การปรับปรุงกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป

Improvement of the Production Process of Instant Lodchong Singapore

สรรษนีย์ เต็มเปี่ยม

SANSANEE TEMPIAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2566

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป

Improvement of the Production Process of Instant Lodchong Singapore

สรรษนีย์ เต็มเปี่ยม

SANSANEE TEMPIAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป
ชื่อ นามสกุล	สรรษนีย์ เต็มเปี่ยม
ชื่อปริญญา	คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์)
สาขาวิชา	คหกรรมศาสตร์
คณะ	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ หนักแน่น)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภัคษร มาแสวง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภพ โสตรโยม)

วันที่ 24 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2567

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป
ชื่อ นามสกุล สรรษนีย์ เต็มเปี่ยม
ชื่อปริญญา คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์)
สาขาวิชา และคณะ คหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

การผลิตขนมไทยที่มีการเติมสีจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะไม่มีความคงตัว โดยเฉพาะสีเขียวจากใบเตย ซึ่งใบเตยมีรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญคือคลอโรฟิลล์ เมื่อผ่านกระบวนการการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน สีเขียวของคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟีโอไฟติน ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดีในผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ค่า pH ที่มีความเป็นกรด มีผลให้ Mg^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วย H^{+} ทำให้ได้สีน้ำตาลของฟีโอฟอร์ไบด์ จึงทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมสีเขียวจากใบเตย เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและให้ได้เส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูปที่มีสีเขียวของใบเตย จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังบางส่วนมาทำให้เกิดเจลร่วมกับน้ำใบเตยที่สกัดด้วยน้ำปูนใสที่ระดับ 30% 35% และ 40% (w/v) ในการเตรียมแป้งโด พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ระดับ 30% มีสีเขียวมากที่สุด และมีสีเขียวลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) สกัดสีเขียวจากใบเตยที่ระดับความเข้มข้น 0.00% 0.25% 0.50% 0.75% และ 1.00% (w/v) ในการเตรียมแป้งโดที่ 30% พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ $NaHCO_3$ ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยที่ความเข้มข้น 0.00% มีสีเขียวน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 0.25% มีสีเขียวสดมากที่สุด และมีสีเขียวลดลงเมื่อความเข้มข้นของ $NaHCO_3$ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งมีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด และขนมลอดช่องสิงคโปร์ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด สำหรับการศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป โดยใช้อุณหภูมิในการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C พบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 70 °C มีผลทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลงและสีเขียวเข้มมากที่สุด และสีเขียวลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้มีผลทำให้อัตราการคืนรูปดีที่สุดและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีค่าความแน่นเนื้อลดลง จึงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมสีเขียวจากใบเตยหรือสีเขียวจากพืชชนิดอื่นได้

คำสำคัญ: ลอดช่องสิงคโปร์, กึ่งสำเร็จรูป, ใบเตย, สีเขียวจากใบเตย, แป้งมันสำปะหลัง

Thesis Title Improvement of the Production Process of Instant Lodchong Singapore
Author Sansanee Tempiam
Degree Master of Home Economics (Home Economic)
Major Program Home Economics Faculty of Home Economics Technology
Academic Year 2023

ABSTRACT

The natural colorants used in the production of Thai desserts, particularly green coloring from pandan leaves, are mostly unstable. The primary green pigment in pandan leaves is chlorophyll. During heat processing, chlorophyll transforms into brownish-green pheophytin, which negatively impacts the appearance of food products. Additionally, acidic conditions can cause the replacement of Mg^{2+} in chlorophyll with H^{+}, leading to the formation of brown pheophorbide. This research aims to optimize conditions for producing Lodchong Singapore noodles mixed with green extract from pandan leaves, focusing on minimizing color changes. Additionally, optimal drying temperatures were studied to extend the shelf life of the product. The study investigated the effects of varying concentrations of cassava starch gel mixed with pandan juice extracted with lime water (30%, 35%, and 40% w/v) on the production of Lodchong Singapore. The results showed that samples containing 30% cassava starch were the greenest. The green color diminished as the tapioca starch content increased, with statistical significance ($p \leq 0.05$). The study then explored the impact of using different concentrations of sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$) solution to extract green color from pandan leaves. Concentrations tested ranged from 0.00% to 1.00% (w/v). The samples using 0.00% $NaHCO_3$ showed the lowest green color, while those with 0.25% $NaHCO_3$ had the brightest green color. Higher $NaHCO_3$ concentrations resulted in decreased green color, along with higher tensile strength and elasticity ($p \leq 0.05$). The optimal formula, containing 0.25% $NaHCO_3$, was used in the study of drying instant Lodchong Singapore at 50°C, 60°C, and 70°C. A drying temperature of 70°C reduced drying time and yielded the most intense green color. Lower drying temperatures ($p \leq 0.05$) led to a reduction in green color. Drying at 70°C also resulted in the best shape recovery rate and texture, which was appreciated by

taste testers. These findings provide insights for producing food products containing green coloring from pandan leaves or other green plant sources, offering guidelines for future research and applications.

Keywords: Lodchong Singapore, Instant, Pandan Leaves, Green from Pandan Leaves, Tapioca Starch

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษา ตลอดจนการตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง ครบถ้วน และสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ หนักแน่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วไลภรณ์ สุทธา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภัคษร มาแสวง ที่ได้เสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือประสานงาน ตลอดจนให้คำแนะนำในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภัคษร มาแสวง อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการเขียนและตีพิมพ์บทความลงในวารสารระดับชาติ ตลอดจนการช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จนทำให้ผู้ศึกษาสามารถสำเร็จการศึกษาตามเกณฑ์ที่หลักสูตรกำหนด

ขอขอบคุณหัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ที่ให้คำแนะนำในการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ อย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณผู้ทดสอบชิมทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงค์โปร์ด้วยความเต็มใจ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษาอีกด้วย

ความภาคภูมิใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แรงใจและการสนับสนุนจากผู้ที่อยู่เบื้องหลังแห่งความสำเร็จ อันได้แก่ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่เป็นพลังใจอันยิ่งใหญ่จนสำเร็จตามที่มุ่งหมายไว้ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่เกี่ยวข้องทุกคนที่ให้ความห่วงใยเสมอมา ณ ที่นี้ด้วย

สรรษนีย์ เต็มเปี่ยม

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	ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4	นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1	ลอดช่องสิงคโปร์	4
2.2	ใบเตย	6
2.3	คลอโรฟิลล์	8
2.4	แป้งมันสำปะหลัง	13
2.5	การทำแห้งด้วยลมร้อน	18
2.6	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1	วัฤดิบ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดลอง	24
3.2	วิธีการทดลอง	26
3.3	สถานที่ทำการวิจัย	31
3.4	ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	31
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	32
4.1	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมสีเขียวจากใบเตย	32
4.2	ผลการศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป	43

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	48
	5.1 สรุปผล	48
	5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง		49
ภาคผนวก		54
	ภาคผนวก ก ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งและต้มสุก	55
	ภาคผนวก ข ขนมลอดช่องสิงคโปร์สำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	58
	ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	61
	ภาคผนวก ง มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชน เส้นลอดชองแหง (มผช.138/2546)	64
ประวัติการศึกษาและการทำงาน		70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางโภชนาการของใบเตยสด	7
2.2	สมบัติทั่วไปของสตาร์ชมันสำปะหลัง	14
3.1	ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์	28
4.1	ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม	33
4.2	ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจล	35
4.3	คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส	36
4.4	ค่า pH ของสารสกัดจากใบเตย และค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ และน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย	38
4.5	ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ และน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย	40
4.6	คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส	41
4.7	ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง	44
4.8	อัตราการคืนรูปของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	45
4.9	ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง	46
4.10	คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของใบเตย	6
2.2	กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยพืชสีเขียว	8
2.3	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี	9
2.4	โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี	10
2.5	การสลายตัวของคลอโรฟิลล์	11
2.6	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน	12
2.7	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในผักสีเขียวเมื่อให้ความร้อนในภาวะที่มีมีซิงค์ไอออน	13
2.8	โครงสร้างของอะไมโลส	15
2.9	โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน	16
2.10	ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 95 °C	17
2.11	แผนผังการแปลงโครงสร้างกายภาพของสตาร์ช (Tg คือ อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน)	18
2.12	การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	19
2.13	การทำงานของเครื่องอบแบบถาด	20
3.1	สารสกัดใบเตยที่ใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย	26
4.1	ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดใบเตยต่างกัน	32
4.2	เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ ที่แตกต่างกันและน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย	37
4.3	ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน	43

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการตรียมสารสกัดใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย	26
3.2	ขั้นตอนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ในการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดใบเตย	28
3.3	ขั้นตอนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรควบคุม	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ลอดช่องสิงคโปร์เป็นขนมไทยที่เกิดจากภูมิปัญญาของคนไทยที่ได้รับการถ่ายทอดสูตรมาอย่างยาวนาน มีวัตถุดิบหลักคือ แป้งมันสำปะหลังและน้ำใบเตย ผลิตโดยการนำแป้งมันสำปะหลังมานวดกับน้ำร้อนและน้ำใบเตย แล้วนำไปขึ้นรูปตัดเป็นเส้น เมื่อต้องการบริโภคจึงนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด รับประทานกับกะทิสด น้ำเชื่อมและน้ำแข็งป่น ด้วยใบเตยมีคุณสมบัติโดดเด่นในเรื่องการให้กลิ่นหอม คนโบราณจึงนิยมนำใบเตยมาใช้เป็นส่วนประกอบในการทำขนม รวมทั้งนำสีเขียวที่ได้จากส่วนของใบไปแต่งสีขนมให้ดูน่ารับประทาน นอกจากนี้ใบเตยยังมีสารหอมระเหยที่ให้กลิ่นรสหลักที่สำคัญซึ่งให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่วอีกด้วย (นิศานันท์ ตามกาล และคณะ, 2558) และจากการผลิตลอดช่องสิงคโปร์ในน้ำกะทิแบบพร้อมรับประทานนั้น ทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น จึงนิยมนำไปทำแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยทั่วไปการทำขนมไทยที่มีการเติมสีจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะไม่มีความคงตัว โดยเฉพาะสีเขียวจากใบแตย ซึ่งใบเตยมีรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญคือคลอโรฟิลล์ เมื่อผ่านกระบวนการการแปรรูปอาหารสีเขียวของใบเตยเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่คงตัว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เมื่อได้รับความร้อน (Ngo & Zhao 2007; Zheng et al. 2014; Dewi et al. 2022) หรือการเปลี่ยนแปลง pH ที่มีความเป็นกรด (Indrasti et al., 2018) สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยน เป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟีโอไฟติน ซึ่งเป็นผลมาจากแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) ในวงแหวนพอร์ไพริน (Senklang & Anprung 2010; Gunawan & Barringer 2000; Koca et al. 2006) เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟีโอฟอร์ไบด์ และยังอาจเปลี่ยนเป็นสีเขียวสดของคลอโรฟิลไลด์โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ที่เกิดการสูญเสียหมู่ไฟติลออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) โดยพบว่าสามารถรักษาคลอโรฟิลล์ในระหว่างการแปรรูปได้ เช่น การใช้อุณหภูมิที่สูงเวลาสั้น (HTST) (Minh et al., 2019) การแทนที่ Mg^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ด้วย Zn^{2+} (Ngo & Zhao, 2007) และการควบคุม pH ด้วยสารแอลคาไลซิ่ง (alkalizing agent) เช่น ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้ pH ในระหว่างการแปรรูปสูงขึ้น และรักษาคลอโรฟิลล์ไม่ให้สลายไปหลังการแปรรูป (Koca et al. 2006; Gandul 2014; Kaur et al. 2018)

จากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ระหว่างการแปรรูปอาหาร และเนื่องจากคลอโรฟิลล์มีความคงตัวในด่าง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีสีเขียวจากใบเตย โดยลดการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ด้วยการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือ

น้ำปูนใส และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการทำขนม และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ เพื่อให้ได้เส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูปที่มีสีเขียวของใบเตย ซึ่งเป็นสีจากธรรมชาติที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้สีเขียวเป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน และมุ่งหวังให้ผลิตภัณฑ์เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีสีเขียวของสารสกัดใบเตยเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมสีเขียวจากใบเตย

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ใบเตยที่ใช้ในการสกัดสีเป็นใบเตยหอมสด คัดเลือกเฉพาะส่วนของใบที่โตเต็มที่ตั้งแต่ใบที่ 13 เป็นต้นไปแต่ไม่เกินใบที่ 24 (Suryani et al., 2020) อัตราส่วนของใบเตยต่อตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เท่ากับ 1 : 4 (w/v)

1.3.2 แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแป้งมันชนิดพิเศษ ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก ผลิตโดยบริษัท เกรียงไกร (เกียงไต่) ค้าแป้ง จำกัด

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

1.3.4 ตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ด้วยการวัดค่าสี และวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุก และในรูปแบบขนมลอดช่องสิงคโปร์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 เส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง โดยผสมแป้งดิบกับแป้งเปียกขณะร้อน แล้วนวดให้เข้ากัน รีดเป็นแผ่นบาง ตัดเป็นเส้น และนำไปทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อน

1.4.2 สารสกัดใบเตย หมายถึง สารละลายที่ได้จากการนำใบของต้นเตยหอมที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร *Pandanus amaryllifolins* Roxb. ที่สดและอยู่ในสภาพดีมาล้างให้สะอาด ทำให้แห้งหั่นเป็นชิ้นตามขนาดที่ต้องการ นำไปบดให้ละเอียดกับน้ำด้วยเครื่องบด และกรองแยกกากใบเตยเก็บเฉพาะส่วนของสารละลาย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นแนวทางในการต่อยอดการผลิตขนมไทยโดยใช้สีเขียวธรรมชาติจากใบเตยที่มีความคงตัวเพื่อบริโภคในครัวเรือนหรือพัฒนาสู่อุตสาหกรรมต่อไป

1.5.2 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ขนมลอดช่องสิงคโปร์ในท้องตลาดที่มีสีสันสวยงามจากธรรมชาติ

1.5.3 เป็นการส่งเสริมการนำพืชสมุนไพรใกล้ตัวมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และเพิ่มมูลค่าให้กับพืชสมุนไพรในท้องถิ่นของไทย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลอดช่องสิงคโปร์

ลอดช่องสิงคโปร์เป็นขนมหวานที่เกิดจากภูมิปัญญาของคนไทยมาอย่างยาวนาน โดยมีต้นกำเนิดมาจากร้านสิงคโปร์โภชนา ซึ่งเป็นต้นตำรับในการทำลอดช่องสิงคโปร์จำหน่ายบริเวณหน้าโรงภาพยนต์สิงคโปร์ (เดิม) บนถนนเยาวราช ปัจจุบันเป็นโรงภาพยนตร์เฉลิมบุรี ตั้งอยู่บริเวณแยกหมอมีถนนเจริญกรุง กรุงเทพมหานคร จนได้กลายเป็นชื่อขนมลอดช่องสิงคโปร์มาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นขนมไทยที่คนทุกเพศทุกวัยรู้จักและชอบรับประทาน ด้วยรสชาติที่อร่อย หวาน มัน และให้ความชื่นใจเมื่อรับประทานในอากาศร้อนอย่างสภาพอากาศในประเทศไทย

2.1.1 การผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

เส้นลอดช่องสิงคโปร์ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง โดยการนำน้ำเดือดเทใส่แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจะทำให้แป้งสุกบางส่วนและเกาะตัวกันเป็นก้อน นวดจนแป้งไม่ติดมือ จากนั้นนำมาคลึงให้เป็นแผ่นบาง ตัดให้เป็นเส้นยาวขนาดตามชอบ เมื่อต้องการรับประทานจึงนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด รับประทานกับกะทิสด น้ำเชื่อม และน้ำแข็งป่น ลอดช่องสิงคโปร์เป็นขนมไทยที่มีกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก และส่วนผสมในการผลิตสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป โดยมีวิธีกระบวนการผลิตดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.1.1.1 ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย อัญชลี สิริศักดิ์ (2552) ได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตยไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากการนำน้ำใบเตยเข้มข้นไปตั้งไฟให้เดือด เทใส่แป้งมันสำปะหลังหนึ่งส่วน แล้วคนให้แป้งข้นเหนียว ค่อย ๆ ใส่แป้งมันสำปะหลังส่วนที่เหลือ แล้วนวดจนแป้งไม่ติดมือ จะได้แป้งสีเขียว เด็ดแป้งปั้นเป็นก้อนกลม แล้วคลึงแป้งเป็นแผ่นบาง ใช้มีดตัดให้เป็นเส้นยาว ต้มน้ำให้เดือด นำแป้งที่ตัดไว้ลงไปต้ม เมื่อสุกแป้งจะใสและลอยตัวขึ้นมา ตักเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใส่ในน้ำเย็นทันที จากนั้นตักเส้นลอดช่องสิงคโปร์ขึ้นให้สะเด็ดน้ำ และใส่กะทิทันทีเพื่อไม่ให้เส้นลอดช่องช่องสิงคโปร์ติดกัน รับประทานกับขนุนฉีก น้ำเชื่อม และน้ำแข็ง

