

การเปรียบเทียบความคงตัวของสีเขียวและคุณภาพของลอดช่องสิงคโปร์
ที่ทำจากใบเตย (*Pandan amaryllifolius* Roxb.)
โดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใส
Comparison of Green Color Stability and Qualities of
Singapore Cendol (Lod Chong Singapore) Made from
Pandan Leaves (*Pandan amaryllifolius* Roxb.) Using
Sodium Bicarbonate Solution and Lime Water

สรณีย์ เต็มเปี่ยม¹ วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงศ์¹ ศันสนีย์ ทิมทอง²
และศุภักษร มาแสวง^{1*}

Sansanee Tempiam¹, Woralak Panyathitipong¹, Sansanee Thimthong²
and Supuksorn Masavang^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใส
อิมัตวในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยที่มีต่อค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาท
สัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตยที่มีสีเขียวกคงตัวและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดย
สกัดสารสีเขียวจากใบเตยด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 0.00
0.25 0.50 0.75 และ 1.00) และน้ำปูนใสอิมัตว จากนั้นนำน้ำสกัดที่ได้มาใช้ในการผลิตเส้นลอดช่อง
สิงคโปร์ใบเตย ผลการทดลองพบว่าสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ทำให้
ลอดช่องสิงคโปร์มีสีเขียว ($-a^*$) สูงและคงตัวที่สุด อีกทั้งมีแรงดึง (tensile strength) และค่าความ
ยืดหยุ่น (elasticity) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้ปูนใส
อิมัตวมากกว่าตัวอย่างสูตรอื่น ($p \leq 0.05$) การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสพบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์
ใบเตยที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ได้รับการยอมรับสูงสุดในด้าน
ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังนั้นการใช้สารละลาย
โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 จึงมีความเหมาะสมในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตย
เพื่อผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตยที่มีสีเขียวกคงตัวและปรับปรุงให้มีคุณภาพทางกายภาพที่ดี

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² สาขาวิชาอุตสาหกรรมบริการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* Corresponding author e-mail: supuksorn.m@mutp.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2025.v44i2.263713>

Received: 16 June 2024, Revised: 21 November 2024, Accepted: 25 November 2024

คำสำคัญ: ลอดช่องสิงคโปร์ สารสกัดจากใบเตย โซเดียมไบคาร์บอเนต น้ำปูนใสอิมิตัว สารสีเขียว

Abstract

This research investigates the effects of sodium bicarbonate solution and saturated limewater on extracting green pigment from pandan leaves, focusing on color values, texture characteristics, and sensory evaluation of pandan-flavored Singapore cendol (Lod Chong Singapore) to achieve a stable green color and consumer-acceptable quality. The green pigment was extracted from pandan leaves using sodium bicarbonate solution at various concentrations (0.00, 0.25, 0.50, 0.75, and 1.00%) and saturated limewater. The resulting extract was then used in the production of pandan-flavored Singapore cendol noodles. It was found that a 0.25% sodium bicarbonate solution produced Singapore cendol with the highest greenness ($-a^*$), the most stable green color, and superior tensile strength and elasticity compared to other concentrations ($p \leq 0.05$). Additionally, this formulation was more similar in quality to samples made with saturated limewater than to those made with other concentrations. Sensory analysis indicated that the pandan-flavored Singapore cendol noodles made with 0.25% sodium bicarbonate solution received the highest acceptance in terms of appearance, color, aroma, taste, texture and overall preference. Therefore, using a 0.25% sodium bicarbonate solution is suitable for extracting green pigment from pandan leaves to produce pandan-flavored Singapore cendol noodles with a stable green color and enhanced physical quality.

Keywords: Lod Chong Singapore, Pandan leaf extract, Sodium bicarbonate, Saturated limewater, Green pigment

บทนำ

ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตยเป็นขนมไทยที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำใบเตยในการผลิตและขึ้นรูปตัดเป็นเส้น เมื่อต้องการบริโภคจึงนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด รับประทานกับกะทิสด น้ำเชื่อมและน้ำแข็งปน (สรราชนีย์ และคณะ, 2566) ซึ่งใบเตย (*Pandan amaryllifolius* Roxb.) มีกลิ่นที่มีความเป็นเอกลักษณ์และปลูกอย่างแพร่หลายในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงในประเทศไทย มักใช้เพื่อให้สีและกลิ่นในอาหาร ขนม และเครื่องดื่มสมุนไพร (Rattanapitigorn *et al.*, 2016) นอกจากคุณค่าทางอาหารแล้ว ใบเตยยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอมและยังเป็นยาขับปัสสาวะ บำรุงหัวใจ และป้องกันโรคเบาหวาน (Wakte *et al.*, 2010) สีของอาหารมีความสำคัญต่อการผลิตสีผสมอาหารที่มุ่งเพิ่มความน่าดึงดูดใจให้กับผู้บริโภค สามารถผลิตได้จากพืช สัตว์ และสารเคมีสังเคราะห์ โดยทั่วไปสีผสมอาหารจากธรรมชาติมีจุดอ่อน คือ สีไม่สม่ำเสมอ มีความคงตัวน้อย และราคาค่อนข้างแพง

