

## บทความวิจัย

# การลดปริมาณคอเลสเตอรอลและพลังงานในขนมทองหยิบ โดยใช้ไข่แดงเทียมและน้ำตาลพลังงานต่ำ

จุฬารักษ์ เลิศบรรจงศ์\* และ รัชวรรณ อภิลักษณ์ชิตกาล

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไข่แดงเทียมที่สามารถนำมาทดแทนไข่แดง และการใช้น้ำตาลพลังงานต่ำ เพื่อนำมาทดแทนน้ำเชื่อมปริมาณสูงสุดในการผลิตขนมทองหยิบเพื่อสุขภาพ ที่มีปริมาณไขมัน คอเลสเตอรอล และพลังงานลดลง ซึ่งสูตรไข่แดงเทียมที่ได้จากการศึกษาประกอบด้วย น้ำมันเมล็ดทานตะวัน แป้งข้าวเจ้า นมผง เลซิติน แป้งท้าวยาย่มอม แขนแทนกัม และสีผสมอาหาร ร้อยละ 10.0, 6.0, 5.0, 4.0, 1.64, 1.2 และ 0.004 ของน้ำหนักไข่ขาวสด ตามลำดับ นำมาทดแทนไข่แดงในสูตรผลิตขนมทองหยิบ (สูตรควบคุม) ได้สูงสุด ร้อยละ 75 และใช้น้ำตาลซอร์บิทอลซีรัป ทดแทนน้ำเชื่อมได้ร้อยละ 100 ผลิตภัณฑ์ขนมทองหยิบที่ได้มีค่าไขมันทั้งหมด (total fat) ไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (total saturated fatty acid) คอเลสเตอรอล (cholesterol) และพลังงาน (energy) ต่อหน่วยบริโภค (80 กรัม) น้อยกว่าสูตรควบคุมร้อยละ 50.32, 63.84, 69.73 และ 36.09 ตามลำดับ สามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการได้ว่า 1) ลดพลังงานลง 2) ไขมัน และไขมันอิ่มตัวลดลง และ 3) คอเลสเตอรอลลดลง

คำสำคัญ: ขนมทองหยิบ ไข่แดงเทียม น้ำตาลพลังงานต่ำ

# Reduction of Cholesterol Content and Energy in Thong-Yip Dessert by Using Simulated Egg-Yolk and Low-Energy Sugar

Chulaporn Lertborwornwong\* and Rasawan Apilakkittakan

---

## ABSTRACT

The objective of this research was to apply formulated artificial yolk and sugar alcohol as alternative ingredients in the production of reduced fat, reduced cholesterol, and reduced energy Thong-yip. Simulated egg-yolk formulation obtained was: sunflower oil, rice flour, milk powder, lecithin, arrowroot flour, xanthan gum, and food colour (10.0, 6.0, 5.0, 4.0, 1.64, 1.2 and 0.004% of egg white respectively). It could be substituted to egg-yolk at 75% and sorbitol syrup could be substituted to sugar syrup at 100%. Thong-yip sample provided reduction of total fat, total saturated fatty acids, cholesterol, and energy (at one serving size, 80 g) of 50.32, 63.84, 69.73, and 36.09% respectively comparing to control sample. This product can be claimed as: 1) reduced energy; 2) reduced total fat and total saturated fatty acids; and 3) reduced cholesterol.

**Keywords:** Thong-Yip, Simulated Egg-York, Low-Energy Sugar

## บทนำ

ปัจจุบันคนไทยเจ็บป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเพิ่มมากขึ้น โดยองค์การอนามัยโลกได้สำรวจการเกิดโรคในประเทศไทยปี พ.ศ. 2548 พบว่าโรคที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ โรคกลุ่มหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน และโรคมะเร็ง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตร้อยละ 45 ของการเสียชีวิตทั้งหมด [1] ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโรคมมาจากพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหาร ประเภทหวาน มัน เค็มปริมาณเพิ่มมากขึ้น [2] โดยเฉพาะขนมหวานไทยที่นิยมรับประทานมากที่สุด 3 ชนิดแรก คือ ฝอยทอง ทองหยอด และทองหยิบ [3] ซึ่งการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 10 ของพลังงานที่ได้จากอาหารทั้งหมด หรือมีคอเลสเตอรอลสูงเกินร้อยละ 30 จะเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดได้ [4] นอกจากนี้ ยังพบว่าคนไทยมีแนวโน้มการบริโภคน้ำตาลและอาหารที่ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลมากขึ้น โดยมีอัตราการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นเกือบ 3 เท่าจาก 12.7 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ใน พ.ศ. 2526 เป็น 31.2 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ใน พ.ศ. 2552 ซึ่งตามข้อปฏิบัติการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทยกำหนดไว้ว่าไม่ควรบริโภคน้ำตาลเกิน 14.6 กิโลกรัมต่อคนต่อปี [1]

การศึกษาการผลิตไข่แดงเทียมปราศจากคอเลสเตอรอล และไข่แดงเทียมทดแทนไข่แดงเพื่อนำมาผลิตเป็นขนมไทย เช่น ทองหยอดที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง โดยใช้วัตถุดิบ ได้แก่ ไข่ขาว แป้งโปรตีนจากพืช สารให้ความคงตัว (stabilizer) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) นมผง น้ำมันพืช และสีผสมอาหาร [5, 6] โดยสารแต่ละชนิดที่นำมาใช้ทำหน้าที่ ได้แก่ โปรตีนจากไข่ขาวเพื่อเป็นแหล่งโปรตีน ให้ปริมาณและเนื้อสัมผัสแก่ผลิตภัณฑ์ มีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชัน และการเกิดฟองซึ่งช่วยทำให้อิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำมีความคงตัว [5] แป้งและโปรตีนจากพืช เช่น แป้ง ถั่วเหลือง แป้งถั่วเขียว แป้งข้าวเจ้า โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเพื่อให้ปริมาณ เนื้อสัมผัส ความข้นหนืด การเกิดเจล การเกิดฟอง การอุ้มน้ำ การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน [7] สารให้ความคงตัว เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส คาราจีแนน แชนแทนกัม เพื่อป้องกันการแยกชั้นของของเหลวที่ไม่รวมกันในอาหารให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น และป้องกันการสูญเสียกลีเซอรอล [5, 7] นอกจากนี้ยังช่วยในการดูดน้ำ และช่วยในการจับกับโปรตีน [6] อิมัลซิไฟเออร์ เช่น เลซิทีน ทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้โมเลกุลของน้ำกับน้ำมันผสมเข้ากันได้ นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร [5] นอกจากนี้มีการศึกษาสารให้ความหวานทดแทนน้ำเชื่อม ได้แก่ กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ในการผลิตฝอยทองที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงจาก 0.918 เป็น 0.767 ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์เก็บรักษาได้นานขึ้นเมื่อเก็บในสภาวะสุญญากาศ [8]

โครงการวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาสูตรไข่แดงเทียมเพื่อนำมาผลิตขนมทองหยิบที่มีปริมาณไขมันคอเลสเตอรอล และพลังงานลดลงเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ดีต่อสุขภาพ และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่มีปัญหาโรคอ้วน เบาหวาน ไขมัน และคอเลสเตอรอลในเลือดสูง

## อุปกรณ์

### 1. วัตถุดิบ

ไข่แดงสดจากไข่ไก่และไข่เป็ด ไข่ขาวสดจากไข่ไก่ แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวเจ้า แป้งถั่วเขียว นมผง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เลซิทีน แชนแทนกัม คาราจีแนน สีเหลืองส้ม น้ำตาลทราย มอลทิทอลซีรัป และซอร์บิทอลซีรัป

## 2. เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องปั่นมือถือขนาด 650 วัตต์ (Phillips รุ่น HR1617/00) รีแฟรกโทมิเตอร์ช่วงการวัด 58-90 องศาบริกซ์ เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง เครื่องวัดความชื้นหนืด (Brookfield รุ่น DV-II Pro) เครื่องวัดสี (Hunterlab รุ่น D25 DP9000) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyser รุ่น TA-XT Plus) เครื่องวัด water activity (Novasina) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

## วิธีการทดลอง

### 1. คัดเลือกขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาด

นำขนมทองหยิบที่จำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 4 ร้านค้า มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส คัดเลือกตัวอย่างที่ได้รับการยอมรับในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี ความฉ่ำ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเพื่อนำมาใช้เป็นขนมทองหยิบต้นแบบ

### 2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมทองหยิบ

ศึกษาสูตรการผลิตขนมทองหยิบสูตรควบคุมจำนวน 3 สูตร โดยดัดแปลงจากตำรับขนมไทย [9] ตำรับขนมไทยรวมสูตรขนมไทย 50 สูตร [10] และ Food Travel.tv [11] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบในการผลิตทองหยิบสูตรควบคุม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1 [9]	สูตรที่ 2 [10]	สูตรที่ 3 [11]
ไข่แดง (ไข่ไก่)	97.56	66.67	65.57
ไข่แดง (ไข่เป็ด)	-	33.33	32.79
แป้งท้าวยายม่อม	2.44	-	1.64

วิธีการผลิตขนมทองหยิบ นำไข่แดงไก่และไข่แดงเป็ดรวมกัน (สูตรที่ 2 และ 3) ตีผสมด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วระดับ 4 เป็นเวลา 1 นาที ผสมแป้งท้าวยายม่อม (สูตรที่ 1 และ 3) ตีให้ขึ้นฟูเป็นเวลา 1 นาที ตั้งส่วนผสมพักไว้ 3 นาที หยอดส่วนผสมปริมาณ 10 กรัม ลงในน้ำเชื่อม 70 ± 1 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 90-93°C รอจนแผ่นทองหยิบสุก ตักขึ้นและแช่ในน้ำเชื่อม 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 1 นาที จับจับแผ่นทองหยิบ 5 จีบลงในถ้วย นำมาวัดค่าสี (YI, L, a และ b) เนื้อสัมผัส (hardness และ adhesiveness) และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

### 3. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไข่แดงเทียม

สูตรที่ใช้ศึกษาการผลิตไข่แดงเทียมดัดแปลงจากพรตารา เขตต์ทองคำ และคณะ [6] ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ ไข่ขาว โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง นมผง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน เลซิทีน แป้งท้าวยายม่อม สีผสม

อาหาร แชนแทนกัม และคาราจีแนน โดยมีขั้นตอนการผลิต คือ นำไข่ขาวไก่มาตีด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วระดับ 4 นาน 3 นาที ใส่เลซิทิน และน้ำมันเมล็ดทานตะวันลงในไข่ขาวที่ขึ้นฟูแล้ว กวนให้เข้ากัน ใส่โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง นมผง และสารให้ความคงตัว ที่ส่วนผสมให้เข้ากันที่ความเร็วระดับ 4 นาน 1 นาที ใส่สีเหลืองส้ม กวนให้เข้ากัน จะได้ไข่แดงเทียม นำมาใช้ศึกษาข้อที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้คือ

### 3.1 ชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัว

#### 3.1.1 ปริมาณแชนแทนกัม และคาราจีแนน

แปรปริมาณสารแต่ละชนิดเป็นร้อยละ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 ของน้ำหนักไข่ขาวสด (ตารางที่ 2) ผลิตเป็นไข่แดงเทียม วัตคาลี่ และความข้นหนืด นำมาผลิตเป็นขนมทองหยิบโดยทดแทนในสูตรควบคุมอัตราส่วน 50:50 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

#### 3.1.2 ปริมาณแชนแทนกัมร่วมกับคาราจีแนน

นำผลจากข้อ 3.1.1 มาศึกษาผลร่วมของแชนแทนกัมและคาราจีแนน ผลิตเป็นไข่แดงเทียม วัตคาลี่ และความข้นหนืด นำมาผลิตเป็นขนมทองหยิบโดยทดแทนในสูตรควบคุมอัตราส่วน 50:50 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

### 3.2 ชนิดและปริมาณของแป้ง

นำผลจากข้อ 3.1 มาศึกษาชนิดและปริมาณของแป้ง ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า และแป้งถั่วเขียว เพื่อทดแทนโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในสูตร โดยแปรปริมาณแป้งแต่ละชนิดเป็นร้อยละ 4 และ 6 ของน้ำหนักไข่ขาวสด ผลิตเป็นไข่แดงเทียม วัตคาลี่ และความข้นหนืด นำมาผลิตเป็นขนมทองหยิบโดยทดแทนในสูตรควบคุมอัตราส่วน 50:50 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

## ตารางที่ 2 ส่วนผสมของไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณสารให้ความคงตัว

ส่วนผสม	ร้อยละ (ของน้ำหนักไข่ขาวสด)
โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	4.0
นมผง	5.0
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	10.0
เลซิทิน	4.0
แป้งท้าวยายม่อม	1.64
แชนแทนกัม	0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0
คาราจีแนน	0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0
สีผสมอาหาร	0.004

#### 4. ศึกษาอัตราส่วนการทดแทนไข่แดงเทียมในขนมทองหยิบ

นำไข่แดงเทียมสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อที่ 3.2 มาผลิตขนมทองหยิบโดยทดแทนไข่แดงในสูตรควบคุมที่อัตราส่วนไข่แดงเทียมต่อไข่แดงเท่ากับ 75:25 และ 100:0 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส คัดเลือกสูตรไข่แดงเทียมที่สามารถทดแทนไข่แดงได้สูงสุดและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

#### 5. ศึกษาชนิดและอัตราส่วนการทดแทนน้ำเชื่อมด้วยน้ำตาลพลังงานต่ำ

ศึกษาน้ำเชื่อมจากน้ำตาลพลังงานต่ำ 2 ชนิด ได้แก่ มอลทิทอลซีรัป และซอร์บิทอลซีรัป นำมาทดแทนน้ำเชื่อมที่อัตราส่วนน้ำตาลพลังงานต่ำต่อน้ำเชื่อมเท่ากับ 50:50, 75:25 และ 100:0 โดยควบคุมความเข้มข้นของน้ำตาลทุกอัตราส่วนเท่ากับ  $70 \pm 1$  องศาบริกซ์ นำมาผลิตขนมทองหยิบสูตรไข่แดงเทียมที่คัดเลือกจากข้อ 4 ทดสอบทางประสาทสัมผัส คัดเลือกขนมทองหยิบที่ทดแทนด้วยน้ำตาลพลังงานต่ำปริมาณสูงสุดที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ

#### 6. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้าน กายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

คุณภาพด้านกายภาพ ได้แก่ สี (YI, L, a และ b) และเนื้อสัมผัส (hardness และ adhesiveness) คุณภาพด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น [12] ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร เถ้า [12] พลังงาน (kcal/80g) โปรตีน [12] คาร์โบไฮเดรต [13] ใยอาหาร [12] ไขมันทั้งหมด [12] ไขมันอิ่มตัวทั้งหมด [14] คอเลสเตอรอล [12] และน้ำตาลทั้งหมด [12]

คุณภาพด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ Total Plate Count, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, Yeast and Mold [15]

#### 7. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มไม่บล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) ในข้อ 1, 2, 3.1.1, 3.2, 4 และ 5 และวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial experimental design) ในข้อ 3.1.2 [16, 17]

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 [17] ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS)

## ผลการทดลอง

### 1. การคัดเลือกขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี ความฉ่ำ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 4 ร้านค้า พบว่าขนมทองหยิบจากร้านที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ความฉ่ำ กลิ่น และเนื้อสัมผัสแตกต่างจากร้านอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และได้รับคะแนนด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม แตกต่างจากร้านที่ 2 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 3) จึงเลือกขนมทองหยิบจากร้านที่ 3 มาเป็นขนมทองหยิบต้นแบบ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบที่จำหน่ายในท้องตลาด

ขนมทองหยิบ	คะแนนความชอบ <sup>1,2</sup>						
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ร้านที่ 1	6.63 <sup>b</sup> ± 1.08	6.20 <sup>b</sup> ± 1.45	5.77 <sup>b</sup> ± 1.58	4.80 <sup>b</sup> ± 1.42	5.27 <sup>b</sup> ± 1.41	4.20 <sup>c</sup> ± 1.42	5.03 <sup>b</sup> ± 1.23
ร้านที่ 2	6.23 <sup>bc</sup> ± 1.01	6.73 <sup>ab</sup> ± 0.86	6.23 <sup>b</sup> ± 1.10	5.40 <sup>b</sup> ± 1.91	6.77 <sup>a</sup> ± 1.11	6.53 <sup>b</sup> ± 1.39	6.80 <sup>a</sup> ± 1.05
ร้านที่ 3	7.43 <sup>a</sup> ± 0.94	7.20 <sup>a</sup> ± 1.33	7.67 <sup>a</sup> ± 1.20	7.07 <sup>a</sup> ± 1.29	7.50 <sup>a</sup> ± 1.07	7.50 <sup>a</sup> ± 1.16	7.60 <sup>a</sup> ± 1.34
ร้านที่ 4	5.57 <sup>c</sup> ± 1.16	5.83 <sup>b</sup> ± 1.36	5.77 <sup>b</sup> ± 1.63	5.17 <sup>b</sup> ± 1.26	4.97 <sup>b</sup> ± 1.56	4.50 <sup>c</sup> ± 1.30	4.83 <sup>b</sup> ± 1.14

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

### 2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมทองหยิบ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบสูตรควบคุมจำนวน 3 สูตรเปรียบเทียบกับขนมทองหยิบต้นแบบจากร้านค้าที่จำหน่ายในท้องตลาด พบว่าขนมทองหยิบสูตรที่ 3 ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี ความฉ่ำ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าขนมทองหยิบต้นแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4) ขนมทองหยิบต้นแบบมีค่าดัชนีสีเหลือง (YI) ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) น้อยกว่าขนมทองหยิบทั้ง 3 สูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงว่าขนมทองหยิบต้นแบบมีสีเหลืองและความสุกสว่างน้อยกว่าสูตรควบคุม โดยสูตรควบคุมที่ 3 มีสีเหลืองเข้มและมีความทึบแสงมากกว่าสูตรอื่นๆ ค่าเนื้อสัมผัสของขนมทองหยิบด้านความแข็ง และค่าการยึดติดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับขนมทองหยิบต้นแบบ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 5) จึงเลือกขนมทองหยิบสูตรที่ 3 มาเป็นสูตรควบคุม

**ตารางที่ 4** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบสูตรควบคุมจำนวน 3 สูตรเปรียบเทียบกับขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาด

ขนมทองหยิบ	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ต้นแบบ	5.87 <sup>c</sup> ± 1.99	6.37 <sup>b</sup> ± 1.84	6.77 <sup>a</sup> ± 1.53	6.50 ± 1.51	6.57 <sup>b</sup> ± 1.54	6.30 <sup>b</sup> ± 1.45	6.13 <sup>bc</sup> ± 1.42
สูตรที่ 1	6.83 <sup>bc</sup> ± 1.63	6.33 <sup>b</sup> ± 1.80	5.77 <sup>b</sup> ± 1.93	6.47 ± 1.37	6.40 <sup>b</sup> ± 1.38	6.13 <sup>b</sup> ± 1.49	6.00 <sup>c</sup> ± 1.56
สูตรที่ 2	7.37 <sup>ab</sup> ± 1.14	7.36 <sup>a</sup> ± 1.03	6.91 <sup>a</sup> ± 0.89	6.64 ± 0.78	6.91 <sup>ab</sup> ± 0.99	6.68 <sup>b</sup> ± 1.23	6.95 <sup>ab</sup> ± 1.13
สูตรที่ 3	7.96 <sup>a</sup> ± 0.66	8.03 <sup>a</sup> ± 0.77	7.25 <sup>a</sup> ± 0.93	6.93 ± 0.83	7.46 <sup>a</sup> ± 0.89	7.53 <sup>a</sup> ± 0.82	7.43 <sup>a</sup> ± 0.75

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* ต้นแบบ คือ ขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาด, สูตรที่ 1 คือ ไข่แดงไก่ผสมแป้งเท้ายายม่อม, สูตรที่ 2 คือ ไข่แดงไก่ผสมไข่แดงเป็ด และสูตรที่ 3 คือ ไข่แดงไก่ผสมไข่แดงเป็ดและแป้งเท้ายายม่อม ± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

**ตารางที่ 5** เปรียบเทียบค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสของขนมทองหยิบสูตรควบคุมกับขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาด

ขนมทองหยิบ	ค่าดัชนีสีเหลือง (YI)	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)	Hardness <sup>ns</sup> (กรัม)	Adhesiveness <sup>ns</sup> (กรัมวินาที)
ต้นแบบ	94.37 <sup>d</sup> ± 1.71	35.29 <sup>c</sup> ± 0.21	3.26 <sup>d</sup> ± 0.03	16.73 <sup>d</sup> ± 0.22	786.81 ± 152.66	0.62 ± 0.00
สูตรที่ 1	120.12 <sup>c</sup> ± 0.46	47.05 <sup>a</sup> ± 0.14	12.13 <sup>c</sup> ± 0.11	25.85 <sup>a</sup> ± 0.07	964.48 ± 273.79	0.62 ± 0.00
สูตรที่ 2	124.39 <sup>b</sup> ± 0.63	43.36 <sup>b</sup> ± 0.51	14.51 <sup>b</sup> ± 0.06	23.53 <sup>c</sup> ± 0.22	1,152.57 ± 222.10	0.62 ± 0.00
สูตรที่ 3	128.32 <sup>a</sup> ± 1.74	43.46 <sup>b</sup> ± 0.22	15.52 <sup>a</sup> ± 0.06	24.79 <sup>b</sup> ± 0.63	1,183.04 ± 184.29	0.62 ± 0.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* ต้นแบบ คือ ขนมทองหยิบต้นแบบที่จำหน่ายในท้องตลาด, สูตรที่ 1 คือ ไข่แดงไก่ผสมแป้งเท้ายายม่อม, สูตรที่ 2 คือ ไข่แดงไก่ผสมไข่แดงเป็ด และสูตรที่ 3 คือ ไข่แดงไก่ผสมไข่แดงเป็ดและแป้งเท้ายายม่อม ± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)



### 3. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไข่แดงเทียม

#### 3.1 ชนิดและปริมาณของสารให้ความคงตัว

##### 3.1.1 ปริมาณแซนแทนกัม และคาราจีแนน

เมื่อใช้แซนแทนกัมในสูตรไข่แดงเทียมปริมาณร้อยละ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 ของน้ำหนักไข่ขาวสด ได้ไข่แดงเทียมทุกสูตรที่มีค่าดัชนีสีเหลือง และค่าสีแดงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองน้อยกว่าสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 6) ไข่แดงเทียมสูตรที่ใช้แซนแทนกัมร้อยละ 0.8, 1.2 และ 1.6 ของน้ำหนักไข่ขาวสด เมื่อนำมาทดแทนในสูตรควบคุมอัตราส่วน 50:50 ได้ขนมทองหยิบที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรควบคุม ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 7)

**ตารางที่ 6** ค่าสีและค่าความขุ่นของไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณแซนแทนกัมระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

แซนแทนกัม*	ค่าดัชนีสีเหลือง (YI) <sup>ns</sup>	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a) <sup>ns</sup>	ค่าสีเหลือง (b)	ความขุ่น (cPs)
สูตรควบคุม	133.94 ± 5.09	68.43 <sup>a</sup> ± 0.81	26.36 ± 1.14	39.32 <sup>a</sup> ± 0.86	2,132.00 <sup>d</sup> ± 11.31
0.4	134.51 ± 3.61	61.11 <sup>b</sup> ± 0.68	26.22 ± 3.05	34.27 ± 0.51 <sup>b</sup>	1,381.75 <sup>c</sup> ± 15.17
0.8	133.10 ± 5.54	60.43 <sup>b</sup> ± 0.60	25.44 ± 3.69	33.62 <sup>b</sup> ± 0.81	2,229.50 <sup>d</sup> ± 4.95
1.2	132.81 ± 6.80	60.85 <sup>b</sup> ± 2.36	25.38 ± 2.64	33.80 <sup>b</sup> ± 0.48	10,846.00 <sup>c</sup> ± 50.91
1.6	132.93 ± 10.41	60.67 <sup>b</sup> ± 3.95	25.56 ± 1.64	33.62 <sup>b</sup> ± 1.42	32,700.00 <sup>b</sup> ± 41.42
2.0	132.40 ± 5.13	58.57 <sup>b</sup> ± 1.53	23.84 ± 1.83	32.65 <sup>b</sup> ± 0.18	57,960.00 <sup>a</sup> ± 56.57

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* แปรปริมาณแซนแทนกัมเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้ ± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

**ตารางที่ 7** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหีบสูตรไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณแซนแทนกันระดับต่างๆ ทดแทนไข่แดงอัตราส่วน 50:50 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

แซนแทนกัน*	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม	6.54 <sup>ab</sup> ±1.32	6.47 <sup>ab</sup> ±1.55	6.37 <sup>ab</sup> ±1.71	6.17 <sup>ab</sup> ±1.21	6.50 <sup>a</sup> ±1.68	6.37 <sup>a</sup> ±1.77	6.27 <sup>ab</sup> ±1.75
0.4	6.07 <sup>b</sup> ±1.31	6.23 <sup>b</sup> ±1.68	5.63 <sup>b</sup> ±1.83	5.63 <sup>b</sup> ±1.22	5.13 <sup>b</sup> ±1.67	4.83 <sup>c</sup> ±1.54	5.20 <sup>c</sup> ±1.37
0.8	7.17 <sup>a</sup> ±0.79	7.23 <sup>a</sup> ±0.65	6.53 <sup>ab</sup> ±0.77	6.20 <sup>ab</sup> ±1.16	6.37 <sup>a</sup> ±0.58	6.37 <sup>a</sup> ±0.88	6.57 <sup>a</sup> ±0.68
1.2	7.33 <sup>a</sup> ±0.79	7.20 <sup>a</sup> ±1.11	7.07 <sup>a</sup> ±0.78	6.77 <sup>a</sup> ±1.19	6.80 <sup>a</sup> ±1.10	6.70 <sup>a</sup> ±1.46	6.97 <sup>a</sup> ±1.03
1.6	7.33 <sup>a</sup> ±1.43	7.23 <sup>a</sup> ±1.07	6.60 <sup>ab</sup> ±0.93	6.87 <sup>a</sup> ±0.95	6.80 <sup>a</sup> ±1.16	6.73 <sup>a</sup> ±1.35	6.90 <sup>a</sup> ±1.08
2.0	6.33 <sup>b</sup> ±1.14	6.13 <sup>b</sup> ±1.51	5.73 <sup>b</sup> ±1.22	5.57 <sup>b</sup> ±1.33	5.30 <sup>b</sup> ±1.07	5.97 <sup>b</sup> ±0.90	5.57 <sup>bc</sup> ±1.16

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

\* แปรปริมาณแซนแทนกันเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้  $\pm$  S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เมื่อใช้คาร์จีแนนในสูตรไข่แดงเทียมปริมาณร้อยละ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 ของน้ำหนักไข่ขาวสด พบว่าการเติมสารปริมาณมากขึ้นทำให้ส่วนผสมมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นและแตกต่างจากไข่แดงสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีผลทำให้การขึ้นฟูของขนมทองหีบลดลงและเนื้อสัมผัสแข็งมากขึ้น ไข่แดงเทียมทุกสูตรมีค่าดัชนีสีเหลือง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) มีความสว่างน้อยกว่าไข่แดงสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 8) ไข่แดงเทียมที่ใช้คาร์จีแนนร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักไข่ขาวสด เมื่อนำมาทดแทนในสูตรควบคุมอัตราส่วน 50:50 ได้ขนมทองหีบที่ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทุกด้านแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 9) แต่เมื่อปริมาณการใช้สารเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

ดังนั้น จึงเลือกสูตรไข่แดงเทียมที่ใช้แซนแทนกันร้อยละ 0.8 และ 1.2 ของน้ำหนักไข่ขาวสด และสูตรที่ใช้คาร์จีแนนร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักไข่ขาวสด เพื่อนำไปศึกษาผลรวมของสารให้ความคงตัว 2 ชนิด เนื่องจากที่ปริมาณสูงกว่าทำให้ส่วนผสมมีความข้นหนืดมากจนทำให้หยอดลงในน้ำเชื่อมและจับจับขนมได้ยากกว่า

**ตารางที่ 8** ค่าสีและค่าความขุ่นหนืดของไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณคาราจีแนนระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

คาราจีแนน*	ค่าดัชนีสีเหลือง (YI) <sup>ns</sup>	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a) <sup>ns</sup>	ค่าสีเหลือง (b) <sup>ns</sup>	ความขุ่นหนืด (cPs)
สูตรควบคุม	126.72±1.46	68.69 <sup>a</sup> ±2.47	21.16±4.13	36.12±3.39	2,132.00 <sup>c</sup> ±11.31
0.4	126.66±1.83	64.24 <sup>b</sup> ±1.14	23.56±0.64	34.85±1.16	1,412.00 <sup>f</sup> ±24.04
0.8	125.24±0.46	64.66 <sup>b</sup> ±0.69	24.33±1.02	34.34±0.24	2,472.50 <sup>d</sup> ±9.19
1.2	126.29±1.20	63.57 <sup>b</sup> ±0.26	24.62±0.53	33.85±0.38	6,853.50 <sup>c</sup> ±31.82
1.6	126.64±0.20	63.64 <sup>b</sup> ±0.10	24.97±0.16	33.89±0.07	13,080.00 <sup>b</sup> ±28.28
2.0	128.15±1.00	62.73 <sup>b</sup> ±0.16	25.76±0.45	33.47±0.28	17,350.00 <sup>a</sup> ±42.43

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* แปรปริมาณคาราจีแนนเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้ ± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

**ตารางที่ 9** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหีบสูตรไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณคาราจีแนนระดับต่างๆ ทดแทนไข่แดงในอัตราส่วน 50:50 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

คาราจีแนน*	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม	6.73 <sup>a</sup> ±1.47	7.17 <sup>a</sup> ±1.16	7.07 <sup>a</sup> ±1.50	6.50 <sup>a</sup> ±1.12	6.83 <sup>a</sup> ±1.71	6.20 <sup>abc</sup> ±1.96	6.40 <sup>ab</sup> ±1.75
0.4	7.10 <sup>a</sup> ±1.05	7.10 <sup>a</sup> ±1.02	6.98 <sup>a</sup> ±1.17	5.93 <sup>ab</sup> ±1.46	6.50 <sup>ab</sup> ±1.25	6.87 <sup>a</sup> ±1.19	6.67 <sup>a</sup> ±1.18
0.8	7.53 <sup>a</sup> ±1.09	7.37 <sup>a</sup> ±1.27	7.20 <sup>a</sup> ±1.07	5.90 <sup>ab</sup> ±1.00	5.50 <sup>bc</sup> ±1.66	6.50 <sup>ab</sup> ±1.30	6.43 <sup>ab</sup> ±1.03
1.2	5.90 <sup>b</sup> ±1.06	6.23 <sup>b</sup> ±1.16	5.70 <sup>b</sup> ±1.18	5.50 <sup>b</sup> ±1.58	6.00 <sup>abc</sup> ±1.22	5.83 <sup>bc</sup> ±1.36	5.70 <sup>bc</sup> ±1.57
1.6	5.57 <sup>b</sup> ±1.24	5.43 <sup>c</sup> ±1.22	5.13 <sup>bc</sup> ±1.19	5.67 <sup>b</sup> ±1.36	5.40 <sup>c</sup> ±1.47	5.53 <sup>cd</sup> ±1.26	5.47 <sup>c</sup> ±1.13
2.0	4.57 <sup>c</sup> ±1.60	5.00 <sup>c</sup> ±1.21	4.67 <sup>c</sup> ±1.26	5.23 <sup>b</sup> ±1.28	5.00 <sup>c</sup> ±1.69	4.87 <sup>d</sup> ±1.52	4.93 <sup>c</sup> ±1.08

**หมายเหตุ:** <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

\* แปรปริมาณคาราจีแนนเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้ ± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

### 3.1.2 ปริมาณแซนแทนกัมร่วมกับคาราจีแนน

ไข่แดงเทียมที่ใช้สารให้ความคงตัวทุกสูตรมีค่าดัชนีสีเหลือง และค่าสีแดงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองน้อยกว่าไข่แดงสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) โดยทุกสูตรยกเว้นสูตรที่มีแซนแทนกัมร้อยละ 1.2 ผสมกับคาราจีแนนร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักไข่ขาวสด มีสีออกส้มแดงมากกว่าสูตรควบคุมที่มีสีออกเหลืองและมีความสว่างมากกว่า ไข่แดงเทียมทุกสูตรมีค่าความขุ่นหนืดมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่มีแซนแทนกัมร้อยละ 0.8 ของน้ำหนักไข่ขาวสด มีค่าแตกต่างจากสูตรควบคุมน้อยกว่าสูตรอื่นๆ การใช้สารแซนแทนกัมร่วมกับคาราจีแนนทำให้ไข่แดงเทียมมีค่าความขุ่นหนืดสูงขึ้น (ตารางที่ 10)

**ตารางที่ 10** ค่าสีและค่าความขุ่นหนืดของไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณสารให้ความคงตัวระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

สารให้ความคงตัว*	ค่าดัชนีสีเหลือง (YI) <sup>ns</sup>	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a) <sup>ns</sup>	ค่าสีเหลือง (b)	ความขุ่นหนืด (cPs)
สูตรควบคุม	127.94 ± 9.67	69.94 <sup>a</sup> ± 2.76	24.78 ± 2.09	38.69 <sup>a</sup> ± 0.94	2,184.00 <sup>c</sup> ± 14.14
XG 0.8	126.76 ± 8.89	63.46 <sup>b</sup> ± 4.31	23.79 ± 2.19	33.65 <sup>b</sup> ± 0.05	2,428.00 <sup>d</sup> ± 7.07
XG 1.2	127.32 ± 11.45	63.55 <sup>b</sup> ± 4.70	24.25 ± 2.45	34.19 <sup>b</sup> ± 0.25	10,612.00 <sup>b</sup> ± 8.48
CAR 0.4	127.68 ± 9.40	64.50 <sup>b</sup> ± 3.47	24.41 ± 2.66	34.96 <sup>b</sup> ± 0.16	1,433.00 <sup>f</sup> ± 19.80
XG 0.8+CAR 0.4	127.29 ± 10.39	64.00 <sup>b</sup> ± 3.34	24.49 ± 3.03	34.45 <sup>b</sup> ± 0.12	6,412.00 <sup>c</sup> ± 8.48
XG 1.2+CAR 0.4	128.14 ± 7.51	64.15 <sup>b</sup> ± 4.05	24.86 ± 1.72	36.31 <sup>ab</sup> ± 3.12	14,520.00 <sup>a</sup> ± 84.85

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* แปรปริมาณเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่แดงแท้ XG = Xanthan gum,

CAR = Carrageenan

± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ไข่แดงเทียมสูตรที่ใช้แซนแทนกัมและคาราจีแนนร้อยละ 1.2 และ 0.4 ของน้ำหนักไข่ขาวสดตามลำดับ และสูตรที่ใช้แซนแทนกัมร้อยละ 0.8 ผสมกับคาราจีแนนร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักไข่ขาวสดเมื่อนำมาทดแทนในสูตรควบคุมอัตราส่วน 50:50 ได้ขนมทองหยิบที่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 11) แต่สูตรที่ใช้แซนแทนกัมร้อยละ 1.2 ได้รับคะแนนด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมมากกว่าอีกสองสูตร ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับด้านกลิ่นของคาราจีแนนและเมื่อผสมสารสองชนิดเข้าด้วยกันทำให้ส่วนผสมมีความขุ่นหนืดเพิ่มขึ้น ขนมทองหยิบที่ได้ขึ้นฟูน้อยลงและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งเพิ่มขึ้นจึงส่งผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลง

**ตารางที่ 11** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบสูตรไข่แดงเทียมที่แปรปริมาณสารให้ความคงตัวระดับต่างๆ กัน ทดแทนไข่แดงในอัตราส่วน 50:50 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

สารให้ความคงตัว*	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม	6.57±1.58	7.77 <sup>a</sup> ±0.62	7.23 <sup>a</sup> ±1.54	6.93 <sup>ab</sup> ±1.45	7.10 <sup>a</sup> ±1.69	6.83 <sup>a</sup> ±1.90	7.07 <sup>ab</sup> ±1.42
XG 0.8	6.67±1.60	7.33 <sup>a</sup> ±1.14	5.97 <sup>b</sup> ±1.34	5.87 <sup>c</sup> ±1.29	5.70 <sup>b</sup> ±1.26	5.83 <sup>b</sup> ±1.59	5.57 <sup>c</sup> ±1.26
XG 1.2	7.37±1.45	7.33 <sup>a</sup> ±1.30	7.12 <sup>a</sup> ±1.58	7.33 <sup>a</sup> ±0.89	7.37 <sup>a</sup> ±0.96	7.42 <sup>a</sup> ±1.10	7.46 <sup>a</sup> ±0.91
CAR 0.4	7.17±0.64	7.40 <sup>a</sup> ±0.78	7.10 <sup>a</sup> ±0.74	6.43 <sup>bc</sup> ±1.63	6.77 <sup>a</sup> ±1.10	6.50 <sup>ab</sup> ±1.28	6.73 <sup>b</sup> ±0.75
XG 0.8 + CAR 0.4	6.67±1.26	7.13 <sup>a</sup> ±0.91	6.93 <sup>a</sup> ±1.25	6.80 <sup>ab</sup> ±1.47	6.70 <sup>a</sup> ±1.46	6.70 <sup>ab</sup> ±1.16	6.63 <sup>b</sup> ±1.35
XG 1.2 + CAR 0.4	6.53±1.09	6.43 <sup>b</sup> ±1.19	6.90 <sup>a</sup> ±1.27	6.67 <sup>ab</sup> ±1.51	7.30 <sup>a</sup> ±0.90	7.10 <sup>a</sup> ±1.15	7.03 <sup>ab</sup> ±1.16

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* แปรปริมาณเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้, XG = Xanthan gum, CAR = Carrageenan

± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

### 3.2 ชนิดและปริมาณของแป้ง

เลือกสูตรไข่แดงเทียมที่ใช้แทนแทนกัมร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักไข่ขาวสด มาศึกษาปริมาณแป้งข้าวเจ้า และแป้งถั่วเขียวร้อยละ 4 และ 6 ของน้ำหนักไข่ขาวสด เพื่อทดแทนโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ได้ไข่แดงเทียมทุกสูตรที่มีค่าดัชนีสีเหลือง ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าความขุ่นหนืดน้อยกว่า ( $p \leq 0.05$ ) สูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้า และแป้งถั่วเขียวร้อยละ 4 ของน้ำหนักไข่ขาวสด มีค่าไม่แตกต่างกันและใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (ตารางที่ 12) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าเป็นร้อยละ 6 ของน้ำหนักไข่ขาวสด ทำให้ขนมทองหยิบมีเนื้อนุ่มและยืดหยุ่นจึงได้รับคะแนนการยอมรับทุกด้านแตกต่างจากสูตรควบคุมและสูตรไข่แดงเทียมผสมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 13) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 4 ของน้ำหนักไข่ขาวสด มีสีเข้มและมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากกว่า ในขณะที่เมื่อใช้แป้งถั่วเขียวร้อยละ 6 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มและเนื้อแข็งกว่าจึงเลือกใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 6 ของน้ำหนักไข่ขาวสด แทนโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเพื่อลดต้นทุนการผลิต

**ตารางที่ 12** ค่าสีและค่าความขุ่นหนืดของไข่แดงเทียมที่แปรชนิดและปริมาณแป้งระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

ชนิดและปริมาณแป้ง*	ค่าดัชนีสีเหลือง (YI) <sup>ns</sup>	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b) <sup>ns</sup>	ความขุ่นหนืด (cPs)
สูตรควบคุม	128.17±6.14	70.51 <sup>ab</sup> ±1.19	25.60 <sup>b</sup> ± 1.36	39.10 ± 0.71	2,184.00 <sup>e</sup> ±14.14
SP 4	128.33±3.90	66.99 <sup>b</sup> ±2.81	25.45 <sup>b</sup> ± 2.31	49.59±20.82	10,472.00 <sup>a</sup> ±31.11
RF 4	127.60±6.01	69.68 <sup>ab</sup> ±1.84	26.49 <sup>ab</sup> ± 2.34	51.09±21.39	2,877.00 <sup>d</sup> ±42.42
RF 6	128.37±6.62	69.61 <sup>ab</sup> ±0.99	26.93 <sup>ab</sup> ± 2.60	51.17±20.96	4,938.00 <sup>b</sup> ±15.55
MF 4	128.40±4.85	70.29 <sup>ab</sup> ±1.23	26.46 <sup>ab</sup> ± 1.24	52.06±19.87	2,846.00 <sup>d</sup> ± 9.90
MF 6	125.96±6.86	70.80 <sup>a</sup> ±0.92	25.77 <sup>b</sup> ± 2.31	51.54±21.18	4,151.00 <sup>c</sup> ±42.43

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* แป้งปริมาณเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้, SP = โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง, RF = แป้งข้าวเจ้า, MF = แป้งถั่วเขียว

±S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

**ตารางที่ 13** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหีบที่ผลิตจากไข่แดงเทียมแปรชนิดและปริมาณแป้งระดับต่างๆ ทดแทนไข่แดงอัตราส่วน 50:50 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

ชนิดและปริมาณแป้ง*	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรควบคุม**	7.20 <sup>ab</sup> ±0.75	7.53 <sup>a</sup> ±0.74	7.33 <sup>a</sup> ±1.06	7.43 <sup>a</sup> ±0.90	7.67 <sup>a</sup> ±0.72	7.20 <sup>a</sup> ±0.77	7.50 <sup>a</sup> ±0.65
SP 4	7.43 <sup>a</sup> ± 0.88	7.73 <sup>a</sup> ±0.46	7.13 <sup>ab</sup> ±0.89	6.93 <sup>ab</sup> ±1.28	7.30 <sup>ab</sup> ±0.73	7.00 <sup>ab</sup> ±1.24	7.17 <sup>a</sup> ±1.06
RF 4	6.93 <sup>bc</sup> ±0.88	6.93 <sup>b</sup> ±0.88	6.70 <sup>b</sup> ±1.19	6.67 <sup>ab</sup> ±1.17	6.87 <sup>c</sup> ±1.04	6.70 <sup>b</sup> ±1.10	6.73 <sup>b</sup> ±1.21
RF 6	7.60 <sup>a</sup> ± 0.63	7.70 <sup>a</sup> ±0.56	7.20 <sup>a</sup> ±0.68	7.23 <sup>a</sup> ±0.78	7.33 <sup>ab</sup> ±0.75	7.20 <sup>a</sup> ±0.86	7.30 <sup>a</sup> ±0.68
MF 4	7.20 <sup>ab</sup> ±0.88	7.33 <sup>a</sup> ±0.65	7.20 <sup>a</sup> ±0.86	7.20 <sup>a</sup> ±0.80	7.23 <sup>bc</sup> ±0.98	7.17 <sup>a</sup> ±0.92	7.27 <sup>a</sup> ±0.84
MF 6	6.63 <sup>c</sup> ± 0.77	6.73 <sup>b</sup> ±0.88	6.70 <sup>b</sup> ±0.98	6.60 <sup>b</sup> ±1.18	6.97 <sup>bc</sup> ±1.08	6.73 <sup>b</sup> ±0.92	6.73 <sup>b</sup> ±0.80

**หมายเหตุ:** <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

\* แป้งปริมาณเป็นร้อยละของน้ำหนักไข่ขาวสด, สูตรควบคุม = ไข่ไข่แดงแท้, SP = โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง, RF = แป้งข้าวเจ้า, MF = แป้งถั่วเขียว

±S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

#### 4. การศึกษาอัตราส่วนการทดแทนไข่แดงเทียมในขนมทองหยิบ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบที่ใช้ไข่แดงเทียมทดแทนไข่แดงอัตราส่วน 75:25 และ 100:0 พบว่าที่อัตราส่วน 75:25 ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี ความฉ่ำ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างจากอัตราส่วน 50:50 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 14) แต่ที่อัตราส่วน 100:0 ได้คะแนนการยอมรับทุกด้านน้อยกว่า จึงเลือกสูตรที่ใช้ปริมาณไข่แดงเทียมทดแทนไข่แดงได้สูงสุดเท่ากับอัตราส่วน 75:25 เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเป็นร้อยละ 100 ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ขึ้นฟู มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง จับจับได้ยาก และมีรสชาติของความเป็นแป้งมากเกินไป

**ตารางที่ 14** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบที่ผลิตจากไข่แดงเทียมและไข่แดงอัตราส่วนต่างกัน เปรียบเทียบกับสูตรอัตราส่วน 50:50

อัตราส่วน ไข่แดงเทียม ต่อไข่แดง	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
50:50	7.60 <sup>a</sup> ±0.63	7.70 <sup>a</sup> ±0.56	7.20 <sup>a</sup> ±0.68	7.23 <sup>a</sup> ±0.78	7.33 <sup>a</sup> ±0.75	7.20 <sup>a</sup> ±0.86	7.30 <sup>a</sup> ±0.68
75:25	7.20 <sup>ab</sup> ±1.21	7.60 <sup>a</sup> ±0.66	6.87 <sup>ab</sup> ±1.50	6.80 <sup>a</sup> ±1.33	7.20 <sup>a</sup> ±0.65	7.07 <sup>a</sup> ±0.92	7.10 <sup>a</sup> ±1.05
100:0	6.70 <sup>b</sup> ±1.42	6.93 <sup>b</sup> ±1.15	5.90 <sup>b</sup> ±1.52	5.57 <sup>b</sup> ±1.93	5.63 <sup>b</sup> ±1.60	5.97 <sup>b</sup> ±1.92	5.67 <sup>b</sup> ±1.59

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

#### 5. ศึกษาชนิดและอัตราส่วนการทดแทนน้ำเชื่อมจากน้ำตาลพลังงานต่ำ

ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมทองหยิบที่ใช้ซอร์บิทอลซีรัป และมอลทิทอลซีรัปร้อยละ 100 ทุกด้านแตกต่างจากน้ำเชื่อมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่การใช้ซอร์บิทอลซีรัปทำให้ได้ขนมทองหยิบที่ขึ้นฟูและเนื้อนุ่มมากกว่ามอลทิทอลซีรัป จึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 15)

**ตารางที่ 15** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมทองหยิบสูตรไข่แดงเทียมทดแทนไข่แดงอัตราส่วน 75:25 ที่แปรชนิดและปริมาณน้ำเชื่อมต่างกัน

ชนิด น้ำเชื่อม*	คะแนนความชอบ <sup>1, 2</sup>						
	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ความฉ่ำ	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ <sup>ns</sup>	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
น้ำเชื่อม	7.80 <sup>abc</sup> ±0.77	7.90 <sup>ab</sup> ±0.71	7.67 <sup>bcd</sup> ±0.96	7.33±1.08	7.73±0.88	7.57 <sup>ab</sup> ±1.03	7.63 <sup>abc</sup> ±0.77
MT100%	7.50 <sup>c</sup> ±0.71	7.77 <sup>ab</sup> ±0.78	7.53 <sup>d</sup> ±0.99	7.20±0.92	7.30±1.21	7.33 <sup>b</sup> ±1.13	7.37 <sup>c</sup> ±0.90
ST100%	7.83 <sup>abc</sup> ±0.56	7.73 <sup>b</sup> ±0.86	7.80 <sup>bcd</sup> ±0.90	7.33±1.01	7.73±0.98	7.73 <sup>ab</sup> ±0.80	7.77 <sup>ab</sup> ±0.70
MT75%	7.70 <sup>bc</sup> ±0.86	7.90 <sup>ab</sup> ±0.81	7.60 <sup>cd</sup> ±0.78	7.20±0.65	7.53±0.67	7.30 <sup>b</sup> ±0.75	7.47 <sup>bc</sup> ±0.72
ST75%	7.80 <sup>abc</sup> ±0.84	7.97 <sup>ab</sup> ±0.77	7.87 <sup>abc</sup> ±0.83	7.50±0.76	7.77±0.82	7.93 <sup>a</sup> ±0.53	7.90 <sup>a</sup> ±0.69
MT50%	7.97 <sup>ab</sup> ±0.61	8.03 <sup>ab</sup> ±0.79	7.97 <sup>ab</sup> ±0.81	7.40±0.74	7.60±0.97	7.70 <sup>ab</sup> ±0.70	7.63 <sup>abc</sup> ±0.79
ST50%	8.17 <sup>a</sup> ±0.75	8.10 <sup>a</sup> ±0.85	8.00 <sup>a</sup> ±0.82	7.43±0.68	7.60±0.99	7.57 <sup>ab</sup> ±1.03	7.87 <sup>a</sup> ±0.69

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ช่วงคะแนน 1-9, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

<sup>2</sup> ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\* MT = มอลทิทอลซีรี่ป, ST = ซอร์บิทอลซีรี่ป

± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

## 6. ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

ขนมทองหยิบสูตรทดแทนด้วยไข่แดงเทียมอัตราส่วน 75:25 ที่ใช้ซอร์บิทอลซีรี่ปร้อยละ 100 และสูตรควบคุม มีคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยมีค่าสี (YI, L, a และ b) และค่าเนื้อสัมผัส (hardness และ adhesiveness) ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 16) มีองค์ประกอบทางเคมีเมื่อคิดต่อหน่วยบริโภค (80 กรัม) [18] คือ ความชื้น เถ้า ใยอาหาร น้ำตาลทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากกว่าสูตรควบคุมร้อยละ 14.46, 10.45, 64.47, 10.75 และ 10.95 ตามลำดับ มีโปรตีน ไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัวทั้งหมด คอเลสเตอรอล และพลังงานน้อยกว่าสูตรควบคุม ร้อยละ 18.68, 50.32, 63.84, 69.73 และ 36.09 ตามลำดับ (ตารางที่ 17) และขนมทองหยิบทุกสูตรตรวจไม่พบ Total Plate Count, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, Yeast and Mold



**ตารางที่ 16** คุณลักษณะทางกายภาพของขนมทองหยิบสูตรทดแทนด้วยไข่แดงเทียมเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

ขนมทองหยิบ	ค่าดัชนีสีเหลือง (YI) <sup>ns</sup>	ค่าความสว่าง (L) <sup>ns</sup>	ค่าสีแดง (a) <sup>ns</sup>	ค่าสีเหลือง (b) <sup>ns</sup>	Hardness <sup>ns</sup> (กรัม)	Adhesiveness <sup>ns</sup> (กรัมวินาที)
สูตรควบคุม	47.87±0.48	96.05±0.25	8.55±0.20	28.17±0.24	5775.60±27.88	0.62±0.00
สูตรไข่แดงเทียม	48.57±0.80	96.39±0.45	8.27±0.32	28.52±0.41	5763.48±21.54	0.62±0.00

**หมายเหตุ:** <sup>ns</sup> หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
± S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

**ตารางที่ 17** ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของขนมทองหยิบสูตรทดแทนด้วยไข่แดงเทียมเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

องค์ประกอบทางเคมี ต่อหน่วยบริโภค (80 กรัม)	ขนมทองหยิบ	
	สูตรควบคุม	สูตรไข่แดงเทียม
ความชื้น (กรัม)	32.15	36.80
ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ )	0.96	0.90
เถ้า (กรัม)	0.67	0.74
ใยอาหาร (กรัม)	0.76	1.25
โปรตีน (กรัม)	6.80	5.53
น้ำตาลทั้งหมด (กรัม)	33.12	36.68
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	34.32	38.08
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	12.48	6.20
ไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (กรัม)	4.48	1.62
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	726.80	220.00
ค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี)	276.80	176.89

## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การผลิตไข่แดงเทียมโดยตัดแปลงจากสูตรของพรตารา เขตต์ทองคำ และคณะ [6] มีส่วนผสมดังนี้ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน แป้งข้าวเจ้า นมผง เลซิทีน แป้งท้าวยาย่ม่อม แชนแทนกัม และสียผสมอาหาร ร้อยละ 10.0, 6.0, 5.0, 4.0, 1.64, 1.2 และ 0.004 ของน้ำหนักไข่ขาวสด ตามลำดับ การเลือกใช้แชนแทนกัมร้อยละ 1.2 แทนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และคาราจีแนนเช่นเดียวกับงานวิจัยพรตาราและคณะ เนื่องจากเป็นปริมาณที่มีความข้นหนืดพอเหมาะที่จะหยอดลงในน้ำเชื่อม ขนมหั่นฟู และจับจับได้ดีกว่า ตามคุณสมบัติที่ดีของแชนแทนกัม กล่าวคือละลายได้ง่ายในน้ำร้อนหรือน้ำเย็น มีค่าความหนืดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น [19] แต่เมื่อมีแรงกระทำจะทำให้ความข้นหนืดลดลง (shear thinning fluid) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มเมื่อเคี้ยวและสามารถปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสออกมา (mouthfeel) [7, 20] ในระหว่างการให้ความร้อนแชนแทนกัมเปลี่ยนจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (rigid ordered structure) ไปอยู่ในสภาวะที่ไม่เป็นระเบียบ (flexible disordered coil) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการเกิดอันตรกิริยาของสายโมเลกุลกับสายโพลีเมอร์ชนิดอื่น [21] เมื่อใช้ร่วมกับคาราจีแนนจึงทำให้ส่วนผสมมีความหนืดที่เพิ่มขึ้น ขนมหองหีบที่ได้ขึ้นฟูน้อยลง และมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นจึงส่งผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลงและผู้ทดสอบไม่ยอมรับด้านกลิ่นของคาราจีแนน การใช้สารทั้งสองชนิดในการผลิตไข่แดงเทียมและขนมหองหีบทำให้ค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมเนื่องจากสีของสูตรควบคุมเกิดจากไข่แดงไก่และไข่แดงเป็ด ส่วนสีของไข่แดงเทียมเกิดจากไข่แดงไก่และไข่แดงเป็ดเพียงเล็กน้อยและตกแต่งด้วยสียผสมอาหาร

ปรับปรุงสูตรโดยใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งถั่วเขียวเนื่องจากสามารถผลิตได้ภายในประเทศและมีราคาถูกกว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ และแป้งทั้งสองชนิดยังมีคุณสมบัติที่ดีในการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมไทยหลายชนิด เช่น ขนมหีบกปูน ขนมหีบตาล ขนมหีบถั่ว ขนมหีบข้าวเกรียบปากหม้อ ขนมหีบแกง ตะโก้ ฯลฯ [22] ผู้ทดสอบให้การยอมรับสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 6 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมและสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ส่วนสูตรที่ใช้แป้งถั่วเขียวได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสแข็งกว่า เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในแป้งแต่ละชนิด (โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง แป้งข้าวเจ้า และแป้งถั่วเขียวมีโปรตีนร้อยละ 90, 6.8-7.3, 27-30 ตามลำดับ) [23, 24, 25] ที่สามารถอุ้มน้ำ และไขมัน การเกิดเจล และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จึงทำให้ขนมหองหีบสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 6 มีลักษณะปรากฏที่ดี สีสวย มีความฉ่ำ และมีเนื้อสัมผัสนุ่ม แต่เมื่อใช้แป้งถั่วเขียวจะมีคะแนนการยอมรับน้อยกว่า ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มและเนื้อสัมผัสที่แข็งมากกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะมิโนสที่เป็นองค์ประกอบในแป้งถั่วเขียวที่มีมากกว่าแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 24 และ 30-32 ตามลำดับ) [23, 24]

ไข่แดงเทียมที่ผลิตได้สามารถนำมาทดแทนไข่แดงในสูตรควบคุมได้สูงสุดร้อยละ 75 เนื่องจากเมื่อใช้ไข่แดงเทียมทั้งหมดในการผลิตจะทำให้ขนมหองหีบที่ได้ไม่ขึ้นฟู มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง จับจับได้ยาก และมีรสชาติของความเป็นแป้งมากเกินไปและเมื่อใช้น้ำตาลซอร์บิทอลชีร์ปทดแทนน้ำเชื่อมร้อยละ 100 ได้คะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่ามอลทิทอลชีร์ป เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะขึ้นฟูและเนื้อสัมผัสนุ่มกว่า ซึ่งเกิดจากความข้นหนืดของน้ำเชื่อมโดยซอร์บิทอลชีร์ปมีค่าน้อยกว่ามอลทิทอลชีร์ปแต่ใกล้เคียงกับน้ำเชื่อม จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดีใกล้เคียงกัน (ความข้นหนืดของซอร์บิทอลชีร์ป มอลทิทอลชีร์ป และน้ำเชื่อมเท่ากับ 148.7, 367.6 และ 152.0 เซนติพอยด์ ตามลำดับ) ซึ่งต่างจากงานวิจัยของเกศรินทร์

มงคลวรธรรม และคณะ [26] ที่พบว่าเมื่อความเข้มข้นน้ำเชื่อมที่ใช้หยอดขนมทองหยิบเพิ่มขึ้นจาก  $68 \pm 1$  เป็น  $74 \pm 1$  องศาบริกซ์ มีผลทำให้ความนุ่มของขนมเพิ่มขึ้น และยังพบว่ายังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อคุณภาพขนมอีกเช่น ปริมาณแป้ง ชนิดและคุณภาพไข่แดง อัตราส่วนของไข่แดงจากไข่ไก่และไข่เป็ด และระยะเวลาที่ใช้ตีไข่แดงให้ขึ้นฟู ทั้งนี้เนื่องจากขนมทองหยิบที่ผลิตจากงานวิจัยของเกศรินทร์ มงคลวรธรรม และคณะ [26] ใช้ไข่แดงเป็ดและไข่แดงไก่ ส่วนจากงานวิจัยนี้ใช้ไข่แดงเทียมทดแทนไข่แดง มีแป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมในการให้เนื้อสัมผัสจึงมีความสามารถในการดูดน้ำเชื่อมเข้าไปในเนื้อขนมได้แตกต่างกัน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมีเมื่อคิดต่อหน่วยบริโภค (80 กรัม) คือ ความชื้น 64.47, 10.75 และ 10.95 ตามลำดับ มีโปรตีน 18.68, 50.32, 63.84, 69.73 และ 36.09 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการ [18] ได้ดังนี้คือ 1) ลดพลังงานลง (มีค่าพลังงานลดลง 1 ใน 3 ของอาหารอ้างอิง) 2) ไขมัน และไขมันอิ่มตัวลดลง (ปริมาณไขมันทั้งหมด และไขมันอิ่มตัวทั้งหมดลดลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ของอาหารอ้างอิง) 3) คอเลสเตอรอลลดลง (มีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ของอาหารอ้างอิง) โดยไม่ต้องระบุปริมาณไขมันอิ่มตัวที่ฉลาก (กรณีที่มีปริมาณไม่เกิน 2 กรัมต่อหน่วยบริโภค) ผลิตภัณฑ์ตรวจสอบไม่พบ Total Plate Count, Salmonella, Staphylococcus aureus, Bacillus cereus, Escherichia coli Yeast and Mold ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน [27]

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีงบประมาณ 2557

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์. 2554. การสาธารณสุขไทย 2551-2553. กรุงเทพฯ. องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. หน้า 99-192.
2. ปาณบดี เอกะจัมปะกะ และนิริศ วัฒนมะโน. 2552. พฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชาชนไทยในยุคโลกาภิวัตน์. *วารสารสถานการณ์สุขภาพไทย*. 3(2): 1-32.
3. กมลวรรณ แจ้งชัด อนุวัตร แจ้งชัด วิชัย หฤทัยธนาสันต์ และเกศรินทร์ มงคลวรธรรม. 2543. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สังขยาฟักทองกิ่งสำเร็จรูป. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 1-4 กุมภาพันธ์ 2543. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 537-543.
4. กรมอนามัย. 2547. คอเลสเตอรอลและกรดไขมันในอาหารไทย. กรุงเทพฯ. ชุมชนุสสภรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 5.
5. จิตติมา อารักษ์วิชานันท์. 2545. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่แดงเทียมปราศจากโคเลสเตอรอล. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 20-49.

6. พรตารา เขตต์ทองคำ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ และสิริพันธุ์ ตูลกะรังคะ. 2554. การผลิตไข่แดงเทียมสำหรับขนมทองหยอด. *วารสารคหเศรษฐศาสตร์*. 54(1): 23-30.
7. นิธิยา รัตนปนนท์. 2553. เคมีอาหาร (Food Chemistry). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 189-262.
8. หทัยรัตน์ ปิ่นแก้ว และคณะ. 2550. การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขนมไทยจังหวัดอ่างทอง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.). หน้า 8-14.
9. นพวรรณ จงสันติกุล. 2539. ตำรับขนมไทย. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แสงแดดจำกัด. หน้า 14.
10. สุปราณี แพรศิริ. 2555. ขนมไทย: รวมสูตรขนมไทย 50 สูตร. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์เอ็มไอเอส. หน้า 107.
11. Food Travel.tv. 2556. ทองหยิบ. ได้จาก [http://www.foodtravel.tv/recfoodShow\\_Detail.aspx?viewId=906](http://www.foodtravel.tv/recfoodShow_Detail.aspx?viewId=906). 2 ธันวาคม 2556.
12. Association of Official Analytical Chemists. 2012. Official Methods of Analysis of Association of Official. 19<sup>th</sup> Ed. Maryland. Association of Official Analytical Chemists.
13. Shapiro, R. 1995. Nutrition Labeling Handbook. New York. Marcel Dekker Inc. p. 552-585.
14. Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official Methods of Analysis of Association of Official. 18<sup>th</sup> Ed. Maryland. Association of Official Analytical Chemists.
15. U.S. Food and Drug Administration. 2013. Bacteriological Analytical Manual (BAM). Available from URL: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm2006949.htm>. 11 April 2013.
16. พันทิพา สุนทรารชุน. 2542. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวางแผนการทดลอง (Introduction to Experimental Design). กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. หน้า 89-114.
17. ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation). เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 301-336.
18. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2556. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 พร้อมกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง ปี 2556). กรุงเทพฯ. หน้า 234-281.
19. Nussinovith, A. 1997. Hydrocolloid Application: Gum Technology in The Food and Other Industries. Chapman & Hall., London. p. 338.
20. Norton, I.T., Spyropoulos, F. and Cox, P. 2011. Practical Food Rheology: An Interpretive Approach. Wiley-Blackwell: UK.
21. Mandala, I.G., E.D. Palogou and A.E. Kostaropoulos. 2002. Influence of prepaetraion and storage condition on texture of xanthan-starch mixtures. *Journal of Food Engineering*. 53: 27-38.
22. Ezythaicooking. 2556. สูตรขนมหวานไทย. ได้จาก [http://www.ezythaicooking.com/thai\\_dessert\\_recipes.html](http://www.ezythaicooking.com/thai_dessert_recipes.html). 12 มิถุนายน 2556.

23. สุนีย์ โชตินิรนาท กำไล เลหาพัฒนาเลิศ เอ็จ สโรบล และกล้าณรงค์ ศรีรอด. 2543. สมบัติทางฟิสิกส์เคมีของแป้งข้าวเหนียวที่สกัดจากพันธุ์ที่พัฒนาในประเทศไทย. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสาขาอุตสาหกรรมเกษตร วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 529-536.
24. อุมพร อภิชาชาญ และสุภารัตน์ เจียมยังยืน. 2549. การผลิตและการใช้ประโยชน์แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์เพื่อผลิตโดนัทเค้กไขมันต่ำ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 26(3): 32-34.
25. ยุพร พิษกมูทร. 2550. การใช้ประโยชน์จากกากข้าวเหลือง. *วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง*. 15(2): 34-41.
26. เกศรินทร์ มงคลวรธรรม กมลวรรณ แจ่มชัด และอบเชย วงศ์ทอง. 2545. อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อมต่อคุณภาพขนมทองหยอด ทองหยิบ และฝอยทอง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร วันที่ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 454-461.
27. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2552. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ 1/2552 เรื่องขนมไทย. ได้จาก <http://app.tisi.go.th/otop/standards/standards.html>. 11 เมษายน 2556.

*ได้รับบทความวันที่ 5 มิถุนายน 2558*

*ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 14 กันยายน 2558*

