอเหมาะ แป้งไม่ร่วนและไม่เหนียวจนเกินไป ทำให้ขึ้นรูปเป็นตัวขนมครองแครงได้ง่ายและมีสีเขียวสวยงามคล้ายหอยแครงมากที่สุด ดังภาพที่ 4.2 และเมื่อนำตัวขนมครองแครงไปต้มให้สุกแป้งสามารถเกิดเจลได้ในเซชันได้ดี ซึ่งจะแตกต่างจากตัวขนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 10% อัตราส่วนของแป้งสุกน้อยที่สุดและแป้งดิบมากที่สุด แป้งโดที่ได้มีความเหนียวน้อยกว่าและแป้งแข็ง ขึ้นรูปเป็นตัวขนมครองแครงได้ไม่ดีและลักษณะตัวขนมมีรอยแตก เมื่อนำไปต้มให้สุกตัวขนมครองแครงจะมีความเหนียวน้อยที่สุด สำหรับตัวขนมครองแครงที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 20% อัตราส่วนของแป้งสุกมากที่สุดและแป้งดิบน้อยที่สุด แป้งโดที่ได้มีความเหนียวจนเกินไป ขึ้นรูปเป็นตัวขนมครองแครงได้ยากกว่าและตัวขนมมีความชื้นสูง อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของไอออนบวกที่เพิ่มขึ้นจะไปผลักดันสมดุล ทำให้มีการปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาจากแป้ง ซึ่งไอออนเหล่านี้จะไปรวมตัวกับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) กลายเป็นน้ำ (Oosten, 1983) และเมื่อนำไปต้มให้สุกตัวขนมครองแครงจะมีความเหนียวมากที่สุด ดังนั้นการใช้ส่วนผสมของแป้งสุกและแป้งดิบในการเตรียม

แป้งโดที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ต่างกัน แป้งทั้ง 2 รูปแบบจึงต้องมีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการยึดเกาะและความนุ่มของเจลในตัวขนมครองแครง การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลมากขึ้น (20%) ทำให้ตัวขนมครองแครงมีความเหนียวจนเกินไป และการลดปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลให้น้อยลง (10%) ทำให้ขึ้นรูปเป็นตัวขนมครองแครงได้ไม่ดีและมีความเหนียวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยขนมครองแครงน้ำกะทิที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 15% ตัวขนมครองแครงมีลักษณะที่ดีไม่เหนียวจนเกินไป จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น สำหรับด้านสี (มองด้วยตาเปล่า) กลิ่น กลิ่นรส และรสชาติ ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างขนมครองแครงน้ำกะทิเพื่อทดสอบชิมมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกสี กลิ่น กลิ่นรส และรสชาติได้ ผู้วิจัยจึงเลือกปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 15% ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย ไปทำการศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิต่อไป โดยทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตตัวขนมครองแครงเทียบกับน้ำปูนใสอมตัว



ภาพที่ 4.2 ลักษณะตัวขนมครองแครงดิบที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดจากใบเตย

4.2 ผลการศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ

ผลการศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ โดยทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตย ในการผลิตตัวขนมครองแครงเทียบกับน้ำปูนใสอิมิตัว โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ที่ระดับความเข้มข้น 0.00% 0.10% 0.20% และ 0.30% (w/v) และน้ำปูนใสอิมิตัวเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนใบเตยต่อสารสกัดใบเตยเท่ากับ 1 : 4 (w/v) จากนั้นเตรียมแป้งโดที่ 15% สำหรับนำมาผลิตเป็นตัวขนมครองแครง และนำตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพด้วยการวัดค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับ 0.00% 0.10% 0.20% และ 0.30% และน้ำปูนใสอิมิตัว ที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตตัวขนมครองแครงมีผลทำให้ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทจากผู้ทดสอบชิมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaHCO_3 และน้ำปูนใสอิมิตัว ในการสกัดสีเขียวจากใบเตย

ตัวขนมครองแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% มีสีเขียวน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 0.10% มีสีเขียวสดมากที่สุด และสีเขียวลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่ให้สีเขียวน้อยกว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอ้อมตัว ในการสกัดสารสีเขียวนอกจากใบเตย ดังภาพที่ 4.3 ผลของการวัดค่าสีตัวขนมครองแครงต้มสุกด้วยเครื่องวัด พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และน้ำปูนใสอ้อมตัวในการสกัดสารสีเขียวนอกจากใบเตยมีผลต่อค่าสี L^* , a^* และ b^* ของตัวขนมครองแครง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.10% มีค่าสีเขียว ($-a^*$) มากที่สุด และลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่มีสีเขียวน้อยกว่าการใช้น้ำปูนใสอ้อมตัว และสารละลาย 0.00% โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า pH ของสารสกัดจากใบเตย และค่าสีของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaHCO_3 และน้ำปูนใสอ้อมตัวในการสกัดสีเขียวนอกจากใบเตย

ความเข้มข้นของสารละลาย	pH ของสารสกัดจากใบเตย	ค่าสีของตัวขนมครองแครง		
		L^*	a^*	b^*
0.00% NaHCO_3	5.62 ± 0.02^e	26.36 ± 0.93^a	-5.75 ± 0.30^d	11.20 ± 0.55^a
0.10% NaHCO_3	7.58 ± 0.03^d	25.57 ± 0.68^b	-10.15 ± 0.50^a	10.90 ± 0.59^a
0.20% NaHCO_3	8.06 ± 0.02^c	24.85 ± 0.81^c	-9.19 ± 0.75^b	9.74 ± 0.85^b
0.30% NaHCO_3	8.29 ± 0.02^b	24.35 ± 0.49^d	-7.71 ± 0.51^c	9.61 ± 0.49^b
น้ำปูนใสอ้อมตัว	11.73 ± 0.03^a	24.40 ± 0.40^d	-7.63 ± 0.30^c	9.77 ± 0.59^b

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d,e} ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% หรือการใช้น้ำเปล่าในการสกัดสารสีเขียวนอกจากใบเตย สารสกัดสีเขียวนี้ได้มีความเป็นกรด (pH 5.62) เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในธรรมชาติของพืชสามารถละลายออกมาในระหว่างการสกัดสารสีเขียวได้ ซึ่งในสภาพความเป็นกรดส่งผลให้ความคงตัวของคลอโรฟิลล์ลดลง จึงทำให้ได้สารละลายที่มีสีเขียวลดลงเนื่องจาก H^+ ของกรดสามารถเข้าไปแทนที่ Mg^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ได้สารประกอบฟิโอฟิตินซึ่งมีสีเขียวน้ำตาล จึงเป็นผลทำให้ตัวขนมครองแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% ในการสกัดสารสีเขียวนอกจากใบเตยมีสีเขียวน้อยที่สุด ดังภาพที่ 4.3 และมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของประพันธ์ ปันศิริโรดม (2546) ที่ได้ทำการศึกษาการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบเตยที่ค่า pH 4 7 และ 10 ร่วมกับการใช้ความร้อน พบว่าการสกัด

คลอโรฟิลล์จากใบเตยในสถานะที่มีความเป็นกรดทำให้ได้สารสีเขียวที่มีความคงตัวน้อยที่สุด ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงได้สารประกอบฟิโอฟิตินซึ่งมีสีเขียวน้ำตาล ให้ผลตรงข้ามกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่มีระดับความเข้มข้นสูงชันและน้ำปูนใสอิมิตัวซึ่งมีความเป็นด่าง มีผลทำให้สารสกัดจากใบเตยมีค่า pH สูงกว่า 7.0 ดังตารางที่ 4.4 การสกัดสารสีเขียวจากใบเตยในสถานะที่มีความเป็นด่างสามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของรงควัตถุที่ให้สีเขียวได้ (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) โดยในสถานะที่เป็นด่างทำให้เอนไซม์คลอโรฟิลเลสสามารถเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลไลด์ซึ่งมีสีเขียวสด สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น และมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์ (สมัคร แก้วสุกแสง 2558; Kaewsuksaen 2011) แต่เอนไซม์คลอโรฟิลเลสมีค่า pH ที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมที่ 7.6 - 8.0 (Sytykiewicz et al., 2013) จึงมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสลดลงเมื่อมีค่า pH สูงกว่า 8.0 จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตมีผลทำให้ตัวชนมครองแครงมีสีเขียว ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง อาจเนื่องมาจากในการผลิตตัวชนมครองแครงจากเจลมีการให้ความร้อนกับสารสกัดสีเขียวน้ำตาลซึ่งมีความเป็นด่างจากโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เกิดการสลายตัวของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ทำให้ความเป็นด่างของสารสกัดจากใบเตยสูงกว่า 8.0 จึงมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสรราชนีย์ เต็มเปี่ยม และคณะ (2568) ที่ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบความคงตัวของสีเขียวและคุณภาพของลอดช่องสิงคโปร์ที่ทำจากใบเตย (*Pandan amaryllifolius* Roxb.) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและน้ำปูนใส พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นน้อยที่สุด (0.25%) มีความเหมาะสมในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยมากที่สุด เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.25% (pH 8.18) ทำให้ลอดช่องสิงคโปร์มีสีเขียว ($-a^*$) สูงและคงตัวที่สุด และสีเขียวลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น (pH สูงขึ้น) อีกทั้งมีสีเขียวน้ำตาลมากกว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำปูนใสอิมิตัวและตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ดังนั้นตัวชนมครองแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.10% (pH 7.58) จึงมีสีเขียว ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองมากที่สุด เนื่องจากมีค่า pH เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส สามารถเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลไลด์ซึ่งมีสีเขียวสดและมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์ และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นสีเขียวลดลงซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (pH 8.06-8.29) และการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำให้ตัวชนมครองแครงมีสีเขียวน้ำตาลมากกว่าการใช้น้ำปูนใสอิมิตัวในการสกัดสีเขียวน้ำตาลจากใบเตย (pH 11.73)

ตารางที่ 4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวขนมครองแครงต้มสุกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaHCO_3 และน้ำปูนใสอิมตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย

ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความเข้มข้นของสารละลาย				
	0.00% NaHCO_3 (น้ำเปล่า)	0.10% NaHCO_3	0.20% NaHCO_3	0.30% NaHCO_3	น้ำปูนใสอิมตัว
ค่าความแน่นเนื้อ (g)	9,220.85 $\pm$ 679.58 ^{cd}	9,778.34 $\pm$ 478.99 ^{ab}	9,586.79 $\pm$ 742.45 ^{bc}	8,939.54 $\pm$ 289.80 ^d	10,029.51 $\pm$ 699.92 ^a
ค่าการเกาะติดพื้นผิว (g.sec)	95.75 $\pm$ 16.07 ^c	114.66 $\pm$ 15.90 ^b	120.11 $\pm$ 21.28 ^b	110.75 $\pm$ 10.68 ^b	189.20 $\pm$ 36.98 ^a
ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน	0.73 $\pm$ 0.04 ^d	0.78 $\pm$ 0.02 ^b	0.76 $\pm$ 0.02 ^c	0.76 $\pm$ 0.02 ^c	0.80 $\pm$ 0.02 ^a
ค่าความยืดหยุ่น (%)	85.63 $\pm$ 0.04 ^{ab}	86.27 $\pm$ 0.04 ^a	85.53 $\pm$ 0.03 ^{ab}	84.61 $\pm$ 0.04 ^{ab}	83.22 $\pm$ 0.05 ^b
ค่าความเหนียว (g)	6,725.94 $\pm$ 747.32 ^c	7,584.62 $\pm$ 441.85 ^b	7,277.73 $\pm$ 702.01 ^b	6,791.09 $\pm$ 287.65 ^c	7,991.75 $\pm$ 683.63 ^a
การทนต่อการเคี้ยว (m.J)	5,758.50 $\pm$ 703.96 ^c	6,542.18 $\pm$ 461.83 ^{ab}	6,219.18 $\pm$ 591.57 ^b	5,741.10 $\pm$ 253.29 ^c	6,649.88 $\pm$ 687.77 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสตัวขนมครองแครงต้มสุกด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตและสารละลายน้ำปูนใสอิมิตัวมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวของตัวขนมครองแครงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต 0.00% หรือไม่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต (น้ำเปล่า) มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวต่ำที่สุด และเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต 0.10% จากนั้นค่าเหล่านี้ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปูนใสอิมิตัว พบว่าค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวมีค่าสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตและน้ำเปล่า ดังตารางที่ 4.5 ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเป็นต่างของสารสกัดใบเตย เนื่องจากต่างทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นก่อนที่จะแตกออก (Lai et al. 2004; Pedcharat et al. 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Han et al. (2011) ที่ได้มีการรายงานเกี่ยวกับการพองตัวของแป้งบัควีท (buckwheat flour) โดยสังเกตจากค่าแรงดึงของเส้นบะหมี่ที่สุกแล้วที่มีการเติมความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน (0.0 - 1.0%) พบว่าค่าแรงดึงเพิ่มจาก pH 6.63 (0.0% Ca(OH)_2) และมีค่าแรงดึงสูงสุดที่ pH 12.31 (0.4% Ca(OH)_2) หลังจากนั้นค่าแรงดึงจะลดลง ซึ่งค่าแรงดึงมีความสัมพันธ์กับความหนืดที่สามารถใช้ประเมินคุณสมบัติของเนื้อสัมผัสทางอ้อมได้ โดยค่าความหนืดที่มากขึ้นบ่งชี้ว่าเม็ดแป้งมีการบวมตัวก่อนที่จะแตกออกมากกว่าค่าที่มีความหนืดน้อยกว่า โดยไอออนของโลหะอัลคาไล/อัลคาไลเอิร์ธ (alkali/alkali earth metal ions) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ของแป้งมีปฏิสัมพันธ์กันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผลึกมีแนวโน้มที่จะถูกทำลายโดยการแทนที่โปรตอนด้วยไอออนบวก ซึ่งช่วยเร่งการปล่อยอะมิโลสออกมาจากเม็ดแป้งและหมู่ไฮดรอกซิลจากสายพอลิเมอร์ของแป้ง อาจทำให้เกิดการแทนที่ของโปรตอนด้วย Ca^{2+} และ Ca(OH)^+ โดยเกิดพันธะระหว่าง Ca^{2+} กับแป้ง และ Ca(OH)^+ กับแป้ง ซึ่งจะทำให้เม็ดแป้งขยายตัวและพองตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง (Lai et al., 2004) จากผลการทดลองพบว่า pH ของสารสกัดจากใบเตยด้วยน้ำเปล่ามีความเป็นกรด (pH 5.62) มีความหนืดน้อย จึงทำให้ตัวขนมครองแครงที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต 0.00% มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวต่ำที่สุด สำหรับการใช้ปูนใสอิมิตัวทำให้ pH ของสารสกัดจากใบเตยมีความเป็นด่าง (pH 11.73) สูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.10% - 0.30% (pH 7.58 - 8.29) และ Ca^{2+} จากน้ำปูนใสมีความเป็นไอออนิกสูงกว่า Na^+ จึงสามารถเกิดพันธะกับแป้งได้แข็งแรงกว่า ทำให้ตัวขนมครองแครงสุกมีความหนืดสูง ส่งผลให้ตัวขนมครองแครงที่ใช้ปูนใสอิมิตัวมีค่าความแน่นเนื้อ ค่าการเกาะติดพื้นผิว ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว ค่าการทนต่อการเคี้ยวสูงกว่า และมีค่าความยืดหยุ่นน้อยกว่าที่ระดับ