ในขณะที่สีผสมอาหารสังเคราะห์มีข้อดี คือ มีความเป็นเนื้อเดียวกันและคงตัวมากกว่า ในการใช้ ในอาหาร สีผสมอาหารสังเคราะห์อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้หากบริโภคในปริมาณที่ มากเกินไป (Arshimny and Syamsu, 2020) โดยทั่วไปการทำขนมไทยที่มีการเติมสีจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะไม่มีความเสี่ยง โดยเฉพาะสีเขียวจากใบเตย ซึ่งใบเตยมีรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปอาหารสีเขียวของใบเตยเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่คงตัว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เมื่อได้รับความร้อน (Ngo and Zhao, 2007; Zheng *et al.*, 2014; Dewi *et al.*, 2022) หรือการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีความ เป็นกรด (Indrasti *et al.*, 2018) สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมน้ำตาลของฟิโอฟิติน (pheophytins) ซึ่งเป็นผลมาจากแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในวงแหวนพอร์ไฟริน (porphyrins) เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟิโอฟอไรด์ (pheophorbide) และ ยังอาจเปลี่ยนเป็นสีเขียวสดของคลอโรฟิลล์ไลด์ (chlorophyllide) โดยอาศัยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ที่เกิดการสูญเสียหมู่ฟิโอฟอไรด์ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ (Gunawan and Barringer, 2000; Koca *et al.*, 2006; Senklang and Anprung, 2010) โดยพบว่าสามารถรักษา คลอโรฟิลล์ในระหว่างการแปรรูปได้ เช่น การใช้อุณหภูมิที่สูงเวลาสั้น (high temperature short time: HTST) (Tijksens *et al.*, 2001) การแทนที่แมกนีเซียมไอออนในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ด้วย ไอออนสังกะสีที่มีประจุบวกสอง (Zn^{2+}) (Minh *et al.*, 2019) และการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยสารเพิ่มความเป็นด่าง (alkalizing agent) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไบคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการแปรรูปสูงขึ้น และทำให้คลอโรฟิลล์คงตัวไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (Koca *et al.*, 2006; Minh *et al.*, 2019; Gandul-Rojas and Gallardo-Guerrero, 2014)

ขนมไทยที่เติมน้ำสกัดใบเตยเพื่อให้กลิ่นหอมและสีเขียวมักใช้น้ำปูนใสเพื่อเพิ่มความคงตัว ของสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ เช่น การผลิตลอดช่องสิงคโปร์ที่รายงานโดยสรรพชัย และคณะ (2566) แต่ อาหารที่มีแป้งเป็นส่วนผสมหลักหากมีการใช้น้ำปูนใสในขั้นตอนผลิตอาจส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้งได้ ซึ่ง Pedcharat *et al.* (2021) ได้รายงานผลของการแช่แป้งข้าวในน้ำปูนใสทำให้เกิดการสูญเสียการ หักเหแสงแบบคู่ (birefringence) ของเม็ดแป้งบางส่วน แป้งมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดลดลง เมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ได้แช่น้ำปูนใส ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 11-12 โดยน้ำปูนใส การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นเกลือที่แตกตัวเป็นโซเดียมและไบคาร์บอเนตในน้ำ ทำให้เกิดสารละลายด่าง (solution alkaline) (de Oliveira, 2020) ที่มีช่วงความเป็นด่างที่ต่ำกว่า และมีคุณสมบัติอาจช่วยปรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้จากการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ระหว่างการ แปรรูปอาหาร และเนื่องจากคลอโรฟิลล์มีความคงตัวในสภาวะต่าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการ เปรียบเทียบผลของการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบกกิ้งโซดาและน้ำปูนใสอิมัลชันในการ ผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีสีเขียวจากใบเตยต่อคุณภาพด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบ ทางประสาทสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ โดยมุ่งหวังให้ผลิตภัณฑ์เส้นลอดช่องสิงคโปร์มีสีเขียวของ สารสกัดใบเตยที่คงตัวเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบและสารเคมี

สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate: NaHCO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 (น้ำหนักโดยปริมาตร) ถูกเตรียมโดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบกกิ้งโซดา ยี่ห้อ แม็กกาเรต (McGarrett) 0.00 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 200 มิลลิลิตร น้ำปูนใสอิมัตว เตรียมโดยละลายปูนแดง 10.00 กรัม ในน้ำสะอาด 200 มิลลิลิตร คนให้เข้าและตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ปูนที่ไม่ละลายตกตะกอน แยกเฉพาะน้ำปูนส่วนใสมาใช้ในการทดลองต่อไป ใบเตยสดที่ใช้ในการวิจัยเป็นใบที่ 13 นับจากยอดเป็นต้นไป ซึ่งเป็นใบแก่และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) สูงอยู่ในช่วง 424.18-444.12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Suryani *et al.*, 2020)

2. การสกัดสารสีเขียวจากใบเตย

นำใบเตยสดที่ล้างน้ำให้สะอาดและซับน้ำให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นตัดทางขวางของใบเตยยาวประมาณ 1 เซนติเมตร นำไปปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ที่ใช้น้ำสะอาดเป็นตัวทำละลายความเข้มข้นร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 (น้ำหนักโดยปริมาตร) และน้ำปูนใสอิมัตวเป็นตัวทำละลาย ด้วยอัตราส่วนใบเตยต่อสารสกัดใบเตยเท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก ปั่นผสมกันด้วยเครื่องปั่นผสม กำลัง 250 วัตต์ ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองกากใบเตยออกไปด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และเก็บสารสกัดจากใบเตยในขวดที่บดแสงในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส (สรราชนีย์ และคณะ, 2566) สำหรับใช้ผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์

3. การเตรียมเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย

การศึกษาผลของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใสที่ใช้สกัดสารสีเขียวจากใบเตยที่มีผลต่อคุณภาพของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย โดยการเตรียมตัวอย่างลอดช่องสิงคโปร์ 6 สูตร ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของสรราชนีย์ และคณะ (2566) โดยทำการผสมแป้งมันสำปะหลัง 30 กรัม และน้ำสกัดจากใบเตย 100 มิลลิลิตร กวนให้แป้งสุกเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเตาไฟฟ้า (ยี่ห้อ Imarflex รุ่น IF-462) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมานวดผสมกับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ขณะร้อนให้แป้งโดมีเนื้อเนียนเป็นเวลา 5 นาที นำแป้งโดที่ได้มารีดเป็นแผ่นหนา 4 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องทำเส้นบะหมี่ แล้วตัดให้เป็นขนาด $0.5 \times 18.0 \times 0.4$ เซนติเมตร เส้นลอดช่องสิงคโปร์ใบเตยถูกนำไปต้มในน้ำเดือดด้วยอัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 นาที และแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาให้ทำการสะเด็ดน้ำบนตะแกรงสแตนเลสเป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปตรวจสอบคุณภาพ

4. การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำใบเตยและเส้นลอดช่องสิงคโปร์

4.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดจากใบเตย

น้ำสกัดจากใบเตยที่สกัดด้วยสารละลายต่าง ๆ ถูกนำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่อุณหภูมิห้อง โดยนำสารสกัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter (METTLER TOLEDO รุ่น F20)

4.2 การวัดค่าสีของหลอดช่องสิงคโปร์

การวัดตรวจสอบค่าสี (color values) ของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ที่สุกแล้วด้วยเครื่องวัดสี (Konica Minota รุ่น CR-400) รายงานผลค่าสีด้วยระบบ CIE บันทึกค่า ความสว่าง (L^*) ค่าดัชนีสีแดง (a^*) และ ค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) โดยค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (มืด) ถึง 100 (สว่าง) ค่าดัชนีสีแดงมีค่าบ่งบอกถึงความเป็นสีแดง หากค่าติดลบบ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว และค่าดัชนีสีเหลืองมีค่าบ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง หากค่าลบบ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดสีที่ตำแหน่งบนผิวของตัวอย่างหลอดช่องสิงคโปร์ ทำการรายงานผลค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าสีจำนวน 10 ซ้ำ

4.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของหลอดช่องสิงคโปร์

วัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และความยืดหยุ่น (elasticity) ของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ขนาด 0.5x18.0x0.4 เซนติเมตร ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA-XT2i, stable micro systems) ที่ติดตั้งหัววัดแรงดึง (tension) รหัส A/SPR ตั้งโปรแกรมในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเร็วของหัววัดก่อนการทดสอบ (pre-test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ (test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างแขนทั้งสองข้าง (distance) 100 มิลลิเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Charutigon *et al.*, 2008) ทำการรายงานผลค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเส้นหลอดช่องสิงคโปร์จำนวน 30 ซ้ำ

4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ใช้ผู้ทำการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสหรือผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากรของคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จำนวน 50 คน นำเสนอตัวอย่างเส้นหลอดช่องสิงคโปร์โดยการนำเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ ปริมาณ 30 กรัม ผสมกับน้ำเชื่อม 20 มิลลิตร และน้ำกะทิ 15 มิลลิตร ใส่ถ้วยพลาสติกติดป้ายรหัสแบบสุ่มด้วยเลข 3 หลัก และต้องกลืนปากด้วยน้ำอุ่นเพื่อกำจัดรสชาติของตัวอย่างก่อนหน้า นำเสนอทีละตัวอย่างตามลำดับ

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัส และวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized completely block design: RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์คุณภาพเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. ผลค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดใบเตย และค่าสีของเส้นลวดช่องสิงคโปร์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยสำหรับผลิตเส้นลวดช่องสิงคโปร์

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดใบเตย พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตในช่วงร้อยละ 0.00-1.00 ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5.45-8.64 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสารละลายน้ำปูนใสอิมิตัวที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11.73 ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเส้นลวดช่องสิงคโปร์ด้วยเครื่องวัดสีเพื่อแยกความต่างของสีผลิตภัณฑ์ให้ชัดเจนขึ้น พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันและน้ำปูนใสอิมิตัวในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยมีผลต่อค่าสี L^* a^* และ b^* ของเส้นลวดช่องสิงคโปร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 มีค่าสีเขียว ($-a^*$) มากที่สุด และลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีสีเขียวมากกว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำปูนใสอิมิตัว และตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำใบเตยและค่าสี (color values) ของเส้นลวดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำใบเตยสกัดด้วยสารละลายแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสารสกัดใบเตย	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำใบเตย	ค่าสีของเส้นลวดช่องสิงคโปร์		
		L^*	a^*	b^*
โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.00 (น้ำเปล่า)	5.45 ± 0.01^f	53.62 ± 0.38^a	-13.74 ± 0.70^e	46.61 ± 0.55^d
โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.25	8.18 ± 0.01^e	47.08 ± 0.90^c	-23.95 ± 0.70^a	48.97 ± 0.87^a
โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.50	8.42 ± 0.01^d	46.79 ± 0.84^c	-22.85 ± 0.61^b	48.19 ± 0.70^b
โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.75	8.55 ± 0.01^c	46.68 ± 0.98^c	-22.79 ± 0.36^b	47.30 ± 0.97^c
โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 1.00	8.64 ± 0.01^b	46.02 ± 0.83^d	-22.39 ± 0.55^c	47.02 ± 0.82^{cd}
น้ำปูนใสอิมิตัว	11.73 ± 0.01^a	51.02 ± 0.54^b	-18.28 ± 0.36^d	41.28 ± 0.57^e

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลักษณะปรากฏของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ที่ผลิตด้วยน้ำสกัดใบเตยที่ใช้ด้วยน้ำเปล่าหรือสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.00 มีสีเขียวอ่อนที่สุด และที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีสีเขียวสดมากที่สุด และมีสีเขียวของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่ให้สีเขียวสดมากกว่าเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสเป็นตัวในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตย



ภาพที่ 1 ลักษณะของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำใบเตยสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ร้อยละ 0.00 (ก) 0.25 (ข) 0.50 (ค) 0.75 (ง) 1.00 (จ) และน้ำปูนใส (ฉ)

2. ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์

ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำปูนใสมีผลต่อค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.00 มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด และเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 จากนั้นค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้น้ำปูนใสเป็นตัวส่งผลให้มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นหลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำใบเตยสกัดด้วยสารละลายแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสารละลาย	ลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ค่าแรงดึง (กรัม)	ค่าความยืดหยุ่น (มิลลิเมตร)
โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.00 (น้ำเปล่า)	12.83±0.75 ^c	38.57±5.82 ^c
โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.25	13.49±0.91 ^b	43.06±4.74 ^b
โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.50	13.17±0.91 ^{bc}	42.80±6.55 ^b
โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.75	13.15±0.91 ^{bc}	42.12±5.16 ^b
โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 1.00	13.07±0.86 ^{bc}	41.92±4.95 ^b
น้ำปูนใส	17.77±1.11 ^a	62.33±8.12 ^a

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)
 - ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ (ตารางที่ 3) พบว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำใบเตยสกัดด้วยสารละลายที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสหลายด้าน โดยเฉพาะในลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้น้ำใบเตยสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในทุกคุณลักษณะที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้ความเข้มข้นที่สูงขึ้นหรือการใช้น้ำปูนใสอิมตัว แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นต่ำของสารละลายช่วยรักษาลักษณะภายนอก ความสดใสของสี และความเป็นธรรมชาติของกลิ่นได้ดีกว่า ในขณะที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นส่งผลให้คะแนนคุณภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับกลิ่นรสและรสชาติ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทุกการทดลอง ซึ่งบ่งชี้ว่าสารละลายที่ใช้สกัดน้ำใบเตยไม่ได้ส่งผลกระทบต่อรสชาติหลักของเส้นลอดช่อง แต่ผลลัพธ์ด้านอื่น เช่น ลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัส อาจมีบทบาทสำคัญต่อการรับรู้และความพึงพอใจโดยรวมของผู้บริโภค โดยเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ตารางที่ 3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำใบเตยสกัดด้วยสารละลายในการเตรียมแป้งโดที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ความเข้มข้นของสารละลาย			
	สารละลาย	สารละลาย	สารละลาย	น้ำปูนใส อิมตัว
	โซเดียม ไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.25	โซเดียม ไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.50	โซเดียม ไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.75	
ลักษณะปรากฏ	8.25 $\pm$ 0.81 ^a	8.00 $\pm$ 0.99 ^{ab}	7.86 $\pm$ 1.13 ^b	7.92 $\pm$ 1.02 ^b
สี	8.19 $\pm$ 0.75 ^a	7.92 $\pm$ 1.02 ^{ab}	7.83 $\pm$ 0.97 ^b	7.81 $\pm$ 0.92 ^b
กลิ่น	7.89 $\pm$ 0.95 ^a	7.78 $\pm$ 0.93 ^{ab}	7.56 $\pm$ 1.00 ^b	7.61 $\pm$ 0.99 ^{ab}
กลิ่นรส	7.83 $\pm$ 0.91 ^{ns}	7.72 $\pm$ 0.97 ^{ns}	7.58 $\pm$ 0.94 ^{ns}	7.69 $\pm$ 1.04 ^{ns}
รสชาติ	7.86 $\pm$ 0.76 ^{ns}	7.78 $\pm$ 0.90 ^{ns}	7.61 $\pm$ 1.10 ^{ns}	7.72 $\pm$ 1.14 ^{ns}
เนื้อสัมผัส	8.11 $\pm$ 0.85 ^a	7.81 $\pm$ 1.06 ^{ab}	7.72 $\pm$ 1.11 ^b	7.69 $\pm$ 1.06 ^b
ความชอบโดยรวม	7.94 $\pm$ 0.92 ^a	7.69 $\pm$ 1.09 ^{ab}	7.53 $\pm$ 1.16 ^b	7.78 $\pm$ 1.05 ^{ab}

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดใบเตย และค่าสีของเส้นลวดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายต่าง ๆ ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยสำหรับผลิตเส้นลวดช่องสิงคโปร์

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสกัดใบเตย พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตที่ใช้สกัดน้ำใบเตย ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นแต่มีค่าต่ำกว่าสารละลายน้ำปูนใสอิมตัว (ตารางที่ 1) โซเดียมโบคาร์บอเนตเป็นเกลือของกรดอ่อนที่ประกอบด้วยอะตอมของโซเดียม ไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8.3 เมื่อมีความเข้มข้นสูงกว่า 0.01 โมลาร์ ทำให้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตมักถูกใช้เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ในงานด้านชีวเคมี (Aziz *et al.*, 2023) นอกจากนี้งานวิจัยของ Pedcharat *et al.* (2021) ได้รายงานค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำปูนใสอิมตัวที่ใช้ในการหมักแป้งข้าวเจ้ามีค่าเท่ากับ 12.38 ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตในการทดลองนี้

ลักษณะปรากฏของเส้นลวดช่องสิงคโปร์ในภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเส้นลวดช่องสิงคโปร์ที่ผลิตด้วยน้ำสกัดใบเตยที่ใช้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลทำให้สีเขียวของผลิตภัณฑ์ลดลง และยังทำให้เส้นลวดช่องสิงคโปร์มีสีเขียวสดมากกว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำเปล่าและน้ำปูนใสอิมตัวในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตย ซึ่งมีแนวโน้มในทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสีที่พบว่าเส้นลวดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีค่าสีเขียว ($-a^*$) มากที่สุด และลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของโซเดียมโบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีสีเขียวมากกว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัว และตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนต (ตารางที่ 1) การใช้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตร้อยละ 0.00 หรือน้ำเปล่า ในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตย สารสกัดสีเขียวที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.45 ซึ่งในสภาพความเป็นกรดสามารถทำให้ความคงตัวของคลอโรฟิลล์ลดลง จึงทำให้ได้สารละลายที่มีสีเขียว ($-a^*$) ต่ำที่สุดในขณะที่ลวดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตและน้ำปูนใสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า และมีค่าสีเขียว ($-a^*$) ตีลบมากกว่าทำให้ยังคงมีสีเขียวเข้ม ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของสีเขียวเนื่องจากการทำการเปลี่ยนรงควัตถุสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ของใบเตยให้เป็นเป็นสารประกอบฟิโอฟิติน (pheophytin) โดยการแทนที่แมกนีเซียมในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ของกรด ซึ่งมีสีเขียวอมน้ำตาล ซึ่งหากสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงจะมีการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออนมากตามไปด้วยส่งผลให้มีโอกาสเกิดแทนที่ได้มากขึ้น (Gunawan and Barringer, 2000) จึงเป็นผลทำให้เส้นลวดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.00 ในการสกัดสารสีเขียวจากใบเตยมีสีเขียวน้อยที่สุดดังปรากฏในภาพที่ 1 และมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด (ตารางที่ 1) ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Gunawan and Barringer (2000) ที่ศึกษาผลของการสลายตัวของสารสีเขียวในผักบล็อกโคลีลวกในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3-8

นอกจากนี้อัตราการสูญเสียสีเขียวและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของถั่วลันเตาลดลงเมื่อ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้ปลูกเพิ่มขึ้น ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.5-7.5 (Koca *et al.*, 2006) การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีระดับความเข้มข้นสูงชันและน้ำปุ๋นใส้อมตัวมีผล ทำให้สารสกัดจากใบเตยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงของความเป็นด่าง การสกัดสารสีเขียวจาก ใบเตยในสภาวะที่มีความเป็นด่างสามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของรงควัตถุที่ให้สีเขียวได้ จากการศึกษา ของ Kaewsuksaeng (2011) รายงานว่าในสภาวะที่เป็นด่างทำให้เอนไซม์คลอโรฟิลเลสสามารถเปลี่ยน คลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียวสด สามารถละลายน้ำได้มากขึ้น และมีความคงตัวมากกว่า คลอโรฟิลล์ แต่เอนไซม์คลอโรฟิลเลสมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมที่ 7.6-8.0 (Sytykiewicz *et al.*, 2013) จึงมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสลดลงเมื่อมีค่า ความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 8.0 จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียม ไบคาร์บอเนตมีผลทำให้เส้นลวดช่องสังเคราะห์มีสีเขียว ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง อาจเนื่องมาจาก ในการผลิตเส้นลวดช่องสังเคราะห์จากเจล มีการให้ความร้อนกับสารสกัดสีเขียวที่มีความเป็นด่างจาก โซเดียมไบคาร์บอเนต เกิดการสลายตัวของโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ โซเดียมคาร์บอเนต ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดจากใบเตยสูงกว่า 8.0 จึงมีผลทำให้ กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสลดลง

นอกจากนี้มีการรายงานถึงค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 13 สามารถทำลายโครงสร้าง ผลึกและบริเวณอสัณฐาน (amorphous region) และกระตุ้นการเกิดเจลาตินในเขชันของแป้งที่ อุณหภูมิห้องได้ อย่างไรก็ตามสารละลายต่างที่ความเข้มข้นต่ำ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 12.40 ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างผลึกแต่สามารถ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างอสัณฐานได้ (Karim *et al.*, 2008; Rafiq *et al.*, 2016) โดยมีผลต่อคุณสมบัติ การพองตัวและความหนืดของแป้ง จากการศึกษาของ Xu *et al.* (2024) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติของแป้งในสารละลายต่างที่ไม่รุนแรงในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.5-11.3 แสดง ให้เห็นว่าสภาวะต่างที่ไม่รุนแรงสามารถกระตุ้นการแตกตัวของหมู่ไฮดรอกซิลในบริเวณอสัณฐาน ซึ่ง ทำให้เม็ดแป้งขยายตัวและเพิ่มความยืดหยุ่นของโมเลกุลแป้งโดยการผลึกกันของประจุลบในสายโพลีเมอร์ ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเม็ดแป้งในเส้นลวดช่องสังเคราะห์ที่ใช้สารละลาย โซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าสารละลายอื่น (ตารางที่ 1) มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและพองตัวได้น้อย ส่งผลให้โมเลกุลน้ำและความร้อนแทรกตัว เข้ามาได้น้อย อาจทำให้สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่าสภาวะอื่น ด้วย เหตุนี้จึงมีค่าสีเขียว ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองมากที่สุด ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงขึ้นจาก การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจะส่งผลให้เส้นลวดช่องสังเคราะห์มีค่าสีเขียว และสีเหลืองที่ลดลง แต่ยังคงมีค่าสีเขียวและสีเหลืองมากกว่าการใช้น้ำปุ๋นใส้อมตัวในการสกัดสีเขียว จากใบเตย (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 11.73)

2. ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลวดช่องสังเคราะห์

การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ร้อยละ 0.25 ที่ใช้ในการ เตรียมน้ำใบเตยสำหรับการนวดแป้งโด ส่งผลให้เส้นลวดช่องสังเคราะห์มีค่าแรงดึงและความยืดหยุ่น สูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.50-1.00 มีผลทำให้ค่าแรงดึง

และค่าความยืดหยุ่นลดลง ในขณะที่เมื่อใช้น้ำปูนใสอิมตัวส่งผลให้มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นสูงสุด (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเป็นต่างของสารสกัดใบเตย เนื่องจากต่างทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นก่อนที่จะแตกออก (Pedcharat *et al.*, 2021; Lai *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Han *et al.* (2012) ได้รายงานเกี่ยวกับการพองตัวของแป้งบัควีท (buckwheat flour) โดยสังเกตจากค่าแรงดึงของเส้นบะหมี่ที่สุกแล้วที่มีการเติมความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน (ร้อยละ 0.00-1.00) พบว่าค่าแรงดึงเพิ่มจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.63 (แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.00) และมีค่าแรงดึงสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 12.31 (แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.40) หลังจากนั้นค่าแรงดึงจะลดลง ซึ่งค่าแรงดึงมีความสัมพันธ์กับความหนืดที่สามารถใช้ประเมินคุณสมบัติของเนื้อสัมผัสทางอ้อมได้ โดยค่าความหนืดที่มากขึ้น บ่งชี้ว่าเม็ดแป้งมีการบวมตัวก่อนที่จะแตกออกมากกว่าค่าที่มีความหนืดน้อยกว่า โดยไอออนของโลหะอัลคาไล/อัลคาไลเอิร์ธ (alkali/alkali earth metal ions) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของแป้งมีปฏิสัมพันธ์กันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผลึกมีแนวโน้มที่จะถูกทำลายโดยการแทนที่โปรตอนด้วยไอออนบวก ซึ่งช่วยเร่งการปล่อยอะมิโนสออกมาจากเม็ดแป้งและหมู่ไฮดรอกซิลจากสายพอลิเมอร์ของแป้ง อาจทำให้เกิดการแทนที่ของโปรตอนด้วยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และไอออนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่แตกตัว ($\text{Ca}(\text{OH})^+$) โดยเกิดพันธะระหว่างแคลเซียมไอออนกับแป้ง และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่แตกตัวกับแป้ง ซึ่งจะทำให้เม็ดแป้งขยายตัวและพองตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง (Lai *et al.*, 2004) จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดจากใบเตยด้วยน้ำเปล่ามีค่าความเป็นกรด (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.45) จึงทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.00 มีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุด สำหรับการใช้ปูนใสอิมตัวทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดจากใบเตยมีค่าความเป็นต่าง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 11.73) สูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25-1.00 (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.18-8.64) และแคลเซียมไอออนจากน้ำปูนใสมีความเป็นไอออนิกสูงกว่าโซเดียมไอออน (Na^+) จึงสามารถเกิดพันธะกับแป้งได้แข็งแรงกว่า ทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกมีความหนืดสูง ส่งผลให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัวมีค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตสกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น จากร้อยละ 0.25-1.00 ค่าแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นลดลงเล็กน้อย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเกี่ยวข้องกับการบวมตัวของเม็ดแป้งก่อนที่จะแตกออก (Lai *et al.*, 2004) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้งได้น้อยลง อาจส่งผลให้เม็ดแป้งดูน้ำได้ลดลงและพองตัวได้เล็กน้อยขณะที่ให้ความร้อนแก่แป้ง ระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันจึงถูกจำกัด ทำให้ความหนืดลดลงเพียงเล็กน้อย จนไม่สามารถสังเกตการเกิดเจลลิตินในเซชันได้ชัดเจนเมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างกัน และรวมถึงสารละลายอิมตัว (Ragheb *et al.*, 1995)

3. การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมลอดช่องสิงคโปร์ในการวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัวเป็นตัวอย่างควบคุม เนื่องจากเป็นสารละลายที่ใช้กันทั่วไปในการผลิตขนมไทยในปัจจุบัน ส่วนตัวอย่างลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.00 จากลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 1 จะเห็นว่าตัวอย่างมีสีเขียวซีดจางกว่าตัวอย่างอื่นและมีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างจากตัวอย่างที่ใช้น้ำปูนใสมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังนั้นตัวอย่างนี้จึงไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นในการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 สูงกว่าตัวอย่างอื่น ซึ่งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม และมีสีเขียวเข้มที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ร้อยละ 0.50 และ 0.75 มีผลทำให้แบ่งเกิดเจลมากขึ้น เนื้อสัมผัสของลอดช่องสิงคโปร์มีความเหนียวลดลง สำหรับเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัวจะมีสีเขียวอ่อนกว่าและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื่องจากความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารไอออนิกสูง (Lai et al., 2004) ซึ่งโซเดียมไอออนจากสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารประกอบไอออนิกของโลหะอัลคาไลที่มีความเป็นไอออนิกน้อยกว่าแคลเซียมไอออนจากน้ำปูนใสอิมตัวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นสารประกอบไอออนิกของโลหะอัลคาไลเอิร์ธ จึงทำให้เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัวมีความเหนียวและความแข็งแรงกว่าสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 และความเหนียวลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สำหรับด้านกลิ่นรสและรสชาติผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างขนมลอดช่องสิงคโปร์เพื่อทดสอบชิมมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณที่เท่ากัน ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกกลิ่นรสและรสชาติได้ โดยขนมลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ในการสกัดสีเขียวจากใบเตยได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุดในทุกด้าน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีด้วยเครื่องวัดสี และด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

สรุปผลการวิจัย

สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้สกัดสีเขียวจากใบเตยในการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส รวมถึงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ซึ่งเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเขียว ค่าแรงดึง และค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด เมื่อเทียบกับลอดช่องสิงคโปร์ที่ใช้สารสกัดสีเขียวจากใบเตยที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ อีกทั้งยังได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่า

ลดช่องว่างสีที่ใส่สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นสูงกว่าและน้ำปูนใสในการสกัดสีเขียวจากใบเตย แสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตมีศักยภาพในการนำมาใช้ในการเพิ่มความคงตัวของสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ที่สกัดจากใบเตยและปรับปรุงคุณภาพด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัสแทนการใช้น้ำปูนใสอมตัวได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์สถานที่ ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สรระนีย์ เต็มเปี่ยม วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงศ์ และศุภักษร มาแสวง. (2566). ผลของแป้งสุกในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดช่องว่างสีจากใบเตย. *PBRU Science Journal*, 20(1), 19-23.
- Arshimny, N.A. and Syamsu, K. (2020). Production and characteristic of natural coloring and flavoring preparations from pandan leaves (*Pandanus amaryllifolius*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (pp. 012014). Bogor: IOP Publishing.
- Aziz, A., Rubinoff, J., Kaur, M. and Cohen, J. (2023). The effect of the sodium bicarbonate buffer on the acidity of hydroponically grown kale. *Journal of Dawning Research*, 5, 3-20.
- Charutigon, C., Jitpupakdree, J., Namsree, P. and Rungsardthong, V. (2008). Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 642-651, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.04.009>.
- de Oliveira, A.F. (2020). Buffering function: A general approach for buffer behavior. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(3), 0387-0396, doi: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss3pp0387-0396>.
- 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.
- Gandul-Rojas, B. and Gallardo-Guerrero, L. (2014). Pigment changes during processing of green table olive specialties treated with alkali and without fermentation. *Food Research International*, 65(Part B), 224-230, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.007>.

- Gunawan, M.I. and Barringer, S.A. (2000). Green color degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24, 253-263, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2000.tb00417.x>.
- Han, L., Lu, Z., Hao, X., Cheng, Y. and Li, L. (2012). Impact of calcium hydroxide on the textural properties of buckwheat noodles. *Journal of Texture Studies*, 43(3), 1-8, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00331.x>.
- 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, doi: <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.3.04>.
- Kaewsuksaeng, S. (2011). Chlorophyll degradation in horticultural crops. *Walailak Journal of Science and Technology*, 8(1), 9-19.
- Karim, A.A., Nadiha, M.Z., Chen, F.K., Phuah, Y.P., Chui, Y.M., and Fazilah, A. (2008). Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 1044-1053, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.011>.
- 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, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.079>.
- Lai, L.N., Karim, A.A., Norziah, M.H. and Seow, C.C. (2004). Effects of Na₂CO₃ and NaOH on pasting properties of selected native cereal starches. *Journal of Food Science*, 69(4), 249-256, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb06324.x>.
- 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.
- 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, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00465.x>.
- Pedcharat, K., Jangchud, K. and Prinyawiwatkul, W. (2021). Physicochemical properties of rice flour as affected by alkaline soaking and washing treatments. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(5), 2539-2547, doi: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14892>.
- Rafiq, S.I., Singh, S., and Saxena, D.C. (2016). Effect of alkali-treatment on physicochemical, pasting, thermal, morphological and structural properties of Horse Chestnut (*Aesculus indica*) starch. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10, 676-684, doi: <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9351-y>.

- Ragheb, A.A., Abdel-Thalouth, I. and Tawfik, S. (1995). Gelatinization of starch in aqueous alkaline solutions. *Starch/Stärke*, 47(9), 338-345, doi: <https://doi.org/10.1002/star.19950470904>.
- Rattanapitigorn, P., Ogawa, M. and Rattanapanone, N. (2016). Effect of Methocel™, maltodextrin, sodium chloride, and pH on foaming properties and foam-mat drying of aqueous pandan (*Pandanus amaryllifolius*) leaves extract. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 15(3), 237-252.
- 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(1), 759-776, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00393.x>.
- Suryani, C.L.S., Wahyuningsih, T.D., Supriyadi, S. and Santoso, U. (2020). The potential of mature pandan leaves as a source of chlorophyll for natural food colorants. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 31(2), 127-137, doi: <https://doi.org/10.6066/jtip.2020.31.2.127>.
- Sytykiewicz, H., Sprawka, I., Czerniewicz, P., Sempruch, C., Leszczynski, B. and Sikora, M. (2013). Biochemical characterization of chlorophyllase from leaves of selected *Prunus* species-A comparative study. *Acta Biochimica Polonica*, 60(3), 457-465, doi: https://doi.org/10.18388/abp.2013_2007.
- Tijssens, L.M.M., Schijvens, E.P.H.M. and Biekman, E.S.A. (2001). Modelling the change in colour of broccoli and green beans during blanching. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(4), 303-313, doi: [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00045-5).
- Wakte, K.V., Thengane, R.J., Jawali, N. and Nadaf, A.B. (2010). Optimization of HS-SPME conditions for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline and study of other volatiles in *Pandanus amaryllifolius* Roxb. *Food chemistry*, 121(2), 595-600, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.056>.
- Xu, Z., Liu, X., Zhang, C., Ma, M., Sui, Z. and Corke, H. (2024). Effect of mild alkali treatment on the structure and physicochemical properties of normal and waxy rice starches. *Foods*, 13(15), 2-11, doi: <https://doi.org/10.3390/foods13152449>.
- 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, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.011>.