2.1.1.2 ลอดช่องสิงคโปร์ดอกอัญชัน อัญชลี สิริศักดิ์ (2552) ได้กล่าวถึงการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ดอกอัญชันไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากการนำน้ำดอกอัญชันเข้มข้นไปต้มให้เดือด เทใส่แป้งมันสำปะหลังหนึ่งส่วน แล้วคนให้แป้งข้นเหนียว ค่อย ๆ ใส่แป้งมันสำปะหลังส่วนที่เหลือ แล้วนวดจนแป้งไม่ติดมือ จะได้แป้งสีม่วง เด็ดแป้งปั้นเป็นก้อนกลม แล้วคลึงแป้งเป็นแผ่นบาง ใช้มีดตัดให้เป็นเส้นยาว ต้มน้ำให้เดือด นำแป้งที่ตัดไว้ลงไปต้ม เมื่อสุกแป้งจะใสและลอยตัวขึ้นมา ตักเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใส่ในน้ำเย็นทันที จากนั้นตักเส้นลอดช่องสิงคโปร์ขึ้นให้สะเด็ดน้ำ และใส่กะทิทันทีเพื่อไม่ให้ เส้นลอดช่องสิงคโปร์ติดกัน รับประทานกับเม็ดบัว น้ำเชื่อม และน้ำแข็ง

2.1.1.3 ลอดช่องสิงคโปร์ใบย่านาง กรรณิการ์ บุญจันทึก และ ศิริรัตน์ บุตรดีวงษ์ (2553) ได้กล่าวถึงการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบย่านางไว้ดังนี้ เริ่มต้นจากการนำน้ำใบย่านางไปต้มให้เดือด เทใส่แป้งมันสำปะหลังแล้วนวดให้เข้ากันจนแป้งเหนียวนุ่ม แบ่งแป้งเป็นก้อนและใช้ไม้คลึงแป้งให้เป็นแผ่น ตัดเป็นเส้นยาว 3 นิ้ว กว้าง ¼ นิ้ว จากนั้นนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์ไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 นาที แป้งจะลอยตัวขึ้นมา ตักใส่น้ำเย็นเป็นเวลา 1 นาที และตักขึ้นให้สะเด็ดน้ำ รับประทานกับกะทิ น้ำเชื่อม และน้ำแข็ง

2.1.1.4 ลอดช่องสิงคโปร์ผสมชาเขียว อัมพร แซ่เอียว และคณะ (2556) ได้กล่าวถึงการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมชาเขียวไว้ดังนี้ ตัวเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังกับสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์หลายชนิด ที่มีสัดส่วนการผสมเหมาะสม ก่อให้เกิดคุณสมบัติพิเศษ คือ ให้เจลที่อ่อนนุ่ม มีความเหนียวและหยืดหยุ่น ส่งผลให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ดูดน้ำน้อยกว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ทั่วไป เมื่อนำไปบรรจุในน้ำกะทิเส้นไม่พองตัวและบวมน้ำ ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวดี นอกจากนี้ชาเขียวที่เป็นสารเพิ่มเติมยังให้สีสันสวยงาม มีกลิ่นและรสที่ดี และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

2.1.2 เส้นลอดช่องสิงคโปร์แห้ง

ปัจจุบันเส้นลอดช่องสิงคโปร์แห้งเป็นที่นิยมของตลาด เนื่องจากการเก็บรักษาง่ายและมีวิธีรับประทานไม่ยุ่งยาก จึงจัดเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสำหรับแม่บ้านยุคปัจจุบัน มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2546) ได้ให้ความหมายของคำว่า เส้นลอดช่องสิงคโปร์แห้งไว้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง อาจผสมกับแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งท้าวยายม่อม โดยผสมแป้งกับน้ำร้อนแล้วนวดใหเข้ากัน รีดเป็นแผ่นบาง ตัดเป็นเส้น นำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดด หรืออบแห้ง หรือวิธีอื่น โดยมีคุณลักษณะที่ต้องการดังนี้

2.1.2.1 ลักษณะทั่วไป ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน แห้งสนิท เมื่อนำมาต้มในน้ำเดือดจนเป็นเส้นใสแล้วแช่ในน้ำทันที เส้นต้องไม่เกาะติดกัน และไม่เละเป็นแป้งเปียก

2.1.2.2 สี ควรใช้สีธรรมชาติ ถ้ามีการแต่งสีให้ใช้สีผสมอาหาร โดยสีต้องใกล้เคียงกับเมื่อใช้สีธรรมชาติ

2.1.2.3 กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

2.1.2.4 สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ชิ้นส่วน หรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ เช่น แมลง นก หนู

2.1.2.5 ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 12 (w/w)

2.2 ใบเตย

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

ภาพที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของใบเตย

2.2.1 ประโยชน์ของใบเตย

ใบเตยเป็นพืชสมุนไพรที่ได้รับความนิยมนำใบมาสกัดเอาสีเขียวและกลิ่นรสสำหรับเสริมแต่งกลิ่นหอมและให้สีเขียวในอาหาร เครื่องดื่ม หรือขนมไทย เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มสีสันให้อาหารน่ารับประทาน ด้วยใบเตยมีทั้งรงควัตถุสีเขียวและสารให้กลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์จึงใช้ปรุงแต่งกลิ่นและสีในการทำขนมหรืออาหารบางชนิด เช่น ขนมลอดช่อง ขนมชั้น ขนมเปียกปูน รวมไปถึงเค้กและสลัด เป็นต้น อีกทั้งใบเตยยังมีสรรพคุณทางยาที่ช่วยทำให้ร่างกายสดชื่น ช่วยฟื้นฟูร่างกายจากอาการบาดเจ็บหรือหลังจากการหายป่วย แก้กระหายน้ำ แก้ร้อนใน ช่วยขับปัสสาวะ และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้ ใบเตยยังมีประโยชน์ในการทำเครื่องหอมอีกด้วย เนื่องจากเป็นพืชที่มีกลิ่นหอมและมีน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดที่ช่วยให้ผ่อนคลาย ลดอาการปวดหัว แก้ปวดตามข้อและกระดูก ช่วยลดอาการเจ็บคอ ลดอาการอักเสบในลำคอ เป็นต้น (พืชเกษตร, 2559)

2.2.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของใบเตย

ใบเตยมีสารอาหารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ด้วยคุณค่าทางโภชนาการของใบเตยจึงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบกับอาหารทั้งคาวหวานได้หลากหลาย มีงานวิจัยรายงานว่า องค์ประกอบทางเคมีของใบเตยหอมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 19.80% โปรตีน 31.81% ไขมัน 1.56% เถ้า 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 โดยองค์ประกอบหลักของกลิ่นใบเตย คือ 2-acetyl-1-pyrroline เรียกย่อ ๆ ว่า ACPY หรือ 2AP มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ ละลายในน้ำได้ดีกว่าเอทานอล นิศานันท์ ตามกาล และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและสารหอมระเหยของใบเตยหอมสกัดด้วยน้ำ ซึ่งใช้วิธีคั้นสดโดยการบดแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 30 นาที พบสารหอมระเหย ACPY ปริมาณมากที่สุด ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหลักที่สำคัญที่ให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว และยังพบสารหอมระเหยทั้งหมด 18 ชนิด ได้แก่ 1-hexanol, 2-penten-1-ol และ 3-methyl-2(5H)-furanone และยังมีงานวิจัยรายงานว่าสารหลักที่ให้กลิ่นรสในใบเตยหอม ได้แก่ ACPY และ 3-methyl-2(5H)-furanone (ศิวัฒ ไทยอุดม

และสิรินาฏ เนติสิริ, 2555) ซึ่งสาร ACPY เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมคล้ายกับกลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิ หรือกลิ่นหอมของข้าวใหม่ ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกัน และจะให้กลิ่นเมื่อผ่านความร้อน สำหรับสาร 3-methyl-2(5H)-furanone เป็นสารหลักที่ให้กลิ่นหอมขณะที่เป็นใบเตยสด (พืชเกษตร, 2559)

2.3 คลอโรฟิลล์

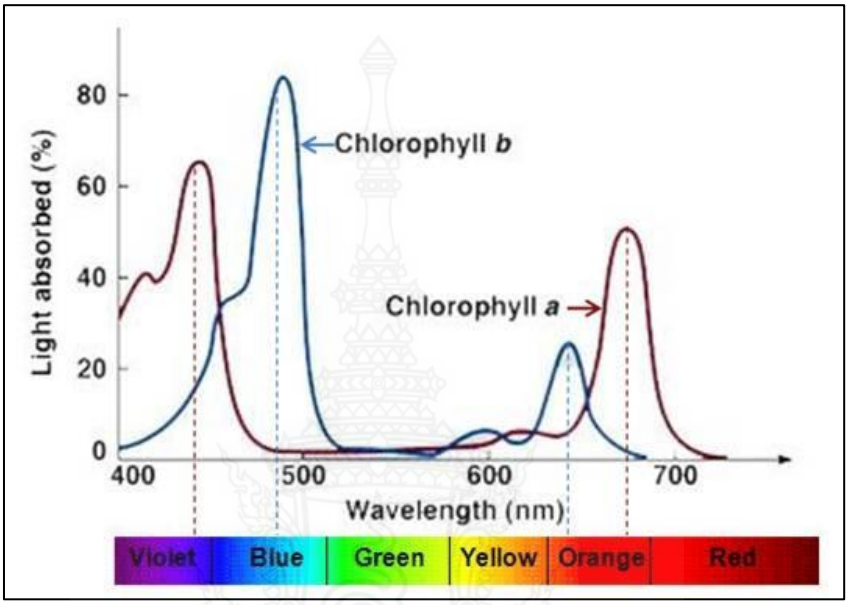
พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 (2556) ได้ให้ความหมายของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ไว้ว่า สารสีเขียว มีปรากฏในพืช ซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาผลิตคาร์โบไฮเดรตได้ โดยคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ 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 รัตนาปนนท์ (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) และโครงสร้างของกรานาจะประกอบด้วยลาเมลลา (lamella) โดยมีโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ฝังตัวอยู่ที่ลาเมลลา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีฟ้าและสีแดง แต่จะดูดกลืนแสงสีเหลืองและสีเขียวได้น้อย ดังนั้น เมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีม่วง-น้ำเงินและสีแดงไว้ได้ดี ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ถูกดูดกลืนจึงสะท้อนออกมา

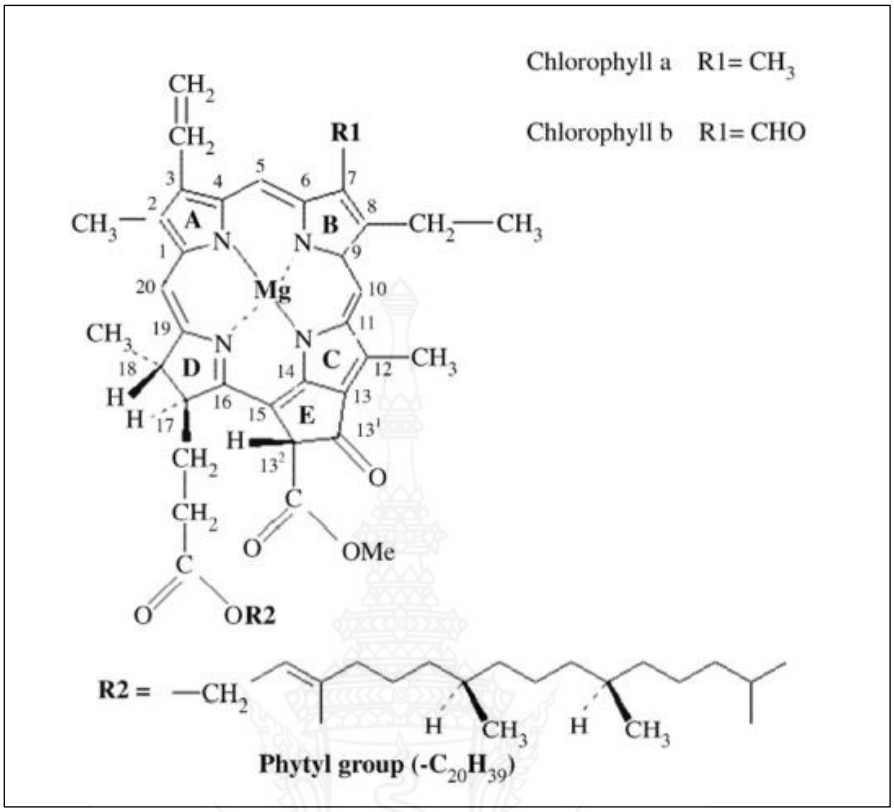
ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ที่พบได้ในพืชที่มีสีเขียว จะมีสมบัติการดูดกลืนแสงต่างกัน ทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีแตกต่างกัน โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ จะมีสีเขียวแกมน้ำเงิน (สีเขียวเข้ม) ส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวแกมเหลือง (สีเขียวอ่อน) (Ngamwonglumlert et al., 2017)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



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

2.3.2 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ทำให้พืชมีสีเขียว ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล อะซีโตน และเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น โดยโครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนหัว เรียกว่า พอร์ไพริน (porrphyrin) และส่วนหางที่มีไฮโดรคาร์บอนสายยาว เรียกว่า ไฟตอล (phytol) โครงสร้างของพอร์ไพรินประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (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) มีโซ่ต่อด้านข้างเป็นหมู่เมทิล ($-CH_3$) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) ดังภาพที่ 2.4

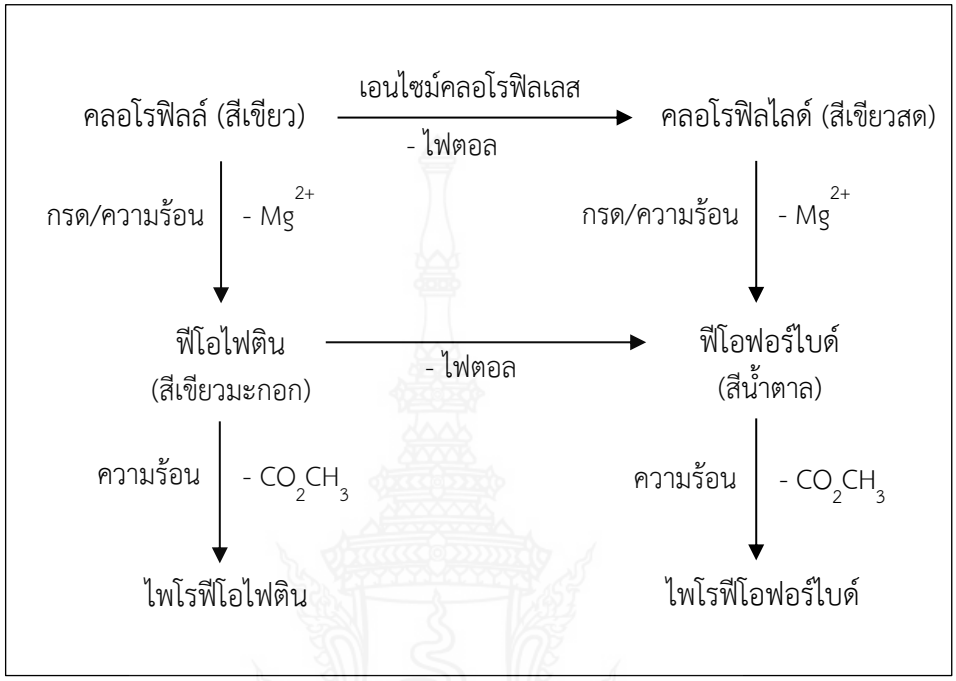


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี
ที่มา: Fernandes et al. (2007)

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 รัตนาปนนท์, 2549) ซึ่งเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ดังภาพที่ 2.5 นอกจากนี้ ยังมีการแตกออกของหมู่ไฟตอล ซึ่งจะเกิดคลอโรฟิลไลด์ (chlorophylides) เนื่องจากเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) คลอโรฟิลไลด์จะให้สีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ แต่จะสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ ปฏิกิริยาฟีโอไฟติไนเซชันเป็น

สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียความคงตัวของสีเขียวในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน



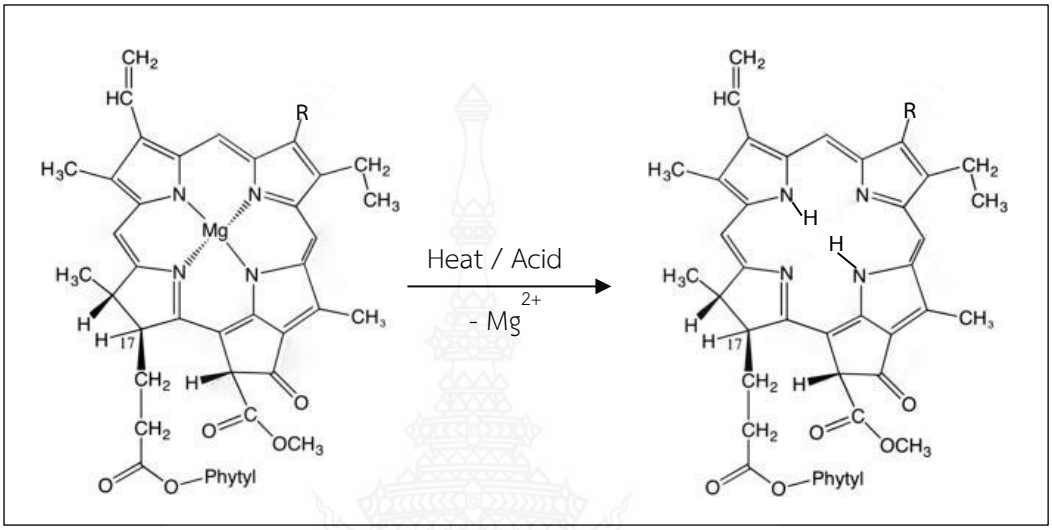
ภาพที่ 2.5 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์
ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิยา (2549)

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 รัตนาปนนท์, 2549)

2.3.4.2 การเติมด่าง ในสภาวะที่เป็นกรดคลอโรฟิลล์จะละลายน้ำได้เล็กน้อย โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟตินที่มีสีเขียวมะกอก ดังภาพที่ 2.6 การเติมสารที่เป็นด่างจะช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลาง ทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ไม่หลุดออกจากวงแหวนพอร์ไฟริน ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดฟีโอไฟตินของคลอโรฟิลล์ได้ เกลือของด่างที่นิยมใช้เติม เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ทำให้

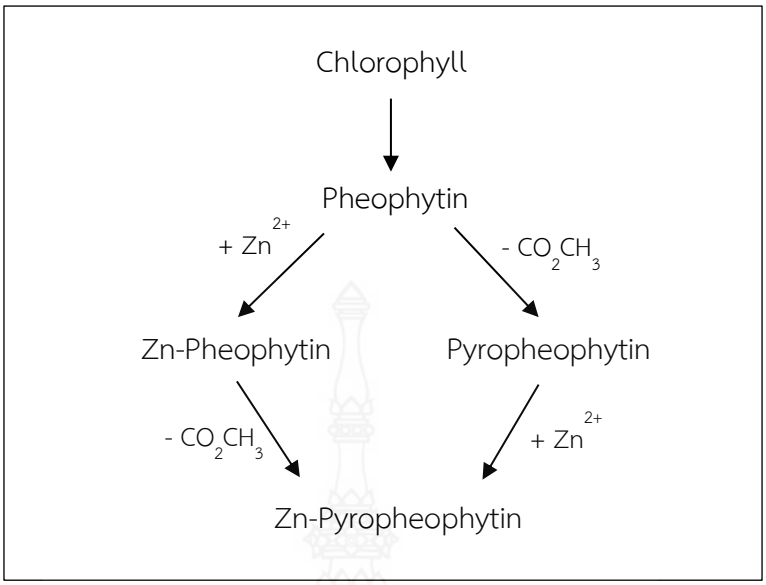
คลอโรฟิลล์มีความคงตัวโดยจะยังคงสีเขียวอยู่ เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีความคงตัวในด่าง ดังนั้น หากมีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาให้เหมาะสม จึงเป็นวิธีที่ดีในการรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Aramrueang et al. (2019)

2.3.4.3 การเติมเอนไซม์ เอนไซม์ที่ใช้สำหรับรักษาสภาพของคลอโรฟิลล์ คือ คลอโรฟิลเลส เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลล์ไลด์ที่มีสีเขียว สามารถละลายได้ในน้ำและมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์ โดยจะเกิดการไฮโดรไลซีสแยกเอาหมู่ไฟตอลออก เอนไซม์คลอโรฟิลเลสจะทำงานได้ดีในภาวะที่มีน้ำเป็นตัวกลาง อุณหภูมิระหว่าง 65 – 75 °C และแอคติวิตี (activity) จะหายไปอย่างสมบูรณ์เมื่อได้รับอุณหภูมิ 70 °C นาน 10 นาที (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

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



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

2.4 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ลักษณะของแป้งเป็นผงสีขาว เนื้อแป้งมีความละเอียด ลื่นเป็นมัน เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำ ไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งจะเหนียวติดภาชนะ หนืดข้นขึ้นเรื่อย ๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเป็นใยติดกันหมด เนื้อแป้งใสเป็นเงา พอเย็นแล้วจะติดกันเป็นก้อนเหนียวติดภาชนะ เหมาะกับการนำไปทำอาหารที่มีความเหนียวแต่ใสและดูขึ้นเงา ได้แก่ ลอดช่องสิงคโปร์ เต้าส่วน ครองแครงแก้ว ทับทิมกรอบ เป็นต้น และยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกาวอีกด้วย พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ (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 รัตนาปนนท์, 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
อุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน (°C)	52 – 64
ความหนืดสัมพัทธ์	สูง
ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเหนียว	ยาว (long flow)
ความขุ่น-ใสของสารละลาย	ใส
ความสามารถในการเกิดเจลและรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)	ปานกลาง
ลิพิด (% สตาร์ชแห้ง)	0.1
โปรตีน (% สตาร์ชแห้ง)	0.1
ฟอสฟอรัส	0

ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิยา รัตนาปนนท์ (2549) และ วรรณา ตุลยธัญ (2549)

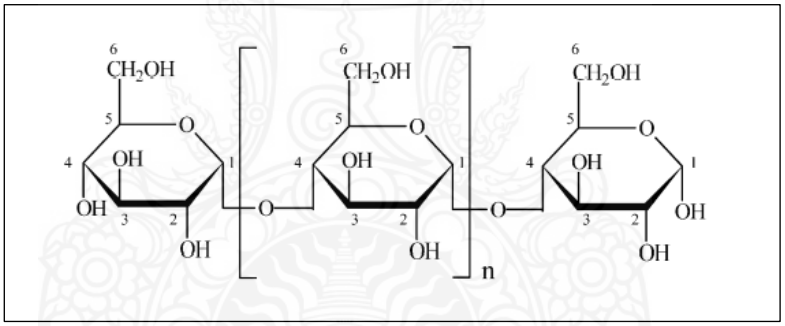
2.4.2 เม็ดสตาร์ช

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

นำไปใช้ประโยชน์ต่างกันด้วย เช่น การเกิดเจลาติไนเซชัน (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→4) ดังภาพที่ 2.8 จึงจัดว่าโมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่มาก มีน้ำหนักโมเลกุล 10^6 ดาลตัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) เนื่องจากอะไมโลสมีสายโมเลกุลที่ยาว เมื่ออยู่ในสารละลาย อะไมโลสจะอยู่ในรูปแบบเกลียว (helix) ที่สามารถจับกับไอโอดีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไอโอดีน (amylose-iodine complex) ที่มีสีน้ำเงิน (ค่าความยาวคลื่นประมาณ 640 นาโนเมตร) นอกจากนี้ อะไมโลสไม่ละลายน้ำ เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีแนวโน้มที่โมเลกุลจะรวมกลุ่มระหว่างสายโซ่เกิดโมเลกุลเกลียวคู่ ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้น ส่งผลให้อะไมโลสเกิดการรีโทรเกรด (retrograde) ได้เจลหรือตะกอนที่ไม่ละลายน้ำเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออะไมโลสมีระดับความเข้มข้นต่ำ เช่น 1% (วรรณา ตุลยธัญ, 2549)

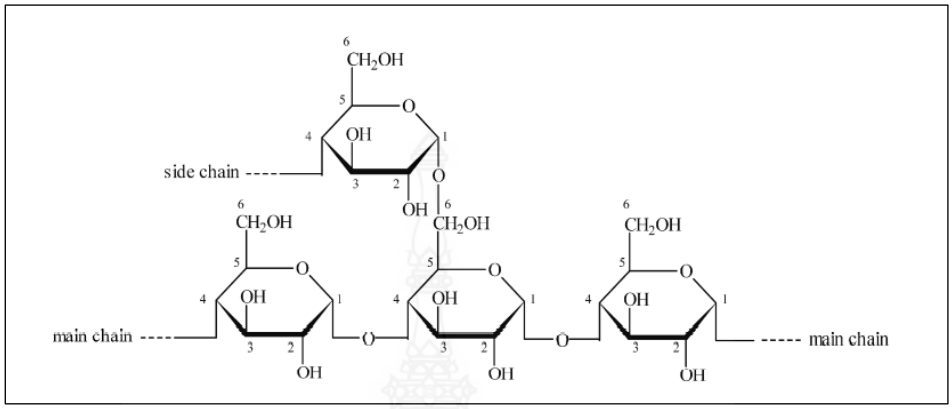


ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา: Herrero-Martínez et al. (2004)

2.4.4 อะไมโลเพกทิน

อะไมโลเพกทินเป็นโมเลกุลของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสหลายเท่าและมีกิ่งมาก มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายกิ่งแยกออกมา ซึ่งแต่ละกิ่งจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20 – 35 หน่วย ดังนั้น ในโมเลกุลของอะไมโลเพกทินจึงมีน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α-(1→4) และ α-(1→6) ดังภาพที่ 2.9 โดยมีปริมาณสายกิ่งประมาณ 4 -5% ของพันธะทั้งหมด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) อะไมโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุล 10^7 - 10^8 ดาลตัน และทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน (I_2/KI) ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีม่วงแดง (ค่าความยาวคลื่นประมาณ 540 นาโนเมตร) เมื่ออะไมเลเพกทินอยู่ในสารละลายในภาวะที่

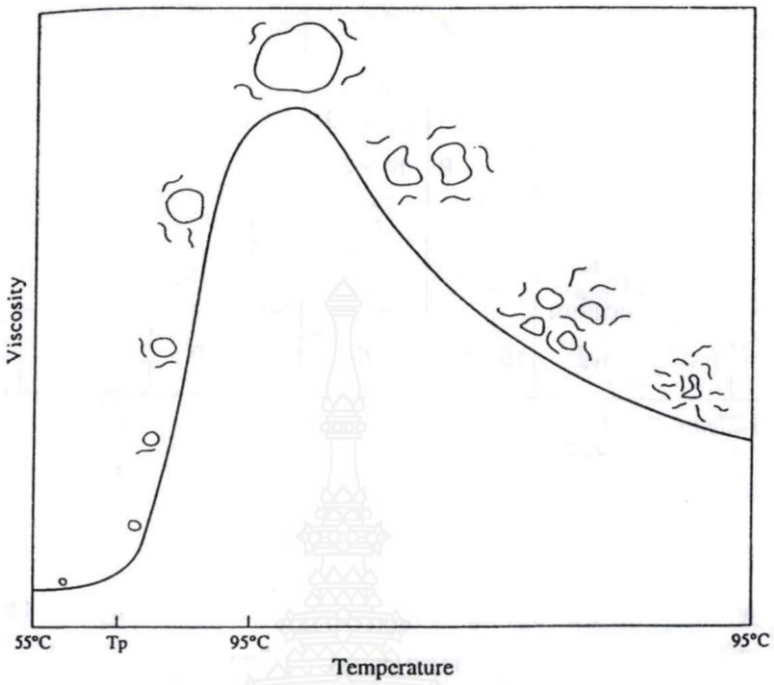
เป็นกลางจะไม่เกิดการรีโทรเกรด โมเลกุลจะเสถียรหรือคงตัว เพราะการมีกิ่งมากทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันได้ง่ายเหมือนอะไมโลส (วรรณา ตุลยธัญ, 2549)



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน
ที่มา: Herrero-Martínez et al. (2004)

2.4.5 เจลาติไนเซชันของสตาร์ช

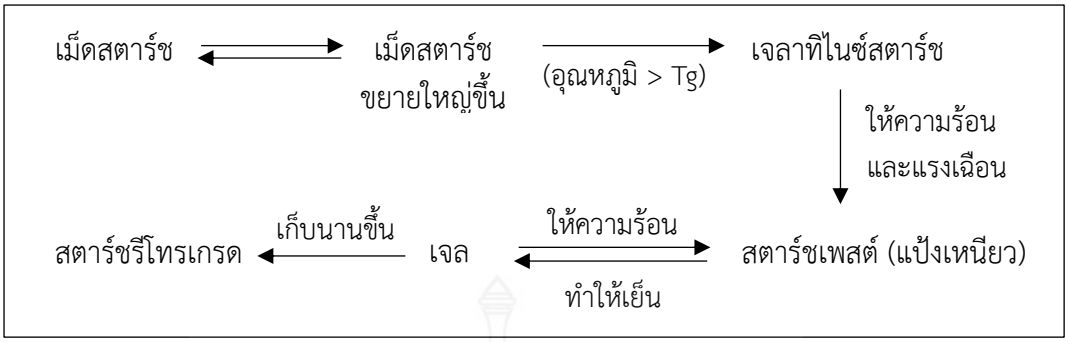
สตาร์ชมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบหรืออยู่ในรูปของผลึก เม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์จะไม่ละลายน้ำเย็นและสามารถดูดน้ำเย็นได้เพียงเล็กน้อย ความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น เมื่อละลายอยู่ในน้ำอุ่นเม็ดสตาร์ชจะค่อย ๆ ดูดน้ำและพองตัวออก จะมีผลให้เกิดการหลอมละลายบริเวณผลึกภายในเม็ดสตาร์ช น้ำก็จะเข้าได้มากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวมากขึ้นจนมีขนาดใหญ่และจะแตกออก ดังภาพที่ 2.10 ได้เป็นสารละลายข้นหนืด (starch paste) เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาติไนเซชัน ซึ่งสารละลาย ข้นหนืดที่ได้จะเป็นส่วนผสมของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยกระบวนการนี้ทำให้คืนกลับไม่ได้ เมื่อเม็ดสตาร์ชขยายใหญ่เต็มที่ความเป็นระเบียบของโครงสร้างภายในถูกทำลายหมดไป ดังนั้น เม็ดสตาร์ชจะสูญเสียโครงสร้างที่เป็นผลึก และจะมีโลเลกุลของอะไมโลสหลุดออกมาอยู่นอกเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน อาจเรียกว่า pasting temperature คืออุณหภูมิที่น้ำแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ เป็นอุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และเม็ดสตาร์ชสุก สตาร์ชต่างชนิดกันจะมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันที่แตกต่างกัน สำหรับอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 52 -64 °C ดังแสดงในตารางที่ 2.2



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

2.4.6 รีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

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



ภาพที่ 2.11 แผนผังการแปลงโครงสร้างกายภาพของสตาร์ช (Tg คือ อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน)
ที่มา: วรรณา ตุลยธัญ (2549)

2.5 การทำแห้งด้วยลมร้อน

วิไล รังสาดทอง (2557) ได้ให้ความหมายของการทำแห้ง (dehydration) หรือการกำจัดน้ำ (drying) ไว้ว่า การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) ซึ่งการกำจัดน้ำมีวัตถุประสงค์ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (water activity, a_w) มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่นิยมใช้มานาน เกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อนและการกำจัดความชื้นออกจากอาหารไปพร้อม ๆ กัน โดยลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำ การอบแห้ง การทอด หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก จึงส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

2.5.1 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์ (2564) ได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร ไว้ดังนี้

2.5.1.1 ยืดอายุการเก็บรักษา การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา ยีสต์ แบคทีเรีย ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ หรือชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย

2.5.1.2 ทำให้อาหารปลอดภัย การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา เช่น อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)

2.5.1.3 ทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ๆ

2.5.1.4 สร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น

2.5.2 กลไกการทำแห้ง

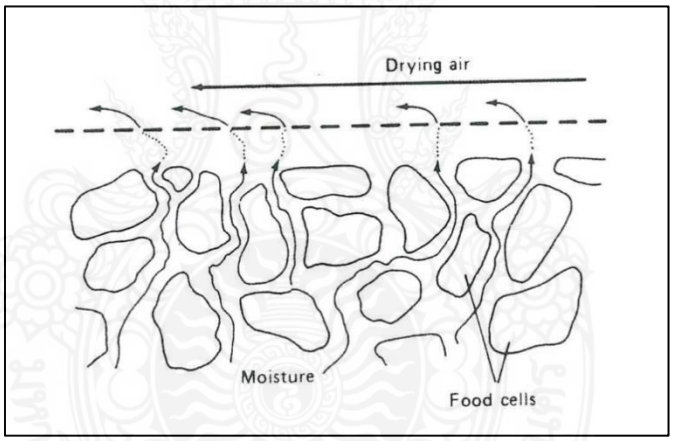
วิไล รังสาดทอง (2557) ได้กล่าวถึงกลไกการทำแห้งไว้ว่า เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังภาพที่ 2.12 ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารด้านในจะมีความดันสูงกว่าและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่ออาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

2.5.2.1 การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคพิลลารี (capillary)

2.5.2.2 การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ

2.5.2.3 การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวของของแข็งในอาหาร

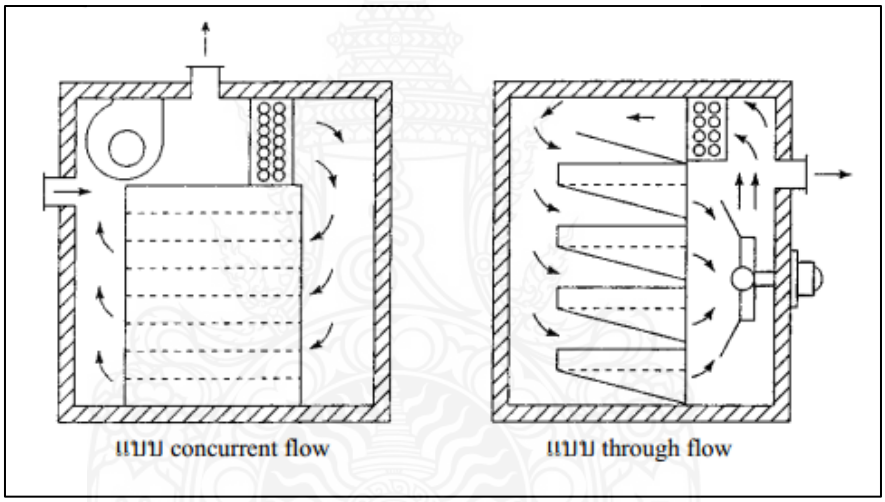
2.5.2.4 ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร



ภาพที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา: วิไล รังสาดทอง (2557)

2.5.3 เครื่องอบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryers) มีลักษณะเป็นตู้ที่บุด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน มีถาดสำหรับวางอาหารที่จะอบ ในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบางๆ ขนาด 2 – 6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ภายในตู้ที่ความเร็วลม 0.5 – 5 เมตร/วินาที/เมตร^2 ของพื้นผิวของถาด (วิไล รังสาดทอง, 2557) ซึ่งในการอบจะนำวัตถุดิบวางไว้ในถาด ตะแกรง หรือแผ่นที่มีรูพรุน แล้วเป่าลมร้อนขนานไปกับผิวหน้าวัตถุดิบ หรือเป่าตั้งฉากกับก้นถาดที่ยอมให้ลมผ่านได้ ลมร้อนจะผ่านเข้าไปในชั้นวัตถุดิบ เนื่องจากจะใช้ลมร้อนที่มีความเร็วไม่สูงนัก วัตถุดิบจึงยังอยู่นิ่ง ไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือการกระแทกใด ๆ ไม่เกิดความเสียหายจากการแตกหัก เครื่องอบชนิดนี้นิยมใช้อบอาหารที่มีปริมาณน้อย หรือสำหรับงานทดลอง เหมาะกับวัตถุดิบที่ต้องการอบด้วยการควบคุมภายใต้เงื่อนไขการอบเข้มงวด หรืออบวัตถุดิบหลาย ๆ ชนิดแต่จำนวนน้อย ๆ หรือใช้กับการควบคุมแบบโปรแกรมซึ่งค่อย ๆ ปรับอุณหภูมิไปตามความเหมาะสม ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การทำงานของเครื่องอบแบบถาด

ที่มา: iEnergyGuru (2015)

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตลอดช่องสิงคโปร์จากสูตรพื้นฐานที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำใบเตย เพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตลอดช่องสิงคโปร์ที่มีความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย ศึกษาวิธีการสกัดใบเตยหอมด้วยน้ำรวมทั้งอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อการสกัดสีเขียว และศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดใบเตยด้วยตัวทำละลายน้ำต่อเอทานอลร่วมกับวิธีการสกัดเชิงกล เพื่อนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

นิศานันท์ ตามกาล และคณะ (2559) ได้ศึกษาการสกัดสารให้สีและสารหอมระเหยจากใบเตยด้วยการสกัดเชิงกล โดยนำใบเตยสดมาสกัดเชิงกลโดยใช้เครื่องบดต่างชนิดกัน ได้แก่ 1) เครื่องบดแบบธรรมดา (Blender 8011BU, Waring) และ 2) เครื่องบดวัตถุดิบแบบไม่มีความร้อน (QS505, Universal Fritter) บดนาน 30 วินาที จากนั้นสกัดสารสีและสารหอมระเหยด้วยตัวทำละลายที่ความเข้มข้นของน้ำต่อเอทานอลต่างกัน (100 : 0 75 : 25 และ 50 : 50 v/v) โดยเติมตัวทำละลายลงในเครื่องบดเพื่อปั่นผสมนาน 30 วินาที อัตราส่วนใบเตยต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1 : 5 w/v และนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิในการสกัด 70 80 และ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที ผลวิจัยพบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารสีและกลิ่นจากใบเตยด้วยเครื่องบดแบบไม่มีความร้อนร่วมกับใช้น้ำต่อเอทานอลสัดส่วน 100 : 0 v/v ที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 30 นาที สารสกัดที่ได้มีสีเขียวเข้ม อีกทั้งที่ภาวะนี้พบสารหอมระเหยทั้งหมด 27 ชนิด ได้แก่ 1-hexanol 2-penten-1-ol และ 2(5H)-furanone และพบสารหอมระเหย ACPY ในปริมาณสูงเท่ากับ 1.84×10^7 ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหลักที่สำคัญ

นิศานันท์ ตามกาล และคณะ (2558) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและสารหอมระเหยของใบเตยหอม (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) สกัดด้วยน้ำ โดยนำใบเตยหอมมาสกัดสารหอมระเหยด้วยวิธีคั้นสด 2 วิธี ได้แก่ 1) การบดแบบดั้งเดิมโดยใช้ Mortar และ Pestle และ 2) การบดแบบใช้เครื่องปั่นผสมโดยใช้เครื่องปั่นผสม (blender) นำมาสกัดโดยใช้น้ำกลั่น อัตราส่วนใบเตยหอมต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 2 : 1 w/v ให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน (30 50 และ 75 °C) และใช้เวลาสกัดนาน 10 20 และ 30 นาที ผลการวิจัยพบว่า การบดแบบดั้งเดิมและสกัดที่อุณหภูมิ 75 °C นาน 30 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการบดแบบใช้เครื่องปั่นผสม ทำให้สารสกัดใบเตยที่ได้เปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวมะกอก รวมทั้งที่สภาวะการสกัดนี้ยังพบสารหอมระเหยทั้งหมด 18 ชนิด เช่น 1-hexanol 2-penten-1-ol และ 2(5H)-furanone และพบสารหอมระเหย ACPY ในปริมาณมากที่สุด ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหลักที่สำคัญที่ให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว อีกทั้งพบปริมาณ ACPY สูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

กรรณิการ์ บุญจันทึก และ ศิริรัตน์ บุตรดีวงษ์ (2553) ได้ศึกษาการใช้น้ำใบย่านางในลอดช่องสิงค์โปร์ โดยทำการคัดเลือกสูตรลอดช่องสิงคโปร์ที่ผู้ชิมให้การยอมรับมากที่สุด จากสูตรพื้นฐานที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำใบเตยเข้มข้น จำนวน 3 สูตร ทำการคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส (เหนียว นุ่ม) และความชอบโดยรวมด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 30 คน จากนั้นนำสูตรที่ได้รับการยอมรับมาศึกษาปริมาณใบย่านางในลอดช่องสิงคโปร์ที่ต่างกัน (5% 10% และ 15% w/v ของน้ำที่ใส่ในลอดช่องสิงคโปร์) และนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (เหนียว นุ่ม) และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ โดยใช้ผู้ชิม จำนวน 60 คน ผลการศึกษาพบว่า ลอดช่องสิงคโปร์ที่ได้รับการยอมรับสูตรที่มีปริมาณใบย่านางในลอดช่องสิงคโปร์ 10% ผู้ชิมให้การยอมรับมากที่สุดในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (เหนียว นุ่ม) และความชอบโดยรวม คะแนนความชอบเฉลี่ย 7.75 7.70 7.60 และ 7.73 ตามลำดับ สำหรับปริมาณใบย่านางในลอดช่องสิงคโปร์ 15% ผู้ชิมให้การยอมรับในด้านสี

มากที่สุด คะแนนความชอบเฉลี่ย 7.90 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า ด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ด้วยสีเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์จากพืช ซึ่งสาเหตุหลักของการสูญเสียสีเขียวของคลอโรฟิลล์ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง pH และการได้รับความร้อน ได้มีการดำเนินการศึกษาจำนวนมากเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีหรือการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการให้ความร้อน ผู้วิจัยจึงได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือสังกะสีคลอไรด์ต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย ผลของ pH ต่อการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์และการสูญเสียสีในถั่วลันเตาลวก และผลของสารเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของผงน้ำอ้อยในการผลิตแบบดั้งเดิม เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสีเขียวจากใบเตยที่มีความคงตัวต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ณัฐธญาณ์ ศรีสุวอ และคณะ (2559) ได้ศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของผงน้ำอ้อยในการผลิตแบบดั้งเดิม โดยศึกษาชนิดของสารเคมีที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผงน้ำอ้อยที่ผลิตโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ผงฟู และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) พบว่าการเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำให้ผงน้ำอ้อยได้รับคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด อาจเนื่องจากผู้บริโภคชอบสีผงน้ำอ้อยที่มีสีน้ำตาลทองและขนาดของผงน้ำอ้อย สำหรับตัวอย่างที่เติมผงฟูได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด เนื่องจากผงน้ำอ้อยมีสีน้ำตาลออกเหลืองเล็กน้อย ไม่มีกลิ่นและรสชาติของน้ำอ้อยอย่างเป็นธรรมชาติ และสำหรับตัวอย่างที่เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้รับคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสและรสชาติสูงที่สุด เนื่องจากผงน้ำอ้อยมีกลิ่นรสและรสชาติที่เป็นธรรมชาติมากกว่า จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสสรุปได้ว่า ตัวอย่างที่เติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมสูงที่สุด แม้จะมีคะแนนกลิ่นรสและรสชาติรองลงมาจากตัวอย่างที่เติมแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติสูงที่สุด งานวิจัยนี้จึงเลือกโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นสารเคมีที่ใช้ในการเปรียบเทียบแหล่งของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตจากตลาดท้องถิ่นในจังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และหมู่บ้านป่าปุ๊ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของผงน้ำอ้อยต่อไป

Koca at al. (2006) ได้ศึกษาผลของ pH ต่อการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์และการสูญเสียสีในถั่วลันเตาลวก (Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas) เพื่อหาผลของ pH ต่อค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และการเสื่อมสภาพของสีเขียวที่มองเห็นได้ โดยนำถั่วลันเตาในสารละลายบัฟเฟอร์ 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 ปิ่นศิโรดม (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 มีผลต่อการเพิ่มความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตยที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตยที่อุณหภูมิ 50 และ 75 °C และจากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง 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 มีสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์ฟีโอไฟติน เอ (zinc pheophytin a) และซิงค์ไพโรฟีโอไฟติน เอ (zinc pyropheophytin a) เกิดขึ้น และเมื่อให้ความร้อนนานถึง 150 นาที การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์ฟีโอไฟติน เอ ลดลง และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์ไพโรฟีโอไฟติน 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 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมสารสกัดใบเตย

3.1.2.1 ช้อนสแตนเลส

3.1.2.2 ชามผสมสแตนเลส

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 Kenwood Multipro Sense รุ่น FPM810

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

3.1.3.1 ช้อนสแตนเลส

3.1.3.2 ชามผสมสแตนเลส

3.1.3.3 หม้อสแตนเลส

3.1.3.4 หม้อด้ามสแตนเลส

3.1.3.5 กระชอนอะลูมิเนียม

3.1.3.6 ไม้พายไม้

3.1.3.7 ไม้นวดแป้ง

3.1.3.8 ถาด

3.1.3.9 มีด

3.1.3.10 ที่ตัดแป้งสแตนเลส

3.1.3.11 ไม้บรรทัดเหล็ก

3.1.3.12 ถุงพลาสติก

3.1.3.13 กล่องพลาสติก

3.1.3.14 นาฬิกาจับเวลา

3.1.3.15 เครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.1.3.16 เตาแม่เหล็กไฟฟ้า อิมาร์เฟล็กซ์ (Imarflex) รุ่น IF-462

3.1.3.17 เครื่องรีดแป้งพร้อมทำเส้น แบบมือหมุน

3.1.3.18 ลูกกลิ้งตัดเส้นบะหมี่ (BAK 254) ขนาดช่องกว้าง 0.4 เซนติเมตร หน้ากว้าง 5.6 เซนติเมตร

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 เครื่องวัดความชื้นแบบอินฟาเรด (Moisture Determination Balance รุ่น FD-620)

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

3.1.5.4 ตู้อบลมร้อน (BINDER รุ่น FED 720)

3.1.5.5 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO

3.1.5.6 แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เป็นแบบ 9- point hedonic scale

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมสีเขียวจากใบเตย

3.2.1.1 การเตรียมสารสกัดใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย

นำต้นเตยหอมที่มีจำนวนของใบเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20 – 24 ใบต่อต้น มาคัดเลือกเอาเฉพาะส่วนของใบที่โตเต็มที่ ตั้งแต่ใบที่ 13 เป็นต้นไป (Suryani et al., 2020) หั่นส่วนหัวและส่วนท้ายของใบออกประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วล้างด้วยน้ำให้สะอาด เช็ดใบเตยให้แห้งด้วยผ้า จากนั้นหั่นใบเตยตามความยาวประมาณ 0.2 เซนติเมตร ปั่นใบเตยพร้อมกับน้ำปูนใสอิ่มตัวให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่ระดับความเร็ว 3 เป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้อัตราส่วนใบเตยต่อน้ำปูนใสอิ่มตัวเท่ากับ 1 : 4 (w/v) กรองสารสกัดใบเตยด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น จะได้สารสกัดใบเตยสีเขียวมะกอก นำไปหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต่อไป ดังแผนภาพที่ 3.1

แผนภูมิที่ 3.1 ขั้นตอนการตรียมสารสกัดใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย

ภาพที่ 3.1 สารสกัดใบเตยที่ใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย

3.2.1.2 ศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

ศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตลอดช่องสิงคโปร์ จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 30% 35% และ 40% (w/v) ของสารสกัดใบเตยที่ใช้เป็นส่วนผสม ดังตารางที่ 3.1 จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 นาที โดยคนไปด้วยตลอดเวลาระหว่างการให้ความร้อน นำเจลที่ได้มานวดผสมกับแป้งมันสำปะหลังส่วนที่เหลือทันทีขณะร้อนจนเนื้อแป้งเนียนไม่ติดมือ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำแป้งโดที่ได้ไปขึ้นรูปให้เป็นเส้นขนาด 0.2 x 0.4 x 10.0 เซนติเมตร ดังแผนภาพที่ 3.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เพื่อเลือกปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลสำหรับการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ โดยทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ดังนี้

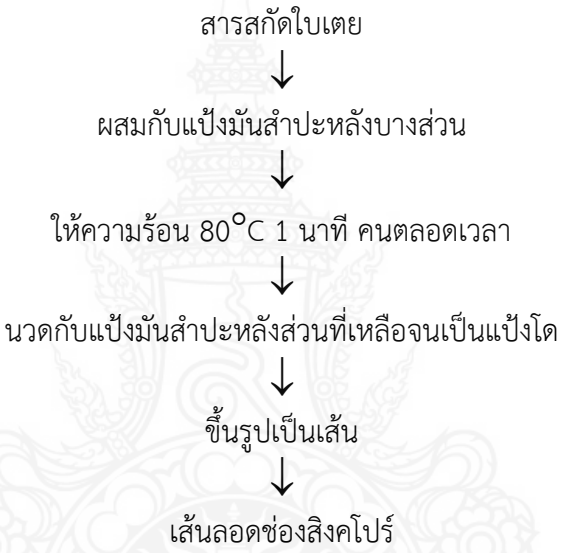
1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี และแสดงผลค่าสีที่วัด ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่าง มีค่า 0 ถึง 100 โดยค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ) ค่า a* (ค่า a* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ค่า a* ที่เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว) และค่า b* (ค่า b* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน) นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าสีกับสูตรควบคุมที่มีกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ดังแผนภาพที่ 3.3

2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทดสอบด้วยวิธีการดึง (Tension test) โดยใช้หัววัดซึ่งหัววัดจะทำการดึงจนกระทั่งเส้นขาดออกจากกัน ใช้ความเร็วที่หัววัดดึงตัวอย่าง 20 mm/sec พิจารณาจากค่าแรงดึง (Force) ซึ่งบ่งบอกถึงความเหนียว ความแข็งแรงของตัวอย่างในการดึงยืดและค่าความหยืดหยุ่น (Elasticity) ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมหลังจากที่ตัวอย่างถูกทำให้ผิดรูปร่าง

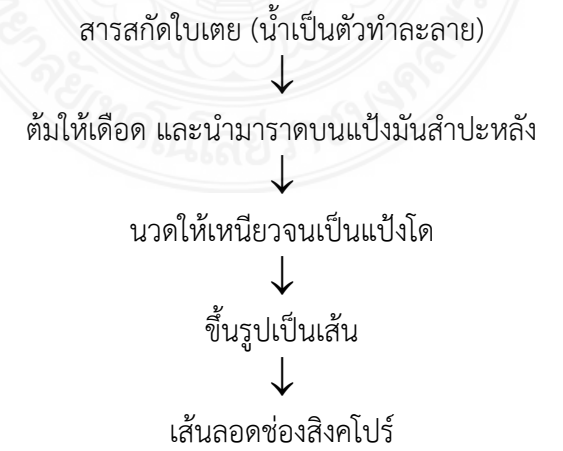
3) การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่มีส่วนผสมของน้ำเชื่อม น้ำกะทิ และน้ำแข็งบด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่รู้ลักษณะที่ดีของขนม จำนวน 36 คน ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale)

ตารางที่ 3.1 ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

ส่วนผสม	สูตรควบคุม	ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)		
		30	35	40
แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจล (g)	-	30	35	40
สารสกัดใบเตย (ml)	100	100	100	100
แป้งมันสำปะหลังส่วนที่เหลือ (g)	180	150	145	140



แผนภูมิที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ในการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลต่อสารสกัดใบเตย



แผนภูมิที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรควบคุม

3.2.1.3 ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 4 ระดับ คือ 0% 0.05% 0.10% และ 0.15% (w/v) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำปูนใสอิ่มตัว 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) เพื่อเลือกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยสำหรับการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต่อไป โดยทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ดังนี้

1) วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี และแสดงผลค่าสีที่วัด ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่าง มีค่า 0 ถึง 100 โดยค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ) ค่า a* (ค่า a* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ค่า a* ที่เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว) และค่า b* (ค่า b* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน)

2) วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทดสอบด้วยวิธีการดึง (Tension test) โดยใช้หัววัดซึ่งหัววัดจะทำการดึงจนกระทั่งเส้นขาดออกจากกัน ใช้ความเร็วที่หัววัดดึงตัวอย่าง 20 mm/sec พิจารณาจากค่าแรงดึง (Force) ซึ่งบ่งบอกถึงความเหนียว ความแข็งแรงของตัวอย่างในการดึงยืดและค่าความหยืดหยุ่น (Elasticity) ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมหลังจากที่ตัวอย่างถูกทำให้ผิดรูปร่าง

3) การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 2 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่มีส่วนผสมของน้ำเชื่อม น้ำกะทิ และน้ำแข็งบด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่รู้ลักษณะที่ดีของขนม จำนวน 36 คน ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale)

3.2.2 ศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป

การศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูปที่มีสีเขียวธรรมชาติจากใบเตย โดยทำการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.2.1.3 ขึ้นรูปให้เป็นเส้นขนาด 0.2 x 0.2 x 10.0 เซนติเมตร และทำการศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ 3 ระดับ ได้แก่ 50 °C 60 °C และ 70 °C โดยใช้ตู้อบลมร้อน จนได้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีความชื้น 10 – 11% (w/w) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.138/2546) โดยกำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 12% (w/w) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เพื่อเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป โดยทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ดังนี้

3.2.2.1 วัดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C มาวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบอินฟาเรด ให้ได้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีความชื้น 10 – 11% (w/w) เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป

3.2.2.2 วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 8 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี และแสดงผลค่าสีที่วัด ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่าง มีค่า 0 ถึง 100 โดยค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ) ค่า a* (ค่า a* ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ค่า a* ที่เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว) และค่า b* (ค่า b* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน)

3.2.2.3 วัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งมาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 8 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยใช้หัวกดสแตนเลสแบบแผ่นแบน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm (P/100) กำหนดการวัดค่าของเครื่องมือ ใช้ความเร็วก่อนการวัดค่าตัวอย่าง (Pre test speed) 1 mm/sec ความเร็วขณะวัดค่าตัวอย่าง (Test speed) 1 mm/sec และความเร็วหลังวัดค่าตัวอย่าง (Post test speed) 1 mm/sec กดลงไป 50% ของความสูงตัวอย่าง พิจารณาจากค่าความแข็ง (hardness) หรือความแน่นเนื้อ (Firmness) ซึ่งเป็นกลุ่มสมบัติด้านเนื้อสัมผัสประเภทเดียวกัน ที่แสดงถึงการต้านทานต่อการเสียสภาพจากแรงกระทำ ค่าการเกาะติดพื้น (Adhesiveness) แสดงการยึดติดของอาหารกับวัตถุอื่น เช่น อาหารติดเหงือก ฟัน เพดาน ริมฝีปาก

ระหว่างการรับประทาน และค่าความหยุ่น (Springiness หรือ Elasticity) ที่บ่งบอกถึงความยืดหยุ่นของอาหารที่เมื่อออกแรงกดแล้วกลับคืนรูปได้ ไม่ยุบตัวเสียรูปทรงหลังจากถูกเคี้ยวแล้ว

3.2.2.4 อัตราการคืนรูป (Rehydration rate) ดัดแปลงจาก Jang et al. (2016) โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้ง 5.4 กรัม มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C จำนวน 2 ลิตร เป็นระยะเวลา 8 นาที นำไปกรองด้วยกระชอนสแตนเลส และตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาร้อยละการคืนรูปของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ดังสมการ

$$\% \text{ การคืนรูป} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังต้ม-น้ำหนักก่อนต้ม}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม}}$$

3.2.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาต้มให้สุกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 8 นาที และนำไปแช่ในน้ำให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่มีส่วนผสมของน้ำเชื่อม น้ำกะทิ และน้ำแข็งบด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่รู้ลักษณะที่ดีของขนม จำนวน 36 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 3 ปี ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 – เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมสีเขียวจากใบเตย

4.1.1 ผลการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

ผลการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์จากสารสกัดใบเตยโดยใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนใบเตยต่อน้ำปูนใสอิ่มตัวเท่ากับ 1 : 4 (w/v) จากนั้นเตรียมแป้งโดโดยนำแป้งมันสำปะหลังบางส่วนมาทำให้เกิดเจลร่วมกับน้ำใบเตย จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 30% 35% และ 40% (w/v) สำหรับนำมาผลิตเป็นเส้นลอดช่องสิงคโปร์ และนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพด้วยการวัดค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังบางส่วนที่ทำให้เกิดเจลมีผลทำให้ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 30% มีสีเขียวเข้มมากที่สุดและมีสีเขียวสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น ซึ่งแตกต่างจากที่ 35% และ 40% มีสีเขียวลดลงตามลำดับ ดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลต่อสารสกัดใบเตยต่างกัน

เมื่อนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัด พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของเส้นลอดช่องสิงคโปร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้แป้งมันสำปะหลังในการทำเจลมีสีเขียวเข้มกว่าสูตรควบคุมซึ่งให้สีเขียวอมน้ำตาล โดยเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 30% มีสีเขียว (-a*) มากที่สุด และสีเขียวลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการทำเจลในสภาวะที่เป็นด่าง Mg^{2+} ในคลอโรฟิลล์ไม่ถูกแทนที่ด้วย H^{+} จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน (ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2546) เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรควบคุมที่ให้สีเขียวน้อยที่สุด เนื่องจากสภาวะความเป็นกรดจากกรดอินทรีย์ที่อยู่ในอาหาร เมื่อได้รับความร้อนจากการต้มทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นอนุพันธ์ที่มีสีน้ำตาลมากขึ้น โดย H^{+} จากกรดอินทรีย์ในใบเตยไปแทนที่ Mg^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์

ตารางที่ 4.1 ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

ค่าสี	สูตรควบคุม	ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจล (%)		
		30	35	40
L*	60.91 ± 0.33^{a}	48.26 ± 0.92^{b}	47.75 ± 2.58^{bc}	47.26 ± 1.48^{c}
a*	-7.72 ± 0.08^{d}	-19.01 ± 0.86^{a}	-18.32 ± 0.97^{b}	-17.90 ± 1.21^{c}
b*	30.18 ± 0.32^{d}	44.42 ± 0.91^{a}	42.70 ± 1.62^{b}	42.21 ± 1.58^{c}

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

ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่า เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 30% มีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองมากที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากการคงตัวของสารสีเขียวในกระบวนการทำเจลและแป้งโด โดยที่ 30% ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลน้อยที่สุด และใช้ปริมาณของแป้งดิบในการเตรียมแป้งโดมากที่สุด Cansee et al. (2008) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของมวลแป้งแห้งต่อปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น จึงไปจำกัดการเคลื่อนที่ของสารละลายแป้งและน้ำ ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโด โดยที่ระดับ 30% ใช้ปริมาณของแป้งดิบมากที่สุด ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากเจลไปยังแป้งดิบเกิดขึ้นช้ากว่าที่ 35% และ 40% เมื่อความสามารถของเม็ดแป้งและน้ำในการนำความร้อนระหว่างโมเลกุลลดลง จึงอาจส่งผลให้สารสีเขียวในเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ 30% ถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่าที่ 35% และ

40% ที่มีปริมาณของเจลมากกว่า และในขั้นตอนของการต้มเส้นลอดช่องสิงคโปร์ในน้ำร้อนที่ 35% และ 40% ความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเสียหายหรือมีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันที่มากกว่า เกิดการสูญเสียของแข็งในผลิตภัณฑ์ระหว่างการต้มสูงขึ้น ซึ่งการดูดซึมน้ำระหว่างการปรุงอาหารอาจเกิดขึ้นได้ จะถูกเร่งและเกิดการถ่ายเทความร้อน/มวลอย่างมีประสิทธิภาพ (Jang et al., 2016) อาจส่งผลให้คลอโรฟิลล์ในเส้นลอดช่องสิงคโปร์เสียสภาพธรรรมชาติเมื่อได้รับความร้อนมากขึ้น จึงเกิดการสูญเสียสีเขียวและละลายอยู่ในน้ำที่ใช้ต้มเส้น ดังนั้น เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ 35% และ 40% จึงมีสีเขียวและมีความสว่างน้อยกว่าที่ 30% อีกทั้งการให้ความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียได้ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ ที่มีสีเขียวแกมน้ำเงิน และคลอโรฟิลล์ บี ที่มีสีเขียวแกมเหลือง โดยคลอโรฟิลล์ เอ สลายตัวได้เร็วกว่าคลอโรฟิลล์ บี (Canjura et al. 1991; Koca et al. 2006) และในสภาวะที่เป็นด่างการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ เอ ไปเป็นฟีโอไฟตินลดลง แต่ไม่มีผลต่อคลอโรฟิลล์ บี ซึ่งมีความเสถียร (Fuke et al., 1985) อาจทำให้คลอโรฟิลล์ บี สลายตัวน้อยไปด้วย จึงทำให้ค่า b* ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งที่ใช้ทำเจล

เมื่อทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส พิจารณาจากค่าแรงดึงสูงสุด (Force) ซึ่งบ่งบอกถึงความเหนียว ความแข็งแรงของตัวอย่างในการดึงยืด (พวงชมพู หงส์ชัย และ นันทวัฒน์ โลโสดา, 2561) และค่าความหยืดหยุ่น (Elasticity) ซึ่งบ่งบอกถึงความ สามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมหลังจากที่ตัวอย่างถูกทำให้ผิดรูปร่าง (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550) พบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทำเจลมีผลต่อค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 30% มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด และค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.2 อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนของสารละลาย $Ca(OH)_2$ และแป้งมันสำปะหลังในการทำเจล โดยที่ 30% ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลน้อยที่สุด และนวดผสมกับแป้งดิบปริมาณมากที่สุดในการเตรียมแป้งโด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 35% และ 40% อัตราส่วนของสารละลาย $Ca(OH)_2$ ลดลงเมื่อปริมาณแป้งในการผลิตเจลเพิ่มขึ้น โดยค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นสามารถเชื่อมโยงกับอัตราส่วนของสารละลาย $Ca(OH)_2$ กับปริมาณแป้งมันสำปะหลังในระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน ซึ่ง Oosten (1983) รายงานว่า แป้งเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนที่ดูดซับไอออนบวกจากสารละลายแลกกับไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการแทนที่ไฮโดรเจนไอออนที่มีขนาดเล็กด้วยไอออนบวก เม็ดแป้งถูกยืดออกไปบ้างทำให้เกิดการเพิ่มปริมาตรที่ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว การเพิ่มปริมาตรของเม็ดแป้งโดยการดูดซับของไอออนบวกยังเป็นสาเหตุให้แป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้นอีกด้วย และ Lai et al. (2004) รายงานว่า ด่างทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นก่อนที่จะแตกออก โดยการเกิดพันธะระหว่าง Ca^{2+} กับแป้ง และ $Ca(OH)^{+}$ กับแป้ง และความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโดและการให้ความร้อนระหว่างการต้มเส้น โดยที่ 30% เจลมีความเข้มข้นของ Ca^{2+} สูง สามารถเกิดพันธะกับแป้งดิบได้มากกว่าที่ 35% และ 40% ในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโด และเม็ดแป้งมีการดูดซับไอออนบวกได้ดีเมื่อนำไปให้ความร้อน

ระหว่างการต้มเส้น ส่งผลให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ 30% มีความเหนียวและความยืดหยุ่นสูงสุด และในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลเพิ่มขึ้น จะทำให้สัดส่วนของแป้งที่เป็นเจลในส่วนผสมมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ 35% และ 40% ทำให้ความเหนียวและความยืดหยุ่นลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจล

ลักษณะเนื้อสัมผัส	ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจล (%)		
	30	35	40
ค่าแรงดึง (g)	17.71 ± 1.87^{a}	16.85 ± 1.69^{ab}	16.57 ± 1.55^{b}
ค่าความหยืดหยุ่น (mm)	62.11 ± 9.93^{a}	57.83 ± 7.86^{ab}	55.44 ± 7.54^{b}

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

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ระดับ 30% ต่างจาก 35% และ 40% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ด้านกลิ่นรสและรสชาติแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 4.3 เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ 30% มีลักษณะที่นุ่มเหนียวและมีสีเขียวเข้มที่สุด การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลที่ 35% และ 40% ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณแป้งสุกมากขึ้นและแป้งดิบน้อยลง ทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มจนเกินไป ขาดง่าย และให้สีเขียวลดลง ดังภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ 30% ยังยึดติดและจับตัวกันแน่น ดังนั้นแป้งทั้ง 2 รูปแบบจึงต้องมีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการยึดเกาะและมีความนุ่มของเจลในเส้นลอดช่องสิงคโปร์ โดยพบว่าเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลเพิ่มขึ้น จะทำให้สัดส่วนของแป้งที่เป็นเจลในส่วนผสมมากขึ้น การถ่ายเทความร้อนจากเจลไปยังแป้งดิบเกิดขึ้นได้เร็วกว่าในขั้นตอนของการเตรียมแป้งโด และในขั้นตอนของการต้มเส้นลอดช่องสิงคโปร์ในน้ำร้อน เส้นลอดช่องสิงคโปร์จะบวมมากขึ้น ส่วนประกอบของแป้งในเส้นลอดช่องสิงคโปร์อาจถูกชะล้างออกไป โดยความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเสียหายหรือมีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jang et al. (2016) ได้รายงานเกี่ยวกับค่าการนำความร้อนของตัวอย่างบะหมี่ที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีมอลโทเดกซ์ทริน โดยสังเกตจากเนื้อสัมผัสระหว่างการปรุงเส้นบะหมี่ด้วยน้ำร้อน พบว่าเส้นบะหมี่ที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินมีความแน่นน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ด้วยโครงสร้างของเส้นบะหมี่ที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินมีรูพรุน จึงทำให้น้ำซึมเข้าไปด้านในของเส้นบะหมี่ได้ บ่งชี้ให้เห็นว่าการ

ดูดซึมน้ำระหว่างการปรุงอาหารอาจเกิดขึ้นได้ จะถูกเร่งและเกิดการถ่ายเทความร้อน/มวลอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นค่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นของเส้นที่ผสมมอลโทเดกซ์ทริน อาจสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลมากขึ้นทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์มีความเหนียวและความแข็งแรงลดลง และมีผลต่อสีเขียวและลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ โดยเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ 30% มีสีเขียว มีความเหนียวและความยืดหยุ่นมากกว่าที่ 35% และ 40% จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สำหรับด้านกลิ่นรสและรสชาติผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างขนมลอดช่องสิงคโปร์เพื่อทดสอบชิมมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกกลิ่นรสและรสชาติได้ โดยขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ระดับ 30% ได้รับการยอมรับจาก ผู้ทดสอบชิมสูงสุดในทุกด้าน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีด้วยเครื่องวัดสี และด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส จึงเลือกปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ทำเจลที่ระดับ 30% ไปทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต่อไป

ตารางที่ 4.3 คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

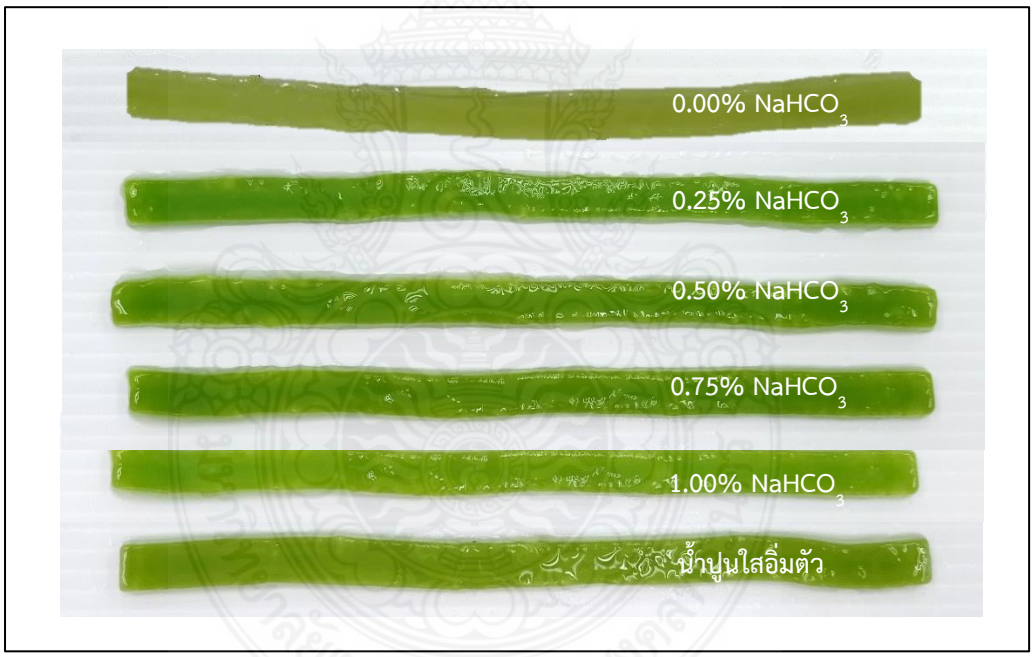
คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์		
	30%	35%	40%
ลักษณะปรากฏ	7.97 ± 0.91^{a}	7.11 ± 1.17^{b}	7.11 ± 1.30^{b}
สี	7.86 ± 0.99^{a}	7.42 ± 1.05^{b}	7.47 ± 1.06^{b}
กลิ่น	7.47 ± 1.30^{a}	7.28 ± 1.14^{ab}	6.97 ± 1.46^{b}
กลิ่นรส^{ns}	7.50 ± 1.18	7.00 ± 1.41	6.97 ± 1.54
รสชาติ^{ns}	7.03 ± 1.76	6.75 ± 1.81	6.72 ± 1.70
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.61 ± 0.99^{a}	7.19 ± 1.21^{b}	7.08 ± 1.00^{b}
ความชอบโดยรวม	7.86 ± 1.07^{a}	7.06 ± 1.17^{b}	7.28 ± 0.97^{b}

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

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.2 ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์เทียบกับน้ำปูนใสอิ่มตัว โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.00% 0.25% 0.50% 0.75% และ 1.00% (w/v) และน้ำปูนใสอิ่มตัวเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนใบเตยต่อสารสกัดใบเตยเท่ากับ 1 : 4 (w/v) จากนั้นเตรียมแป้งโดที่ 30% สำหรับนำมาผลิตเป็นเส้นลอดช่องสิงคโปร์ และนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพด้วยการวัดค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับ 0.00% 0.25% 0.50% 0.75% และ 1.00% และน้ำปูนใสอิ่มตัว ที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีผลทำให้ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทจากผู้ทดสอบชิมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ ที่แตกต่างกันและน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย

เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% มีสีเขียวน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 0.25% มีสีเขียวสดมากที่สุด และมีสีเขียวลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่ให้สีเขียวสดมากกว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตย ดังภาพที่ 4.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ด้วยเครื่องวัด พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของเส้นลอดช่องสิงคโปร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.25% มีค่าสีเขียว (-a*) มากที่สุด และลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่มีสีเขียวมากกว่าการใช้น้ำปูนใสอิ่มตัว และสารละลาย 0.00% โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า pH ของสารสกัดจากใบเตย และค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ และน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย

ความเข้มข้นของสารละลาย	pH ของสารสกัดจากใบเตย	ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์		
		L*	a*	b*
0.00% $NaHCO_3$	5.45 ± 0.01^{f}	53.62 ± 0.38^{a}	-13.74 ± 0.70^{e}	46.61 ± 0.55^{d}
0.25% $NaHCO_3$	8.18 ± 0.01^{e}	47.08 ± 0.90^{c}	-23.95 ± 0.70^{a}	48.97 ± 0.87^{a}
0.50% $NaHCO_3$	8.42 ± 0.01^{d}	46.79 ± 0.84^{c}	-22.85 ± 0.61^{b}	48.19 ± 0.70^{b}
0.75% $NaHCO_3$	8.55 ± 0.01^{c}	46.68 ± 0.98^{c}	-22.79 ± 0.36^{b}	47.30 ± 0.97^{c}
1.00% $NaHCO_3$	8.64 ± 0.01^{b}	46.02 ± 0.83^{d}	-22.39 ± 0.55^{c}	47.02 ± 0.82^{cd}
น้ำปูนใสอิ่มตัว	11.73 ± 0.01^{a}	51.02 ± 0.54^{b}	-18.28 ± 0.36^{d}	41.28 ± 0.57^{e}

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

การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% ในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตย สารสกัดสีเขียวที่ได้มีความเป็นกรด (pH 5.45) เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในธรรมชาติของพืชสามารถละลายออกมาในระหว่างการสกัดสารสีเขียวได้ ซึ่งในสภาพความเป็นกรดสามารถทำให้ความคงตัวของคลอโรฟิลล์ลดลง จึงทำให้ได้สารละลายที่มีสีเขียวลดลง เนื่องจาก H^{+} ของกรดสามารถเข้าไปแทนที่ Mg^{2+} ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ได้สารประกอบฟีโอไฟตินซึ่งมีสีเขียวอมน้ำตาล จึงเป็นผลทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

0.00% ในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยมีสีเขียวน้อยที่สุด ดังภาพที่ 4.2 และมีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของประพันธ์ ปิ่นศิโรดม (2546) ได้ทำการศึกษาการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบเตยที่ค่า pH 4 7 และ 10 ร่วมกับการใช้ความร้อน พบว่าการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบเตยในสภาวะที่มีความเป็นกรดทำให้ได้สารสีเขียวที่มีความคงตัวน้อยที่สุด ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงได้สารประกอบฟีโอไฟตินซึ่งมีสีเขียวอมน้ำตาล การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่มีระดับความเข้มข้นสูงขึ้นและน้ำปูนใสอิ่มตัว มีผลทำให้สารสกัดจากใบเตยมีค่า pH สูงกว่า 7.0 ดังตารางที่ 4.4 การสกัดสารสีเขียวจากใบเตยในสภาวะที่มีความเป็นด่างสามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของรงควัตถุที่ให้สีเขียวได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) โดยในสภาวะที่เป็นด่างทำให้เอนไซม์คลอโรฟิลเลสสามารถเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลไลด์ซึ่งมีสีเขียวสด สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น และมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์ (สมัคร แก้วสุกแสง 2558; Kaewsuksaen 2011) แต่เอนไซม์คลอโรฟิลเลสมีค่า pH ที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมที่ 7.6 - 8.0 (Sytykiewicz et al., 2013) จึงมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส ลดลงเมื่อมีค่า pH สูงกว่า 8.0 จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตมีผลทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์มีสีเขียว ค่าความสว่าง และค่าสีหลืองลดลง อาจเนื่องมาจากในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์จากเจล มีการให้ความร้อนกับสารสกัดสีเขียวที่มีความเป็นด่างจากโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เกิดการสลายตัวของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ทำให้ความเป็นด่างของสารสกัดจากใบเตยสูงกว่า 8.0 จึงมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสลดลง ดังนั้นเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.25% มีสีเขียว ค่าความสว่าง และค่าสีหลืองมากที่สุด และลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่มีสีเขียวและสีเหลืองมากกว่าการใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย (pH 11.73)

เมื่อทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและสารละลายน้ำปูนใสอิ่มตัวมีผลต่อค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นของเส้นลอดช่องสิงคโปร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด และเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.25% จากนั้นค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวส่งผลให้มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุด ดังตารางที่ 4.5 ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเป็นด่างของสารสกัดใบเตย เนื่องจากด่างทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นก่อนที่จะแตกออก (Lai et al. 2004; Pedcharat et al. 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Han et al. (2011) ได้รายงานเกี่ยวกับการพองตัวของแป้งบัควีท (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 โดยค่าความหนืดที่มากขึ้นบ่งชี้ว่าเม็ดแป้งมีการบวมตัวก่อนที่จะแตกออกมากกว่า

ค่าที่มีความหนืดน้อยกว่า โดยไอออนของโลหะอัลคาไล/อัลคาไลเอิร์ธ (alkali/alkali earth metal ions) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ของแป้งมีปฏิสัมพันธ์กันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผลึกมีแนวโน้มที่จะถูกทำลายโดยการแทนที่โปรตอนด้วยไอออนบวก ซึ่งช่วยเร่งการปล่อยอะไมโลสออกมาจากเม็ดแป้งและหมู่ไฮดรอกซิลจากสายพอลิเมอร์ของแป้ง อาจทำให้เกิดการแทนที่ของโปรตอนด้วย Ca^{2+} และ $Ca(OH)^+$ โดยเกิดพันธะระหว่าง Ca^{2+} กับแป้ง และ $Ca(OH)^+$ กับแป้ง ซึ่งจะทำให้เม็ดแป้งขยายตัวและพองตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง (Lai et al., 2004) จากผลการทดลองพบว่า pH ของสารสกัดจากใบเตยด้วยน้ำเปล่ามีความเป็นกรด (pH 5.45) จึงทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.00% มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด สำหรับการใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวทำให้ pH ของสารสกัดจากใบเตยมีความเป็นด่าง (pH 11.73) สูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 0.25% - 1.00% (pH 8.18 – 8.64) และ Ca^{2+} จากน้ำปูนใสมีความเป็นไอออนิกสูงกว่า Na^+ จึงสามารถเกิดพันธะกับแป้งได้แข็งแรงกว่า ทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกมีความหนืดสูง ส่งผลให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวมีค่าแรงดึงและค่าความหยืดหยุ่นสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.25% 0.50% 0.75% และ 1.00% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $NaHCO_3$ และน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตย

ความเข้มข้นของสารละลาย	ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์	
	ค่าแรงดึง (g)	ค่าความหยืดหยุ่น (mm)
0.00% $NaHCO_3$	12.83 ± 0.75^{c}	38.57 ± 5.82^{c}
0.25% $NaHCO_3$	13.49 ± 0.91^{b}	43.06 ± 4.74^{b}
0.50% $NaHCO_3$	13.17 ± 0.91^{bc}	42.80 ± 6.55^{b}
0.75% $NaHCO_3$	13.15 ± 0.91^{bc}	42.12 ± 5.16^{b}
1.00% $NaHCO_3$	13.07 ± 0.86^{bc}	41.92 ± 4.95^{b}
น้ำปูนใสอิ่มตัว	17.77 ± 1.11^{a}	62.33 ± 8.12^{a}

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

การใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตสกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจาก 0.25% - 1.00% ค่าแรงดึงและค่าความหยืดหยุ่นลดลงเล็กน้อย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) อาจเกี่ยวข้องกับการบวมตัวของเม็ดแป้งก่อนที่จะแตกออก (Lai et al., 2004) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ชของแป้งได้น้อยลง อาจทำให้เม็ดสตาร์ชไฮเดรตน้ำได้ลดลงและขยายหรือพองตัวได้เล็กน้อย ขณะที่ให้ความร้อนแก่แป้ง ระดับการเกิดเจลาติไนเซชันจึงถูกจำกัด ส่งผลให้ความหนืดลดลงเพียงเล็กน้อย จนไม่สามารถสังเกตการเกิดเจลาติไนเซชันได้ชัดเจนเมื่อใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างกัน และรวมถึงสารละลายอิ่มตัว (Ragheb et al., 1995)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.25% 0.50% 0.75% และน้ำปูนใสอิ่มตัว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	**คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ**			
	0.25% $NaHCO_3$	**0.50% $NaHCO_3$**	**0.75% $NaHCO_3$**	**น้ำปูนใสอิ่มตัว**
ลักษณะปรากฏ	8.25 ± 0.81^{a}	8.00 ± 0.99^{ab}	7.86 ± 1.13^{b}	7.92 ± 1.02^{b}
สี	8.19 ± 0.75^{a}	7.92 ± 1.02^{ab}	7.83 ± 0.97^{b}	7.81 ± 0.92^{b}
กลิ่น	7.89 ± 0.95^{a}	7.78 ± 0.93^{ab}	7.56 ± 1.00^{b}	7.61 ± 0.99^{ab}
กลิ่นรส^{ns}	7.83 ± 0.91	7.72 ± 0.97	7.58 ± 0.94	7.69 ± 1.04
รสชาติ^{ns}	7.86 ± 0.76	7.78 ± 0.90	7.61 ± 1.10	7.72 ± 1.14
ลักษณะเนื้อสัมผัส	8.11 ± 0.85^{a}	7.81 ± 1.06^{ab}	7.72 ± 1.11^{b}	7.69 ± 1.06^{b}
ความชอบโดยรวม	7.94 ± 0.92^{a}	7.69 ± 1.09^{ab}	7.53 ± 1.16^{b}	7.78 ± 1.05^{ab}

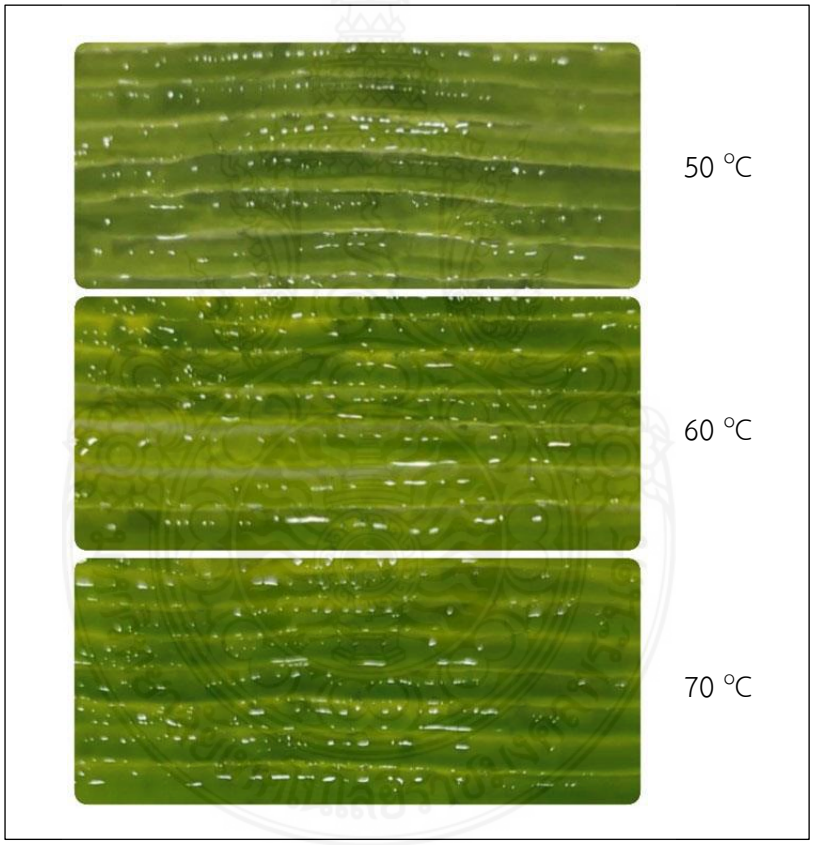
หมายเหตุ: ^{a,b} ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.25% มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม และมีสีเขียวเข้มที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้ทำเจลมากขึ้นเป็น 0.50% และ 0.75% ทำให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวลดลง สำหรับเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวจะมีสีเขียวน้อยกว่าและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เนื่องจากความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง (Lai et al., 2004) ซึ่ง Na^{+} จากสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นสารประกอบไอออนิกของโลหะอัลคาไลที่มีความเป็นไอออนิกน้อยกว่า Ca^{2+} จากน้ำปูนใสอิ่มตัวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นสารประกอบไอออนิกของโลหะอัลคาไลเอิร์ธ จึงทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิ่มตัวมีความเหนียวและความแข็งแรงกว่าสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.25% และความเหนียวลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สำหรับด้านกลิ่นรสและรสชาติผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างขนมลอดช่องสิงคโปร์เพื่อทดสอบชิมมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกกลิ่นรสและรสชาติได้ โดยขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.25% ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุดในทุกด้าน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีด้วยเครื่องวัดสี และด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส จึงเลือกสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.25% ไปทำการศึกษาผลการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูปต่อไป

4.2 ผลการศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป

ผลการศึกษาการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูปที่มีสีเขียวธรรมชาติจากใบเตย โดยทำการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.25% (w/v) และทำการศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ 3 ระดับ ได้แก่ 50 °C 60 °C และ 70 °C ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด จนได้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีความชื้น 10 – 11% (w/w) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.138/2546) โดยกำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 12% (w/w) จากนั้นนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพด้วยการวัดค่าสี อัตราการคืนรูป ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีผลทำให้ค่าสี อัตราการคืนรูป ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน

ลักษณะปรากฏของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C มีสีเขียวเข้มมากที่สุด และสีเขียวลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งลดลง ดังภาพที่ 4.3 และเมื่อนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านการอบแห้งต้มสุกมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งสูงขึ้นมีผลทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์มีค่าสีเขียวและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น และมีค่าความสว่างลดลง โดยเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด มีสีเขียว (-a*) และสีเหลือง (b*) มากที่สุด ให้ความสว่าง (L*) น้อยที่สุด และสีเขียวและสีเหลืองลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.7 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสภาวะที่เป็นด่างและการให้ความร้อนแบบอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้นช่วยรักษาสีเขียวหรือปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้นาน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) และช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน (Lau et al., 2000)

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง

การอบแห้ง			**ค่าสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุก**		
อุณหภูมิ (°C)	**เวลา (นาที)**	**ความชื้น (%)**	**L***	**a***	**b***
50	55	10.49	59.05 ± 0.56^{a}	-19.61 ± 0.20^{c}	42.76 ± 0.41^{c}
60	45	10.50	58.01 ± 0.48^{b}	-20.42 ± 0.30^{b}	43.98 ± 0.50^{b}
70	35	10.77	57.30 ± 0.49^{c}	-21.88 ± 0.28^{a}	44.95 ± 0.47^{a}

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

ผลการวิเคราะห์การคืนรูปของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อค่าการคืนรูปของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าการคืนรูปมากที่สุด และค่าการคืนรูปลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งเป็นผลจากอุณภูมิต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ใช้เวลาในอบแห้งลดลง (วิจิตรา เหลียวตระกูล และคณะ, 2564) โดยเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ซึ่งในระหว่างกระบวนการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง ทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เป็นไปด้วยความรวดเร็ว (ณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรหม และคณะ, 2562) ส่งผลให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C มีความชื้นสูงที่สุด และเมื่อนำมาเส้นลอดช่องสิงคโปร์มาคืนรูปโดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้ง ทำให้

โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกทินได้ง่ายขึ้น ทำให้เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำและพองตัวแบบผันกลับได้ (Kaletunc & Breslauer, 2003) นอกจากนี้ สุนันปานสาคร และคณะ (2561) ได้รายงานเกี่ยวกับการทดสอบวัดคุณภาพเนื้อสัมผัสด้านแรงดึงของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวกล้องหอมนิลนึ่งร่วมกับแป้งข้าวผสมชนิดเส้นแห้ง โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C พบว่าอุณหภูมิที่สูงส่งผลให้แนวโน้มของค่าแรงดึงลดลง แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C น้ำจะเข้าไปในเม็ดแป้งได้มากขึ้นระหว่างการคืนรูปด้วยความร้อน เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำและพองตัวได้มาก จึงส่งผลต่อค่าแรงดึงที่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทดสอบวัดคุณภาพเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อที่สภาวะการอบแห้งเดียวกันของการทดลองนี้ โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ค่าความแน่นเนื้อของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ลดลง อาจเป็นเหตุให้อัตราการคืนรูปค่อนข้างเร็ว ดังนั้น การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C จึงมีการคืนรูปสูงที่สุด และหากพิจารณาโครงสร้างทางกายภาพที่ปรากฏ พบว่าเนื้อของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่ผ่านการคืนรูปนั้นมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าแต่มีความหยุ่นมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C และ 50 °C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ

ตารางที่ 4.8 อัตราการคืนรูปของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C) ที่ใช้ในการอบแห้ง	อัตราการคืนรูป (%)
50	106.79 ± 0.94^{c}
60	114.11 ± 0.96^{b}
70	121.09 ± 0.98^{a}

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

เมื่อทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่ผ่านการคืนรูปด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้วิธีทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด และค่าความแน่นเนื้อลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์สูง (ณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรหม และคณะ, 2562) อาจจะส่งผลให้โครงสร้างของเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังมีความแข็งแรงลดลง มีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ลดลง แต่ไม่มีผลต่อการเกาะติดพื้นผิวและความหยุ่น

ของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุก (p>0.05) โดยที่ค่าการเกาะติดพื้นผิวหรือแรงที่ใช้ในการถอนหัววัดออกจากอาหารลดลง (Adhesiveness) และค่าความหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C) ที่ใช้ในการอบแห้ง	**ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุก**		
	ค่าความแน่นเนื้อ (g)	**ค่าการเกาะติดพื้นผิว^{ns} (g.sec)**	**ค่าความหยุ่น^{ns} (%)**
50	1,405.86 ± 80.10^{a}	195.53 ± 24.65	88.40 ± 1.21
60	1,210.39 ± 80.42^{b}	182.24 ± 25.67	88.59 ± 1.59
70	1,053.17 ± 83.02^{c}	180.51 ± 18.49	88.67 ± 0.97

หมายเหตุ: ^{a,b,c} ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)
^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) แต่ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ดังตารางที่ 4.10 โดยพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ได้ค่าคะแนนความชอบมากที่สุดทุกคุณลักษณะ เนื่องจากเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีการคืนรูปได้ดีที่สุด ให้เนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มและมีสีเขียวมากที่สุด การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 60 °C และ 50 °C ทำให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวนุ่มและให้สีเขียวลดลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและสีของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ โดยมีรายงานว่าการอบแห้งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมาที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หากใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งจะทำให้ใช้เวลานานและมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้การถ่ายเทความร้อนในระหว่างการอบแห้งเป็นไปอย่างสมดุล เนื้อสัมผัสไม่แห้งกระด้าง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย (วิจิตรา เหลียวตระกูล และคณะ, 2564) ดังนั้น เส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งอุณหภูมิ 70 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์มีเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ด้วยเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีลักษณะเหนียวนุ่ม มีความแน่นเนื้อและความหยุ่นดี อีกทั้งไม่เหนอะหนะติดฟัน จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีด้วยเครื่องวัดสี และด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส สำหรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความ

แตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากมีการใช้ส่วนผสมของสารสกัดใบเตยเท่ากันในการเตรียมเส้น และมีการนำเส้นลอดช่องสิงคโปร์ไปผ่านการอบแห้ง อีกทั้งการเตรียมตัวอย่างขนมลอดช่องสิงคโปร์เพื่อทดสอบชิมมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณที่เท่ากัน

ตารางที่ 4.10 คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	**คะแนนความชอบของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ**		
	50 °C	**60 °C**	**70 °C**
ลักษณะปรากฏ^{ns}	8.08 ± 0.84	8.08 ± 0.65	8.19 ± 0.71
สี	8.11 ± 0.75^{b}	8.19 ± 0.79^{ab}	8.44± 0.56^{a}
กลิ่น^{ns}	7.92 ± 0.91	7.89 ± 0.82	8.00 ± 0.89
กลิ่นรส^{ns}	7.83 ± 0.88	7.83 ± 0.77	7.86 ± 0.80
รสชาติ^{ns}	8.11 ± 0.89	8.14 ± 0.83	8.14 ± 0.76
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.92 ± 0.91^{b}	7.97 ± 0.84^{ab}	8.28± 0.66^{a}
ความชอบโดยรวม^{ns}	8.11 ± 0.89	8.11 ± 0.67	8.25 ± 0.73

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

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ทำเจลในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังในการทำเจลที่ระดับ 30% มีสีเขียวมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด ($p \leq 0.05$) และขนมลอดช่องสิงคโปร์ยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด ($p \leq 0.05$)

การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0.25% มีสีเขียวมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และขนมลอดช่องสิงคโปร์ยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด ($p \leq 0.05$)

การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}$C มีสีเขียวมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีการคืนรูปดีที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) ด้วยขนมลอดช่องสิงคโปร์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มเหนียวจึงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด ($p \leq 0.05$) และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต และน้ำปูนใสอิ่มตัวในการสกัดสีเขียวจากใบเตยแล้ว ควรศึกษากับสารที่มีความเป็นด่างตัวอื่น ๆ ที่สามารถใช้กับอาหารและรับประทานได้ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์

5.2.2 ควรศึกษาอาหาร/ขนมไทยที่ใช้สีเขียวจากคลอโรฟิลล์จากพืชชนิดอื่นที่สามารถใช้กับอาหารได้ โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นด่าง สำหรับใช้ในการประกอบอาหารให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มสีสันตามธรรมชาติให้กับอาหารและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

5.2.3 ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาเส้นลอดช่องสิงคโปร์กึ่งสำเร็จรูป เพื่อระบุวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์บนฉลากอาหาร โดยยังคงมีลักษณะคุณภาพด้านรสชาติ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับ และปลอดภัยสำหรับการบริโภค

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ บุญจันทึก และ ศิริรัตน์ บุตรดีวงษ์. (2553). *การใช้น้ำใบย่านางในลอดช่องสิงค์โปร์*. [โครงงานพิเศษปริญญาตรีไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. องค์การทหารผ่านศึก.

ขวัญชนก ศรัทธาสุข. (2557). คลอโรฟิลล์กับสุขภาพ. http://biology.ipst.ac.th/?p=963

ณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรหม, ณัฏฐ์ กาศยปนันทน์ และ วสันต์ พลาศัย. (2562). การศึกษาการเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งกุ้งด้วยการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและการอบแห้งแบบอากาศร้อน. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 11(1), 83-94.

ณัฐธญาณ์ ศรีสุวอ, มลิวรรณ์ กิจชัยเจริญ, ณัฐวลิณคล เศรษฐปราโมทย์ และ สุพัฒน์ ใต้เวชศาสตร์. (2559). ผลของสารเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของผงน้ำอ้อยในการผลิตแบบดั้งเดิม. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 8(1), 39-50.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2550). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. *วารสารเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยสยาม*, 3(1), 6-13.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร (Food Chemistry)*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

นิศานันท์ ตามกาล, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2558). คุณสมบัติทางกายภาพและสารหอมระเหยของใบเตยหอม (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) สกัดด้วยน้ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46(3), 145-148.

_____. (2559). การสกัดสารให้สีและสารหอมระเหยจากใบเตยด้วยการสกัดเชิงกล. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 47(2), 681-684.

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. (2546). ผลของอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือสังกะสีคลอไรด์ต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย. *อาหาร*, 33(4), 277-282.

พวงชมพู หงส์ชัย และ นันทวัฒน์ โลโสดา. (2561). ผลของการทดแทนแป้งกล้วยพรีเจลาติไนซ์ต่อคุณภาพบะหมี่. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 13(3), 114-122.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2564). Dehydration/ การทำแห้ง. https://qrgo.page.link/hn4NQ

_____. (2564). Retrogradation/ รีโทรเกรเดชัน. https://qrgo.page.link/KhcJZ

_____. (2564). Tapioca starch/ แป้งมันสำปะหลัง. https://qrgo.page.link/oB9A8

พืชเกษตร. (2559). เตย/ใบเตย สรรพคุณ และการปลูกเตย. https://qrgo.page.link/pJ2Vh

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2546). เส้นลอดช่องแห้ง. http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps138_46.pdf

ราชบัณฑิตยสถาน. (2556). *พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 7 รอบ 5 ธันวาคม 2554*. ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วรรณา ตุลยธัญ. (2549). *เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต*. บริษัท แอคทีฟ พริ้นท์ จำกัด.

วิจิตรา เหลียวตระกูล, วชิรญา เหลียวตระกูล และ วรรภา วงศ์แสงธรรม. (2564). ผลของปริมาณแป้งกระจับและการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพการต้านอนุมูลอิสระ และทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26(1), 341-357.

วิไล รังสาดทอง. (2557). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.* พิมพ์ครั้งที่ 6. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

ศิวัฒ ไทยอุดม และ สิรินาฏ เนติสิริ. (2555). *การปรับปรุงกลิ่นรสของไอศครีมที่มีโปรตีนและน้ำมันจากถั่วเหลืองด้วยสมุนไพรไทย* (รายงานการวิจัย). สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สมัคร แก้วสุกแสง. (2558). *การทำบริสุทธิ์เอนไซม์ Pheophytinase และ Chlorophyllase ที่มีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว* (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยทักษิณ.

สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, อารียา ไชยพล, และ อภิสิทธิ์ สุขประสาร. (2561). ผลของการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวผลิตจากแป้งข้าวกล้องหอมนิลนึ่งร่วมกับแป้งข้าวผสม. *วารสารแก่นเกษตร*, 46(1), 117-128.

อัญชลี สิริศักดิ์. (2552). *ทับทิมกรอบ ลอดช่องสิงคโปร์ และรวมมิตร*. บริษัท สำนักพิมพ์ เพชรกะรัต จำกัด.

อัมพร แซ่เอียว และคณะ. (2556). ผลิตภัณฑ์เส้นลอดช่องสิงคโปร์ผสมชาเขียว. https://ip.kku.ac.th/license/food/4303/

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.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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.

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.

Humphrey, A. M. (2004). hlorophyll as a Color and Functional Ingredient. *Journal of Food Science*, 69(5), C422-C425.

iEnergyGuru. (2558). การอบแห้ง (DRYING). https://ienergyguru.com/2015/09/drying/

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.

Jang, A., Kim, J. Y. and Lee, S. (2016). Rheological, thermal conductivity, and microscopic studies on porous-structured noodles for shortened cooking time. *Food Science and Technology*, 74(6), 1-6.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Jones, I. D., White, R. C., Gibbs, E., Butler, L. S. and Nelson, L. A. (1977). Experimental formation of zinc and copper complexes of chlorophyll derivatives in vegetable tissue by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(1), 149-153.

Kaewsuksaeng, S. (2011). Chlorophyll Degradation in Horticultural Crops. *Walailak Journal of Science and Technology*, 8(1), 9-19.

Kaletunc, G. and Breslauer, K. J. (2018). *Characterization of cereals and flours: properties, analysis, and applications*. 2nd ed. CRC Press Taylor & Francis Group.

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 Na_2CO_3 and NaOH on Pasting Properties of Selected Native Cereal Starches. *Journal of Food Science*, 69(4), 249-256.

Lau, M. H., Tang, J. and Swanson, B. G. (2000). Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments. *Journal of Food Engineering*, 45(4), 231-236.

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.

Mischnick, P. and Momcilovic, D. (2010). Chemical Structure Analysis of Starch and Cellulose Derivatives. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 64, 117-210.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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.

Pongpichaiudom, A. and Songsermpong, S. (2017). Characterization of frying, microwave-drying, infrared-drying, and hot-air drying on protein-enriched, instant noodle microstructure, and qualities. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(3), e13560.

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 ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งและต้มสุก

ภาคผนวก ข ขนมลอดช่องสิงคโปร์สำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

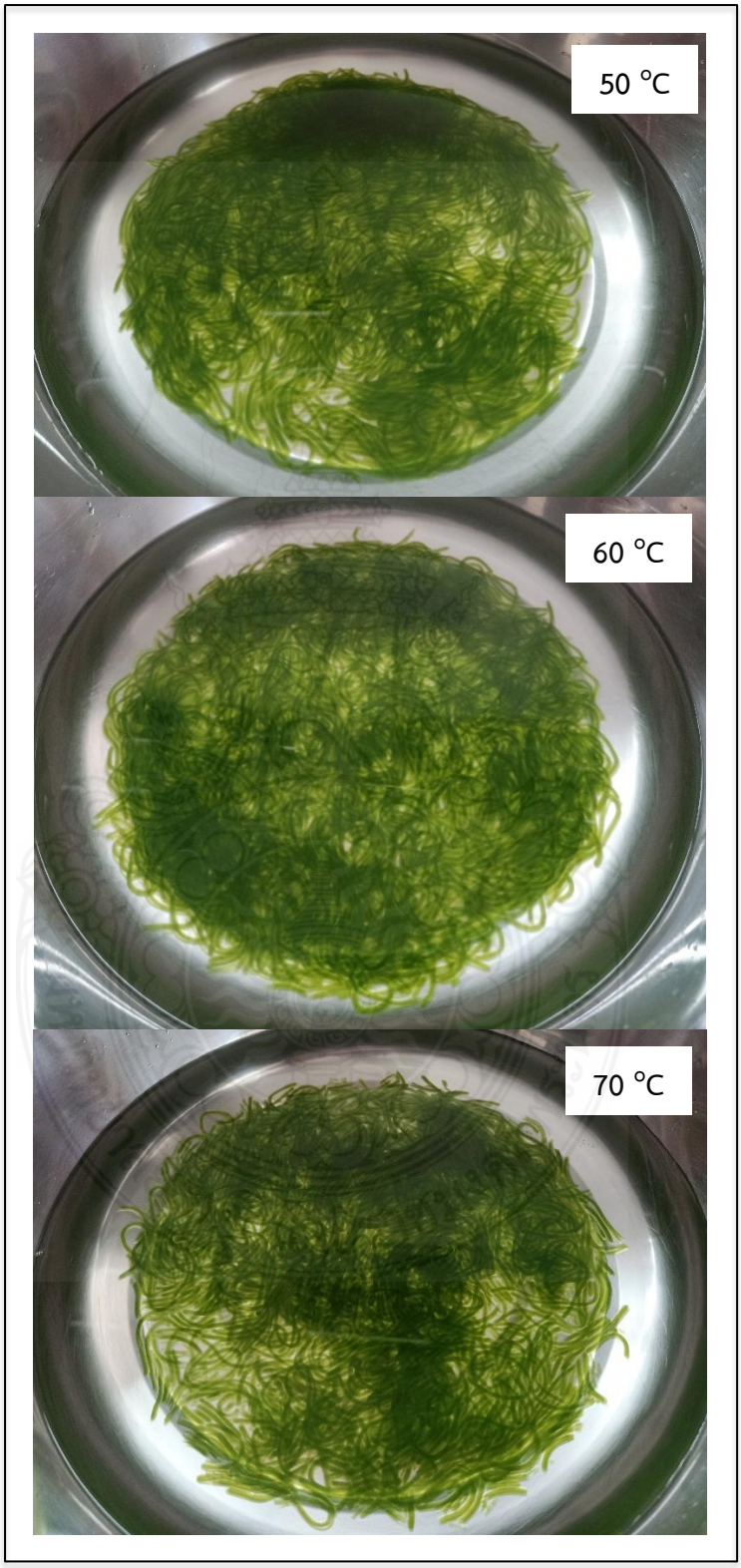
ภาคผนวก ง มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชน เส้นลอดชองแหง (มผช.138/2546)

ภาคผนวก ก

ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งและต้มสุก

ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้ง

ลักษณะเส้นลอดช่องสิงคโปร์อบแห้งต้มสุก



ภาคผนวก ข

ขนมลอดช่องสิงคโปร์สำหรับประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ขนมลอดช่องสิงคโปร์
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 ใส่น้ำเปล่าลงในหม้อ จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C บนเตาแม่เหล็กไฟฟ้า

1.2.2 เติมน้ำตาลทราย และใช้ไม้พายคนจนน้ำตาลละลายหมด จากนั้นคนเป็นระยะเป็นเวลา 30 นาที โดยไม่ต้องปิดฝาหม้อ ระวังอย่าให้น้ำเชื่อมกระเด็นออกจากหม้อ

1.2.3 ยกลงจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้า วางทิ้งไว้ให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาวัดความหวานด้วยเครื่อง Refractometer

1.2.4 น้ำเชื่อมที่ได้มีลักษณะข้นเล็กน้อย และมีความหวานเท่ากับ 63 °Bx

2. น้ำกะทิ

2.1 ส่วนผสม

2.1.1	กะทิแท้ 100% (ตราอร่อยดี)	500 มิลลิลิตร
2.1.2	เกลือป่น (ตราปรุงทิพย์)	6.6 กรัม

2.2 วิธีทำน้ำกะทิ

2.2.1 ใส่น้ำกะทิลงในหม้อ และเติมเกลือป่น ใช้ไม้พายคนให้เกลือละลายจนหมด

2.2.2 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C บนเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเวลา 2 นาที พร้อมกับคนไปด้วยตลอดเวลา

2.2.3 ยกลงจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้า วางทิ้งไว้ให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง

3. ขนมลอดช่องสิงคโปร์

3.1 ส่วนผสม

3.1.1	เส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุก	พอประมาณ
3.1.2	น้ำเชื่อม	2 ช้อนโต๊ะ
3.1.3	น้ำกะทิ	3 ช้อนโต๊ะ
3.1.4	น้ำแข็งป่น	2 ออนซ์
3.1.5	น้ำเปล่า	1 ช้อนโต๊ะ

3.2 วิธีการจัดเสิร์ฟขนมลอดช่องสิงคโปร์

3.2.1 ใส่น้ำเปล่าลงในถ้วยไอศกรีมพลาสติดขนาด 7 ออนซ์ ตามด้วยเส้นลอดช่องสิงคโปร์ต้มสุก ปิดฝาถ้วยให้สนิท

3.2.2 ใส่น้ำเชื่อมลงในถ้วยซอสพลาสติกขนาด 2 ออนซ์ ปิดฝาถ้วยให้สนิท

3.2.3 ใส้น้ำกะทิลงในถ้วยซอสพลาสติกขนาด 2 ออนซ์ ปิดฝาถ้วยให้สนิท

3.2.4 ใส่น้ำแข็งป่นลงในพลาสติกขนาด 4 ออนซ์ ปิดฝาถ้วยให้สนิท

3.2.5 วางส่วนผสมของขนมลอดช่องสิงคโปร์ทั้งหมดตั้งแต่ข้อ 3.2.1 – 3.2.4 ลงบนภาชนะสำหรับเสิร์ฟ จากนั้นจัดวางชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบชิม ได้แก่ ช้อนและส้อมพลาสติก น้ำดื่ม กระดาษทิชชู่ และแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพร้อมปากกา ดังรูป

3.2.6 ผู้ทดสอบชิมนำส่วนผสมของน้ำเชื่อม น้ำกะทิ เทใส่ถ้วยที่บรรจุเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ใช้ช้อนคนให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน จากนั้นเติมน้ำแข็งป่นและใช้ช้อนคนส่วนผสมอีกครั้ง

ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชุดที่.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ ขนมลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย

วันที่ทดสอบ .....

คำแนะนำ

กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เสนอตามลำดับของรหัสในตารางจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนตามความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดคะแนนความชอบ 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

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	**คะแนนความชอบของตัวอย่าง**		
	รหัส.....	**รหัส.....**	**รหัส.....**
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่น (ดมก่อนชิม)			
กลิ่นรส (ขณะชิม)			
รสชาติ			
ลักษณะเนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

ผู้วิจัย

ชุดที่.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ ขนมลอดช่องสิงคโปร์

วันที่ทดสอบ .....

คำแนะนำ

กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างที่เสนอตามลำดับของรหัสในตารางจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนตามความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดคะแนนความชอบ 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

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	**คะแนนความชอบของตัวอย่าง**			
	รหัส.....	**รหัส.....**	**รหัส.....**	**รหัส.....**
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น (ดมก่อนชิม)				
กลิ่นรส (ขณะชิม)				
รสชาติ				
ลักษณะเนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

ผู้วิจัย

ภาคผนวก ง

มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชน เส้นลอดชองแหง (มผช.138/2546)

มผช.๑๓๘/๒๕๔๖

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
เส้นลอดช่องแห้ง

๑. ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมลอดช่องที่มีลักษณะเป็นเส้นแห้ง

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

๒.๑ เส้นลอดช่องแห้งหรือที่เรียกทั่วไปว่า “เส้นลอดช่องสิงคโปร์” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง อาจผสมกับแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งท้าวยายม่อม โดยผสมแป้งกับน้ำร้อนแล้วนวดให้เข้ากัน รีดเป็นแผ่นบาง ตัดเป็นเส้น นำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดด หรืออบแห้ง หรือวิธีอื่น

๓. คุณลักษณะที่ต้องการ

๓.๑ ลักษณะทั่วไป

ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน แห้งสนิท เมื่อนำมาต้มในน้ำเดือดจนเป็นเส้นใสแล้วแช่ในน้ำทันที เส้นต้องไม่เกาะติดกัน และไม่เละเป็นแป้งเปียก

๓.๒ สี

ควรใช้สีธรรมชาติ ถ้ามีการแต่งสีให้ใช้สีผสมอาหาร โดยสีต้องใกล้เคียงกับเมื่อใช้สีธรรมชาติ

๓.๓ กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ ๘.๑ แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคนไม่น้อยกว่า ๓ คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ ๑ คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

๓.๔ สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ชิ้นส่วน หรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ เช่น แมลง นก หนู

๓.๕ ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ ๑๒ โดยน้ำหนัก

๓.๖ จุลินทรีย์

๓.๖.๑ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน ๑×๑๐^{๓} โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๖.๒ รา ต้องน้อยกว่า ๑๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๔. สุขลักษณะ

๔.๑ สุขลักษณะในการทำเส้นลอดช่องแห้ง ให้เป็นไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก ก.

๕. การบรรจุ

๕.๑ ให้บรรจุเส้นลอดช่องแห้งในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

๕.๒ น้ำหนักสุทธิของเส้นลอดช่องแห้งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

๖. เครื่องหมายและฉลาก

๖.๑ ที่ภาชนะบรรจุเส้นลอดช่องแห้งทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นลอดช่องสิงคโปร์

(๒) น้ำหนักสุทธิ

(๓) เดือน ปีที่ทำ และเดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า “ควรบริโภคก่อน (เดือนปี)”

(๔) วิธีทำเพื่อรับประทาน

(๕) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

๗. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๗.๑ รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เส้นลอดช่องแห้งที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ที่ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ในระยะเวลาเดียวกัน

๗.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๗.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๔ ข้อ ๕. และข้อ ๖. จึงจะถือว่าเส้นลอดช่องแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ ๗.๒.๑ แล้ว จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๑ ถึงข้อ ๓.๓ จึงจะถือว่าเส้นลอดช่องแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความชื้นและจุลินทรีย์ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน ๕ หน่วยภาชนะบรรจุ นำมาทำเป็นตัวอย่างรวม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๕ และข้อ ๓.๖ จึงจะถือว่าเส้นลอดช่องแห้งนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๓ เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเส้นลอดช่องแห้งต้องเป็นไปตามข้อ ๗.๒.๑ ข้อ ๗.๒.๒ และข้อ ๗.๒.๓ ทุกข้อ จึงจะถือว่าเส้นลอดช่องแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๘. การทดสอบ

๘.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส

๘.๑.๑ ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบเส้นลอดช่องแห้งอย่างน้อย ๕ คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

๘.๑.๒ การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างเส้นลอดช่องแห้งมาตรวจสอบโดยพิจารณาจากเส้นลอดช่องแห้งและเส้นลอดช่องแห้งที่ต้มในน้ำเดือด จนเส้นใส แล้วตักใส่น้ำ ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจและชิม

๘.๑.๓ หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ หลักเกณฑ์การให้คะแนน

(ข้อ ๘.๑.๓)

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะทั่วไป	ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน แห้งสนิท เมื่อนำมาต้มในน้ำเดือดจนเป็นเส้นใสแล้วแช่ในน้ำทันที เส้นต้องไม่เกาะติดกันและไม่เละเป็นแป้งเปียก	๔	๓	๒	๑
สี	ควรใช้สีธรรมชาติ ถ้ามีการแต่งสีให้ใช้สีผสมอาหาร โดยสีต้องใกล้เคียงกับเมื่อใช้สีธรรมชาติ	๔	๓	๒	๑
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์	๔	๓	๒	๑

๘.๒ การทดสอบสิ่งแปลกปลอม ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก
ให้ตรวจพินิจ

๘.๓ การทดสอบหาความชื้น
ให้ใช้วิธีทดสอบตามวิธี AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๘.๔ การทดสอบจุลินทรีย์
ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๘.๕ การทดสอบน้ำหนักสุทธิ
ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

ภาคผนวก ก.

สุขลักษณะ

(ข้อ ๔.๑)

ก.๑ สถานที่ตั้งและอาคารที่ทำ

ก.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย โดย

ก.๑.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ สะอาด ไม่มีน้ำขังแฉะและสกปรก

ก.๑.๑.๒ อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เขม่า ควัน มากผิดปกติ

ก.๑.๑.๓ ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์ แหล่งเก็บหรือกำจัดขยะ

ก.๑.๒ อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

ก.๑.๒.๑ พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

ก.๑.๒.๒ แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขา ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำอยู่ในบริเวณที่ทำ

ก.๑.๒.๓ พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

ก.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

ก.๒.๑ ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการทำที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

ก.๒.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและทั่วถึง

ก.๓ การควบคุมกระบวนการทำ

ก.๓.๑ วัตถุดิบและส่วนผสมในการทำ สะอาด มีคุณภาพดี มีการล้างหรือทำความสะอาดก่อนนำไปใช้

ก.๓.๒ การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

ก.๔ การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

ก.๔.๑ น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาดและมีปริมาณเพียงพอ

ก.๔.๒ มีวิธีการป้องกันและกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลงและฝุ่นผง ไม่ให้เข้าในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

ก.๔.๓ มีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

ก.๔.๔ สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

ก.๕ บุคลากรและสุขลักษณะของผู้ทำ

ผู้ทำทุกคน ต้องรักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดี เช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ ไม่ไว้เล็บยาว ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน หลังการใช้ห้องสุขา และเมื่อมือสกปรก

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรรษนีย์ เต็มเปี่ยม
วัน เดือน ปีเกิด 31 สิงหาคม 2518
ที่อยู่ปัจจุบัน ที่อยู่ที่ทำงาน คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
คหกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2566
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอินทรีย์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2545
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2542

ประวัติการทำงาน

เริ่มทำงานตั้งแต่วันที่ 27 ตุลาคม 2546 ตำแหน่งอาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)

ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาออกแบบแฟชั่นและการจัดการสินค้า คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหัวหน้างานบริหารงานบุคคล ฝ่ายบริหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร