ลักษณะคุณภาพของบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิล ที่ผลิตโดยการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

นางสาวกัณฐิกา แสงสายัณห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกการจัดการระบบอาหารเพื่อโภชนาการ สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2563

Quality Characteristics of Gluten-free Brownies from Hom-nin Rice Flours Produced by Dry Milling, Wet Milling, and Extrusion

Miss Kantika Sangsayunh

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Science in Food System Management for Nutrition
School of Human Ecology
Sukhothai Thammathirat Open University
2020

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะคุณภาพของบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิลที่ผลิตโดยการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

ชื่อและนามสกุล นางสาวกัณฐิกา แสงสายัณห์

วิชาเอก การจัดการระบบอาหารเพื่อโภชนาการ

สาขาวิชา มนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

อาจารย์ที่ปรึกษา
1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย สินสุวรรณ
2. อาจารย์ ดร.สุพัชชา ขับกล่อมส่ง
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐิรา อ่อนน้อม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย สินสุวรรณ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุพัชชา ขับกล่อมส่ง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์)

..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพศักดิ์ บุณยรัตพันธุ์)

ชื่อวิทยานิพนธ์ ลักษณะคุณภาพของบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิลที่ผลิตโดยการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

ผู้วิจัย นางสาวกัณฐิกา แสงสายัณห์ **รหัสนักศึกษา** 2617000076

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการระบบอาหารเพื่อโภชนาการ)

อาจารย์ที่ปรึกษา (1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย สินสุวรรณ (2) อาจารย์ ดร.สุพัชชา ขับกล่อมส่ง (3) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ **ปีการศึกษา** 2563

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา (1) คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน และ (2) คุณลักษณะของบราวนี่ปราศจากกลูเตนที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมนิล

การออกแบบการทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันตรวจวัดปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า ใยอาหารหยาบ และความชื้น) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ค่าสี (L*, a* และ b*) ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ และค่าดัชนีการละลายน้ำ แป้งข้าวหอมนิลใช้ทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 100 ในสูตรบราวนี่ปราศจากกลูเตน เพื่อประเมินคุณภาพ ได้แก่ คุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคุณภาพทางจุลชีววิทยาของบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิล

ผลการวิจัยพบว่า (1) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีการดูดซับน้ำและการละลายน้ำได้ดีกว่าแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งและโม่เปียกที่อุณหภูมิห้อง ค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ของแป้งข้าวหอมนิลที่โม่แห้งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกและเอ็กซ์ทรูชัน ($p \leq 0.05$) และ (2) อย่างไรก็ตาม บราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีสีเข้มกว่าแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งและโม่เปียก ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีปริมาตรจำเพาะมากที่สุด ($p \leq 0.05$) คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียวเป็นยางหรือกาว ความทนต่อการเคี้ยว) ระหว่างบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกและบราวนี่จากแป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกได้คะแนนใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา) ในตัวอย่างทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) 489/2555

คำสำคัญ บราวนี่ปราศจากกลูเตน แป้งข้าวหอมนิล โม่แห้ง โม่เปียก เอ็กซ์ทรูชัน

Thesis title: Quality Characteristics of Gluten-free Brownies from Hom-nin Rice Flours Produced by Dry Milling, Wet Milling, and Extrusion

Researcher: Miss Kantika Sangsayunh; **ID:** 2617000076;

Degree: Master of Science (Food System Management for Nutrition);

Thesis advisors: (1) Dr. Sornchai Sinsuwan, Assistant Professor; (2) Dr. Supatcha Kubglomsong; (3) Dr. Parisut Chalermchaiwat, Assistant Professor; **Academic year:** 2020

Abstract

The study aimed to investigate: (1) physicochemical properties of dry-milled, wet-milled and extruded Hom-nin rice flours; and (2) characteristics of gluten-free brownies prepared with Hom-nin rice flours.

The experimental design used in this study was a completely randomized design (CRD). Chemical composition (protein, fat, carbohydrate, ash, crude fiber, and moisture contents), water activity, color (L*, a*, and b* values), water absorption index, and water solubility index of dry-milled, wet-milled and extruded Hom-nin rice flours were determined. Hom-nin rice flours were used to replace 100% of wheat flour in a gluten-free brownie formulation. Quality characteristics including nutritional values, texture properties, sensory attributes and microbial quality of Gluten-free brownies prepared with Hom-nin rice flours were evaluated.

The result showed that: (1) extruded Hom-nin rice flour exhibited greater water absorption and water solubility than dry-milled and wet-milled Hom-nin rice flours at room temperature. The whiteness (L*), redness (a*), and yellowness (b*) of dry-milled Hom-nin rice flour were lower compared to wet-milled and extruded Hom-nin rice flours ($p \leq 0.05$); and (2) however, the colors of crust and crumb of gluten-free brownies made from extruded Hom-nin rice flour became darker than those prepared from dry-milled and wet-milled Hom-nin rice flours, respectively ($p \leq 0.05$). Brownies made from dry-milled Hom-nin rice flour showed a greater specific volume than those made with other Hom-nin rice flours ($p \leq 0.05$). Texture properties (hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness) between brownies made from wet-milled Hom-nin rice flour and wheat flour brownie (control) were not significantly different ($p > 0.05$). Sensory evaluation showed that taste, texture and overall acceptance of brownies made from wet-milled Hom-nin rice flour were similar to the control sample ($p > 0.05$). The microbial quality determined by aerobic plate count as well as yeast and mold count in all samples complied with Thai Community Product Standard (TCPS) 489/2555.

Keywords: Gluten-free brownie, Hom-nin rice flour, Dry-milling, Wet-milling, Extrusion

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ให้โอกาสได้จัดทำงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรชัย สินสุวรรณ และ อาจารย์ ดร.สุพัชชา ขับกล่อมส่งที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่มอบความรู้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขในทุกขั้นตอนการดำเนินการงานวิจัยให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ หัวหน้าสาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัยร่วมและสนับสนุนห้องปฏิบัติการด้านอาหารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.นวพร ลาภส่งผล และดร.พีรพงศ์ งามนิคม จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ ดร.นภาพันธ์ โชคอำนวยพร จากสาขาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่ให้เกียรติเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวธนัชชา กุญแจทอง นักวิทยาศาสตร์ สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้งาน การดูแลรักษาเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆภายในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ นายวชิรพงษ์ เยาว์ฤทธิกร ผู้จัดทำงานวิจัย เรื่องสมบัติทางกายภาพ และเคมีของแป้งข้าวเหนียวลืมผัวงอก และไม่ผ่านการเพาะงอกจากวิธีการโม่ที่แตกต่างกัน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการผลิตแป้งข้าวเพื่อนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวทิพย์อรุณ บุญเทียม ผู้จัดการโรงงาน บริษัท ไทยเอเชียบิสกิท จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือการผลิตแป้งข้าวในกระบวนการเอ็กซ์ทรูดเพื่อนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวปุณณดา อ่อนน้อม ผู้ช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยและให้คำปรึกษาด้านการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

กัณฐิกา แสงสายัณห์

กันยายน 2564

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

สมมติฐานการวิจัย 4

ขอบเขตการวิจัย 4

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 6

ผลิตภัณฑ์บราวนี่ 6

แป้ง (Powder) 11

แป้งสาลี (wheat flour) 12

กลูเตน (Gluten) 12

การแพ้โปรตีนกลูเตน 13

ข้าวหอมนิล 14

สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) 15

การผลิตแป้งจากข้าว 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 22

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย 22

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 22

ระเบียบวิธีวิจัย 23

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 30

การคัดเลือกสูตรบราวนี่พื้นฐานที่เหมาะสม 31

คุณสมบัติของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

คุณสมบัติของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล 34
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปลายผล และข้อเสนอแนะ 42
สรุปผลการวิจัย 42
อภิปลายผล 42
ข้อเสนอแนะ 48
บรรณานุกรม 49
ภาคผนวก 57
ก เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย 58
ข หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ 61
ค แบบการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Hedonic Scale Test) ..... .64
ประวัติผู้วิจัย 67

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมและปริมาณของสูตลบราวนี่พื้นฐาน 23
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบราวนี่พื้นฐาน 31
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่างๆ 32
ตารางที่ 4.3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ค่าสี ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index : WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index : WSI) 35
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล 36
ตารางที่ 4.5 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ค่าสี และปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล 38
ตารางที่ 4.6 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล 39
ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล 40
ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล 41

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 บราวนี่ (brownies)..... 6
ภาพที่ 2.2 ข้าวหอมนิล 15
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) 16
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารแอนโทไซยานินที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิล เพิ่มขึ้น 17
ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยน..... 18
ภาพที่ 2.6 วิธีการผลิตแป้งแบบการโม่แป้งแบบแห้ง (dry milling) และการโม่แบบเปียก (wet milling) 20
ภาพที่ 2.7 ภาพตัดขวางของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์(extruder) ที่ใช้ผลิตแป้งเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion)..... 21
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมบราวนี่สูตรพื้นฐาน..... 23
ภาพที่ 4.1 ภาพรวมการวิจัย 30
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายตัวอย่างแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ..... 33
ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายด้านบน (ภาพบน) และด้านข้าง (ภาพล่าง) ของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล..... 35
ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายตัดขวางของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล..... 36

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญ

บราวนี่ (brownies) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกวัย โดยบริโภคเป็นอาหารว่างหรือทานร่วมกับเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ เช่น กาแฟ ชา มอลต์สกัด นมสด เป็นต้น มีเนื้อสัมผัสคล้ายเค้กส่วนประกอบหลักในการผลิต บราวนี่ คือ แป้งข้าวสาลี ซึ่งมีโปรตีนกลูเตน (gluten) ที่ทำหน้าที่ช่วยให้บราวนี่ขึ้นฟูและมีเนื้อสัมผัสนุ่ม แม้ว่าโปรตีนกลูเตนจะมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญในบราวนี่ แต่ในผู้บริโภคบางกลุ่มพบว่า โปรตีนกลูเตนเป็นสาเหตุของอาการแพ้กลูเตนได้ (นิพาดา ศิริภักดิ์, นิสายศสมบัติ, สุดารัตน์ พุ่มชื่น, ทรงพรรณ สังข์ทรัพย์, และ อุทัยวรรณ ฉัตรธง, 2560) หรือเรียกว่า โรคซิลิแอก (celiac disease) โดยโปรตีนกลูเตนมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันตอบสนองทำให้ระบบภูมิคุ้มกันทำลายผนังลำไส้ เป็นผลทำให้ลำไส้ไม่สามารถดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ ได้ จึงมีผลต่อระบบขับถ่าย เช่น ปวดท้อง ท้องร่วง ท้องอืด เป็นต้น หากพบอาการแพ้ในเด็กอาจมีผลต่อพัฒนาการของเด็กได้ด้วย

ปัจจุบันจึงมีการศึกษาวิจัยการใช้ฟลาวร์ (flour) จากธัญชาติชนิดต่าง ๆ (ในที่นี้ใช้คำว่าแป้งแทนคำว่าฟลาวร์) เพื่อทดแทนการใช้แป้งข้าวสาลี (wheat flour) ในผลิตภัณฑ์ขนมอบอย่างกว้างขวางทั้งขนมปังแผ่นขาวนุ่ม (soft white bread) (วิมล วรรณุวาศ, ณัฏฐา คงโนนกอก, และ อโนชา สุขสมบูรณ์, 2556) คุกกี้ (cookies) (อริสรา รอดมุ้ย, และอรอุมา จิตรวโรกาส, 2550) แครกเกอร์ (cracker) (ศนันธร พิชัย, และปาริชาติ ราชมณี, 2561) เค้กกล้วยหอม (banana cake) (จารุวรรณ นามวัฒน์, และจันทร์เฉิดฉาย สังเกตุกิจ, 2560) มัฟฟิน (muffin) (ศรีนวล จันทไทย, นิจฉรา ทูลธรรม, ภาวิตา กลิ่นเทศ, และชนัญชิดา โพธิ์กิ่ง, 2560) บัตเตอร์เค้ก (butter cake) (สุภาวิณี แสนทวีสุข, และมาลีน่า สันเต๊ะ, 2557) เค้ก (cake) (ผาณิต รุจิรพิสิฐ, และอารีวรรณ สุขวิลัย, 2561) ขนมปังหวาน (sweet bread) (กฤติมา นพกรมงคล, ปิยนันท์ แสนกล้า, และปวีณา เฉลียวไว, 2557) ขนมไข่ (foam-type cake) (จุรีมาศ ดีอำมาตย์, เจมห์จิรา ไวยโภคา, ดุจเดือน เขม้นเขตกิต, และศุภรัตน์ ฮวบเจริญ, 2558) รวมทั้งบราวนี่ที่พบการใช้แป้งชนิดต่าง ๆ เพื่อทดแทนแป้งสาลี เช่น การใช้แป้งข้าวกล้องงอก (ภานุวัฒน์ สกลกิจสกุล, 2553) การใช้แป้งกล้วยน้ำว้า (ณนนท์ แดงสังวาลย์, น้องนุช ศิริวงศ์, และศิริพร เรียบร้อย, 2554) การใช้แป้งข้าวเหนียวดำ (ไชยสิทธิ์ พันธุ์ฟูจินดา, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, และอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, 2559) การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอรี่ (นิพาดา ศิริภักดิ์, และคณะ, 2560) เป็นต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาแป้งจากข้าวหอมนิลที่นำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่ยังพบว่าไม่มีความแพร่หลายและยังไม่พบ

งานวิจัยการใช้แป้งข้าวหอมนิลในการผลิตบราวนี่ ดังนั้นการผลิต บราวนี่ที่ปราศจากโปรตีนกลูเตนด้วยข้าวไทยจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจและจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่มีอาการแพ้กลูเตนได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้ข้าวไทยได้นำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ภายในและนอกประเทศอีกด้วย

ข้าวไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวกข43 ข้าวขาวกอเดียว35 ข้าวดอกข่า ข้าวทับทิมชุมแพ ข้าวทับทิมโกเมนสุรินทร์ ข้าวปิ่นเกษตร ข้าวพญาลืมแกง ข้าวพันธุ์หอมดำสุโขทัย1 ข้าวพันธุ์หอมดำสุโขทัย2 ข้าวมะลินินสุรินทร์ ข้าวสินเหล็ก ข้าวหอมกระดังงา59 ข้าวหอมกุหลาบแดง ข้าวหอมชลสิทธิ์ ข้าวอัลฮัมดูลิลละห์ ข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่49 ข้าวเหนียวดำลืมผัว ข้าวปทุมธานี1 ข้าวเหนียวเขี้ยวงู ข้าวเหลืองใหญ่148 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวกล้องสังข์หยด ข้าวแดงมันปู ข้าวกล้องแดง ข้าวบือซูโปะโละ ข้าวบือซูโพปี้ และอีกหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งข้าวแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน (กรมการข้าว, 2562) ในปัจจุบันมีข้าวไทยมีการผลิตหลากหลายสายพันธุ์มากขึ้น โดยมักเป็นข้าวที่บ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (geographical indication) หรือเป็นทรัพย์สินทางปัญญาประเภทหนึ่ง ซึ่งมีความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยสำคัญสองประการ คือ ธรรมชาติและมนุษย์ กล่าวคือ ชุมชนได้อาศัยลักษณะเฉพาะที่มีอยู่ในแหล่งภูมิศาสตร์ตามธรรมชาติ เช่น สภาพดินฟ้าอากาศ หรือวัตถุดิบเฉพาะในพื้นที่ มาใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวในท้องถิ่นของตนขึ้นมา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวที่มีคุณลักษณะพิเศษที่มาจากพื้นที่ดังกล่าว คุณลักษณะพิเศษนี้อาจหมายถึง คุณภาพ ชื่อเสียงหรือคุณลักษณะเฉพาะอื่น ๆ ที่มาจากแหล่งภูมิศาสตร์นั้นๆ เช่น ข้าวสังข์หยดพัทลุง และข้าวกล้องพิษณุโลก80 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้าวเจ้าที่ลักษณะคล้ายข้าวหอมมะลิและมีคุณประโยชน์สูง เช่น ข้าวหอมมะลิแดง และข้าวหอมนิล เป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยข้าวหอมนิล เป็นข้าวไม่ขัดสี จึงถือเป็นข้าวกล้องชนิดหนึ่งที่มีเมล็ดสีม่วงเข้มจนถึงสีดำ มีเส้นใยสูง เป็นพันธุ์ข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index : GI) ต่ำ ตามรายงานใน international table of glycemic index ของข้าวที่มีสีดำ (Black rice) มีค่าเท่ากับ 42±3 นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวสีดำช่วยลดการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตโดยการยับยั้งเอนไซม์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาล (α-glucosidase, α -amylase, α -aldose reductase) (เนตรนภา จิตตะระ, 2560) จึงเหมาะสำหรับผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน ซึ่งเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วร่างกายจะมีปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวทั่วไป และด้วยข้าวไทยบางสายพันธุ์มีจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบเดียว คือเพื่อการบริโภคเป็นข้าวสวย เพื่อรับทานในมื้ออาหารเท่านั้น จึงควรมีการนำข้าวไทยมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์พร้อมใช้แบบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าข้าวหลาย ๆ สายพันธุ์ ให้มีการจำหน่ายในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อนำประโยชน์ทางโภชนาการไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ และกระจายการบริโภคข้าวออกไปในหลายกลุ่มเป้าหมาย

การเตรียมแป้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติเคมี-กายภาพของแป้ง ซึ่งวิธีการเตรียมหรือผลิตแป้งมีหลากหลายวิธี แต่ที่นิยมกันมากที่สุด 2 กระบวนการ คือ การโม่แป้งแบบแห้ง (dry milling) และการโม่น้ำหรือโม่เปียก (wet milling) การโม่แป้งแบบแห้งเป็นการนำข้าวที่ผ่านการทำความสะอาด

แบบแห้ง หรือการเป่าลมไล่สิ่งสกปรก เช่น ดิน ทราย กรวด ออกก่อน เพื่อเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งเป็นแป้งผง จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน แป้งที่ผ่านกระบวนการนี้จะยังเต็มไปด้วยไขมัน หรือ เรียกว่า Full-Fat Flour และโภชนาการจากข้าวที่ใช้เนื่องจากจมูกข้าวไม่ได้ถูกแยกออกจากองค์ประกอบภายในส่วนอื่น ๆ แต่จะถูกบดอยู่ในแป้ง (S.R. Eckhoff, 2004) การโม่ประเภทนี้ทำให้เกิดของเสียน้อย แต่เนื้อแป้งจะมีลักษณะค่อนข้างหยาบ อาจมีสิ่งเจือปนสูง และอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากมีโอกาสมีกลิ่นหืนมากจากน้ำมันจากเซลล์สืบพันธุ์ที่แตกออกถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้มีกลิ่นและรสเหม็นเปรี้ยว อีกทั้งยังง่ายต่อการถูกทำลายจากแมลง (S.R. Eckhoff, M.R.P. Aulsen, and S.C. Yang, 2003) ในประเทศไทยพบแป้งข้าวที่เตรียมจากการโม่แป้งแบบแห้ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว การโม่น้ำหรือโม่เปียกเป็นการนำข้าวมาทำความสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำและเข้าเครื่องโม่ข้าวหรือที่เรียกว่าโม่หิน จากนั้นผ่านการทับน้ำเพื่อแยกตัวแป้งและน้ำออกจากกัน นำส่วนของแป้งไปอบแห้ง บดละเอียดด้วยเครื่องบดแห้งและนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน (วชิรพงศ์ เยาว์ฤทธิกร, ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์, และอบเชย วงศ์ทอง, 2562) แป้งที่ได้จะมีความเข้มข้นของโปรตีนมากกว่าการโม่แห้ง มีคุณภาพดี (D.K. Santra, and R. Schoenlechner, 2017) มีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย ข้อเสียของวิธีการนี้คือทำให้เกิดน้ำเสียมาก และส่วนประกอบสำคัญในข้าว เช่น แร่ธาตุ โปรตีน เกิดการสูญเสียไป (ศันสนีย์ อุดมระติ, และพัชรี ตั้งตระกูล, 2561) นอกจากนี้พบว่ายังมีวิธีการเตรียมแป้งซึ่งเรียกว่า การเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) โดยเป็นกระบวนการผลิตโดยการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ ซึ่งอาจจะเป็นการให้ความร้อนโดยตรงด้วยไอน้ำหรือขดลวดความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดทานและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในบาร์เรล ซึ่งกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ขึ้นรูปอาหาร เช่น ซีเรียล เส้นพาสต้า โดยการอัดผ่านหน้าแปลน (Die) ที่มีรูปร่างต่างๆ หลังจากให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ (อาภัสรา แสงนาค, อัญชลี เรืองเดช, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, และอุบลรัตน์ สริภัทราวรรณ, 2554) เป็นการผลิตอย่างต่อเนื่อง มีความรวดเร็ว ต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูง สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบไว้ ไม่สูญเสียไปกับกระบวนการแปรรูปจนหมด แต่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในวัตถุดิบ เช่น การเกิดเจลในแป้ง แป้งที่ได้จัดเป็นแป้งพรีเจลาทิไนซ์ (pre-gelatinized flour) เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเน่าเสียของอาหาร (C. Severini, T. DE Pilli, and A. Derssi, 2016)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการเตรียมแป้งด้วยวิธีการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันของแป้งข้าวหอมนิลเพื่อศึกษาคุณสมบัติเคมี-กายภาพ จากนั้นนำแป้งที่ได้ไปเตรียมผลิตภัณฑ์บราวนี่เพื่อศึกษาเคมี-กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษา

2.1 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

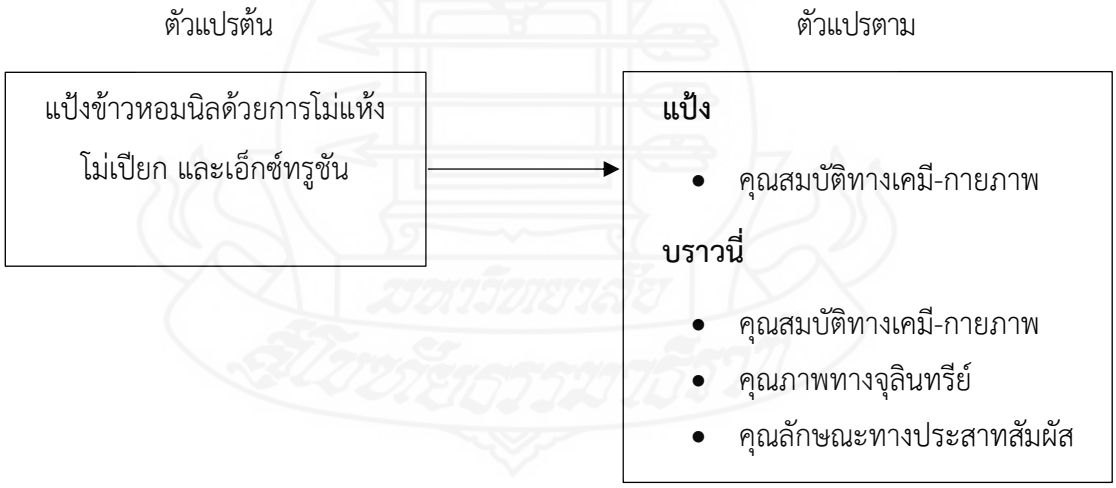
2.2 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของบราวนี่ปราศจากกลูเตนที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

3. สมมติฐานการวิจัย

3.1 แป้งข้าวหอมนิลสามารถใช้ทดแทนแป้งข้าวสาลีในการผลิตบราวนี่ได้

3.2 วิธีการเตรียมแป้งข้าวหอมนิลด้วยการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของบราวนี่ปราศจากกลูเตน

4. ขอบเขตการวิจัย



5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 บราวนี่ (brownies) หมายถึง ขนมอบสีน้ำตาลเข้ม รสชาติเข้มข้นของช็อกโกแลต มีลักษณะคล้ายเค้กช็อกโกแลตเข้มข้น เนื้อแน่น ไม่มีส่วนผสมของผงฟู เป็นชิ้นแบนและหนา 1-2 นิ้ว รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้า (ขึ้นอยู่กับการตัดแบ่ง)

5.2 แป้งข้าวจากการโม่แห้ง หมายถึง แป้งที่ได้จากการนำข้าวมาทำความสะอาดแบบแห้ง หรือการเป่าลมไล่สิ่งสกปรก นำไปบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตระแกรงร่อนขนาด 100 เมช

5.3 แป้งข้าวจากการโม่เปียก หมายถึง แป้งที่ได้จากการนำข้าวมาทำความสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.5 จากนั้นผ่านเครื่องโม่หิน ทับน้ำ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

5.4 แป้งข้าวจากเอ็กซ์ทรูชัน หมายถึง แป้งที่ได้จากการนำข้าวมาเข้าเครื่องเอ็กทรูเดอร์สกรูคู่ แบบใช้ความร้อน หลังจากผ่านหน้าแปลน (die) ขึ้นรูปแล้ว นำไปบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

5.5 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ หมายถึง ดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ สี วอเตอร์แอกทิวิตี้ องค์ประกอบทาเคมี (ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหารหยาบ คาร์โบไฮเดรต) ปริมาตรจำเพาะ คุณภาพทางเนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถเกาะรวมตัวกัน ความเหนียวเป็นยางหรือกาว ความทนต่อการเคี้ยว)

5.6 คุณภาพทางจุลินทรีย์ หมายถึง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์/เชื้อรา

5.7 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส หมายถึง การทดสอบผลิตภัณฑ์โดยให้ผู้ทดสอบ ทดสอบผลิตภัณฑ์และให้คะแนนความชอบระหว่าง 1 (ชอบน้อยที่สุด) – 9 (ชอบมากที่สุด) ของคุณภาพทั้ง 6 ด้าน คือ ลักษณะปรากฏ กลิ่นสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 พัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่สำหรับผู้บริโภคที่แพ้โปรตีนกลูเตน

6.2 เพิ่มประโยชน์และการใช้งานข้าวหอมนิลให้นำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายมากขึ้น

6.3 เป็นข้อมูลและแนวทางการเลือกใช้แป้งจากข้าวหอมนิลที่ผลิตด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบ

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ผลิตภัณฑ์บราวนี่

1.1 บราวนี่ (brownies) หมายถึง ขนมอบสีน้ำตาลเข้ม จัดอยู่ในหมวดหมู่ของคุกกี้ (cookie) ภาษาอังกฤษเรียกว่า Sheet Cookies รสชาติเข้มข้นของช็อกโกแลต มีลักษณะและเนื้อสัมผัสคล้ายเค้กช็อกโกแลตเข้มข้น เนื้อแน่น ไม่มีส่วนผสมของผงฟู นิยมอบในถาดแบบสี่เหลี่ยมและตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้า (ขึ้นอยู่กับการตัดแบ่ง) เป็นชิ้นแบนและหนา 1-2 นิ้ว มีส่วนผสมของช็อกโกแลตหรือโกโก้หรือทั้งสองอย่าง อาจโรยหน้าด้วยท็อปปิ้งต่าง ๆ เช่น ช็อกโกแลต หรือโรยด้วยถั่วชนิดต่าง ๆ เช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์ ถั่วอัลมอนด์ เป็นต้น โดยบราวนี่มีที่มาจากประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นที่แรกสมัยปลายศตวรรษที่ 19 ได้มีการทำเค้กช็อกโกแลตแต่ลืมใส่ส่วนผสมผงฟู จึงทำให้เค้กที่ได้ไม่ฟู ทำให้เกิดเป็นขนมชนิดใหม่ สีน้ำตาลเข้มซึ่งกลายมาเป็นที่มาของชื่อ “บราวนี่ (brownie)” (ภาพที่ 2.1) (ธนิษฐ์นันท์ บุญศรีชนะ, และสุนันท์ บุตรศาสตร์, 2562) และขนมชนิดนี้เป็นอาหารว่างที่นิยมมากในทุกเพศทุกวัย สามารถรับประทานเดี่ยว หรือรับประทานคู่กับเครื่องดื่ม เช่น นมสด ชา กาแฟ เป็นต้น เนื่องจากบราวนี่ไม่มีส่วนผสมของผงฟูแต่ยังมีลักษณะคล้ายเค้กได้นั้นเพราะมีส่วนประกอบหลัก คือ แป้งสาลี ซึ่งมีโปรตีนกลูเตน (gluten) ที่ประกอบไปด้วย กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) ทำหน้าที่ช่วยให้เนื้อสัมผัสบราวนี่นุ่มและขึ้นฟู (นิพาดา ศิริภักดิ์ และคณะ, 2560)

ภาพที่ 2.1 บราวนี่

1.2 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์บราวนี่

ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์บราวนี่จะมีความแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาของสูตรและประเภทของ บราวนี่ที่ต้องการเพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสและรสชาติและกลิ่นที่แตกต่างกัน

1.2.1 แป้งสาลี : เป็นแป้ง (flour) ที่ได้จากเมล็ดของข้าวสาลี (wheat) โดยใช้ส่วนที่เป็นเอนโดเสเปิร์มนำมาโม่ (milling) ให้เป็นผงละเอียด

1.2.2 เนยจืด : “เนย” หรือ “butter” ในภาษาอังกฤษ หรือ “Beurre” ในภาษาฝรั่งเศส เป็นไขมันสัตว์ที่แยกมาจากน้ำนมหรือครีม (dairy product) มีน้ำนมจากสัตว์หลายชนิดที่นำมาผลิตเนยได้ เช่น วัว ควาย แพะ แกะ แต่ถ้าไม่ระบุอะไร “เนย” ทั่วไปที่เราเห็นในท้องตลาดผลิตจากน้ำนมวัว

1.2.3 น้ำตาลป่น : น้ำตาลที่ผ่านการโม่บดเป็นผงละเอียดคล้ายผงแป้ง หากมองด้วยตาเปล่าจะคล้ายน้ำตาลไอซิ่ง (Icing Sugar) น้ำตาลป่นผลิตเพื่ออุตสาหกรรมเบเกอรี่โดยเฉพาะ ทำหน้าที่เป็นสารให้ความหวานในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลป่นแบบผลึก (น้ำตาลที่ใช้ทำอาหารทั่วไป)

1.2.4 ไข่ไก่ : วัตถุดิบในการปรุงอาหาร หรือทำขนม ซึ่งมีคุณสมบัติต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ดังนี้

1) ทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกัน (Binder) โปรตีนในไข่เมื่อเจอความร้อนจะแข็งตัว ทำให้ส่วนผสมอื่น ๆ เกาะกัน พูดง่าย ๆ คือเป็นโครงสร้างขนม

2) ทำให้ส่วนผสมข้นขึ้น เกิดจากโปรตีนในไข่แดงและไข่ขาว เมื่อถูกความร้อนโปรตีนในไข่จะแข็งตัวขึ้นและเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นเจล กึ่งของเหลวหรือของแข็ง

3) ทำให้ขนมนุ่ม ชุ่มฉ่ำ (moisture) จากไขมันในไข่แดง และทำให้ขนมมีความเข้มข้นขึ้น

4) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) จากไขมันเลซิทิน (Lecithin) ในไข่แดง ทำให้ไขมันและน้ำผสมกัน จนได้เนื้อขนมที่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

5) ตัวทำให้ขนมนุ่มฟูและเพิ่มปริมาตร (volume) เมื่อมีการตีไข่ (ทั้งแบบไข่ทั้งฟอง หรือแยกตีเฉพาะไข่ขาว) แรงจากการตีและอากาศที่แทรกเข้าไปในไข่ทำให้โครงสร้างของไข่เปลี่ยนแปลงไป จากของเหลวกลายโฟมเล็ก ๆ เกาะกันอยู่ เมื่อนำไปอบ ความร้อนจะทำให้อากาศในโฟมขยายตัวขึ้นทำให้ขนมขึ้นฟู เหมือนเป็นผงฟูตามธรรมชาติ

1.2.4 ผงโกโก้ : การนำส่วนเมล็ดของต้นโกโก้ ซึ่งอยู่ในผลโกโก้ โดยจะต้องถูกนำไปหมักให้มีกลิ่นหอม แล้วนำไปตากแห้งเพื่อให้ความชื้นลดลง จากนั้นจะนำไปคั่ว จนได้สิ่งที่เรียกว่า "คาเคา นิบส์ (Cocoa nib)" ซึ่งเป็นเมล็ดสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นหอม รสชาติขมเป็นเอกลักษณ์ สามารถนำมารับประทานได้เลย โดยใช้โรยหน้าขนม เครื่องดื่ม หรือจะนำไปแปรรูปเป็นผงโกโก้ นำไปทำให้เป็นผงละเอียดคล้ายแป้ง

1.2.6 ช็อกโกแลต : ทำมาจากเมล็ดของพืชชนิดหนึ่งที่เรียกว่า คาเคาบีน (Cocoa Bean) โดยมีส่วนผสมอื่น ๆ แตกต่างกันตามแหล่งการผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

1) เมล็ดโกโก้เหลว (Cocoa Liquor) เป็นเมล็ดโกโก้ที่ถูกนำไปบดจนเหลว จะมีรสชาติขมมาก เพราะเป็นเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการปรุงก่อนนำไปบด

2) ไขมันจากเมล็ดโกโก้ (Cocoa Butter) จะมีกลิ่นของช็อกโกแลตอ่อน ๆ แต่ไม่มีรสชาติ เป็นส่วนประกอบที่ทำให้ช็อกโกแลตมีความมันวาว

3) น้ำตาลทรายป่น ทำให้ช็อกโกแลตมีรสชาติหวานมันยิ่งขึ้น สัดส่วนขึ้นอยู่กับร้อยละของความเข้มข้นของช็อกโกแลตที่ต้องการ แต่ช็อกโกแลตบางชนิด อาจมีส่วนผสมของนมผง กลิ่นวานิลลา และสารให้ความคงตัวเพื่อให้ได้รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดียิ่งขึ้น

1.2.7 เกลือบริโภค : เกลือที่เราใช้ปรุงอาหารกันในครัวเรือน มักจะเป็นเกลือที่มีการเสริมไอโอดีนลงไปเพื่อป้องกันการเกิดโรคคอหอยพอก และยังมีการใส่สารป้องกันการจับตัวรวมกันเป็นก้อนลงไปเพื่อป้องกันเกลือดูดน้ำเข้ามาจนทำให้เกลือเกาะกันเป็นก้อน

1.2.8 กลิ่นวานิลลา : คือกลิ่นเลียนแบบธรรมชาติ อาจจะไม่มีส่วนผสมของผลวานิลลาหรืออาจจะมีในปริมาณน้อย

1.3 ประเภทของบราวนี่ สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของเนื้อสัมผัส ดังนี้

1.3.1 ฟัดจ์บราวนี่ (Fudgy Brownies) มีลักษณะเนื้อแน่น รสชาติเข้มข้น หน้ากรอบ แต่ข้างในมีลักษณะเหนียวนุ่มชุ่มฉ่ำ จะมีปริมาณของแป้งน้อยที่สุด และมีส่วนผสมของดาร์กช็อกโกแลตมากกว่าบราวนี่ชนิดอื่น ๆ ทำให้เหนียวหนึบ จับตัวเป็นชิ้นได้ดี และด้วยวิธีการทำที่ไม่มีการตีให้ขึ้นฟู จึงทำให้เนื้อสัมผัสแน่น และด้านบนของบราวนี่มีการขึ้นฟิล์มจากดาร์กช็อกโกแลต เมื่อนำเข้าอบจะทำให้มีความเงาและกรอบ

1.3.2 บราวนี่เค้ก (Cakey Brownies) หน้าตาเหมือนเค้กช็อกโกแลตทั่วไป มีลักษณะฟูนุ่ม เนื้อเบา แต่ก็ยังถือว่าเนื้อแน่นและเข้มข้นกว่าเค้กช็อกโกแลตหรืออาจจะกล่าวได้ว่า จะมีปริมาณแป้งและไข่ มากกว่าชนิดของบราวนี่อื่น ๆ ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเนื้อเค้ก เบา มีความฟู และนุ่ม ดังนั้นบราวนี่ประเภทนี้ จะอยู่ในหมวดหมู่ เค้ก เพราะไม่สามารถอยู่รวมตัวเป็นชิ้น ๆ เหมือนคุกกี้ได้ และมีวิธีการรับประทานโดยใช้ช้อนหรือส้อม

1.3.3 ชิววี่บราวนี่ (Chewy Brownies) เป็นการผสมผสานระหว่างบราวนี่เค้ก และฟัดจ์บราวนี่ มีส่วนของเนื้อเค้ก แต่เนื้อไม่เบามากจนเหมือนเค้ก และมีลักษณะนุ่มหนึบ ๆ เคี้ยวได้ แต่ไม่เหนียวข้นแบบ บราวนี่ฟัดจ์ เพราะมีปริมาณไข่ และแป้งน้อยกว่าบราวนี่เค้ก แต่ก็มีความแน่นของช็อกโกแลต เพราะมีปริมาณช็อกโกแลตมากกว่าบราวนี่เค้ก และจากการใช้ช็อกโกแลต หั่นเป็นชิ้นผสมกับเนื้อส่วนผสมก่อนนำไปอบ จึงทำให้มีความชุ่มฉ่ำของช็อกโกแลตละลาย ที่แทรกตามเนื้อแต่ก็จะไม่หนึบเท่าบราวนี่ฟัดจ์

1.3.4 บราวนี่กรอบ (Cracker Brownies) เป็นบราวนี่แบบใหม่ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางกรอบซึ่งแตกต่างจากบราวนี่ทั่วไป ไม่มีการขึ้นฟู ไม่มีเนื้อนุ่ม หรือความชื้นจากความชื้น ทำให้สะดวกต่อการบริโภคและการเก็บรักษา (ธนิษฐ์นันท์ บุญศรีชนะ, และสุนันท์ บุตรศาสตร์, 2562)

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่

1.4.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่โดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งสาลี โดยศึกษาคุณภาพทางเคมีและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้จากผลิตภัณฑ์บราวนี่เสริมแป้งข้าวเหนียวดำ ใช้สูตรพื้นฐานที่มีองค์ประกอบ แป้งสาลีอเนกประสงค์ เนยจืด น้ำตาลทราย ไข่ไก่ ผงโกโก้ เกลือ และกลิ่นวานิลลาในปริมาณ 70 145 250 120 65 2 และ 3.2 กรัม ตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์บราวนี่เสริมแป้งข้าวเหนียวดำที่ดีที่สุด คือสูตรพื้นฐานที่เสริมแป้งข้าวเหนียวดำแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 ซึ่งมีคะแนนความชอบรวมและค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากบราวนี่สูตรที่ใช้แป้งสาลีร้อยละ 100 คุณภาพทางเคมีของบราวนี่เสริมแป้งข้าวเหนียวดำประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ความชื้น โปรตีน เถ้า และใยอาหารหยาบ ปริมาณร้อยละ 53.26 26.53 14.42 3.92 1.54 และ 0.31 ตามลำดับ ปริมาณแอนโทไซยานิน 5.33 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม คะแนนความชอบรวมของบราวนี่เสริมแป้งข้าวเหนียวดำอยู่ในระดับชอบมากและถ้ามีบราวนี่เสริมแป้งข้าวเหนียวดำจำหน่ายผู้บริโภคจะซื้อร้อยละ 100 (ไชยสิทธิ์ พันธุ์ฟูจินดา, และคณะ, 2559)

1.4.2 ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 พบว่าผลิตภัณฑ์บราวนี่ทุกตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสนุ่มแต่มีความยืดหยุ่นต่ำ โดยมีค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส 3.2-4.0 กิโลกรัม/วินาที และค่าการคืนตัว 0.31-0.38 ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างบราวนี่ที่ใช้แป้งสาลีแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าแรงยึดเกาะมีค่าใกล้เคียงกัน (0.10-0.12) จากลักษณะปรากฏภายนอกของบราวนี่แป้งข้าว พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาตรลดลงและมีสีเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่างบราวนี่ทั้งหมด มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.73-0.75 การทดสอบการยอมรับ (n=30) ทางด้านประสาทสัมผัสด้วย 5-hedonic score พบว่าการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณร้อยละที่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวม (3.2-3.6) เนื้อสัมผัส (2.8-3.3) รสชาติ (4.0-4.2) และกลิ่น (4.4-4.6) ลดลงเล็กน้อย ($p<0.05$) ยกเว้นคะแนนความชอบด้านสีที่มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม สรุปได้ว่า การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่ สามารถใช้ทดแทนได้ถึงร้อยละ 100 โดยผลิตภัณฑ์บราวนี่ยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ (พรรัตน์ สินชัยพานิช, กุลรภัส บุตรพงษ์, ศศพินทุ์ ดิษนิล, และเรณู ทวิชชาติวิทยากุล, 2560)

1.4.3 ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพและทางประสาทสัมผัสของบราวนี่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ โดยแปรผันแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่า

การทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ฤทธิต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2 -diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) มีค่าลดลง ส่วนค่าสี พบว่า การทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่ปริมาณสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง แต่ค่าความเป็นสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ส่งผลให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ (ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส สี ความนุ่ม การขึ้นฟู รสชาติ และความชอบโดยรวม) ลดลง โดยเฉพาะบราวนี่ที่ใช้แป้งข้าวไรซ์เบอรี่ร้อยละ 100 ซึ่งมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะต่ำที่สุดปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตบราวนี่จากแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ คือ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รส สี ความนุ่ม รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.08-7.76 คะแนน) อยู่ในช่วงระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง บราวนี่สูตรนี้มีค่าความแข็งเป็น 2.27 กิโลกรัม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 0.32 มิลลิกรัมสมมูลกับกรดแกลลิกต่อกรัม และฤทธิต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ร้อยละ 86.77 ตามลำดับ (นิพาดา ศิริภักดิ์, และคณะ, 2560)

1.4.4 การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ เริ่มจากการผลิตแป้งกล้วย โดยการนำกล้วยน้ำว้าดิบมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และบดละเอียด จะได้แป้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองนวล ผลผลิตแป้งกล้วยคิดเป็นร้อยละ 22.73 ของน้ำหนักกล้วยดิบทั้งผล และมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 10.09 1.89 0.40 2.12 และ 95.60 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การผลิตบราวนี่โดยวิธีการผสมแบบครีมเนยได้รับคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสดีกว่าบราวนี่ที่ผลิตโดยวิธีการผสมแบบเกิดฟอง จากนั้นศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าในการผลิตบราวนี่เป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งสาลีที่ใช้ในสูตร พบว่า การทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณร้อยละ 50 มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงสุด และมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รส ความนุ่ม และ ความชุ่มฉ่ำไม่แตกต่างจากสูตรที่ใช้แป้งสาลีล้วน แต่เมื่อวัดค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดสีและเครื่องวัดเนื้อสัมผัสได้ค่าที่แตกต่างจากสูตรที่ใช้แป้งสาลีล้วน โดยค่าความเป็นสีแดง (a*) ของบราวนี่ที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนที่ระดับร้อยละ 25 50 75 และ 100 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่แตกต่างกับการใช้แป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็ง ค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ค่าความหนืบ ค่าการยืดหยุ่น และค่าความทนทานในการบดเคี้ยว มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าร้อยละ 50 ไปทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 100 คนพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ (ร้อยละ97.0) ยอมรับโดยมีคะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น รส ความนุ่ม ความชุ่มฉ่า และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ และผู้บริโภคร้อยละ 86.0 คาดว่าจะซื้อบราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าร้อยละ 50 (ณนนท์ แดงสังวาลย์, และคณะ, 2554)

1.4.5 การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์บราวนี่ การใช้แป้งข้าวกล้องงอกทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่ มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องและลดการนำเข้าแป้งสาลี แป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 มีค่าคุณภาพ คือ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 84.29, 0.87, 11.33 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้เท่ากับ 0.41 ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบเดรต เท่ากับ ร้อยละ 7.73, 2.82, 0.12, 1.11 และ 76.0 ตามลำดับ คัดเลือกสูตรพื้นฐาน และทดแทนแป้งสาลีทั้งหมดในสูตรบราวนี่ด้วยแป้งข้าวกล้องงอก พบว่าบราวนี่ที่พัฒนาได้ มีค่าคุณภาพ ดังนี้ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่า 23.73, 5.99 และ 4.72 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้เท่ากับ 0.83 คุณค่าทางโภชนาการประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 7.03, 21.49, 4.85, 2.34 และ 50.11 ตามลำดับ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ปรากฏว่าผู้บริโภคร้อยละ 82 ยอมรับผลิตภัณฑ์บราวนี่จากแป้งข้าวกล้องงอก โดยให้คะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (ภานุวัฒน์ ถกลกิจสกุล, 2553)

2. แป้ง (Powder)

2.1 แป้ง ผลิตมาจากส่วนของพืช เช่น เมล็ด หัว ที่มีการสะสมอาหาร แล้วนำมาผ่านกระบวนการที่ทำให้ละเอียดด้วยวิธีการบดหรือการโม่ เช่น การโม่แบบแห้ง (dry milling) และการโม่แบบเปียก (wet milling) ซึ่งจะได้แป้งที่มีลักษณะเป็นผง ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติต่าง ๆ แตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ แป้งเป็นส่วนผสมสำคัญที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด เช่น วัตถุดิบอาหารชนิดเส้นเส้น ขนมอบกรอบ ขนมหวาน ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์แปรรูป ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น คำว่า แป้ง ใช้เรียกแป้ง 2 ชนิด คือ ฟลาวร์ (flour) และ สตาร์ช (starch) ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันซึ่งจะเลือกใช้ในการผลิตอาหารแต่ละประเภท ด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันด้านลักษณะ เนื้อสัมผัสและ รสชาติ

2.2 องค์ประกอบของแป้ง จะขึ้นอยู่กับชนิดของธัญพืช ซึ่งจะประกอบไปด้วย

2.2.1 รำข้าว (Bran) เปลือกด้านนอกสุดของเมล็ด ถ้านำไปบดจะทำให้แป้งมีสีน้ำตาลหรือสีเดียวกับเมล็ดธัญพืชนั้น ๆ ลักษณะเนื้อสัมผัสหยาบ และมีใยอาหารสูง

2.2.2 เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) ส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ดธัญพืช ซึ่งประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยแป้งข้าวทั่วไปจะใช้ส่วนนี้ไปผ่านกระบวนการบดละเอียด

2.2.3 จมูกข้าว (Gem) ส่วนนี้สามารถนำไปปลูกได้ ซึ่งอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ ใยอาหาร และสารอาหารต่าง ๆ จำนวนมาก

2.2.4 กลูเตน (Gluten) คือ โปรตีนที่มีอยู่ในส่วนเอ็นโดสเปิร์ม ประกอบไปด้วย กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) เป็นส่วนที่ทำให้แป้งมีความนุ่ม เหนียว ยืดหยุ่นมากน้อยแตกต่างกัน

2.2.5 องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ สารอนินทรีย์ ความชื้นในปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของธัญพืชที่ใช้

2.3 ประเภทของแป้ง แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 ฟลาวร์ (flour) คือ ผงแป้งที่มีส่วนของเมล็ด เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งได้จากการนำส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ราก และหัว มาบดละเอียด นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร ความชื้น แร่ธาตุ สารอนินทรีย์อื่น ๆ รวมอยู่ด้วยในปริมาณมาก ฟลาวร์ที่นำมาประกอบอาหาร เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี

2.3.2 สตาร์ช (starch) คือ ส่วนของฟลาวร์ ที่นำมาผ่านกระบวนการสกัดโปรตีน และไขมัน ออก และความชื้นต่ำกว่า 1% มีอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกลูโคส-พอลิแซ็กคาไรด์ (glucose-polysaccharide) ที่พบในพืช เช่น เมล็ดธัญพืช พืชหัว และถั่วเมล็ดแห้ง จะ อัดแน่นอยู่

3. แป้งสาลี (wheat flour)

เป็นแป้งที่ทำจากเมล็ดข้าวสาลีนำมาโม่ให้ละเอียด ซึ่งแหล่งปลูกข้าวสาลีที่เป็น food grade หลัก ๆ ของโลก คือ รัสเซีย อเมริกา แคนาดา อินเดีย และออสเตรเลีย ดังนั้นแป้งสาลีที่เราใช้ส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อาจจะนำเข้ามาโม่เองหรือนำเข้าในรูปของแป้งสำเร็จรูปแล้ว ซึ่งในแป้งสาลีมีโปรตีน กลูเตนิน (glutamine) และไกลอะดิน (gliadin) ทำให้แตกต่างจากแป้งอื่นตรงที่แป้งอื่น ๆ เช่น แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวเหนียว แป้งมัน แป้งข้าวโพด มีแต่เนื้อแป้ง (starch) แต่ไม่มีโปรตีน

4. กลูเตน (Gluten)

4.1 กลูเตน เกิดขึ้นจากเป็นโมเลกุลของโปรตีนกลูเตนิน (glutamine) และไกลอะดิน (gliadin) ผสมกับน้ำ และมีตัวเร่งคือ การตะล่อม การตี และการนวด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนวด ยิ่งนวดนานกลูเตนยิ่งมีมากขึ้นและแข็งแรงมากขึ้น เพราะการนวดหรือการผสมจะไปเร่งให้กลูเตนแต่ละโมเลกุลเกาะกันไปเรื่อย ๆ กลายเป็นร่างแหแผ่ออกไปเรื่อย ๆ ทำให้แป้งมีความสามารถในการกักอากาศไว้ กลูเตนทำให้แป้งมีความเหนียวและยืดหยุ่นสูง แป้งที่มีกลูเตนสูงจะเหนียวมาก ซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์ในการทำเบเกอรี่

4.2 หน้าที่ของกลูเตนในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

4.2.1 ทำให้ส่วนผสมอื่น ๆ เกาะติดกัน (Binder)

4.2.2 เป็นโครงสร้าง เพิ่มความแข็งแรง ทำให้ขนมอยู่ตัวเป็นรูปทรง มีความคงทนต่อสภาพการหมัก

4.2.3 กักเก็บอากาศ ไม่ว่าฟองอากาศนั้นจะเกิดจากผงฟู ยีสต์ หรือการตีไข่ขาว ฟองอากาศนี้เองที่ทำให้ขนมขึ้นฟูเมื่อนำไปอบ

4.2.4 ดูดน้ำได้ดี ทำให้ขนมชุ่มฉ่ำ

4.2.5 ทำให้เนื้อขนมมีความเหนียว

4.2.6 ทำให้เกิดผิวหน้าหรือเปลือกขนม

5. การแพ้โปรตีนกลูเตน

โรคแพ้กลูเตน คือ โรคที่มีปัญหาในการย่อยกรดอะมิโนที่พบในส่วนของโปรตีน โปรลามิน (prolamin) ซึ่งพบในข้าวสาลี ข้าวไรน์ และข้าวบาร์เลย์ โปรลามินทำลายเยื่อบุ (mucosa) ของลำไส้เล็ก ส่งผลให้การดูดซึมของสารอาหารที่ลำไส้เล็กน้อยลง หรือผู้บริโภคที่ป่วยด้วยโรคแพ้กลูเตน เมื่อรับประทานกลูเตนเข้าไปทำให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายสร้างแอนติบอดี (antibody) ต่อต้านโปรตีนดังกล่าวส่งผลให้เยื่อบุของลำไส้เล็กถูกทำลาย ดังนั้น ผู้ป่วยโรคแพ้โปรตีนกลูเตน จึงไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ และต้องหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์อาหารที่มีกลูเตนเป็นองค์ประกอบ (Katharina Anne Scherf, Peter Koehler, and Herbert Wieser, 2016) และจากการวิจัยพบว่าผู้ที่แพ้ข้าวสาลีและกลูเตนมีความเสี่ยงสูงในการเป็นโรคหัวใจ โรคมะเร็งและเสียชีวิตได้ เนื่องจากกลูเตนเป็นโปรตีนที่มีอยู่ในธัญพืชหลายชนิดรวมทั้งข้าวสาลี บาร์เลย์ ข้าวไร และข้าวโอ๊ต นอกจากนี้กลูเตนยังพบได้ในธัญพืชอื่นๆ และเบียร์ งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าปัญหาสุขภาพที่เรื้อรังนี้จะถูกกระตุ้นด้วยกลูเตน ผู้ที่แพ้ข้าวสาลีหรือกลูเตนจะมีอาการปั่นป่วนในกระเพาะอาหาร เพราะมีความไวต่อกลูเตน และถ้ามีอาการแพ้ข้าวสาลีอย่างรุนแรงอาจเป็นโรคเซลิแอค (Celiac Disease) ได้ เกิดการอักเสบที่ลำไส้เล็ก ทำให้ไม่สามารถดูดซึมไขมัน วิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารอื่น ๆ ได้อย่างเพียงพอ ผลจากการขาดสารอาหารที่ลำไส้เล็ก ทำให้ลำไส้เล็กไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้เกินโรคอื่น ๆ ตามมา ผู้ที่แพ้กลูเตนจะได้รับความทุกข์ทรมานและเกิดการอักเสบทั่วทั้งร่างกาย โดยเกิดจากระบบภูมิคุ้มกันอัตโนมัติ และไม่ทราบว่าอาการเหล่านี้คือการแพ้กลูเตน อาการอาจรวมถึง โรคลำไส้ เจ็บคอ โรคไขข้ออักเสบ โรคผิวหนัง โรคกระดูกพรุน โรคโลหิตจาง โรคมะเร็ง และโรคทางระบบประสาท เช่น โรคซึมเศร้า วิตกกังวล ภาวะสมองเสื่อม จิตเภท สมองได้รับความกระทบกระเทือน โรคไมเกรน โรคลมชัก และโรคที่เกิดจากความผิดปกติทางการสื่อสารและอารมณ์ (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554)

6. ข้าวหอมนิล

เป็นข้าวคัดพันธุ์ผสมระหว่างข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวเหนียวดำสายพันธุ์จีน เมล็ดมีสีม่วงเข้ม (ภาพที่ 2.2) นิยมรับประทานเป็นข้าวกล้อง คงเหลือเยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าว และเนื้อข้าว เมื่อหุงสุกมีสีม่วง นุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอม มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีธาตุเหล็กสูงมากกว่าข้าวทั่วไปถึงร้อยละ 30 (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2561) มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12.5 ปริมาณแป้งอะมัยโลสร้อยละ 16 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงประมาณ 293 ไมโครโมลต่อกรัม และยังประกอบด้วยธาตุเหล็ก 3.26 มิลลิกรัม ทองแดง 0.1 มิลลิกรัม สังกะสี 2.9 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 339.4 มิลลิกรัม และแคลเซียม 4.2 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักข้าว 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าข้าวขาวหอมมะลิ (อภิชาติ วรรณวิจิตร, ธีรยุทธ ตู้จินดา, และสมวงษ์ ตระกูลรุ่ง, 2558) โดยในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีม่วงเข้มประกอบด้วยสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) โพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ไบโอฟราโวนอยด์ (bioflavonoids) และวิตามินอี (vitamin E) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในส่วนของรำและจมูกข้าวมีวิตามินอี (vitamin E) วิตามินบี (vitamin B) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (saturated fatty acid) สูง สารแอนโท-ไซยานิน (anthocyanin) สามารถช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดที่หัวใจและสมอง ช่วยบำรุงสายตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการมองเห็นเวลามองตอนกลางคืน (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2561) บรรเทาโรคเบาหวาน มีสาร cyanidin-3-glucoside เป็นรงควัตถุสีแดงอิฐ ช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet : UV) เข้าทำลายสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และสามารถใช้เป็นสีผสมอาหารตามธรรมชาติที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินอีหลายเท่าและยับยั้งการเจริญเติบโตของยีนที่กลายพันธุ์ไปกระตุ้นให้มีการส่งสัญญาณที่ทำให้เซลล์มะเร็งเจริญเติบโตและแพร่กระจาย (epidermal growth factor receptor) สารโปรแอนโทไซยานิดินเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และยังสามารถจับกับอนุภาคของกัมมันตภาพรังสีทำให้เซลล์ในร่างกายทำงานได้ ปกติช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดป้องกันโรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง ยับยั้งการเจริญเติบของเซลล์มะเร็งเต้านม ปอด กระเพาะอาหารและเม็ดเลือดขาว (จุฑามาศ ถิระสาโรช, และเฉลิมพล ถนอมวงค์, 2558) ในส่วนของโปรตีนพบว่า ข้าวสีนิลมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวขาวและข้าวกล้องสีน้ำตาลทั่วไป และมีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และเมทไธโอนีน (methionine) ในระดับที่สูงกว่าโปรตีนจากข้าวขาว (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2562)

ภาพที่ 2.2 ข้าวหอมนิล

ที่มา : วิสาหกิจชุมชนกลุ่มพัฒนาข้าว

7. สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

7.1 สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุ (pigment) ที่มีสีตั้งแต่สำน้ำเงินเข้ม สีม่วง สีแดง สีส้ม และสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ละลายน้ำได้ เป็นสารโพลีฟีนอลชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ได้สูงกว่าวิตมินซีหลายพันเท่า ลดอาการอักเสบ ลดคอเลสเตอรอล และต้านไวรัส มีฤทธิ์การต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยในการหมุนเวียนของกระแสโลหิต และชะลอความเสื่อมของเซลล์ร่างกาย คือมีกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระไปทำลายเซลล์ ช่วยยับยั้งไม่ให้เลือดจับกันเป็นก้อน จึงช่วยลดอัตราการเกิดโรคหัวใจ เส้นเลือดอุดตันในสมอง ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) อีโคไล (Escherichia coli) ในระบบทางเดินอาหาร สร้างภูมิคุ้มกัน และต้านมะเร็ง (นพวรรณ ชิราวัธน์, วิภาพร เกิดช่าง, สิบสองเมษา สามงามเขียว, และธิดารัตน์ พรหมมา, 2560) ทำให้มีการนำสารชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับสุขภาพและความงามมากขึ้น ด้วยสีม่วงดำจากแอนโทไซยานิน สารสีจากธรรมชาติ (pigment) ซึ่งพืชสังเคราะห์สารชนิดนี้ขึ้นมาเพื่อช่วยป้องกันตัวเองจากรังสียูวี อากาศหนาว และความแห้งแล้ง นอกจากจะช่วยให้พืชมีสุขภาพแข็งแรงแล้ว ยังมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์อีกด้วย แอนโทไซยานินจากธรรมชาติพบได้มากในผัก และผลไม้ที่มีสีม่วง น้ำเงิน และสีแดง เช่น กะหล่ำปลีม่วง มันเทศสีม่วง ชมพู่มะเหมี่ยว ชมพู่แดง ลูกหว้า ลูกไหน ข้าวแดง ข้าวสีนิล ข้าวเหนียวดำ ถั่วแดง ถั่วดำ หอมแดง ดอกอัญชัน เผือก หอมหัวใหญ่สีม่วง มะเขือม่วง พริกแดง องุ่นแดง-ม่วง แอปเปิ้ลแดง ลูกพรุน ลูกเกด บลูเบอร์รี่ เชอรี่ แบล็กเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น (ศศิปะภา ฤทธิ์เต็ม, และศิรประภา มีรอด, 2561) สามารถใช้เป็นสีผสมอาหารหรือสีย้อมตามธรรมชาติโดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต มีการศึกษาทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสารชนิดนี้มากมาย เช่น การศึกษาการเพาะเลี้ยงเซลล์ แบบจำลองสัตว์ และการทดลองทางคลินิกของมนุษย์ แสดงให้เห็นว่าแอนโธไซยานิดินและแอนโธไซยานินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพ

ปรับปรุงสุขภาพการมองเห็นและระบบประสาท และป้องกันโรคไม่ติดต่อต่าง ๆ (Hock Eng Khoo, Azrina Azlan, Sou Teng Tang, and See Meng Lim, 2017)

7.2 รงควัตถุ (pigment)

แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุ (pigment) ชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในแวคิวโอลของพืช ซึ่งต่างจากคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ และโครโมพลาสต์ รงควัตถุแต่ละชนิดมีสีต่างกันตามโครงสร้างโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยชนิดของรงควัตถุที่สำคัญ ๆ มีดังนี้

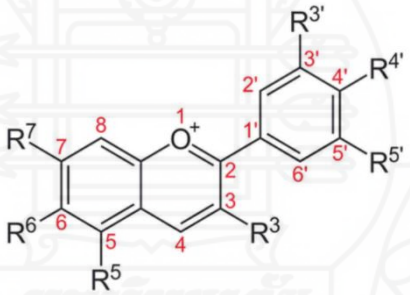
Cycopene เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง พบมากในแตงโม มะเขือเทศ สามารถป้องกันมะเร็งต่อมลูกหมากได้

Betacarotene เป็นรงควัตถุที่ให้สีส้ม พบมากในมะละกอ แครอท มีคุณสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระและช่วยลดระดับคลอเรสเตอรอล

Lutein เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง พบมากในข้าวโพด ช่วยป้องกันสายตาเสื่อม

Chlorophyll เป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว พบมากในผักใบเขียว ผลไม้ที่มีสีเขียวเข้ม เช่น ตำลึง คะน้า ชะพลู บัวบก มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

Anthocyanin เป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงน้ำเงิน พบมากในดอกอัญชัน กะหล่ำม่วง มะเขือม่วง องุ่น ลูกหว้า มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ ลดการอักเสบของกระเพาะปัสสาวะและลดความเสี่ยงต่อโรคอัมพาต (สุวิชา ดีหะสิงห์, 2550)



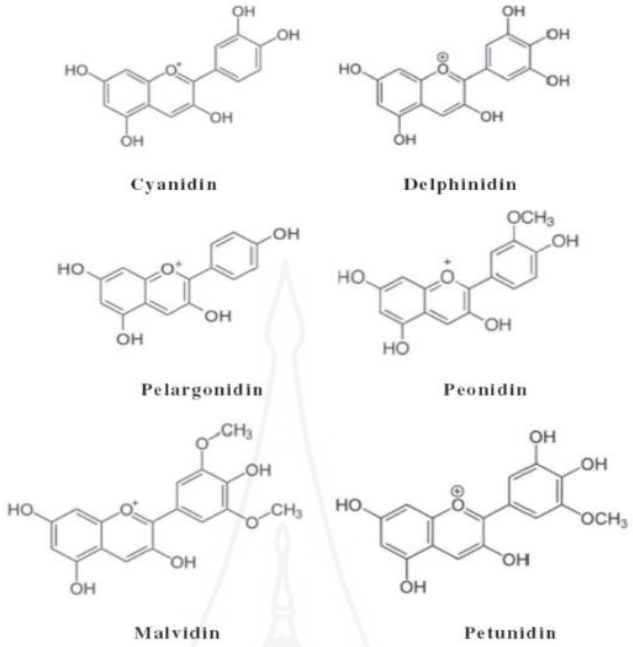
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

ที่มา : Hock Eng Khoo et al., 2017

7.3 ความคงตัวของแอนโทไซยานิน

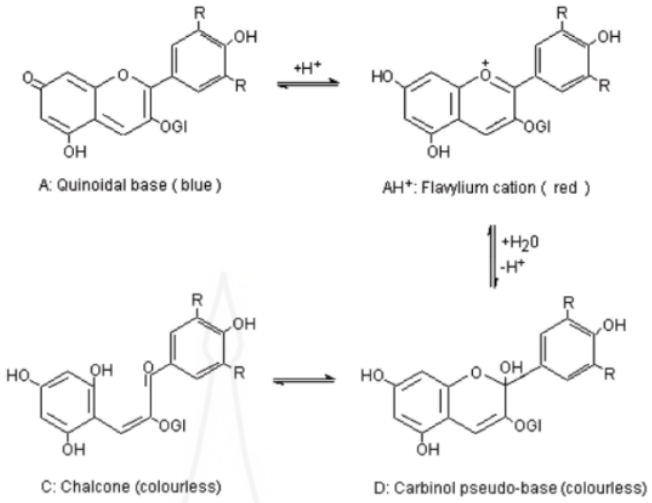
ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน มีดังนี้

7.3.1 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน (ภาพที่ 2.3) โครงสร้างในส่วนวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้น จะมีผลต่อสีของแอนโทไซยานิน เช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้นและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น และการเพิ่มหมู่เมธอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3’ และ 5’ จะทำให้สีแดงเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.3)(ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2557)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารแอนโทไซยานินที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้น
ที่มา : Hock Eng Khoo et al., 2017

7.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสภาวะสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดจะมีสีแดง (flavylium cations) เมื่อ pH สูงขึ้นจนสภาวะเป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง flavylium cations จะลดลงจากการเกิด hydration ไปเป็น colorless carbinol pseudobase ซึ่งไม่มีสี ส่วนสมดุลของแอนโทไซยานินระหว่าง flavylium cations และ quinoidal base เกิดขึ้นเมื่อ pH = 4.25 จะมีสีน้ำเงิน และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง (pH > 4.5) มีเฉพาะโครงสร้าง colorless carbinol pseudobase และ chalcone ไม่มีสี (ภาพที่ 2.4)(Hock Eng Khoo et al., 2017)



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยน
ที่มา : ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2557

7.3.3 อุณหภูมิ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของแอนโทไซยานินจากสีน้ำเงิน-ม่วง เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล-เหลือง เนื่องจากการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินจะมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้สีเปลี่ยนแปลงไปตามปฏิกิริยาความสมดุลของโครงสร้าง Bule quinonoid (น้ำเงิน-ม่วง) > red flavylium (แดง) > colorless carbine (ไม่มีสี) > colorless chalcone (น้ำตาล-เหลือง)

7.3.4 ออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในสารแอนโทไซยานินมีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้น โดยที่โมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินในตำแหน่งที่ C-2 หรือที่หมู่ hydroxyl group ของ B-ring ได้เป็น colorless carbinol pseudobase หรือ colorless chalcone หรือ quinidal base ซึ่งมีผลทำให้ flavylium cations ลดลง สีแดงของสารละลายจึงลดลง ทั้งนี้ อัตราการเกิดออกซิเดชั่นยังขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน

7.3.5 แสง การเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะที่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่งที่ C-5 จะสามารเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอเนื่องจากแสงไฟมากกว่าแอนโทไซยานินที่ไม่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่งที่ C-5 นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายจากความร้อน และเกิด photo-oxidation ของแอนโทไซยานินจะให้ผลเหมือนกับแอนโทไซยานินที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน ได้เป็น colorless chalcone (โครงสร้างที่ไม่มีสี)

7.3.6 กรดแอสคอร์บิก เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินได้ และกรดแอสคอร์บิกสามารถเกิดการควบแน่นกับแอนโทไซยานิน ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงตัว และเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี

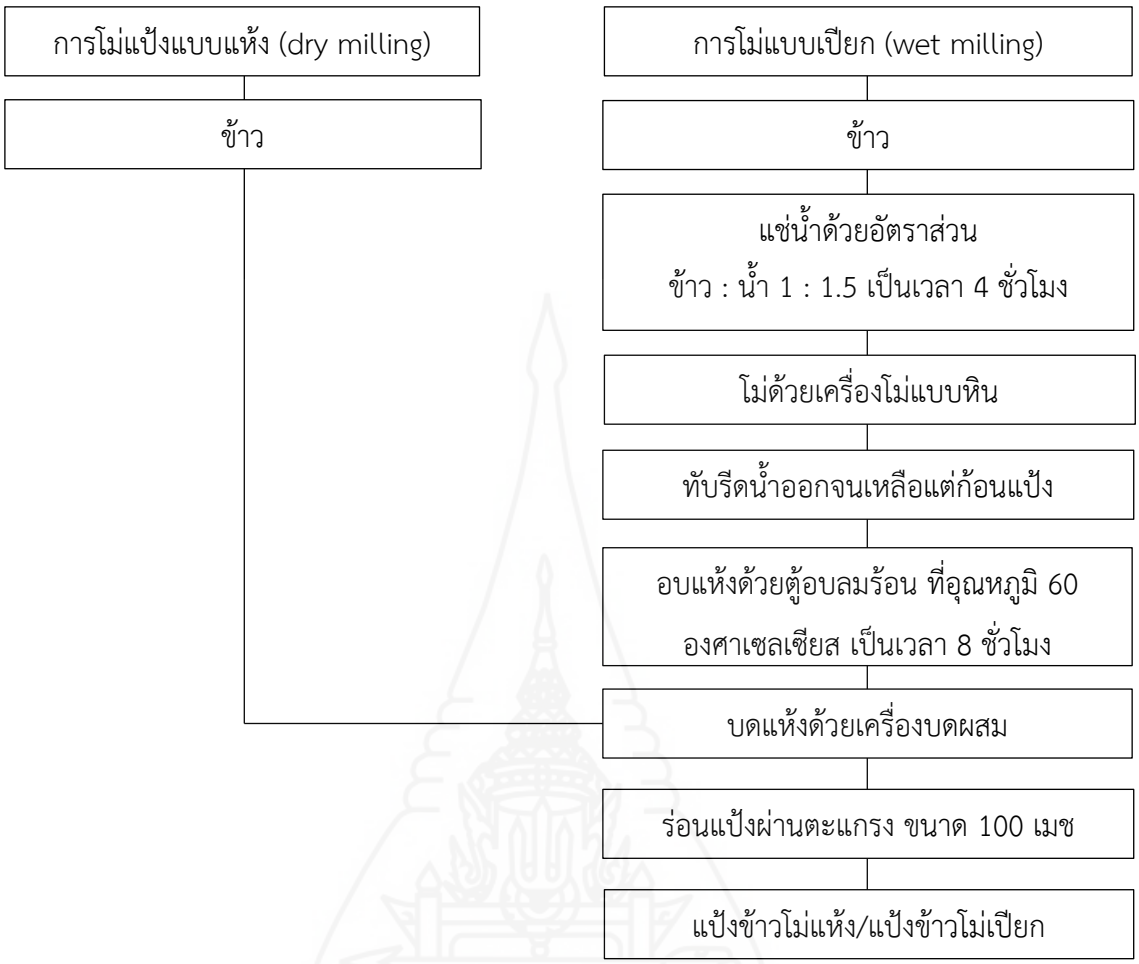
7.3.7 Co-pigment การเกิด Co-pigment หรือการเกิดสารประกอบต่าง ๆ เช่น Flavone, Flavonol, Flavonone, Aurone, Alkaloids และ Amino acids เป็นหนึ่งปัจจัยมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน (ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2557)

8. การผลิตแป้งจากข้าว

วิธีการผลิตแป้งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้ง โดยวิธีการโม่แป้งที่การวิจัยนี้จะศึกษาแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

8.1 การโม่แป้งแบบแห้ง (dry milling) เป็นการนำข้าวที่ผ่านการทำความสะอาดแบบแห้งหรือการเป่าลมไล่สิ่งสกปรก เช่น ดิน ทราย กรวด ออกก่อนเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งเป็นแป้งผงและนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน (ภาพที่ 2.6) แป้งที่ผ่านกระบวนการนี้จะยังเต็มไปด้วยไขมัน หรือ เรียกว่า Full-Fat Flour และโภชนาการจากข้าวที่ใช้เนื่องจากจมูกข้าวไม่ได้ถูกแยกออกจากองค์ประกอบภายในส่วนอื่น ๆ แต่จะถูกบดอยู่ในแป้ง (S.R. Eckhoff, 2004) การโม่ประเภทนี้ทำให้เกิดของเสียน้อย แต่เนื้อแป้งจะมีลักษณะค่อนข้างหยาบ อาจมีสิ่งเจือปนสูง และอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากมีโอกาสมีกลิ่นหืนมาจากน้ำมันจากเซลล์พืชที่แตกออกถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้มีกลิ่นและรสเหม็นเปรี้ยว อีกทั้งยังง่ายต่อการถูกทำลายจากแมลง (S.R. Eckhoff, and M.R.P. Aulsen, 2003) ในประเทศไทยพบแป้งข้าวที่เตรียมจากการโม่แป้งแบบแห้ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

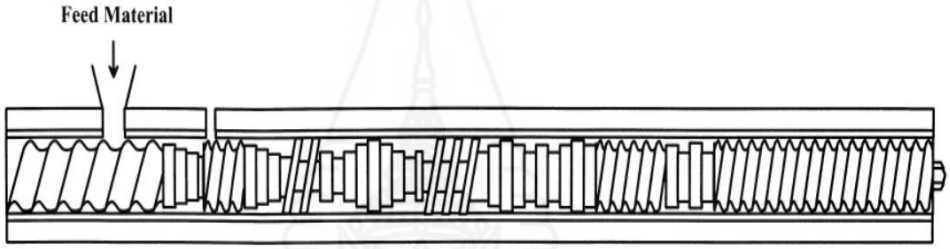
8.2 การโม่แบบเปียก (wet milling) เป็นการนำข้าวมาทำความสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำและเข้าเครื่องโม่ข้าวหรือที่เรียกว่าโม่หิน จากนั้นผ่านการทับน้ำเพื่อแยกตัวแป้งและน้ำออกจากกัน นำส่วนของแป้งไปอบแห้ง บดละเอียดด้วยเครื่องบดแห้งและนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน (วชิรพงศ์ เยาว์ฤทธิกร, และคณะ, 2562) (ภาพที่ 2.6) แป้งที่ได้จะมีความเข้มข้นของโปรตีนมากกว่าการโม่แห้ง มีคุณภาพดี มีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย ข้อเสียของวิธีการนี้คือทำให้เกิดน้ำเสียมาก และส่วนประกอบสำคัญในข้าวเกิดการสูญเสียไป (Pavel Somavata, Wei Liub, and Vijay Singhc, 2021; ศันสนีย์ อุดมระติ, และพัชรี ตั้งตระกูล, 2561)



ภาพที่ 2.6 วิธีการผลิตแป้งแบบการโม่แป้งแบบแห้ง (dry milling) และการโม่แบบเปียก (wet milling)
ที่มา : วชิรพงศ์ เยาว์ฤทธิกร และคณะ, 2562

8.3 เอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) เป็นกระบวนการผลิตโดยการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ ซึ่งอาจจะเป็นการให้ความร้อนโดยตรงด้วยไอน้ำหรือขดลวดความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดทานและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในบาร์เรล ซึ่งกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ขึ้นรูปอาหาร เช่น ซีเรียล เส้นพาสต้า โดยการอัดผ่านหน้าแปรน (die) ที่มีรูปร่างต่าง ๆ หลังจากให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ (อาภัสรา แสงนาค, และคณะ, 2554) เป็นการผลิตอย่างต่อเนื่อง มีความรวดเร็ว ต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูง สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบไว้ ไม่สูญเสียไปกับกระบวนการแปรรูปจนหมด แต่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในวัตถุดิบ เช่น การเกิดเจลในแป้ง แป้งที่ได้จัดเป็นแป้งพรีเจลาทิไนซ์ (pre-gelatinized flour) เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเน่าเสียในการเก็บรักษาของอาหาร (Severini et al., 2016) ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอ๊กซ์ทรูด (extruder) (ภาพที่ 2.7) คือ ส่วนกระบอกอัดและส่วนเกลียดสกรูอัดอาหาร โดยที่เกลียวจะหมุน

เคลื่อนที่อยู่ภายใน จะส่งอาหารไปตามเกลียวอัดโดยที่ในระหว่างอาหารเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะเกิดความร้อนขึ้นจาก 3 สาเหตุ คือ (1) เกิดจากแรงอัดในระหว่างเกลียวอัดส่งอาหารไปข้างหน้าตลอดเวลา ทำให้อาหารได้รับแรงอัดมากจนทำให้เกิดความร้อนขึ้น (2) เกิดจากการเสียดสีระหว่างที่อาหารเคลื่อนที่กับผิวกระบอกอัดซึ่งอยู่นิ่งกับที่ และการเสียดสียังเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ของอาหารกับการเคลื่อนที่ของกระบอกอัดที่เร็วกว่า (3) เกิดจากการให้ความร้อนโดยตรงด้วยไอน้ำหรือขดลวดความร้อน ความร้อนที่เกิดจากทั้ง 3 สาเหตุ ส่งผลให้เกิดความร้อนในปริมาณมากพอที่จะทำให้แป้งในอาหารทั้งหมดสุกสมบูรณ์ในระดับที่เหนียวคล้ายแป้งเปียก (gelatinization) วัตถุดิบจะอยู่ในสภาพยืดตัวพร้อมที่จะปรับเปลี่ยนรูปร่างได้ จึงอัดผ่านตะแกร่งที่มีความหนาและรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการ เมื่อวัตถุดิบผ่านออกมากระทบกับความเย็น ความดันของผลิตภัณฑ์จะลดลงทันที (คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2546)



ภาพที่ 2.7 ภาพตัดขวางของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์(extruder) ที่ใช้ผลิตแป้งเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion)
ที่มา : C.I. Onwulata, P.W. Smith, R.P. Konstance, and V.H. Holsinger, 2017

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

1.1 ข้าวหอมนิล เก็บเกี่ยวปีพ.ศ. 2561 ยี่ห้อบ้านนาวิลิต บริษัท บ้านนาวิลิต ประเทศไทย

1.2 แป้งสาลีอเนกประสงค์ ยี่ห้อว่าว บริษัท ยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน) จำกัด ประเทศไทย

1.3 เนยจืด ยี่ห้ออลาวรี่ บริษัท เคซีจี คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศไทย

1.4 น้ำตาลทรายขาวป่น ยี่ห้อไดนาสตี้ บริษัท ไดนาสตี้ แปซิฟิก จำกัด ประเทศไทย

1.5 ไข่ไก่สด ยี่ห้อ ซีพี บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย

1.6 ผงโกโก้ ยี่ห้อทิวลิป บริษัท ซีโน-แปซิฟิค เทรดดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย

1.7 ช็อกโกแลตแท่ง (chocolate bar) ยี่ห้อทิวลิป บริษัท ซีโน-แปซิฟิค เทรดดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย

1.8 เกลือบริโภค ยี่ห้อปรุงทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด ประเทศไทย

1.9 กลิ่นวานิลลา ยี่ห้อวินเนอร์ บริษัท เกรทฮิลล์ จำกัด ประเทศไทย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เตาอบ (oven) (รุ่น Severin 2023, ยี่ห้อ วีรสุ, บริษัท วีรสุ กรุ๊ป จำกัด, ประเทศไทย)

2.2 เครื่องบด (grinder) (รุ่น Powder mill, ยี่ห้อ Robot, บริษัท ทรัพย์คลังทอง อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, ประเทศไทย)

2.3 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (protein analyzer) (รุ่น Kjeldatherm KB, ยี่ห้อ GERHARDT, บริษัท Gerhardt GmbH & Co., Germany)

2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมันแบบอัตโนมัติ (automated Soxhlet) (รุ่น E-816 p Soxhlet, ยี่ห้อ Buchi, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)

2.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (fiber analyzer) (รุ่น FT12, ยี่ห้อ Gerhardt, บริษัท Gerhardt GmbH & Co., Germany)

2.6 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (รุ่น JSS20-48AMS ยี่ห้อ DELLO, บริษัท Binder Group, Singapore)

2.7 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) (รุ่น 4TE, ยี่ห้อ AQUA LAB, บริษัท meter group, USA)

2.8 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) (รุ่น TA XT plus, บริษัท Stable Micro System ltd., United Kingdom)

2.9 เครื่องวัดค่าสี *(spectrophotometer) (รุ่น Color Flex 4510, ยี่ห้อ HunterLab ColorFlex,* บริษัท *Hunter AssociatesLaboratory, Inc., Virginia,* USA)

2.10 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder) (รุ่น LT70-L twin screw extruder, บริษัท JINAN ARROW MACHINERY CO., LTD, China)

2.11 เครื่องปั่นเหวี่ยง (รุ่น ALLEGRA X-15R ยี่ห้อ Beckman Coulter บริษัท Beckman Coulter Inc., USA)

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ (1) การคัดเลือกสูตรบราวนี่พื้นฐานที่เหมาะสม (2) การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน และ (3) การศึกษาคุณลักษณะของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การคัดเลือกสูตรบราวนี่ที่เหมาะสม

3.1.1 การเตรียมบราวนี่สูตรพื้นฐาน เลือกส่วนผสมและวิธีการเตรียมบราวนี่จากงานวิจัยที่มีก่อนหน้าและจากการสำรวจร้านค้าเพื่อให้ได้สูตรทางการค้า รวมจำนวน 3 สูตร ชนิดและปริมาณของส่วนผสมของแต่ละสูตรแสดงดังตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมบราวนี่สูตรพื้นฐานดังภาพที่ 3.1

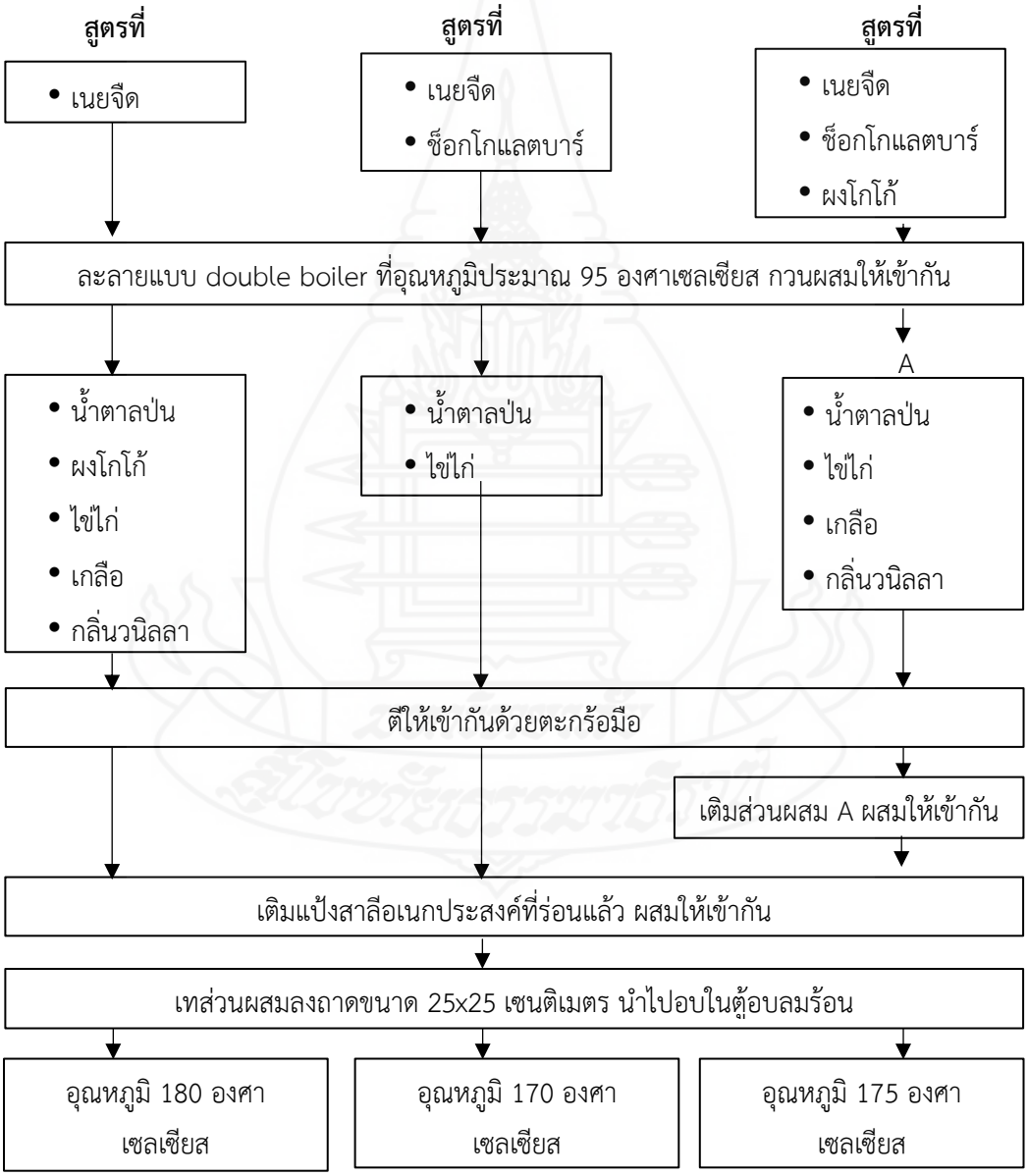
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมและปริมาณของสูตลบราวนี่พื้นฐาน

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
แป้งสาลีอเนกประสงค์	11	15	6
เนยจืด	22	17	27
น้ำตาลทรายป่น	38	32	26
ไข่ไก่ทั้งฟอง	18	16	18
ผงโกโก้	10	-	7
ช็อกโกแลต (บาร์)	-	20	15

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
เกลือ	0.4	-	0.5
กลิ่นวนิลลา	0.6	-	0.5

ที่มา : สูตรที่ 1 ไชยสิทธิ์ พันธุ์ฟูจินดา และคณะ, 2559 สูตรที่ 2 พรรัตน์ สินชัยพานิช และคณะ, 2560 สูตรที่ 3 ร้านเบเกอรี่ Achibake ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมบราวนี่สูตรพื้นฐาน

3.1.2 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale เพื่อประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม กำหนดให้คะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึงคะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ทดสอบกับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ให้ผู้ทดสอบดื่มน้ำหรือบ้วนปากทุกครั้งก่อนการทดสอบตัวอย่างต่อไป คัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรบราวนี่ด้วยแป้งจากข้าวหอมนิล โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า/คัดออกของผู้ทดสอบ ดังนี้

- **เกณฑ์การคัดเข้า** กำหนดคุณสมบัติ ดังนี้
  1) ประชากรในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ที่มีอายุตั้งแต่ 18-60 ปี
  2) สามารถอ่าน ฟัง เขียน และพูดภาษาไทยได้
  3) เคยบริโภคบราวนี่
  4) ไม่มีประวัติแพ้อาหาร
  5) สุขภาพแข็งแรง ไม่มีอาการเจ็บป่วยหรือโรคใด ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการเข้าร่วมการวิจัย
  6) ยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
- **เกณฑ์การคัดออก** กำหนดคุณสมบัติ ดังนี้
  1) ไม่สามารถอ่าน ฟัง เขียน และพูดภาษาไทยได้
  2) ไม่เคยบริโภคบราวนี่
  3) มีอาการเจ็บป่วยหรือโรคในช่วงเวลาทดสอบ เช่น เป็นหวัด เบาหวาน
  4) มีประวัติแพ้อาหาร โดยเฉพาะแป้งสาลี ไข่ น้ำนม
  5) ตอบแบบสอบถามไม่ครบที่กำหนดไว้
  6) ไม่ยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

3.2 การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

3.2.1 การเตรียมแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

นำข้าวหอมนิลมาเตรียมแป้งด้วยวิธีต่าง ๆ โดย (1) การโม่แห้ง ดัดแปลงจากวิธีการของ วชิรพงศ์ เยว์ฤทธิกร และคณะ (2562) นำเม็ดข้าวหอมนิลไปบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตระแกรงร่อนขนาด 100 mesh นำส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนใช้เป็นแป้งข้าวหอมนิลแบบโม่แห้ง (2) การโม่เปียก ดัดแปลงจากวิธีการของ วชิรพงศ์ เยว์ฤทธิกร และคณะ (2562) นำข้าวหอมนิลแช่น้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1 : 1.5 จากนั้นผ่านเครื่องโม่หิน โดยนำน้ำแป้งที่ได้จากการโม่ห่อด้วยผ้าขาวบางมัดให้แน่นไม่มีส่วนที่แป้งจะสามารถไหลออกมาได้ จากนั้นนำครกหินทับไว้ด้านบนเพื่อรีดน้ำออกจากตัวแป้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30-45 นาที หรือจนกว่าจะไม่มีส่วนน้ำไหลออกมาจากเนื้อแป้งข้าวแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำผงแป้งที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงร่อน

ขนาด 100 mesh นำส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนใช้เป็นแป้งข้าวหอมนิลแบบโม่เปียก และ (3) เอ็กซ์ทรูชัน ดัดแปลงจากวิธีการของ Elena Diez-Sáncheza, Amparo Quilesa, Empar Llorcaa, Anne-Marie Reiβnerb, Susanne Struckb (2019) โดยนำข้าวมาเข้าเครื่องเอ็กทรูเดอร์ (extruder) รุ่น LT70-L twin screw แบบใช้ความร้อน โดยอุณหภูมิที่ใช้ใน 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนนำเข้า (feed section) ส่วนกดอัด (transition section) และส่วนอัดรีด (metering section) อุณหภูมิที่ใช้ คือ 60 110 และ 125 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความเร็วของส่วนป้อน (feeder speed) และความเร็วใบตัด (cutter speed) คือ 15 และ 40 รอบต่อนาที ตามลำดับ หลังจากแป้งผ่านหน้าแปรน (die) รูปทรงโดนัท (Doughnut shape) เพื่อขึ้นรูปแล้ว นำไปบดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh ส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนใช้เป็นแป้งข้าวหอมนิลแบบเอ็กซ์ทรูชัน นำแป้งข้าวหอมนิลทุกชนิดที่ได้บรรจุในถุงซิปอลูมิเนียมฟอยล์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้ง ดังนี้

1) ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index : WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index : WSI) ดัดแปลงจากวิธีการของ R.A. Anderson (1982) ชั่งตัวอย่างแป้ง 2.5 กรัม ใส่หลอดปั่นเหวี่ยง (centrifuge tube) ที่มีฝาปิดและทราบน้ำหนักที่แน่นอน เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตรและคนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากันทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นล้างแป้งส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสลงในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ นำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ดังสมการที่ 1 นำหลอดปั่นเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือในหลอดนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ดังสมการที่ 2 โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ดัชนีการละลายน้ำ (WSI) = (น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ (g) / น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)) x 100

สมการที่ 1

ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) = (น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงพร้อมตะกอน (g) – น้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยง (g)) /น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

สมการที่ 2

2) ค่าสี ดัดแปลงจากวิธีการของ ศรีนวล จันทไทย และคณะ (2560) นำตัวอย่างแป้งใส่ภาชนะแก้วใสทรงกระบอก ที่ระดับความสูงจากฐานประมาณ 0.5 เซนติเมตร หรือให้เต็มก้นภาชนะ หรือให้ปิดรูรับแสงจนมิด ประกอบเข้ากับแท่นวัดสีแล้วครอบด้วยฝาปิดทึบ ทำการวัด 3 ซ้ำ ด้วยเครื่องวัดสี (spectrophotometer) ในระบบ CIE lab scale (l*, a* และ b*) รายงานผลการทดสอบเป็นค่า L* (ค่าความสว่าง) a* (-a* = ค่าความเป็นสีเขียว และ +a* = ค่าความเป็นสีแดง) และ b* (-b* = ค่าความเป็นสีน้ำเงิน และ +b* = ค่าความเป็นสีเหลือง)

3) การวัดค่า a_w (water activity) ดัดแปลงจากวิธีการของ Elisaveta I. Sandulachi, and Pavel Gh. Tatarov (2012) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) โดยนำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยวิเคราะห์เพื่อเตรียมวัดค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธีการ AOAC Official Method 925.45 (2016) moisture in sugars (moisture) ปริมาณเถ้า (ash content) ตามวิธีการ AOAC Official Method 935.39 920.153 (2016) Ash of meat (Ash) ปริมาณไขมัน (fat content) ตามวิธีการ AOAC Official Method 922.06 (2016) fat in flour (fat) ปริมาณโปรตีน (protein content) ตามวิธีการAOAC Official Method 981.10 (2016) crude protein in meat (protein/crude protein) โดยใช้ Nitrogen factor เท่ากับ 5.95 (ข้าวเจ้าและผลิตภัณฑ์) ปริมาณใยอาหารหยาบ (crude fiber content) ตามวิธีการ AACC Method 32-10.01 crude fiber in flours, feeds, and feedstuffs และปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (total carbohydrate content) ตามวิธีการ compendium of method for food analysis (2003) total carbohydrate โดยการวิเคราะห์ทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3 การศึกษาคุณลักษณะของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล

3.3.1 การเตรียมบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน เลือกสูตรการเตรียมบราวนี่ที่เหมาะสมตามข้อ 3.3.1 และเตรียมบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน ด้วยวิธีการที่อธิบายในข้อ 3.3.2.1

3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล ดังนี้

1) ค่าสี ดัดแปลงจากวิธีการของ ศรีนวล จันทไทย และคณะ (2560) ด้วยเครื่องวัดสี (spectrophotometer) ในระบบ CIE lab scale (L*, a* และ b*) ด้วยเครื่อง color meter โดยนำบราวนี่ขนาด 6 x 6 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) จำนวน 3 ชิ้น สุ่มวัดค่าสีชิ้น บราวนี่จำนวน 3 จุดต่อชิ้น (โดยการวัดค่าสีที่ผิวหน้าจะวางด้านผิวด้านบนของบราวนี่ลงบนภาชนะให้ปิดรูรับแสงของเครื่องและหมุนไปมาเพื่อให้เครื่องวัดค่าสี 3 จุด, การวัดค่าสีเนื้อด้านในจะวางบราวนี่ด้านข้างลงบนภาชนะให้ปิดรูรับแสงของเครื่องและหมุนไปมาเพื่อให้เครื่องวัดค่าสี 3 จุด) รายงานค่าสีเป็นเฉลี่ยของค่า L* (ค่าความสว่าง) a* (-a* = ค่าความเป็นสีเขียว และ + a* = ค่าความเป็นสีแดง) และ b* (-b* = ค่าความเป็นสีน้ำเงิน และ +b* = ค่าความเป็นสีเหลือง)

2) การวัดค่า a_w (water activity) ดัดแปลงจากวิธีการของ Sandulachi (2012) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) โดยนำตัวอย่างบรรจุลงในถ้วยวิเคราะห์เพื่อเตรียมวัดค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3) ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ดัดแปลงจากวิธีการของ Feili R., Wahibu Zzaman, Wan Nadiah Wan Abdullah, and Tajul A. Yung (2013) โดยนำชิ้นบราวนี่ขนาด

2 x 2 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) ทำการชั่งน้ำหนักแล้วนำใส่กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมล็ดงาจนถึงขีดบอกปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำเมล็ดงาที่ใช้ออกและวัดปริมาตรของเมล็ดงาอีกครั้ง คำนวณปริมาตรจำเพาะดังสมการที่ 3 ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ปริมาตรจำเพาะของบราวนี่ (ลูกบาศ์กเซนติเมตร/กรัม) = (ปริมาตรของกระบอกตวง (มิลลิลิตร) – ปริมาตรเมล็ดงาที่เติมในบราวนี่ (มิลลิลิตร)) /น้ำหนักของบราวนี่ (กรัม)

สมการที่ 3

4) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน (Nitrogen factor เท่ากับ 5.95) ใยอาหารหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 3.3.2.2 (4)

5) การวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ตามวิธีการที่ระบุมากับเครื่อง ที่อุณหภูมิห้อง ประกอบด้วยค่าความแข็ง (hardness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว (gumminess) และค่าความทนต่อการเคี้ยว (chewiness) โดยวัดแบบ texture profile analysis : TPA ซึ่งเป็นการกดหัวลงบนตัวอย่าง 2 ครั้ง (เป็นการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์) หัววัด P35 ทรงกระบอกหน้าตัดรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และกดลงชิ้นบราวนี่ที่มีขนาด 3 x 3 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) ด้วยความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความลึกไม่เกินร้อยละ 50 ของความสูงชิ้นบราวนี่ ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง ดัดแปลงจาก (พรรัตน์ สินชัยพานิช และคณะ, 2560) เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเชื่อมต่อกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Texture Expert® for Windows® v.1.11 จากนั้นเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (aerobic plate count) และปริมาณยีสต์และเชื้อรา (yeast and mold count) ตามวิธีการ FDA BAM Online, 2001 (Chapter 3) (Aerobic Plate Count) และตามวิธีการ AOAC (2019) 997.02 (Yeast and Mold Count in Foods)

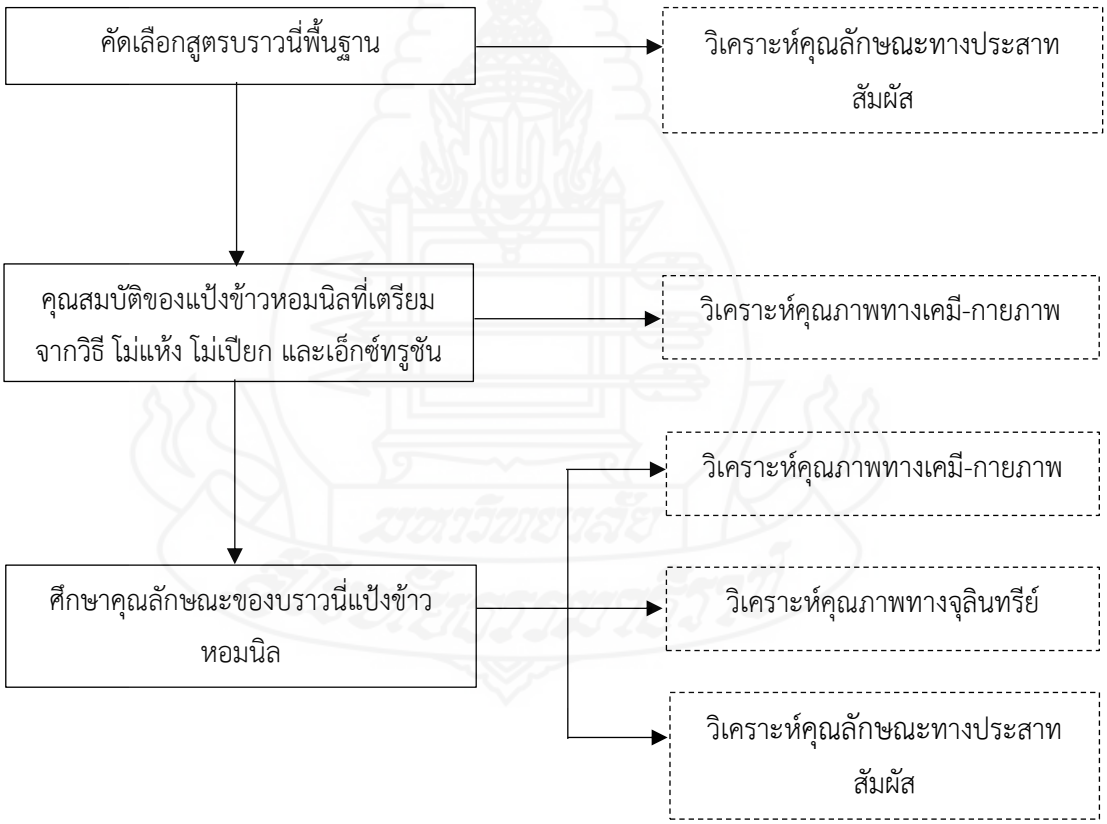
3.3.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale เพื่อประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามที่ระบุในข้อ 3.3.1.2

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ยกเว้นการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design: RCBD) แสดงข้อมูลในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ของตัวแปรในการทดลองโดยใช้ Duncan’s new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติ Statistical Package for the Social Sciences : SPSS

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อยอดจากประสบการณ์ของผู้วิจัยที่ประกอบธุรกิจผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ รวมถึงผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่มีผู้บริโภคบางกลุ่มต้องการผลิตภัณฑ์บราวนี่ปราศจากโปรตีนกลูเตน ผู้วิจัยจึงออกแบบการวิจัยโดยใช้แป้งจากข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลี โดยเปรียบเทียบการกับการใช้แป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจาก 3 วิธีการ คือ วิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน โดยออกแบบการทดลองเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) การคัดเลือกสูตรบราวนี่ที่เหมาะสม (2) การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน และ (3) การศึกษาคุณลักษณะของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ภาพรวมการวิจัย

1. การคัดเลือกสูตรบราวนี่พื้นฐานที่เหมาะสม

ผลการคัดเลือกสูตรบราวนี่ที่เหมาะสมจากสูตรพื้นฐานและวิธีการเตรียม วิเคราะห์โดยการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าบราวนี่ที่เตรียมจากสูตรพื้นฐานที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดทั้งลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานที่ 1 และสูตรพื้นฐานที่ 2 ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีคะแนนความชอบต่ำกว่า และจากข้อเสนอแนะของผู้ทดสอบพบว่าสูตรที่ 1 มีรสชาติหวานเกินไปเนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำตาลสูง และสูตรที่ 2 มีรสชาติหวานเกินไปและไม่มีกลิ่นหอม เนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำตาลสูงและไม่มีส่วนผสมของโกโก้และวนิลลา ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ บราวนี่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว จึงเลือกสูตรพื้นฐานที่ 3 สำหรับการวิจัยในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบราวนี่สูตรพื้นฐาน

สูตรพื้นฐาน	ลักษณะคุณภาพ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.56 ± 1.73^{b}	6.52 ± 1.72^{b}	6.38 ± 1.96^{b}	6.38 ± 2.00^{b}	6.04 ± 1.90^{b}	5.74 ± 1.69^{b}
2	5.64 ± 1.82^{c}	5.50 ± 1.58^{c}	6.16 ± 1.82^{b}	5.42 ± 2.07^{c}	5.24 ± 2.05^{c}	5.44 ± 1.95^{b}
3	7.38 ± 1.35^{a}	7.58 ± 0.95^{a}	7.58 ± 1.23^{a}	7.22 ± 1.43^{a}	7.20 ± 1.63^{a}	7.72 ± 1.03^{a}

$^{a, b, c, \ldots}$ ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. คุณสมบัติของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

2.1 องค์ประกอบทางเคมี ของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน แสดงดังตารางที่ 4.2 แป้งสาลีอเนกประสงค์มีปริมาณโปรตีนทั้งหมดและใยอาหารหยาบสูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่มีค่าเถ้าและปริมาณไขมันทั้งหมดต่ำกว่า ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้งและโม่เปียก พบว่า แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีค่าความชื้น เถ้า ไขมัน และใยอาหารหยาบสูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก ($p \leq 0.05$) ขณะที่แป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากเอ็กซ์ทรูชันมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ใกล้เคียงกับแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้งและโม่เปียก ยกเว้นค่าความชื้นและปริมาณไขมันทั้งหมด ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณ					
	ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ใยอาหารหยาบ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
แป้งสาลีอเนกประสงค์	11.38±0.14[a]	0.62±0.08[c]	13.62±0.10[a]	1.82±0.19[c]	0.73±0.02[a]	83.20±0.23[b]
แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	9.84±0.14[b]	1.46±0.03[a]	9.98±0.12[b]	4.60±0.76[a]	0.43±0.05[b]	83.53±0.88[b]
แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	8.29±0.07[c]	1.27±0.03[b]	9.91±0.18[b]	3.69±0.32[ab]	0.14±0.02[c]	84.99±0.48[a]
แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	4.44±0.24[d]	1.37±0.10[ab]	9.92±0.26[b]	2.25±1.29[bc]	0.13±0.02[c]	86.32±1.10[a]

[a, b, c, ...] ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.2 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ลักษณะปรากฏ และค่าสี ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของแป้งสาลีอเนกประสงค์และแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 0.41-0.58 (ตารางที่ 4.3) ลักษณะปรากฏของแป้งแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 4.2 แป้งสาลีอเนกประสงค์มีสีครีมนวล ขณะที่แป้งข้าวหอมนิลมีสีน้ำตาลแดง โดยแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีสีน้ำตาลคล้ำมากที่สุด แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีสีแดงน้ำตาล และแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกมีสีแดงขาวหรือสีแดงอ่อน เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L*) พบว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าสูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการ ต่าง ๆ ($p \leq 0.05$) ค่าความเป็นสีแดง (a*) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่ามากที่สุด แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง และแป้งสาลีอเนกประสงค์ มีค่าน้อยลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่ามากที่สุด แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก และแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง มีค่าน้อยลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ค่าสี ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index : WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index : WSI)

ตัวอย่าง	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้	ค่าสี			ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ	ค่าดัชนีการละลายน้ำ
		L*	a*	b*		
แป้งสาลีอเนกประสงค์	0.58±0.00^{a}	92.45±0.00^{a}	0.37±0.10^{d}	7.62±0.02^{b}	168.86±3.22^{d}	6.43±0.13^{bc}
แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	0.54±0.00^{b}	52.34±17.33^{b}	3.16±0.06^{c}	3.20±0.02^{d}	217.30±5.08^{b}	4.52±0.44^{bcd}
แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	0.50±0.00^{c}	63.65±0.02^{b}	6.60±0.08^{b}	3.62±0.07^{c}	207.64±0.15^{c}	2.75±0.08^{cd}
แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	0.41±0.00^{d}	60.97±0.05^{b}	6.87±0.06^{a}	9.75±0.05^{a}	409.68±4.06^{a}	35.19±2.63^{a}

$^{a, b, c, \ldots}$ ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.0$)

ก. ข. ค. ง.

ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายตัวอย่างแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ (ก) แป้งสาลีอเนกประสงค์ (ข) แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง (ค) แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก (ง) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน

2.3 ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าดัชนีการละลายน้ำสูงที่สุด ขณะที่แป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ มีค่าที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.3) โดยแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าดัชนีการดูดซับน้ำพบว่าแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าสูงที่สุด แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีค่าน้อยลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

3. คุณสมบัติของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล

3.1 องค์ประกอบทางเคมี บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าความชื้นต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะที่บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลมีค่าความชื้นที่สูงกว่า (ตารางที่ 4.4) ค่าเถ้าของบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งสาลีอเนกประสงค์และแป้งข้าวหอมนิลมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.56-1.80 ส่วนปริมาณโปรตีนทั้งหมดพบว่าบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูดและบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกมีค่าสูงกว่าบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์และบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) ปริมาณไขมันทั้งหมดของบราวนี่ทั้งจากแป้งสาลีอเนกประสงค์และบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่างร้อยละ 34-38 ส่วนใยอาหารหยาบพบว่าบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) และค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 52-56

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล

ตัวอย่าง	ปริมาณ (ร้อยละ)					
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	ใยอาหารหยาบ	คาร์โบไฮเดรต
บราวนี่จากแป้งแป้งสาลีอเนกประสงค์	13.89±0.39^{c}	1.56±0.04^{b}	6.73±0.09^{c}	37.60±0.42^{a}	0.28±0.01^{d}	53.03±0.35^{b}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	15.74±0.25^{a}	1.62±0.08^{b}	6.96±0.24^{c}	34.09±0.47^{c}	0.91±0.04^{a}	56.43±0.21^{a}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	14.54±0.05^{b}	1.78±0.07^{a}	7.53±0.13^{b}	36.21±1.81^{ab}	0.59±0.05^{c}	54.69±1.70^{b}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	14.44±0.90^{b}	1.80±0.10^{a}	8.46±0.32^{a}	35.63±0.40^{bc}	0.76±0.04^{b}	53.35±0.30^{b}

$^{a, b, c, \ldots}$ ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ลักษณะปรากฏ ค่าสี และปริมาตรจำเพาะ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์และบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลมีค่า 0.76-0.8 (ตารางที่ 4.5) สีของผิวและเนื้อ บราวนี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) น้อยที่สุด โดยสีของเนื้อบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สูงที่สุด (ตารางที่ 4.5) ดังภาพถ่าย (ภาพที่ 4.2) เห็นได้ว่าบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีสีคล้ำกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ขณะที่เนื้อบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวหอมโม่แห้งและโม่เปียกมีลักษณะของสีที่ใกล้เคียงกับบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์มากกว่า โดยบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีค่าปริมาตรจำเพาะที่ใกล้เคียงกับบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์มากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ($p \leq 0.05$)

ก. **ข.** **ค.** **ง.**

ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายด้านบน (ภาพบน) และด้านข้าง (ภาพล่าง) ของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล (ก) แป้งสาลีอเนกประสงค์ (ข) แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง (ค) แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก (ง) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน

ก. ข.

ค. ง.

ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายตัดขวางของบราวนี่แป้งข้าวหอมนิล (ก) แป้งสาลีอเนกประสงค์ (ข) แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง (ค) แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก (ง) แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน

3.3 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ค่าความแข็ง (hardness) หรือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดซึ่งเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก ไม่ต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ($p > 0.05$) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีค่าสูงกว่าบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์เล็กน้อย ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.6) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) หรือความสามารถในการคืนตัวของบราวนี่หลังจากการถูกกดหรือเคี้ยว บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งต่ำสุด ($p \leq 0.05$) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก ไม่ต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าสูงที่สุด และบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าต่ำกว่าบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล โม่เปียกและบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.6) ค่าการยึดเกาะของเนื้ออาหาร (cohesiveness) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งต่ำสุด ($p \leq 0.05$) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกและบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน ไม่ต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ซึ่งอยู่ในช่วง 0.39-0.46 ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.6) ค่าความเหนียวความหยุ่นตัว (gumminess) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน มีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งและโม่เปียก ไม่ต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ซึ่งอยู่ในช่วง 1,263-1,916 ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.6) และค่าการทนต่อ

การเคี้ยว (chewiness) หรือพลังงานที่ต้องใช้ในการเคี้ยว บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งต่ำสุด ($p \leq 0.05$) โดยไม่ต่างจากบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าสูงที่สุดโดยไม่ต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ซึ่งอยู่ในช่วง 1,501-1,998 ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.5 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ค่าสี และปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล

ตัวอย่าง	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้	ค่าสีของผิวหน้า			ค่าสีของเนื้อ			ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g)
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	
บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์	0.76±0.00^{b}	14.73±0.05^{b}	7.76±0.16^{a}	5.42±0.17^{a}	17.87±0.12^{a}	7.94±0.33^{a}	8.35±0.21^{a}	1.21±0.06^{a}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	0.80±0.00^{a}	13.61±0.23^{c}	5.38±0.40^{b}	2.21±0.22^{b}	14.85±0.04^{b}	5.85±1.01^{bc}	6.59±0.30^{b}	0.95±0.08^{b}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	0.77±0.00^{b}	15.25±0.15^{a}	5.62±0.24^{b}	2.59±0.50^{b}	13.46±0.15^{d}	5.28±0.68^{bcd}	5.72±0.73^{c}	0.53±0.11^{c}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	0.76±0.02^{b}	12.25±0.32^{d}	3.88±0.32^{c}	0.96±0.61^{c}	13.77±0.22^{c}	4.20±0.32^{cd}	3.76±0.38^{d}	0.24±0.02^{d}

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล

ตัวอย่าง	เนื้อสัมผัส				
	ค่าความแข็ง (g)	ค่าความยืดหยุ่น	ค่าการยึดเกาะของเนื้ออาหาร	ค่าความเหนียวความหยุ่นตัว	ค่าการทนต่อการเคี้ยว
บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์	4,152±638.36^{c}	0.78±0.05^{a}	0.46±0.03^{a}	1,916±317.36^{b}	1,501±305.28^{ab}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	5,505±924.81^{b}	0.48±0.06^{c}	0.23±0.04^{b}	1,263±167.72^{b}	602±131.62^{c}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	3,106±328.53^{c}	0.82±0.08^{a}	0.42±0.02^{a}	1,294±133.45^{b}	1,064±195.79^{bc}
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	7,932±656.01^{a}	0.64±0.08^{b}	0.39±0.09^{a}	3,052±643.39^{a}	1,998±648.86^{a}

$^{a, b, c, \ldots}$ ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความชอบของผู้ชิมต่อบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์และบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล พบว่า บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกมีคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ซึ่งมีคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ไม่แตกต่างจากบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง ($p > 0.05$) บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีคะแนนความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล

ตัวอย่าง	ลักษณะคุณภาพ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์	8.32±0.89[a]	8.30±0.78[a]	8.36±0.94[a]	7.84±1.30[a]	8.18±1.36[a]	8.08±1.21[a]
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	7.70±0.65[b]	7.62±0.65[b]	7.57±0.56[b]	6.12±0.74[b]	5.46±0.56[b]	6.40±0.40[b]
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	7.75±1.01[b]	7.70±1.02[b]	7.73±1.10[b]	7.89±0.98[a]	7.81±1.14[a]	7.87±0.73[a]
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	6.25±1.50[c]	6.16±1.45[c]	5.96±1.56[c]	5.26±1.94[c]	5.00±1.99[c]	5.44±1.66[c]

[a, b, c, ...] ตัวเลขที่มีตัวยกกำกับด้วยอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.5 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของบราวนี่บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 2.5×10^2 โคโลนีต่อกรัม ยีสต์และรามีค่าน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม

(ตารางที่ 4.9) ตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเค้ก (มผช. 459/2555) ระบุว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า $1x10^6$ โคโลนีต่อกรัมและปริมาณยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม โดยการทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า ดังนั้น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน จึงเป็นไปตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล

ตัวอย่าง	**จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)**	**จำนวนยีสต์และรา (cfu/g)**
บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์	$<2.5x10^2$ EAPC	<10 est.
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง	$<2.5x10^2$ EAPC	<10 est.
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก	$<2.5x10^2$ EAPC	<10 est.
บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชัน	$<2.5x10^2$ EAPC	<10 est.

EAPC หมายถึง Estimated Aerobic Plate Count (จำนวนการตรวจนับโดยประมาณ)

est. หมายถึง Estimated Counts (จำนวนโดยประมาณ)

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษา 1. คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน 2. คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของบราวนี่ปราศจากกลูเตนที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งวิธีการเตรียมแป้งข้าวหอมนิลมีผลต่อค่าสี โดยวิธีเอ็กซ์ทรูชันได้แป้งข้าวหอมนิลที่มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด ($p \leq 0.05$) และมีผลต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำและค่าดัชนีการละลายน้ำ แป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าสูงที่สุด แป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง แป้งข้าวหอมนิลโม่เปียก แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีค่าน้อยลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำแป้งข้าวหอมนิลผลิตเป็นบราวนี่ พบว่าบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีสีน้ำตาลคล้ำทั้งที่ผิวหน้า (crust) และเนื้อใน (crumb) และมีปริมาตรจำเพาะน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อทดสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสพบว่า บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกมีค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (gumminess) และความทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ไม่แตกต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ($p > 0.05$) อีกทั้งมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม ที่ไม่แตกต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วย ($p > 0.05$) คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งโม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันทั้งปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราเป็นตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 459/2555)

2. อภิปรายผล

การคัดเลือกสูตรบราวนี่พื้นฐานที่เหมาะสม ตามวัตถุประสงค์การวิจัยที่ศึกษาสูตรบราวนี่พื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์เพื่อผลิตบราวนี่ปราศจากกลูเตน พบว่า บราวนี่ที่เตรียมจากสูตรพื้นฐานที่ 3 ให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สูงกว่าบราวนี่สูตรพื้นฐานที่ 1 และสูตรพื้นฐานที่ 2 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีการ

เตรียมบราวนี่ของแต่ละวิธีการแม้มีความแตกต่างกันในรายละเอียด แต่มีหลักการที่คล้ายคลึงกันคือ การผสมส่วนผสมต่าง ๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนการผสมแป้งสาลีอเนกประสงค์ที่ผ่านการร่อนแล้ว จึงอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นความแตกต่างกันในการยอมรับทางประสาทสัมผัสของบราวนี่แต่ละสูตรพื้นฐานอาจมาจากส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยสูตรพื้นฐานที่ 3 มีปริมาณเนยจืดสูงถึงร้อยละ 27 ซึ่งเนยจืดมีปริมาณไขมันสูงที่ช่วยหล่อลื่นส่วนผสมอื่น ๆ ไม่ให้จับตัวกันแน่นโดยเฉพาะโปรตีนกลูเตนทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม มีกลิ่นและรสที่ดี สูตรพื้นฐานที่ 3 ยังมีส่วนผสมของช็อกโกแลต ผงโกโก้ เกลือแกง และกลิ่นวานิลา ขณะที่สูตรพื้นฐานที่ 1 และ 2 มีการเติมบางส่วนผสม ซึ่งอาจเป็นเพราะกลิ่นรสของช็อกโกแลตที่ละมุนกว่าการเติมเฉพาะผงโกโก้ เนื่องจากโกโก้มีรสขมเป็นเอกลักษณ์แต่ช็อกโกแลตมีส่วนผสมอื่น ๆ ที่ทำให้มีรสหวานมันผสมอยู่ด้วย และมีรสเค็มช่วยลดความหวานของบราวนี่ลง นอกจากนี้บราวนี่สูตรพื้นฐานที่ 3 มีปริมาณน้ำตาลทรายที่น้อยกว่าสูตรพื้นฐานอื่น ๆ ด้วย ระดับรสหวานของบราวนี่สูตรพื้นฐานที่ 3 จึงน้อยกว่าสูตรพื้นฐานอื่น ๆ ซึ่งสัดส่วนของน้ำตาลส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านรสชาติ เมื่อสัดส่วนของน้ำตาลในส่วนผสมเพิ่มขึ้น คะแนนความด้านรสชาติจะลดลง

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

จากตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่า แป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ตามปกติแป้งสาลีอเนกประสงค์จัดเป็นแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนปานกลาง (ประมาณร้อยละ 10-11) ซึ่งในผลการทดลองพบปริมาณสูงกว่าช่วงโปรตีนปกติของแป้งสาลีอเนกประสงค์เล็กน้อย โดยองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนในข้าวสาลีคือกลูเตน (gluten) ที่ประกอบด้วยกลูเตนิน (glutenin) และ ไกลอะดิน (Gliadin) ซึ่งมีบทบาทต่อเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ขณะที่โปรตีนในแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ จะต่ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับค่าโปรตีนในข้าวหอมนิลในงานวิจัยของ รัชนี ไสยประจง และสุรพงษ์ พินิจกลาง (2555) เรื่อง การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนและส่วนประกอบกรดอะมิโนในข้าวหลายสายพันธุ์จากประเทศไทย พบว่าข้าวหอมนิลมีโปรตีนทั้งหมด ประมาณร้อยละ 8.85 ประกอบกับแป้งข้าว (rice flour) จะไม่มีกลูเตน (gluten) จึงเป็นเหตุให้เมื่อนำแป้งข้าวทำเป็นโด (dough) จะได้ก้อนโดที่มีความยืดหยุ่น (elasticity) ต่ำ ความทนต่อแรงยืด (stretch) น้อย และความคงทนต่อการผสม (mixing tolerance) ต่ำ (Heo S., Lee S.M., Shin J-H., Yoo S-H., and Lee S., 2013) จึงมีความเป็นไปได้ที่คุณลักษณะของบราวนี่ที่เตรียมจากข้าวหอมนิลอาจแตกต่างจากบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งสาลีอเนกประสงค์ได้ ส่วนเถ้าของแป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวหอมนิลเนื่องจากแป้งสาลีอเนกประสงค์มีแร่ธาตุหรือสารอาหารที่มีประโยชน์น้อยกว่าแป้งข้าวหอมนิล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อริสรา รอดมุ้ย และอรอุมา จิตรวโรกาส (2550) เรื่อง การผลิตคุกกี้โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่าปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ปริมาณเถ้าและมีค่าโปรตีนต่ำกว่าเล็กน้อย ($p>0.05$) มีสาเหตุ

มาจากวิธีการโม่เปียกที่ต้องนำข้าวมาแช่น้ำก่อน เป็นขั้นตอนที่มีความเป็นไปได้ว่าสามารถกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนที่ละลายน้ำบางส่วนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศันสนีย์ อุดมระติ และพัชรี ตั้งตระกูล (2562) เรื่อง ผลของวิธีการโม่ต่อคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน และงานวิจัยของ สุทธินี สีสังข์ (2563) เรื่อง คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ รายงานว่าการโม่เปียกทำให้แป้งข้าวมีปริมาณไขมันลดลง ส่งผลให้การพองตัว (swelling) ของแป้งดีขึ้น เพิ่มการละลายน้ำ และการดูดซับน้ำของแป้ง ใยอาหารหยาบของแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกและเอ็กทรูชัน มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากขั้นตอนการแช่น้ำในการโม่เปียกทำให้ใยอาหารที่ละลายน้ำมีโอกาสลดลงตามระยะเวลาที่ใช้แช่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สันทัด วิเชียรโชติ, วัชรี บุญถนอม, และสุรางค์ ทองสุวรรณ์ (2561) เรื่อง ผลของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม และงานวิจัยของ หยาดฝน ทะนงการกิจ (2557) เรื่องการใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง กล่าวว่าปริมาณใยอาหารมีปริมาณลดลงเมื่อใช้น้ำที่อุณหภูมิเดียวกันสกัดโดยการแช่ไว้ด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณใยอาหารยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ด้วย และการใช้ความร้อนสูงในขั้นตอนการเอ็กทรูชันทำให้ปริมาณใยอาหารลดลงเช่นกัน ที่อุณหภูมิสูงมากจะทาให้โครงสร้างของเซลล์พืชแตก ทำให้เกิดการสูญเสียความคงตัวและทำลายพันธะภายในสาย พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ของเส้นใยอาหาร ทั้งที่มีสมบัติละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ จนทำให้ขนาดของพอลิแซคคาไรด์สั้นลง อีกทั้งส่งผลให้มีโอกาสเกิดการละลายน้ำได้มากขึ้น และความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารลดลง ค่าความชื้นในแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันต่ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามค่าความชื้นของแป้งทั้ง 4 ชนิดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แป้งข้าว (rice flour): มผช.1517/2562 ระบุว่าค่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 13

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ลักษณะปรากฏ และค่าสีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ที่ได้มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของแป้ง โดยค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ต่ำจะสามารถเก็บรักษาหรือมีอายุการเก็บได้นานกว่า ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของแป้งทั้ง 4 ชนิดมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้อยู่ในช่วง 0.41-0.58 ซึ่งต่ำกว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ ตามบทความของ FDA เรื่อง Water Activity (aw) in Foods

แป้งข้าวหอมนิลมีความเป็นสีแดงสูงกว่าและค่าความสว่างต่ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ เนื่องจากแป้งข้าวหอมนิลมีสารสี (pigment) ที่เรียกว่าสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) มีสีม่วงแดง โดยสารแอนโทไซยานินเกิดการเสื่อมสลายได้ที่อุณหภูมิสูงและเปลี่ยนเป็นไม่มีสีหรือสีน้ำตาล งานวิจัยของ Hock Eng Khoo et al. (2017) เรื่อง Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits และ Ying Liu, Yury Tikunov, Rob E. Schouten, Leo F.M. Marcelis, and Richard G.F. Visser (2018) เรื่อง Anthocyanin Biosynthesis

and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables พบว่าค่าความเป็นสีแดงลดลง ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และค่าความสว่างลดลง เมื่อการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจากการที่อุณหภูมิมากขึ้น จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าสีของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีจากวิธีการเตรียมแป้ง โดยตามปกติการเตรียมแป้งข้าวแบบโม่แห้งมีขั้นตอนและผลกระทบต่อโครงสร้างของแป้งน้อยที่สุดจึงมีสภาพธรรมชาติมากที่สุด แต่ด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีผลต่อสีของแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งที่มีสีคล้ำและมีความสว่างน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ($p>0.05$) ในส่วนแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากการโม่เปียกมีค่าความสว่างมากที่สุด ($p>0.05$) อาจเนื่องจากวิธีการเตรียมมีขั้นตอนการแช่น้ำและสารแอนโทไซยานินบางส่วนอาจละลายน้ำไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัญจนา จันทร์ปะทิว, ยุพา มิตรมังกร, และนาตยา มนตรี (2560) เรื่อง ผลของความร้อนและการเก็บรักษาต่อปริมาณแอนโทไซยานินในผักสีม่วงบางชนิด รายงานว่าการปรุงอาหารโดยมีขั้นตอนการต้ม แช่น้ำ หรือให้ความร้อน มีผลทำให้รงควัตถุ หรือปริมาณแอนโทไซยานินลดลง ขณะที่แป้งหอมนิลที่เตรียมจากการเอ็กซ์ทรูชันพบว่ามีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับลักษณะปรากฏในภาพที่ 4.2 โดยวิธีการเตรียมแป้งจะมีการใช้ความร้อนในเครื่องเอ๊กซ์ทรูดเดอร์สูง หลังจากนั้นนำไปบดและอบแห้ง โดยความร้อนที่ใช้เป็นความร้อนชื้น (moist heat) ร่วมกับความร้อนแห้ง (dry heat) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาความสมดุลของโครงสร้างของแอนโทไซยานิน เนื่องจากการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินจะมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้สีเปลี่ยนแปลงไปตามปฏิกิริยาความสมดุลของโครงสร้างจากสีม่วง-น้ำเงินเป็นสีน้ำตาล-เหลือง Bule quinonoid (น้ำเงิน-ม่วง) > red flavylium (แดง) > colorless carbine (ไม่มีสี) > colorless chalcone (น้ำตาล-เหลือง) ตามงานวิจัยของ Hock Eng Khoo et al. (2017) เรื่อง Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits และ ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์ (2557) เรื่องการสกัดและความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน ค่า WAI และ WSI เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความสามารถดูดซับน้ำและละลายน้ำได้ดีของแป้ง โดยแป้งหอมนิลที่เตรียมจากการเอ็กซ์ทรูชันมีค่าสูงที่สุด ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนันทา ทองทา (2555) เรื่อง การพัฒนาข้าวขึ้นรูปกึ่งสำเร็จรูปเพื่ออาหารสุขภาพ, งานวิจัยของ ดารารัตน์ นาคละออ, อาภัสรา แสงนาค, และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2554) เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์ และ งานวิจัยของ Lalana Thiranusornkij, Parichart Thamnarathip, Achara Chandrachai, and Daris Kuakpetoon (2018) เรื่อง Physicochemical Properties of Hom Nil (Oryza sativa) Rice Flour as Gluten Free Ingredient in Bread กล่าวว่า การเตรียมแป้งด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันมีการใช้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิเจลลาติไนเซชัน (gelatinization temperature)

ของแป้งร่วมกับแรงเฉือน ทำให้เม็ดแป้งแตกหักและเกิดการเจลขึ้น โดยความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้ง ทำให้หมู่ไอดรอกซิลก่อตัวเป็นไฮโดรเจนใหม่ไปจับกับโมเลกุลของน้ำ น้ำจึงเข้าสู่ภายในเม็ดแป้งได้ ทำให้เกิดการบวมของเม็ดแป้งและเกิดการหลอมละลายบริเวณผลึก (crystalline) ภายในเม็ดแป้ง (starch granule) เพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจึงดูดซับน้ำไว้และเกิดเป็นเจล ด้วยเหตุนี้แป้งหอมนิลที่เตรียมจากการเอ็กซ์ทรูชันจึงมีลักษณะคล้ายแป้งแป้งพรีเจลาทิไนซ์ (pre-gelatizatation) หรือแป้งที่เป็นเจลแล้ว จึงสามารถดูดซับน้ำและละลายได้ดีกว่าแป้งที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการโม่แห้งและโม่เปียก ซึ่งไม่ผ่านความร้อนหรือผ่านความร้อนที่ต่ำ ซึ่งแป้งพรีเจลาทิไนซ์แป้งที่สุกแล้ว มีความสามารถในการช่วยทำให้อาหารหนืดขึ้นอย่างทันทีโดยไม่ต้องผ่านความร้อน สามารถละลายในน้ำเย็น หรือน้ำอุ่นได้ แป้งจะเหนียวขึ้นทันที เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมที่มีส่วนประกอบเป็นของเหลวและต้องการเนื้อสัมผัสเหนียว ซุปสำเร็จรูป (เมื่อเติมน้ำสามารถทำให้ซุปมีเนื้อสัมผัสข้นเหนียวทันที) แต่ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์บราวนี่ปราศจากกลูเตน แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่สำเร็จรูปจากแป้งสาลีเมื่อเติมน้ำหรือนม ทำให้สามารถกลายเป็นส่วนผสมเหลวได้เลย เนื่องจากมีคุณสมบัติของกลูเตนในแป้งสาลีช่วยในการขึ้นฟู (ศธิธร ปุรินทราภิบาล, 2563)

เมื่อเปรียบเทียบค่า WAI และ WSI ระหว่างแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากวิธีโม่แห้งและวิธีโม่เปียก พบว่าข้าวหอมนิลโม่แห้งมีค่า WAI และ WSI สูงกว่า ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jitranut LEEWATCHARARONGJAROEN, and Jirarat ANUNTAGOOL (2016) เรื่อง Effects of Dry-Milling and Wet-Milling on Chemical, Physical and Gelatinization Properties of Rice Flour รายงานว่าค่า WAI, WSI และค่ากำลังการพองตัว (swelling power) ของแป้งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสียหายของโครงสร้างแป้ง (starch damage) การทำลายโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งในระหว่างการโม่แห้งทำให้โครงสร้างแป้งเสียหายจึงดูดซับน้ำได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม ศันสนีย์ อุดมระติ และพัชรี ตั้งตระกูล (2562) เรื่อง ผลของวิธีการโม่ต่อคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน รายงานว่าแป้งข้าวที่ได้จากวิธีการโม่เปียกทำให้อนุภาค (particle size) ของแป้งมีขนาดเล็กกว่าวิธีการโม่แห้ง ส่งผลให้เมื่อแป้งได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น แป้งที่ได้จากโม่เปียกจะมีค่า WAI สูง การพองตัวเร็ว ค่าอุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature) ต่ำ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูง และค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูงกว่าแป้งที่ได้จากวิธีการโม่แห้ง ดังนั้นแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีค่า WAI และ WSI สูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลที่โม่เปียก น่าจะมีสาเหตุมาจากการโม่แห้งเกิดความเสียหายของโครงสร้างของแป้งมากกว่าจึงทำให้ดูดซับน้ำและละลายน้ำได้มากกว่า

องค์ประกอบทางเคมี ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ลักษณะปรากฏ ค่าสี ปริมาตรจำเพาะ และคุณภาพเนื้อสัมผัสของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล องค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะค่าโปรตีนของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลไม่ต่ำกว่าบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ (ตารางที่ 4.4) ทั้งที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าโปรตีนสูงกว่า เนื่องจากสูตรพื้นฐานที่ 3 มีปริมาณแป้งในส่วนผสมทั้งหมดเพียงร้อยละ 6 (ตารางที่ 3.1)

และมีการเติมส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ไข่ไก่ ไขมัน เนยจืด และอื่นๆ ทำให้แป้งเป็นส่วนผสมที่มีบทบาทในเชิงหน้าที่มากกว่าคุณค่าทางโภชนาการในการผลิตบราวนี่

เมื่อวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ พบว่า บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.76-0.80 ซึ่งเป็นช่วงของการเจริญของรา (mold) และยีสต์ จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สีบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลจากเอ็กซ์ทรูชันมีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด (ตารางที่ 4.5) สอดคล้องกับลักษณะปรากฏในภาพที่ 4.2 ขณะที่ บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งและโม่เปียกมีค่าที่สูงกว่า ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าสีที่ใกล้เคียงกับค่าสีของบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ เมื่อพิจารณค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) พบว่าบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีค่าใกล้เคียงกับบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์กว่าบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลอื่น ๆ สอดคล้องกับลักษณะปรากฏ (ภาพที่ 4.2) ที่บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งมีความสูงหรือการขยายตัวของบราวนี่ใกล้เคียงกับกับบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ทั้งนี้บราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากกลูเตนที่ช่วยคุณสมบัติในการยืดหยุ่นและพองตัวของผลิตภัณฑ์บราวนี่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิชชุดา สังข์แก้ว และจีรนันท์ โซมขุนทด (2558) เรื่อง การทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้ามหอมนิลในผลิตภัณฑ์มัฟฟินเพื่อสุขภาพ พบว่าเมื่อทดแทนปริมาณแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้นในระดับร้อยละ 100 มัฟฟินจะมีปริมาตรจำเพาะลดลงเนื่องจากข้าวหอมนิลไม่มีกลูเตนจึงไม่เกิดการกักอากาศ บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากค่า WAI และ WSI ของแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันสูง งานวิจัยของ S.D. Pardhi, Baljit Singh, Gulzar Ahmad Nayik, and B.N. Dar (2019) เรื่อง Evaluation of Functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology และงานวิจัยของ พรวีนัส ปั้นหยา, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, และวิชัย หฤทัยธนาสันติ์ (2545) เรื่อง การพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ พบว่าแป้งที่มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำและละลายน้ำสูง จะส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.6) พบว่าบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลเอ็กซ์ทรูชันมีค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเหนียวความหยุ่นตัว (gumminess) และค่าการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) สูงสุด ($p \leq 0.05$) จากการที่แป้งมีลักษณะการเกิดเจลแล้วในขั้นตอนการเตรียมแป้ง จึงส่งผลต่อการดูดซับน้ำได้ดีและการยึดเกาะกันของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายโมเลกุลแป้งจำนวนมาก โดยลักษณะเช่นนี้จะพบได้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้งกับโม่เปียก ที่บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่เปียกจะมีค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าการยึดเกาะของเนื้ออาหาร (cohesiveness) และค่าการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ที่สูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง ($p \leq 0.05$)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมด้วยวิธีการโม่เปียกมีคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ($p>0.05$) โดยมีค่าความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นที่ต่ำกว่าอย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของแป้งจากข้าวหอมนิลที่มีกลิ่นเฉพาะ สีที่เข้ม และลักษณะการพองตัวที่ต่ำกว่าบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ แต่ให้รสชาติและเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์ จึงเป็นที่ยอมรับและมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากบราวนี่จากแป้งสาลีอเนกประสงค์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิล บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน พบว่ามีค่าการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 2.5×10^2 โคโลนีต่อกรัม ยีสต์และรามีค่าน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเค้ก (มผช. 459/2555) ระบุว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อกรัมและปริมาณยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม โดยการทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า ดังนั้น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของบราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน จึงเป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชันมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคเมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่แนะนำ

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ควรมีการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ทางชีวภาพในแป้งข้าวหอมนิล และผลิตภัณฑ์บราวนี่

3.2 ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษา รวมถึงการเกิดรีโทเกรเดชั่น (retrogradation) ของผลิตภัณฑ์บราวนี่จากแป้งข้าวหอมนิลที่เตรียมจากแป้งโม่แห้ง เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมการข้าว. (ม.ป.ป.). *ข้าวหอมนิล: ข้าวหอมนิลศูนย์ข้อมูลข้าวตลาดเฉพาะ: พันธุ์ข้าวและคุณค่าทางโภชนาการ. กรมการข้าว.* สืบค้นจาก https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=16.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2561). *ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมนิลกรอบพอง. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.* สืบค้นจาก https://www.mhesi.go.th/main/th/knowledge/portfolio/research-practical/7483-aromatic-black-rice-hom-nin-rice.

กฤติมา นพกรมงคล, ปิยนันท์ แสนกล้า, และปวีณา เฉลียวไว. (2557). การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีในขนมปังหวาน (โครงงานพิเศษหลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพมหานคร.

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2546). *การศึกษาการใช้เครื่องเอกซ์ทรูด (Extruder).* สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยแม่โจ้. สืบค้นจาก http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/research/2549/Aphichai_Mekbungwan_2546/maincontent.pdf.

จารุวรรณ นามวัฒน์ และจันทร์เฉิดฉาย สังเกตกิจ. (2560). การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องในเค้กกล้วยหอม. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ "นวัตกรรมและเทคโนโลยีวิชาการ 2017" "วิจัยจากองค์กรความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน"* (น. 493-499). สุรินทร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์.

จุฑามาศ ถิระสาโรช. (2558). การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.* 43(3). 395-402.

จุรีมาศ ดีอำมาตย์, เจมห์จิรา ไวยโภคา, ดุจเดือน เขมันเขตกิจ, และศุภรัตน์ ฮวบเจริญ. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไข่ด้วยฟักทองผง. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร* (น. 787-792). กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

ไชยสิทธิ์ พันธุ์ฟูจินดา, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, และอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่โดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งสาลี. *วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.* 10(1). 106-119.

ณนนท์ แดงสังวาลย์, น้องนุช ศิริวงศ์, และศิริพร เรียบร้อย. (2554). *การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในราวนี่.* กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดารารัตน์ นาคละออ, อาภัสรี แสงนาค, และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2554). การปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.* 16(1). 12-21.

ธนิษฐ์นันท์ บุญศรีชนะ และสุนันท์ บุตรศาสตร์. (2562). *ผลของการใช้โยเกิร์ตทดแทนเนยสดต่อคุณลักษณะและการยอมรับของบราวนี่กรอบ* (รายงานการวิจัย ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

นพวรรณ ชิราวัธน์, วิภาพร เกิดช่าง, สิบสองเมษา สามงามเขียว, และธิดารัตน์ พรหมมา. (2560). การศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวกล้องหอมดาสุโขทัย 2 ข้าวกล้องหอมแดงสุโขทัย 1 และข้าวดอกข่า. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.* (น. 1031-1034). กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

นิพาดา ศิริภักดิ์, นิสา ยศสมบัติ, สุดารัตน์ พุ่มชื่น, ทรงพรรณ สังข์ทรัพย์, และอุทัยวรรณ ฉัตรธง. (2560). ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและทางประสาทสัมผัสของบราวนี่. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ "นวัตกรรมและเทคโนโลยีวิชาการ 2017" "วิจัยจากองค์กรความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน".* (น. 757-764). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

เนตรนภา จิตตะระ. (2561). *การศึกษาเปรียบเทียบผลของการรับประทานข้าวกล้องหอมนิลกับข้าวขาวหอมมะลิต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, กรุงเทพมหานคร.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ, และอารีรรณ สุขวิลัย. (2561). ผลของการใช้แป้งฟลาวร์จากแห้วจีนทดแทนแป้งสาลีในการผลิตเค้กชนิดส่วนผสมข้น. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 49(2). 45-48.

พรวีนัส ปั้นหยา, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์ และชุลีพร เปี่ยมสมบูรณ์. (2545). การพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ. ใน *การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 40.* (น. 382-390). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

พรรัตน์ สินชัยพานิช, กุลรภัส บัตรพษ์, ศศิพินทุ์ ดิษนิล, และเรณู ทวิชชาติวิทยากุล. (2560). ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่: เนื้อสัมผัสและลักษณะคุณภาพ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ "นวัตกรรมและเทคโนโลยีวิชาการ 2017" "วิจัยจากองค์ความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน".* (น.757-764). นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล.

ภานุวัฒน์ ถกลกิจสกุล. (2553). *การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์บราวนี่* (การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์. (2557). *การสกัดและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

รัชนี ไสยประจง, และสุรพงษ์ พินิจกลาง. (2555). การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนและส่วนประกอบกรดอะมิโนในข้าวหลายสายพันธุ์จากประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 43(2)(พิเศษ). 277-280.

วชิรพงศ์ เยาว์ฤทธิกร, ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ และ อบเชย วงศ์ทอง. (2562). สมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งข้าวเหนียวลืมผัวงอก และไม่ผ่านการเพาะงอก จากวิธีการโม่ที่แตกต่างกัน. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.* (น. 470-478). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชชุดา สังข์แก้ว และจีรนันท์ โซมขุนทด. (2558). การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลในผลิตภัณฑ์มัฟฟินเพื่อสุขภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 46(3)(พิเศษ). 705-708.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สันทัด วิเชียรโชติ, วัชรี บุญถนอม, และสุรางค์ ทองสุวรรณ์. (2561). ผลของของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.* 20(3). 110-123.

วิมล วรรณุวาศ, ณัฏฐา คงโนนกอก, และอโนชา สุขสมบูรณ์. (2556). ผลของการใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีที่มีต่อคุณลักษณะของขนมปัง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 44(2)(พิเศษ), 421-424.

ศธิธร ปุรินทราภิบาล. (2563). การปรับปรุงคุณสมบัติของขนมจีนเส้นสดโดยใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากข้าวโพดสีม่วงทดแทนแป้งข้าวเจ้า. *วารสารเกษตรพระวรุณ.* 17(1). 75-87.

ศนันธร พิชัย, และปาริชาติ ราชมณี. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปราศจากกลูเตน. *วารสารเกษตรพระวรุณ.* 15(2). 289-296.

ศรีนวล จันทไทย, นิจฉรา ทูลธรรม, ภาวิตา กลิ่นเทศ, และชนัญชิดา โพธิ์กิ่ง. (2560). ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือก แป้งมันเลือดนกและแป้งมันเทศสีม่วงร่วมกับแป้งข้าวเหนียวดำต่อคุณภาพของมัฟฟินและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค. ใน *การประชุมวิชาการ "มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 13".* (น. 650-656). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ศศิปะภา ฤทธิ์เต็ม, และศิรประภา มีรอด. (2561). การหาปริมาณแอนโทไซยานินและศึกษาสภาวะของ pH ต่อความเสถียรในข้าวไรซ์เบอร์รี่. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.* (น. 518-525). กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

ศันสนีย์ อุดมระติ, และพัชรี ตั้งตระกูล. (2562). ผลของวิธีการโม่ต่อคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวดอกมะลิ 105 และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* 27(2). 311-325.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2554, 6 ธันวาคม). จากงานวิจัยพบว่าการแพ้กลูเตนนำไปสู่การเป็นโรคมะเร็ง โรคหัวใจและเสียชีวิตได้: news of food allergy. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นจาก http://www.ifrpd-foodallergy.com/index.php/th/news/84-gluten-intolerance-leads-to-cancer-heart-disease-and-death-research-shows.

สุทธินี สีสังข์. (2563, 2 มีนาคม). *คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ.* กลุ่มวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง. (น. 1-7). สืบค้นจาก www4.fisheries.go.th/industry.

สุนันทา ทองทา. (2555). *การพัฒนาข้าวขึ้นรูปกึ่งสำเร็จรูปเพื่ออาหารสุขภาพ* (รายงานการวิจัย ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

สุภาวิณี แสนทวีสุข, และมาลีน่า สันเต๊ะ. (2557). ผลของการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 45(2). 453-456.

สุวิชา ดีหะสิงห์. (2550). *การสกัดและการทำให้สารแอนโธไซยานินในลูกหว้าบริสุทธิ์: ปัญหาพิเศษสายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

หยาดฝน ทะนงการกิจ. (2557). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร*. มหาวิทยาลัยสยาม. 9(1). 31-38.

อภิชาติ วรรณวิจิตร, ธีรยุทธ ตู้จินดา, และสมวงษ์ ตระกูลรุ่ง. (2558). *ข้าวเจ้าพันธุ์หอมนิล: เกษตรนวัตกรรม รวบรวมผลงานนวัตกรรมทางการค้นคว้าวิจัยในวาระครบรอบ 72 ปี แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.* (น. 299-300). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชาติ วรรณวิจิตร. ข้าวสีและสาระสำคัญเพื่อสุขภาพและความงามภายใน. ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้น 7/มีนาคม/2563,//จาก/ https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/news-articles-rice-rsc-rgdu-knowledge/269-2020-02-04-09-12-39

อริสรา รอดอุมัย, และอรอุมา จิตรวโรกาส. (2550). การผลิตคุกกี้โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร.* มหาวิทยาลัยสยาม. 3(1), 37-43.

อัญจนา จันทร์ปะทิว, ยุพา มิตรมังกร, และนาตยา มนตรี. (2560). ผลของความร้อนและการเก็บรักษาต่อปริมาณแอนโทไซยานินในผักสีม่วงบางชนิด. *วารสารแก่นเกษตร.* 45(1)(พิเศษ). 1278-1282.

อาภัสรา แสงนาค, อัญชลี เรืองเดช, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, และอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ. (2554). *โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นจากข้าวหอมนิล:* (โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา งบประมาณ ปี พ.ศ. 2554 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กลุ่มเรื่องการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกและลดการนำเข้า ไม่ได้ตีพิมพ์). สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพมหานคร.

AACC, Method. (2018). *Crude Fiber in Flours, Feeds, and Feedstuffs.* ISO 6568:2000 Animal feeding stuffs. Determination of crude fiber content, REG CE 152/2009, AOAC 978.10. USA. Retrieved from https://www.velp.com/public/file/crude-fiber-determination-in-dog-food-201431.pdf.

AOAC, Official Method. (2016). *Fat in flour (fat).* Acid hydrolysis method. USA. Retrieved from http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=1860.

_____. (2016). *Moisture in sugars (moisture).* USA. Retrieved from https://pdfcoffee.com/aoac-92545-moisture-in-sugars-pdf-free.html.

_____. (2016). *Ash of meat (Ash).* USA. Retrieved from http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=1694.

_____. (2016). *Crude Protein in Meat.* USA. Retrieved from http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=2870.

_____. (2019). *Yeast and Mold Count in Foods.* USA. Retrieved from http://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Food_AOAC-997.02.pdf.

AOAC, Official Method. (2000). *Carbohydrates in soluble (instant) coffe.* Anion-exchange chromatographic method with pulsed amperometric detection. USA. Retrieved from http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=279.

C. Severini, T. DE Pilli and A. Derssi. (2016). *Optmization of Extrusion Process of Rice Flour Enriched with Pistachio Nut Flour.* Ital. J. Food Sci. 28. 50-56.

C.I. Onwulata, P.W. Smith, R.P. Konstance, and V.H. Holsinger. (2017). *Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks.* Food Research International. 34. 679-687.

D.K. Santra and R. Schoenlechner. (2017). Chapter 16. *Amaranth Part 2-Sustainability, Processing and Applications of Amaranth.* Elsevier. 257-264.

Elena Diez-Sáncheza, Amparo Quilesa, Empar Llorcaa, Anne-Marie Reiβnerb, Susanne Struckb,

Elisaveta I. Sandulachi, and Pavel Gh.Tatarov. (2012). WATER ACTIVITY CONCEPT AND ITS ROLE IN STRAWBERRIES FOOD. Sandulachi E. and Tatarov P./Chem. J. Mold. 7(2). 103-115.

Feili R., Wahibu Zzaman, Wan Nadiah Wan Abdullah, and Tajul A. Yung. (2013). Physical and Sensory Analysis of High Fiber Bread Incorporated with Jackfruit Rind Flour. Food Science and Technology. 1(2). 30-36.

Harald Rohmb, and Isabel Hernandoa. (2019). Extruded flour as techno-functional ingredient in muffins with berry pomace. Food Science and Technology. 113. 108300.

Heo, S., Lee S.M., Shin J-H., Yoo S-H., and Lee S. (2013). *Effect of dry- and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles*. Journal of Food Engineering. 118, 213-217.

Hock Eng Khoo, Azrina Azlan, Sou Teng Tang, and See Meng Lim. (2017). *Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits.* FOOD & NUTRITION RESEARCH. 61. 1361779.

Jitranut Leewatchararongjaroen and Jirarat anuntagool. (2016). Effects of Dry-Milling and Wet-Milling on Chemical, Physical and Gelatinization Properties of Rice Flour. ScienceDirect. 23(5). 274-281.

Katharina Anne Scherf, Peter Koehler, and Herbert Wieser. (2016). *Gluten and wheat sensitivities.* Journal of Cereal Science. 67. 2-11.

Lalana Thiranusornkij, Parichart Thamnarathip, Achara Chandrachai, and Daris Kuakpetoon. (2018). *Physicochemical Properties of Hom Nil (Oryza sativa) Rice Flour as Gluten Free Ingredient in Bread.* Foods. 159(7). Doi:103390/Foods7100159.

Larry Maturin, and James T. Peeler. (2001). FDA BAM Online. Chapter 3. Aerobic Plate Count. USA. from https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count

R.A. Anderson. (1982). *Water Absorption and Solubility and Amylograph Characteristics of Roll-Cooked Small Grain Products.* Cereal Chemistry. 59(4). 265-269.

S.D. Pardhi, Baljit Singh, Gulzar Ahmad Nayik, and B.N. Dar. (2019). *Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology.* Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 18. 7-16.

S.R. Eckhoff, M.R.Paulsen, and S.C.Yang. (2003*). MAIZE. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition).* 3647-3653.

S.R. Eckhoff. (2004). *MAIZE | Dry Milling. Encyclopedia of Grain Science.* 216-225.

Ying Liu, Yury Tikunov, Rob E. Schouten, Leo F. M. Marcelis, and Richard G. F. Visser. (2018). *Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables.* Frontiers in Chemistry. 6. Article 52.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย

เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย

(Participant Information Sheet)

หากเอกสารนี้มีข้อความที่ท่านอ่านแล้วยังมีคำถามหรือข้อสงสัย โปรดสอบถามหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้แทนให้ช่วยอธิบายจนกว่าจะเข้าใจดี ท่านจะได้รับเอกสารนี้ 1 ฉบับ นำกลับไปอ่านที่บ้านเพื่อปรึกษาหารือกับญาติพี่น้อง เพื่อนสนิท หรือผู้อื่นที่ท่านต้องการปรึกษา เพื่อช่วยในการตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัย

ชื่อโครงการ : คุณลักษณะคุณภาพของบราวนี่ไม่มีกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิลที่ผลิตโดยการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

ชื่อผู้วิจัย : นางสาวกัณฐิกา แสงสายัณห์

สถานที่วิจัย : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

สถานที่ทำงาน หมายเลขโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโทรศัพท์บ้าน/ที่ทำงานของผู้วิจัย : สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ 91 หมู่ 4 ถ.ติวานนท์ ต.บางกะดี อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000 / 0909859929

ผู้ให้ทุน (ถ้ามี) : -

โครงการวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อ ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่ให้เป็นผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน ต้องการนำข้าวไทยมาเพิ่มมูลค่าในผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่และต้องการทราบถึงคุณสมบัติและประโยชน์จากแป้งข้าวอัดพองในทางสุขภาพที่แตกต่างไปจากแป้งที่ได้จากการผ่านกระบวนการอื่น ๆ ซึ่งมีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ ได้ผลิตภัณฑ์บราวนี่ข้าวไทยที่ปราศจากกลูเตนโดยแป้งที่ใช้เป็นแป้งข้าวอัดพองหรือแป้งที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูชัน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัยนี้เพราะ ท่านเป็นผู้ที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์บราวนี่ และไม่เคยมีประวัติการแพ้โปรตีนกลูเตน ซึ่งงานวิจัยนี้มีการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การคัดเลือกสูตรบราวนี่ที่เหมาะสมส่วนที่ 2 การทดสอบบราวนี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวไทย และส่วนที่ 3 การยอมรับผลิตภัณฑ์ มีผู้เข้าร่วมการวิจัยนี้รวมทั้งสิ้น 200 คน โดยแต่ละคนจะถูกเชิญให้เข้าร่วมทดสอบตัวอย่างบราวนี่ในส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 หรือส่วนที่ 3 อย่างใดอย่างหนึ่ง ระยะเวลาที่เข้าร่วมการวิจัยเป็นเวลาประมาณ 15-30 นาที

หากท่านตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยแล้ว จะมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

1. **ทำแบบสอบถามส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม**
2. **ชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยเสนอให้**
3. **ทำแบบสอบถามส่วนที่ 2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale และ/หรือ ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ**

ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเข้าร่วมการวิจัย คือ อาการแพ้ในกลุ่มที่มีประวัติแพ้โปรตีนกลูเตน **งานวิจัยนี้จึงไม่ให้ผู้ที่มีประวัติแพ้โปรตีนกลูเตนเข้าร่วมการทดสอบเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้เข้าร่วม** และถ้าผู้เข้าร่วมเกิดอาการแพ้ที่สามารถพิสูจน์ได้ว่าเกิดจากผลิตภัณฑ์ในงานวิจัย ผู้วิจัยยินดีรับผิดชอบค่ารักษาพยาบาลทั้งหมดจนกระทั้งหายเป็นปกติ

ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะถูกเก็บรักษาเป็นความลับ รายงานผลวิจัยหรือบทความทางวิชาการจะนำเสนอในภาพรวม ไม่มีการระบุชื่อ/ข้อมูลส่วนตัวของท่าน ข้อมูลรายบุคคลอาจมีคณะบุคคลบางกลุ่มเข้ามาตรวจสอบหากจำเป็นเท่านั้น เช่น ผู้ให้ทุนวิจัย, สถาบัน หรือองค์กรของรัฐที่มีหน้าที่ตรวจสอบ, คณะกรรมการจริยธรรมฯ เป็นต้น

ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสิทธิ์ปฏิเสธหรือถอนตัวจากการเข้าร่วมโครงการวิจัยได้ทุกเมื่อ โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

โครงการวิจัยนี้ได้รับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สาขาวิชามนุษนิเวศศาสตร์ แขนงวิชาวิทยาการอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อาคารวิชาการ 3 ชั้น 3 ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120 เบอร์โทรศัพท์ 02-5048041-2 หากท่านได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามที่ระบุไว้ ท่านสามารถติดต่อได้ตามสถานที่และหมายเลขโทรศัพท์ข้างต้น

ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารนี้ครบถ้วนแล้ว

ลงชื่อ.....

ผู้เข้าร่วมวิจัย

(.....)

วันที่.....

ภาคผนวก ข

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ

วันที่..... เดือน..... พ.ศ. .....

ข้าพเจ้า..... อายุ.....ปี อาศัยอยู่
บ้านเลขที่..... ถนน.....ตำบล.....
อำเภอ..... จังหวัด.....
รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

ขอแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย เรื่องคุณลักษณะคุณภาพของบราวนี่ไม่มีกลูเตนจากแป้งข้าวหอมนิลที่ผลิตโดยการโม่แห้ง โม่เปียก และเอ็กซ์ทรูชัน

โดยข้าพเจ้าได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและจุดหมายในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของการวิจัยและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัย รวมทั้งแนวทางป้องกันและแก้ไขหากเกิดอันตรายขึ้น โดยได้อ่านข้อความที่มีรายละเอียดอยู่ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด อีกทั้งยังได้รับคำอธิบายและตอบข้อสงสัยจากหัวหน้าโครงการวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้

หากข้าพเจ้ามีข้อข้องใจเกี่ยวกับขั้นตอนการวิจัย หรือหากเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์จากการวิจัยขึ้นกับข้าพเจ้าข้าพเจ้า จะสามารถติดต่อกับ ผู้วิจัย นางสาวกัณฐิกา แสงสายัณห์ โทรศัพท์ 0909859929

หากข้าพเจ้าได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงเข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถติดต่อกับประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สาขาวิชามนุษนิเวศศาสตร์ แขนงวิชาวิทยาการอาหารและโภชนาการ หมายเลขโทรศัพท์ 02-5048041-2 ข้าพเจ้าได้ทราบถึงสิทธิ์ที่ข้าพเจ้าจะรับข้อมูลเพิ่มเติมทั้งทางด้านประโยชน์และโทษจากการเข้าร่วมการวิจัยและสามารถถอนตัวหรืองดเข้าร่วมการวิจัยได้ทุกเมื่อ โดยจะไม่มีผลกระทบต่อการบริการและการรักษาพยาบาลที่ข้าพเจ้าจะได้รับต่อไปในอนาคต และยินยอมให้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าที่

ได้รับจากการวิจัย แต่จะไม่เผยแพร่ต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยจะนำเสนอเป็นข้อมูลโดยรวมจากการวิจัยเท่านั้น

ข้าพเจ้าเข้าใจข้อความในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และหนังสือแสดงเจตนายินยอมนี้โดยตลอดแล้ว จึงลงลายมือชื่อไว้

ลงชื่อ..... ผู้เข้าร่วมการวิจัย/ผู้แทนโดยชอบธรรม

(.....)

วันที่.....

ลงชื่อ..... ผู้ให้ข้อมูลและขอความยินยอม/หัวหน้าโครงการวิจัย

(.....)

วันที่.....

ภาคผนวก ค

แบบการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Hedonic Scale Test)

แบบการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Hedonic Scale Test)

เรียน ผู้ทดสอบชิม

เรื่อง การทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์บราวนี่โดยใช้สเกลแบบ 9 - point hedonic

คำชี้แจง การทดสอบนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เรื่อง การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์บราวนี่จากแป้งข้าวไทยที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านกรุณาตอบแบบสอบถามและทดสอบผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

<u>ส่วนที่ 2</u> การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scaling

คำอธิบาย ผลิตภัณฑ์บราวนี่ มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ **แป้งสาลี ไข่ เนย และข้าวสี**

ขอบพระคุณในความร่วมมือ

ผู้ทำวิจัย

ชุดที่.....

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อผู้ทดสอบ..... เบอร์โทร.....วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์ : บราวนี่ มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แป้งสาลี ไข่ เนย และข้าวสี

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ในวงเล็บ ( )

1. ท่านมีประวัติการแพ้วัตถุดิบในส่วนประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์หรือไม่

( ) ไม่มี ( ) มี **ท่านอาจพิจารณาไม่เข้าร่วมการทดสอบนี้**

2. ท่านเคยรับประทานบราวนี่หรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย **การทดสอบนี้ต้องการผู้ที่เคยบริโภคบราวนี่มาก่อน**

จึงขอขอบคุณท่านที่เข้าร่วมการทดสอบ

ส่วนที่ 2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale

<u>คำชี้แจง</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้จากซ้ายไปขวาเรียงตามหมายเลขที่กำหนดและ **กรุณาดื่มน้ำหรือบ้วนปากทุกครั้ง**ก่อนการชิมตัวอย่างต่อไป

กรอกลงคะแนนความชอบในช่องว่างให้ตรงกับระดับความชอบของท่าน โดยใช้หลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-9 คะแนน ดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด (like extremely) **4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly)**

8 = ชอบมาก (like very much) **3 = ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately)**

7 = ชอบปานกลาง (like moderately) **2 = ไม่ชอบมาก (dislike very much)**

6 = ชอบเล็กน้อย (like slightly) **1 = ไม่ชอบมากที่สุด (dislike extremely)**

5 = เฉยๆ (neither like nor dislike)

ลักษณะคุณภาพ	**รหัสตัวอย่างผลิตภัณฑ์**		
	.....	.....	.....
1. ประเมินจากการสังเกต ใช้ช้อนตัก หรือดม			
1.1 ลักษณะปรากฏ (appearance)			
1.2 สี (color)			
1.3 กลิ่น (aroma)			
2.ประเมินจากการชิม			
2.1 รสชาติ (taste)			
2.2 เนื้อสัมผัส (texture)			
3.โดยรวม			
3.1 ความชอบโดยรวม (overall liking)			

ข้อเสนอแนะ.....

.....

♦ ♦ ♦ ♦

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวกัณฐิกา แสงสายัณห์
วัน เดือน ปีเกิด	10 กุมภาพันธ์ 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2559
สถานที่ทำงาน	สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ ศูนย์ราชการกรมปศุสัตว์จังหวัดปทุมธานี 91 หมู่ 4 ถนนติวานนท์ ตำบลบางกะดี อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000
ตำแหน่ง	นักวิทยาศาสตร์การแพทย์