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.10% 0.20% และ 0.30% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5

การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตสกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตตัวขนมครองแครง พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น จาก 0.10% - 0.30% ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และค่าการทนต่อการเคี้ยวลดลงเล็กน้อย สำหรับค่าการเกาะติดพื้นผิวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเกี่ยวข้องกับการบวมตัวของเม็ดแป้งก่อนที่จะแตกออก (Lai et al., 2004) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ชของแป้งได้น้อยลง อาจทำให้เม็ดสตาร์ชไฮเดรตน้ำได้ลดลงและขยายหรือพองตัวได้เล็กน้อยขณะที่ให้ความร้อนแก่แป้ง ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันจึงถูกจำกัด ส่งผลให้ความหนืดลดลงเพียงเล็กน้อย จนไม่สามารถสังเกตการเกิดเจลลิตีในเซชันได้ชัดเจนเมื่อใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างกัน และรวมถึงสารละลายอิมัลชัน (Ragheb et al., 1995)

ตารางที่ 4.6 คะแนนความชอบของขนมครองแครงน้ำกะทิที่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบของขนมครองแครงน้ำกะทิ			
	0.10% NaHCO ₃	0.20% NaHCO ₃	0.30% NaHCO ₃	น้ำปูนใสอิมัลชัน
ลักษณะปรากฏ	8.07 ± 0.58 ^a	7.80 ± 0.89 ^{ab}	7.80 ± 0.85 ^{ab}	7.67 ± 0.84 ^b
สี	8.20 ± 0.71 ^a	8.03 ± 0.72 ^{ab}	8.03 ± 0.85 ^b	7.90 ± 0.84 ^b
กลิ่น	7.97 ± 0.85 ^a	7.80 ± 0.81 ^{ab}	7.73 ± 0.78 ^b	7.67 ± 0.88 ^b
กลิ่นรส ^{ns}	7.90 ± 0.71	7.80 ± 0.81	7.63 ± 0.81	7.60 ± 0.72
รสชาติ ^{ns}	7.87 ± 0.73	7.70 ± 0.70	7.67 ± 0.84	7.63 ± 0.76
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.80 ± 0.66 ^a	7.70 ± 0.88 ^a	7.57 ± 0.86 ^{ab}	7.33 ± 0.76 ^b
ความชอบโดยรวม	8.06 ± 0.83 ^a	7.83 ± 0.83 ^{ab}	7.80 ± 0.81 ^{ab}	7.67 ± 0.88 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมครองแครง พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% 0.20% 0.30% และน้ำปูนใสอิมัลชัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.6

ตัวขนมครองแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม และมีสีเขียวเข้มที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้ทำเจลมากขึ้นเป็น 0.20% และ 0.30% ทำให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวลดลง สำหรับตัวขนมครองแครงที่ใช้น้ำปูนใสอ้อมตัวจะมีสีเขียวอ่อนกว่าและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวกว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เนื่องจากความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง (Lai et al., 2004) ซึ่ง Na^+ จากสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นสารประกอบไอออนิกของโลหะอัลคาไลที่มีความเป็นไอออนิกน้อยกว่า Ca^{2+} จากน้ำปูนใสอ้อมตัวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นสารประกอบไอออนิกของโลหะอัลคาไลเอิร์ธ จึงทำให้ตัวขนมครองแครงที่ใช้น้ำปูนใสอ้อมตัวมีความเหนียวและความแข็งแรงกว่าสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% และความเหนียวลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สำหรับด้านกลิ่นรสและรสชาติผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างขนมลดช่องสิงคโปร์เพื่อทดสอบชิมมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกกลิ่นรสและรสชาติได้ โดยขนมครองแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุดในทุกด้าน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีด้วยเครื่องวัดสี และด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครงผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย โดยการเตรียมแป้งโดจากแป้งดิบและแป้งสุกบางส่วน ซึ่งในส่วนของแป้งสุกจะใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำใบเตยที่สกัดด้วยน้ำปูนใสอิมตัวที่ระดับ 10% 15% และ 20% (w/v) ซึ่งได้ทำการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจล (แป้งสุก) ในการผลิตตัวขนมครองแครงจากสารสกัดใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสอิมตัว ที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวขนมครองแครง พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลร่วมกับน้ำใบเตยในการผลิตตัวขนมครองแครงที่ระดับ 15% ได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) แป้งโดที่ได้มีความเหนียวพอเหมาะ แป้งไม่ร่วนและไม่เหนียวจนเกินไป ทำให้ขึ้นรูปเป็นตัวขนมครองแครงได้ดีที่สุด และมีสีเขียวคงตัว ตัวขนมครองแครงมีลักษณะที่ดีไม่เหนียวจนเกินไป จึงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงกว่าที่ระดับอื่น ๆ

สำหรับการศึกษาความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ โดยทำการศึกษาผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.00% 0.10% 0.20% และ 0.30% ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยที่มีผลต่อค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมครองแครงน้ำกะทิเทียบกับน้ำปูนใสอิมตัว พบว่าตัวขนมครองแครงที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% มีสีเขียวสดและคงตัวที่สุด อีกทั้งค่าความแน่นเนื้อ ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน ค่าความเหนียว ค่าการทนต่อการเคี้ยว และค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุด เมื่อเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้ น้ำปูนใสอิมตัวมากกว่าตัวอย่างอื่น ($p \leq 0.05$) และขนมครองแครงน้ำกะทียังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ดังนั้น การผลิตตัวขนมครองแครงจากแป้งโดที่มีส่วนผสมของแป้งดิบและแป้งสุกบางส่วน ที่ใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำใบเตยที่ระดับ 15% ในการทำเจล และการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% ในการสกัดสีเขียวจากใบเตย จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตตัวขนมครองแครงที่ทำให้สีเขียวของสารสกัดจากใบเตยมีความคงตัวดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาสารที่มีความเป็นต่างตัวอื่น ๆ ที่สามารถใช้กับอาหารและรับประทานได้ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) นอกเหนือจากการใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต และน้ำปูนใสอิมัลชันในการสกัดสีเขียวจากใบเตย

5.2.2 ควรศึกษาอาหาร/ขนมไทยที่ใช้สีเขียวจากคลอโรฟิลล์จากพืชชนิดอื่นที่สามารถใช้กับอาหารได้ โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นต่าง สำหรับใช้ในการประกอบอาหารให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มสีสันตามธรรมชาติให้กับอาหารและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

5.2.3 ควรศึกษาการทำแห้งตัวขนมครองแครงกึ่งสำเร็จรูป โดยยังคงมีลักษณะคุณภาพด้านรสชาติ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับ และปลอดภัยสำหรับการบริโภค

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. องค์การทหารผ่านศึก.
- ขวัญชนก ศรีทาสุข. (2557). คลอโรฟิลล์กับสุขภาพ. <http://biology.ipst.ac.th/?p=963>
- เครือวัลย์ ศิริพงษ์. (2554). *ขนมไทยเลิศรส*. สำนักพิมพ์ คลื่นอักษร.
- ณัฐธยาน์ ศรีสุวอ, มลิวรรณ กิจชัยเจริญ, ณัฐวลินคล เสรษฐปราโมทย์ และ สุพัฒน์ ไต้เวชศาสตร์. (2559). ผลของสารเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของผงน้ำอ้อยในการผลิตแบบดั้งเดิม. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 8(1), 39-50.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2549). *เคมีอาหาร (Food Chemistry)*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์.
- นิตานันท์ ตามกาล, ณัฏฐา เลหากุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2558). คุณสมบัติทางกายภาพและสารหอมระเหยของใบเตยหอม (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) สกัดด้วยน้ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46(3), 145-148.
- _____. (2559). การสกัดสารให้สีและสารหอมระเหยจากใบเตยด้วยการสกัดเชิงกล. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 47(2), 681-684.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม. (2546). ผลของอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือสังกะสีต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย. *อาหาร*, 33(4), 277-282.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นธิยา รัตนพานนท์. (2564). Retrogradation/ รีโทรเกรเดชัน. <https://qrqo.page.link/KhcJZ>
- _____. (2564). Tapioca starch/ แป้งมันสำปะหลัง. <https://qrqo.page.link/oB9A8>
- พีชเกษตร. (2559). เตย/ใบเตย สรรพคุณ และการปลูกเตย. <https://qrqo.page.link/pJ2Vh>
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). *พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542*. ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์.
- วรรณมา ตูลยธัญ. (2549). *เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต*. บริษัท แอคทีฟ พรินท์ จำกัด.
- ศิวัม ไทยอุดม และ สิรินาฏ เนติสิริ. (2555). การปรับปรุงกลิ่นรสของไอศกรีมที่มีโปรตีนและน้ำมันจากถั่วเหลืองด้วยสมุนไพรไทย (รายงานการวิจัย). สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ส. พลายน้อย. (2554). *ขนมแม่เอ๊ย*. สำนักพิมพ์สารคดี.
- สมักร แก้วสุกแสง. (2558). การทำบริสุทธิ์เอนไซม์ Pheophytinase และ Chlorophyllase ที่มีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สรรรชนี เต็มเปี่ยม, วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงค์ และ ศุภักษร มาแสวง. (2566). ผลของแป้งสาลีในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย. *PBRU Science Journal*, (20)1, 19-33.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สรรรชนีัย เต็มเปี่ยม, วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงษ์, ศันสนีย์ ทิมทอง และ ศุภักษร มาแสง. (2568). การเปรียบเทียบความคงตัวของสีเขียวและคุณภาพของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ทำจากใบเตย (*Pandan amaryllifolius Roxb.*) โดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใส. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 44(2), 58-72.
- สำนักพิมพ์แสงแดด. (2551). *ขนมไทย 2*. (พิมพ์ครั้งที่ 10). บริษัท สำนักพิมพ์แสงแดด จำกัด.
- สุกัญญา สมสิงห์. (2556). 49 *ขนมไทยสูตรต้นตำรับ*. สำนักพิมพ์ไทยควอลิตี้บุ๊คส์.
- อบเชย อิ่มสบาย. (2554). *ขนมไทย*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). บริษัท พิมพ์ดี จำกัด.
- อภิญา มานะโรจน์. (2556). *ขนมหวานไทย*. บริษัท สำนักพิมพ์แม่บ้าน จำกัด.
- อรรสุ นพพรรค์. (2542). *ขนมไทย*. โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- อังคณา จารุพินทุโสภณ. (2548). *การพัฒนาขนมครองแครงแก้วให้ได้สูตรมาตรฐาน*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Aramrueang, N., Asavasanti, S. and Khanunthong, A. (2019). Leafy Vegetables” in Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products. pp. 195-212. Pan, Z. et al., editor. Academic Press, United Kingdom.
- Canjura, F. L., Schwartz, S. J. and Nunes, R. V. (1991). Degradation Kinetics of Chlorophylls and Chlorophyllides. *Journal of Food Science*, 56(6), 1639-1643.
- Cansee, S., Watyotha, C., Thivavarnvongs, T., Uriyapongson, J. and Varith, J. (2008). Effects of temperature and concentration on thermal properties of cassava starch solutions. *Songklanakarin Journal Science and Technology*, 30(3), 405-411.
- Dewi, E. N., Purnamayati, L. and Jaswir, I. (2022). Effects of thermal treatments on the characterisation of microencapsulated chlorophyll extract of *Caulerpa racemose*. *International Food Research Journal*, 29(6), 1279-1292.
- Fernandes, T. M., Gomes, B. B., and Lanfer-Marquez, U. M. (2007). Apparent absorption of chlorophyll from spinach in an assay with dogs. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(3), 426-432.
- Fuke, Y., Sasago, K. and Matsuoka, H. (1985). Determination of Chlorophylls in Kiwi Fruit and Their Changes during Ripening. *Journal of Food Science*, 50(5), 1220-1223.
- Gandul, R. B. and Gallardo, G. L. (2014). Pigment changes during processing of green table olive specialities treated with alkali and without fermentation. *Food Research International*, 65, 224-230.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Gunawan, M. I. and Barringer, S. A. (2000). Green colour degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24, 253-263.
- Han, L., Lu, Z., Hao, X., Cheng, Y. and Li, L. (2011). IMPACT OF CALCIUM HYDROXIDE ON THE TEXTURAL PROPERTIES OF BUCKWHEAT NOODLES. *Journal of Texture Studies*, 43(3), 1-8.
- Herrero-Martínez, J. M., Schoenmakers, P. J. and Kok, W. T. (2004). Determination of the amylose-amylopectin ratio of starches by iodine-affinity capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1053(1-2), 227-234.
- Indrasti, D., Andarwulan, N., Purnomo, E. H. and Wulandari, N. (2018). Stability of Chlorophyll as Natural Colorant: A Review for Suji (*Dracaena Angustifolia* Roxb.) Leaves' Case. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6(3), 609-625.
- Jang, A., Kim, H., Shim, J. Y., Lee, S. K. and Lee, S. (2016). CORRELATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF INSTANT NOODLES WITH THEIR TEXTURAL PROPERTY FOR REHYDRATION STUDY. *Journal of Texture Studies*, 47, 87-91.
- Kaewsuksaeng, S. (2011). Chlorophyll Degradation in Horticultural Crops. *Walailak Journal of Science and Technology*, 8(1), 9-19.
- Kaur, G., Kaur, P. and Kaur A. (2018). Physico-chemical properties, bioactive compounds and color parameters of coriander puree: effect of pretreatments and freezing. *Journal of Food Science and Technology*.
- Koca, N., Karadeniz, F. and Burdurlu, H. S. (2006). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100(2), 609-615.
- Laborde, L. F. and Von Elbe, J. H. (1994). Chlorophyll Degradation and Zinc Complex Formation with Chlorophyll Derivatives in Heated Green Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(5), 1100-1103.
- Lai, L. N., Karim, A. A., Norziah, M. H. and Seow, C. C. (2004). Effects of Na₂CO₃ and NaOH on Pasting Properties of Selected Native Cereal Starches. *Journal of Food Science*, 69(4), 249-256.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Minh, N. P., Vo, T. T., Van Man, L., Phong, T. D., Van Toan, N. and Vo, H. N. (2019). Green Pigment Extraction from Pandan (*Pandanus Amaryllifolius*) and its Application in Food Industry. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 11(3), 925-929.
- Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S. and Chiewchan, N. (2017). Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15), 3243-3259.
- Ngo, T. and Zhao, Y. (2007). Formation of Zinc-Chlorophyll-Derivative Complexes in Thermally Processed Green Pears (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Science*, 72(7), C397–C404.
- Oosten. B. J. (1983). Explanations for Phenomena Arising from Starch-Electrolytes Interactions. *Starch/ Stärke*, 35(5), 166-169.
- Pedcharat, K., Jangchud, K. and Prinyawiwatkul, W. (2020). Physicochemical properties of rice flour as affected by alkaline soaking and washing treatments. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-9.
- Ragheb, A. A., I. Abdel-Thalouth I. and Tawfik, S. (1995). Gelatinization of Starch in Aqueous Alkaline Solutions. *Starch/ Stärke*, 47(9), 338-345.
- Senklang, P. and Anprung, P. (2010). Optimizing enzymatic extraction of Zn–Chlorophyll derivatives from pandan leaf using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 759-776.
- Suryani, C. L., Wahyuningsih, T. D., Supriyadi and Santoso, U. (2020). THE POTENTIAL OF MATURE PANDAN LEAVES AS A SOURCE OF CHLOROPHYLL FOR NATURAL FOOD COLORANTS. *Journal Teknologi and Industri Pangan*, 31(2), 127-137.
- Sytykiewicz, H., Sprawka, I., Czerniewicz, P., Sempruch, C., Leszczynski, B. and Sikora, M. (2013). Biochemical characterisation of chlorophyllase from leaves of selected *Prunus* species-A comparative study. *Acta Biochimica Polonica*, 60(3), 457-465.
- Zheng, Y., Shi, J., Pan, Z., Cheng, Y., Zhang, Y. and Li, N. (2014). Effect of heat treatment, pH, sugar concentration, and metal ion addition on green color retention in homogenized puree of Thompson seedless grape. *LWT - Food Science and Technology*, 55(2), 595-603.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ภาพแสดงกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครง

ภาคผนวก ข ขนมครองแครงน้ำกะทิสำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ก

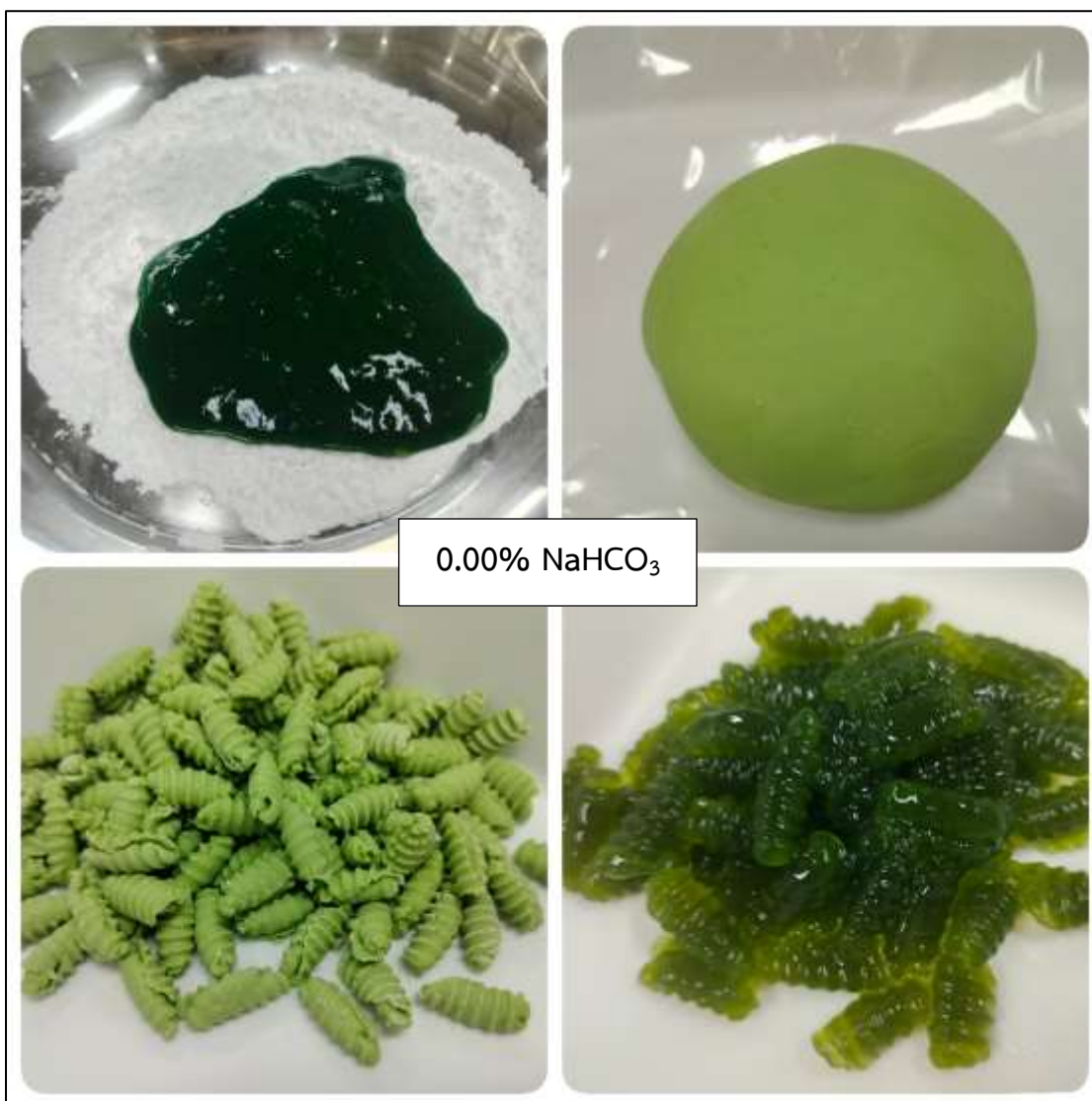
ภาพแสดงกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครง

ภาพแสดงกระบวนการผลิตตัวขนมครองแครง

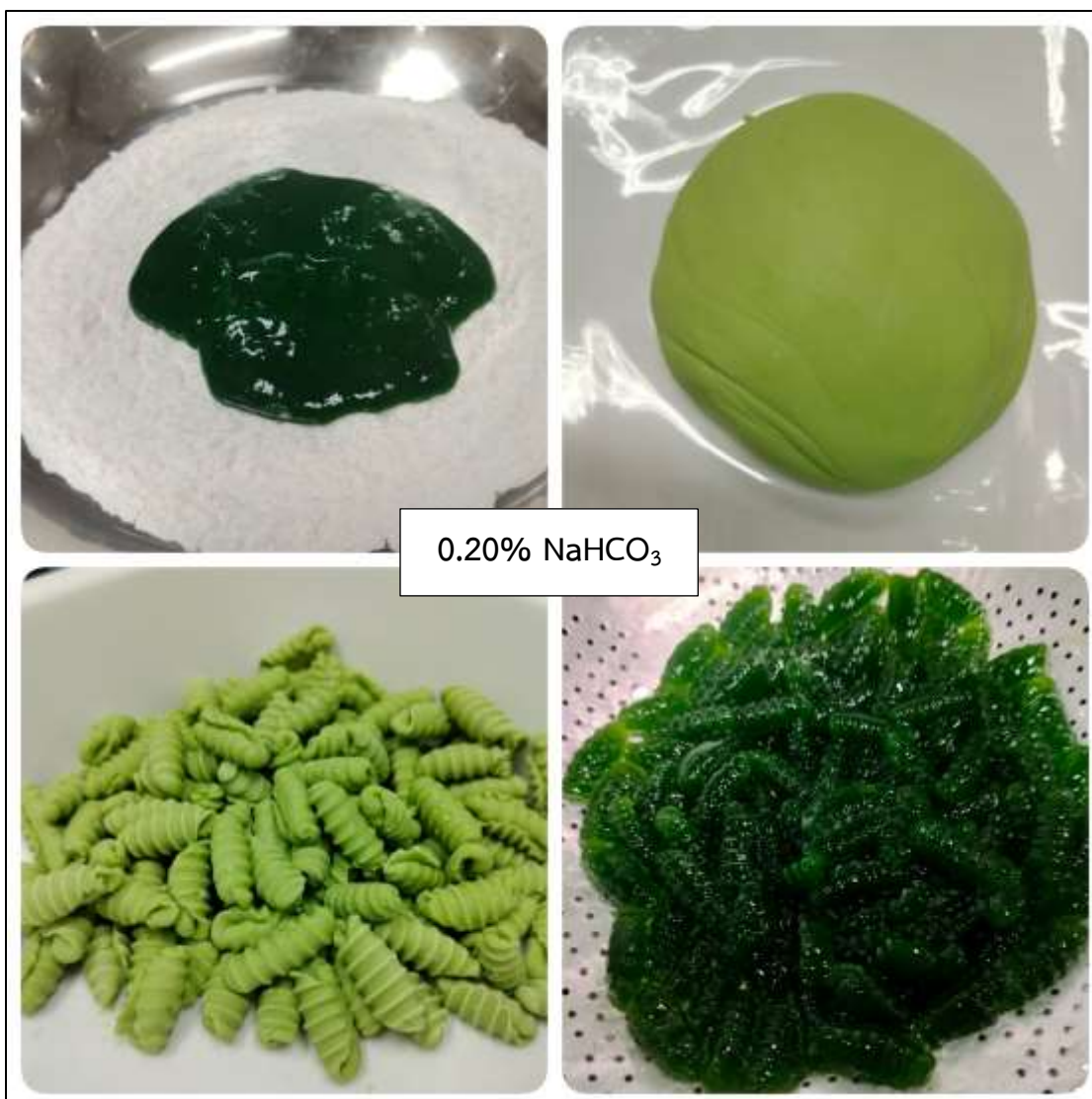
จากแป้งโดที่มีส่วนผสมของแป้งดิบและแป้งสุกบางส่วน (เจล)

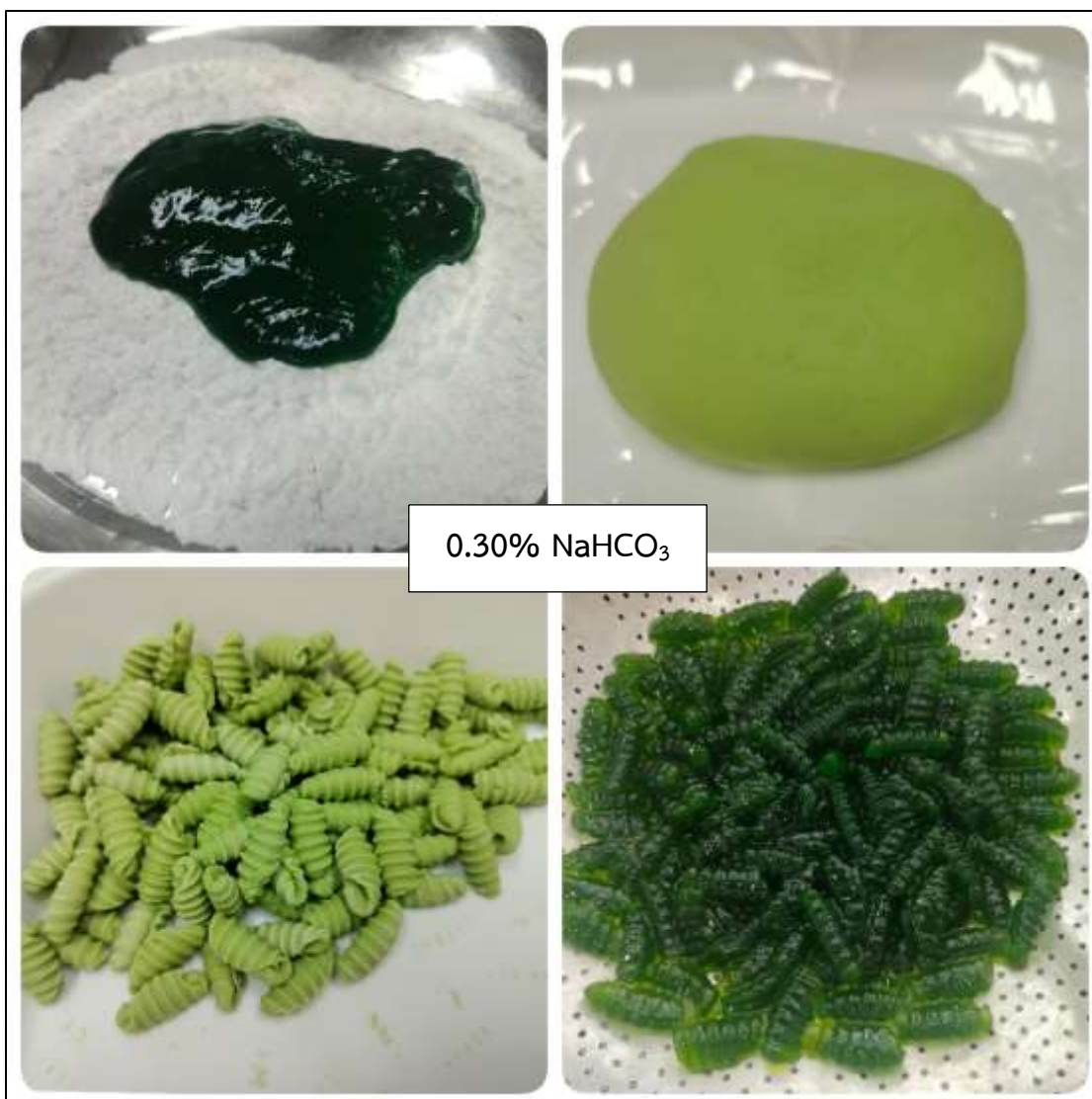
(อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำใบเตยที่ระดับ 15% ในการทำเจล)

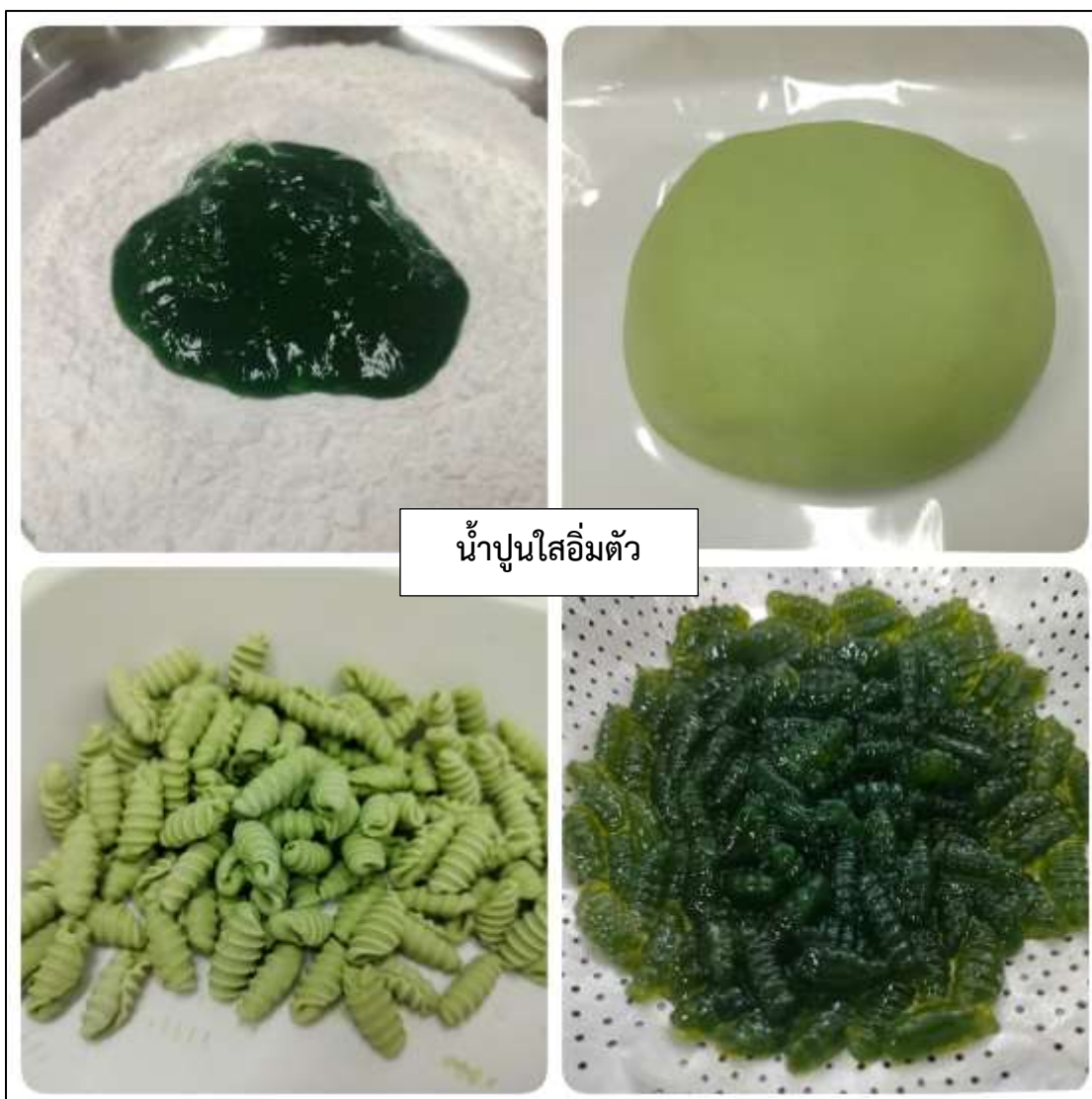
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและน้ำปูนใสเป็นตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย











ภาคผนวก ข

ขนมครองแครงน้ำกะทิสำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ขนมครองแครงน้ำกะทิ สำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

1. น้ำเชื่อม

1.1 ส่วนผสม

1.1.1 น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล) 500 กรัม

1.1.2 น้ำเปล่า 750 กรัม

1.2 วิธีทำน้ำเชื่อม

1.2.1 ใส่ น้ำเปล่าลงในหม้อ จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C บนเตาแม่เหล็กไฟฟ้า

1.2.2 เติมน้ำตาลทราย และใช้ไม้พายคนจนน้ำตาลละลายหมด จากนั้นคนเป็นระยะเป็นเวลา 30 นาที โดยไม่ต้องปิดฝาหม้อ ระวังอย่าให้น้ำเชื่อมกระเด็นออกจากหม้อ

1.2.3 ยกออกจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้า วางทิ้งไว้ให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาวัดความหวานด้วยเครื่อง Refractometer

1.2.4 น้ำเชื่อมที่ได้มีลักษณะข้นเล็กน้อย และมีความหวานเท่ากับ 47 °Bx

2. น้ำกะทิ

2.1 ส่วนผสม

2.1.1 กะทิแท้ 100% (ตราอร่อยดี) 500 มิลลิลิตร

2.1.2 เกลือป่น (ตราปรงทิพย์) 6.5 กรัม

2.2 วิธีทำน้ำกะทิ

2.2.1 ใส่น้ำกะทิลงในหม้อ และเติมเกลือป่น ใช้ไม้พายคนให้เกลือละลายจนหมด

2.2.2 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C บนเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเวลา 3 นาที พร้อมกับคนไปด้วยตลอดเวลา

2.2.3 ยกออกจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้า วางทิ้งไว้ให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง

3. ขนมครองแครงน้ำกะทิ

3.1 ส่วนผสม

3.1.1 ตัวขนมครองแครงต้มสุก 20 ตัว

3.1.2 น้ำเชื่อม 1 ช้อนโต๊ะ

3.1.3 น้ำกะทิ 2 ช้อนโต๊ะ

3.2 วิธีการจัดเสิร์ฟขนมครองแครงน้ำกะทิ

3.2.1 ใส่ตัวขนมครองแครงลงในถ้วยโถงกริมพลาสติกขนาด 7 ออนซ์

3.2.2 เติมน้ำเชื่อมตามด้วยน้ำกะทิ และปิดฝากล้วยพลาสติกให้สนิท

3.2.3 นำตัวอย่างวางบนภาชนะสำหรับเสิร์ฟ จากนั้นจัดวางชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบชิม ได้แก่ ช้อนพลาสติก น้ำดื่ม กระดาษทิชชู และแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพร้อมปากกา ดังรูป



3.2.4 ผู้ทดสอบชิมใช้ช้อนคนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันก่อนทำแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณภาพทางประสาธน์สัมผัส

ชุดที่.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ ขนมครองแครงน้ำกะทิที่ผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย

วันที่ทดสอบ

คำชี้แจง:

แบบประเมินนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ (ใช้น้ำปูนใสอิมัลชันสกัดสีเขียวจากใบเตย) ซึ่งผู้ประเมินจะทำการให้คะแนนตามระดับความชอบต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของขนมครองแครงน้ำกะทิที่ผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย จำนวน 3 สูตร โดยทำการกลั้วปาก หรือบ้วนปากก่อนทดสอบชิมตัวอย่างทุกครั้ง แล้วเขียนคะแนนตามระดับความชอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

กำหนดคะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ดังนี้

- | | | |
|------------------|-------------------------------|---------------------|
| 9 = ชอบมากที่สุด | 6 = ชอบเล็กน้อย | 3 = ไม่ชอบปานกลาง |
| 8 = ชอบมาก | 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 2 = ไม่ชอบมาก |
| 7 = ชอบปานกลาง | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 1 = ไม่ชอบมากที่สุด |

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบของตัวอย่าง		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่น (ดมก่อนชิม)			
กลิ่นรส (ขณะชิม)			
รสชาติ			
ลักษณะเนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความอนุเคราะห์ตอบแบบประเมินครั้งนี้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรณีย์ เต็มเปี่ยม
โทร. 080-5963636

ชุดที่.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ ขนมครองแครงน้ำกะทิที่ผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย

วันที่ทดสอบ

คำชี้แจง:

แบบประเมินนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสารสกัดจากใบเตยในขนมครองแครงน้ำกะทิ (ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต หรือเบคกิ้งโซดาสกัดสีเขียวจากใบเตย) เทียบกับน้ำปูนใสอิมิตัว ซึ่งผู้ประเมินจะทำการให้คะแนนตามระดับความชอบต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของขนมครองแครงน้ำกะทิที่ผสมสีเขียวของสารสกัดจากใบเตย จำนวน 4 สูตร โดยทำการกลั้วปาก หรือบ้วนปากก่อนทดสอบชิมตัวอย่างทุกครั้ง แล้วเขียนคะแนนตามระดับความชอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

กำหนดคะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด	6 = ชอบเล็กน้อย	3 = ไม่ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก	5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	2 = ไม่ชอบมาก
7 = ชอบปานกลาง	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบของตัวอย่าง			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น (ดมก่อนชิม)				
กลิ่นรส (ขณะชิม)				
รสชาติ				
ลักษณะเนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความอนุเคราะห์ตอบแบบประเมินครั้งนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรราช นิตย์ เต็มเปี่ยม

โทร. 080-5963636

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรราชนี้ย์ เต็มเปี่ยม
วัน เดือน ปีเกิด 31 สิงหาคม 2518
ที่อยู่ปัจจุบัน หมู่บ้านพฤษภาวิไลเจด 22 บ้านเลขที่ 22/103 หมู่ 5 ตำบลบางสีทอง
อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2566
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอินทรีย์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2545
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2542

ประวัติการทำงาน

เริ่มทำงานตั้งแต่วันที่ 27 ตุลาคม 2546 ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
ปัจจุบัน - อาจารย์ประจำสาขาวิชาออกแบบแฟชั่นและการจัดการสินค้า
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- หัวหน้างานบริหารงานบุคคล ฝ่ายบริหาร
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อ นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภักษร มาแสวง
 วัน เดือน ปีเกิด 3 ธันวาคม 2522
 ที่อยู่ปัจจุบัน 29 ซอยเทเวศร์ 1 ถนนกรุงเกษม แขวงบางขุนพรหม เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (Food processing biotechnology)	Université de Bourgogne Franche- Comté ประเทศฝรั่งเศส	2562
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร)	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2551
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยมหิดล	2545

ประวัติการทำงาน

เริ่มทำงานตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2562 ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
 ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อ นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศันสนีย์ ทิมทอง
 วัน เดือน ปีเกิด 13 สิงหาคม 2525
 ที่อยู่ปัจจุบัน ที่อยู่ทำงาน คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (นวัตกรรมการจัดการ)	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	2567
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดและ บริการอาหาร)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	2552
คหกรรมศาสตรบัณฑิต (อาหารและโภชนาการ-ธุรกิจ อาหาร)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2547

ประวัติการทำงาน

เริ่มทำงานตั้งแต่วันที่ 16 กรกฎาคม 2555 ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
 ปัจจุบัน

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาอุตสาหกรรมบริการอาหาร
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- หัวหน้างานวารสารคหกรรมศาสตร์และวัฒนธรรมอย่างยั่งยืน ฝ่ายวิชาการและวิจัย
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร