บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวสีนิล

ข้าวสีนิล (Sinin rice) (ภาพที่ 2.1) เป็นข้าวที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์ขึ้นมาจากข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวหอมนิล โดย ดร.อภิชาติ วรรณวิจิตร ผู้อำนวยการหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ข้าวสีนิลเป็นข้าวนาสวน สามารถปลูกได้ทั้งปี มีการแตกกอดี มีความต้านทานต่อโรคไหม้ (Blast) สภาพแล้ง และดินเค็มได้ดี แต่ไม่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งและแมลงทั่วๆ ไป ความสูงของต้นประมาณ 75 เซนติเมตร อายุการเก็บเกี่ยว 95 – 100 วัน มีผลผลิตเฉลี่ย 400 – 700 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดข้าวสีนิลมีลักษณะเรียวยาว สีม่วงเข้ม ความยาวเมล็ดประมาณ 6.5 มิลลิเมตร (บริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด, 2552)

ภาพที่ 2.1 ข้าวสีนิล
ที่มา : บริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด (2552)

ข้าวสีนิลเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีโปรตีนร้อยละ 10-12.5 อะไมโลสร้อยละ 12 – 13 และแร่ธาตุ ได้แก่ ธาตุเหล็กร้อยละ 2.25 – 3.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สังกะสีและแคลเซียมร้อยละ 2.9 และ 4.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (บริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด,

2552) นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูงประมาณ 293 ไมโครโมลต่อกรัม ได้แก่ สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) โปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavonoid) และวิตามินอี โดยอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีม่วงเข้ม ในส่วนของรำประกอบด้วยน้ำมันรำข้าวถึงร้อยละ 18 โดยร้อยละ 80 เป็นชนิด C18:2 และ C 18:2 ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันข้าวโพด และมีสารโอเมก้า 3 ประมาณร้อยละ 1 – 2 (บริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด, 2552) นอกจากนี้ยังพบว่ามีวิตามินอี วิตามินบี Digestible fiber และกรดไขมันไม่อิ่มตัวอีกด้วย จากข้อมูลทางโภชนาการที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าข้าวสีนิลเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เหมาะสำหรับการนำมาแปรรูปทางอุตสาหกรรมอาหาร

2.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวสีนิล

เมล็ดข้าวสีนิลมีสีม่วงดำ จากรงควัตถุที่เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ได้แก่ สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และสารโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1.1. สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ประกอบด้วยสาร cyaniding เป็นสารที่ให้สีม่วงเข้ม และ peonidin เป็นสารที่ให้สีชมพู สารแอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง จากคุณสมบัติการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายตามธรรมชาติ จึงอาจมีส่วนช่วยบำบัดโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากอนุมูลอิสระได้ เช่น โรคที่เกี่ยวกับการทำงานของหัวใจ การมองเห็น ระบบประสาทและสมอง ปกป้องผิวหนังจากรังสีบางชนิด (Enomoto และคณะ, 2005) และมีความสามารถในการช่วยป้องกันโรคทางระบบหลอดเลือดได้ (Tedesco และคณะ, 2001; Rechner และ Kroner, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่ามีส่วนช่วยในการทำงานของระบบประสาทและสมอง จากการศึกษาของ Shah และคณะ (2006) ที่นำหนูเพศผู้มาทดสอบผลของการได้รับสารแอนโทไซยานิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าสามารถลดการตายของเซลล์จากการขาดเลือดของสมองได้ จึงอาจป้องกันการเกิดความผิดปกติของระบบประสาทและสมองได้ เช่น ลดการเกิดอาการขาดเลือดเฉพาะจุด (ischemia) ที่สมอง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ารงควัตถุแอนโทไซยานินยังสามารถกระตุ้นให้ขนของสัตว์ทดลองงอกกลับคืนมาเร็วกว่าตัวอย่างเปรียบเทียบที่ไม่ได้ใช้สาร ถึงเท่าตัว และยังกระตุ้นให้เซลล์รากผม (Hair Keratinocytes) สร้างรากผมมากขึ้นถึง 3 เท่า (บริษัท สีนิลไรซ์, 2552) รวมทั้งมีคุณสมบัติในการช่วยขยายหลอดเลือด กระตุ้นการไหลเวียนของโลหิตบริเวณรากผม และยังมีฤทธิ์ต้านรังสียูวีด้วย (หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจออนไลน์, 2551)

2.1.1.2. สารโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน สารโปรแอนโทไซยานิดินสามารถจับกับอนุภาคของสารกัมมันตภาพรังสีทำให้เซลล์ในร่างกายทำงานได้อย่างปกติ และช่วย

ลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด เนื่องจากมีความสามารถขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคลอเรสเตอรอลชนิดเหลว (LDL) ได้ (บริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด, 2552) มีส่วนช่วยป้องกันโรคหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง ยับยั้งการเจริญเติบของเซลล์มะเร็งเต้านม ปอด กระเพาะอาหาร และเม็ดเลือดขาว และยังป้องกันไวรัส HSV-1 และยับยั้งการทำงานของเอมไซม์ reverse transcriptase ใน ไวรัส HIV ได้อีกด้วย นอกจากนี้มีรายงานว่าสารโปรแอนโทไซยานิดินยังช่วยสร้างเสริมคอลลาเจนให้ผิวหนัง ลดการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้ผิวแก่ก่อนวัย และจากคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระยังอาจช่วยป้องกันโรคมะเร็ง โรคข้ออักเสบ ลดภูมิแพ้จากยาต้านไวรัส ยาต้านมะเร็ง และเพิ่มภูมิต้านทานของร่างกาย (อินทิรา, 2551)

2.2 ข้าว และแป้งข้าว

ข้าวถือเป็นอาหารหลักของคนไทย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นแหล่งของพลังงาน นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก และวิตามินต่างๆ มีต้นกำเนิดในแอฟริกา ข้าวที่นิยมบริโภคมีอยู่ 2 สปีชีส์ด้วยกัน คือ *Oryza glaberrima* เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกได้เฉพาะในเขตร้อนของแอฟริกาเท่านั้น และสายพันธุ์ *Oryza sativa* เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกได้ทั่วไป รวมถึงประเทศไทยด้วย โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่สายพันธุ์ *Oryza sativa* พันธุ์อินดิคา (indica) เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุก และแสงแดดเพียงพอ (บุญหงส์, 2547) ข้าวแบ่งออกเป็นข้าวเจ้า และข้าวเหนียว มีองค์ประกอบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 และคุณสมบัติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในรูปแบบของข้าวสาร และข้าวแปรรูป โดยมีผลต่อคุณภาพในการบริโภค และการเสื่อมเสียขณะเก็บรักษา

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเจ้า

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	12
แป้ง	79.2
โปรตีน	7.0
ไขมัน	0.4
เถ้า	0.5
อื่นๆ	0.9

ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้า

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	6.8
ปริมาณอะมิโลส (%)	18 – 27
ขนาดอะมิโลส (Degree of polymerization)	900 – 1100
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาทิไนซ์ (Onset temperature, T_o, ^oC)	60
อุณหภูมิสูงสุดเกิดเจลาทิไนซ์ (Peak temperature, T_p, ^oC)	77

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550

ข้าวสามารถนำมาบริโภคได้ ทั้งในรูปของการหุงรับประทานและการนำมาแปรรูป โดยการแปรรูปส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในรูปแบบของแป้งข้าว ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายรูปแบบ เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมต่างๆ เป็นต้น โดยการผลิตแป้งข้าวนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การโม่แห้ง การโม่เปียก และการโม่ผสม แป้งข้าวที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. ฟลาวร์ (Flour) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากเมล็ด หรือส่วนอื่นที่ใช้บริโภคได้ ผลิตได้จากข้าวหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาสี โม่บด หรือตีเป็นผงละเอียด แล้วร่อน ดังนั้นฟลาวร์ จึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมด คือคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุต่างๆ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550)

2. สตาร์ช (Starch) หมายถึงผลิตภัณฑ์แป้งที่เป็นโฮโมโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง พบมากในพืช และเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เป็นแป้งที่ไม่มีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แร่ธาตุปะปนอยู่ด้วย

2.3 ข้าวสาลี และแป้งสาลี

ข้าวสาลีมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Triticum spp*. ข้าวสาลีที่นิยมปลูกได้แก่สายพันธุ์ *T. aestivum* ซึ่งมีปลูกอยู่ทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 92 ของผลผลิตทั้งหมด (อรอนงค์, 2547) เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตแป้งเพื่อทำขนมปัง สายพันธุ์ *T. durum* เป็นข้าวสาลีที่มีเนื้อในเมล็ดสีเหลือง เมล็ดแข็ง เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตแป้งเพื่อทำมักกะโรนี และสายพันธุ์ *T. compactum* เป็นข้าวสาลีสายพันธุ์ที่มีเนื้อในเมล็ดสีขาว อ่อนนุ่ม เป็นสายพันธุ์ที่ใช้ผลิตแป้งเพื่อทำเค้ก (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550) แป้งสาลีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้เป็นสารประกอบในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำแป้งสาลีมาใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการเป็นเจลที่อุณหภูมิเย็น โดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เค้ก เป็นต้น

ข้าวสาลีเป็นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าธัญพืชชนิดอื่นๆ โดยมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าว และข้าวโพดซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 9 และ 11 ตามลำดับ (ละม้ายมาศ, 2544) องค์ประกอบของสารอาหารต่างๆ ในข้าวสาลี แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวสาลีส่วนต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	รำ (15 กรัม/เมล็ด 100 กรัม)	เอนโดสเปอร์ม (82 กรัม/เมล็ด 100 กรัม)	คัพภะ (3 กรัม/เมล็ด 100 กรัม)
แป้ง	0	100	8
โปรตีน	20	72	8
เส้นใย	70	27	3
กาก	93	4	3
ไขมัน	30	50	20
แร่ธาตุ	67	23	10

ที่มา : ละม้ายมาศ, 2544

แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากมีโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ ไกลอะดิน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) ในสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำแป้งสาลีผสมกับน้ำจะเกิดการรวมตัวกันของน้ำ และโปรตีนทั้งสองชนิด เกิดเป็นโปรตีนที่เรียกว่า “กลูเตน” มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ดี ซึ่งกลูเตนนี้จะเกิดเป็นโครงร่างของผลิตภัณฑ์เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ

ข้าวสาลีที่นำมาใช้ผลิตเป็นแป้งสาลีสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามความแข็ง และสีของเมล็ด ดังนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

1. ข้าวสาลีชนิดแข็ง (Hard Wheat) ข้าวสาลีชนิดนี้มีหลายสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ Hard Wheat Spring หรือสายพันธุ์ Hard Wheat Winter เป็นต้น เมื่อนำมาโม่จะได้แป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนสูง เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทขนมปัง โปรตีนจากแป้งชนิดนี้เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี สามารถนวดผสมให้ได้ก้อนโดที่มีความยืดหยุ่น ทนต่อสภาวะการผสม การหมัก อุณหภูมิของห้อง และเครื่องผสม มีคุณสมบัติในการกักเก็บก๊าซได้ดี นอกจากนี้ก้อนโดจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตร มีรูพรุน และมีเนื้อสัมผัสดี

2. ข้าวสาลีชนิดอ่อน (Soft Wheat) ข้าวสาลีชนิดนี้มีหลายสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ Soft Red Wheat เป็นต้น เมื่อนำมาโม่จะได้แป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ มีความทนทานต่อการผสมและการหมักได้น้อยกว่าแป้งสาลีชนิดแข็ง ไม่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทขนมปัง แต่เหมาะสมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเค้ก และคุ้กกี้

จากข้าวสาลีสายพันธุ์ต่างๆ สามารถนำมาผลิตเป็นแป้งสาลีได้ โดยสามารถแบ่งประเภทของแป้งสาลีตามปริมาณ และคุณภาพของโปรตีนได้ 3 ชนิด คือแป้งขนมปัง แป้งอเนกประสงค์ และแป้งเค้ก ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติ รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ (จิตธนา และ อรอนงค์, 2539)

1. แป้งขนมปัง เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูง ประมาณ 12 – 14% โม่จากแป้งสาลีชนิดแข็งประเภท Hard Wheat Spring หรือ Hard Wheat Winter ใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมปังและผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะของแป้งชนิดนี้ คือ เม็ดหยาบ มีสีครีม เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะไม่เกาะตัวกัน แป้งชนิดนี้จะใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู

2. แป้งอเนกประสงค์ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนปานกลาง ประมาณ 10 – 11% ผลิตได้จากการผสมข้าวสาลีชนิดแข็ง และชนิดอ่อนเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารหลายๆ ชนิด เช่น ขนมปังจืด และหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ เป็นต้น ใช้เวลา

ในการนวดแป้งน้อยกว่าแป้งขนมปัง แป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปัง และแป้งเค้กรวมกัน ในการทำให้ขึ้นฟู แป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์ และผงฟู

3. แป้งเค้ก เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ประมาณ 7 – 9% โม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อน ประเภท Soft Wheat และ Soft Red Wheat ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์เค้ก คุกกี้ ลักษณะของแป้งจะมีเม็ดอ่อนนุ่ม เนื้อเนียนละเอียด มีสีขาวกว่าแป้ง 2 ชนิดข้างต้น เมื่อกดนิ้วลงไปบนเนื้อแป้ง แป้งจะเกาะรวมกันเป็นก้อน และคงรอยนิ้วมือไว้ แป้งชนิดนี้จะต้องใช้สารเคมีในการทำให้ขึ้นฟู ไม่ใช้ยีสต์ ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ผงฟู เบคกิ้งโซดา เป็นต้น

คุณลักษณะของแป้งสาลีมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ แป้งสาลีควรมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

- สีของแป้งมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ แป้งที่ดีควรมีสีขาว แต่อาจมีสีอื่นปน เช่น สีเหลืองอ่อนของแซนโทฟิลล์ จะส่งผลให้ขนมปังมีเนื้อใน (Crumb) เป็นสีนั้นๆ ดังนั้นหากต้องการให้เนื้อขนมมีสีขาว แป้งที่จะนำมาผลิตควรผ่านการฟอกสีก่อน

- ความยืดหยุ่น หรือความสามารถของแป้งในการอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก แป้งที่ดีควรมีความยืดหยุ่นมาก เพื่อให้สามารถกักเก็บอากาศไว้ในโครงสร้างได้มาก จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นฟูได้ดี และมีปริมาตรมาก

- ความทนต่อสภาพต่างๆ หมายถึงความสามารถในการทนต่อสภาวะการผสม การรีด และกระบวนการอื่นๆ โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาด ความทนต่อสภาวะต่างๆ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกลูเตน ถ้ากลูเตนมีความแข็งแรง จะทำให้มีความทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ดี และจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรดี

- ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งมีผลต่อปริมาตร และลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้ก การที่แป้งดูดซึมน้ำได้มาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรมากขึ้น เนื้อเค้กไม่แห้ง กระด้าง

- ความสม่ำเสมอของแป้ง หมายถึงความสม่ำเสมอทางด้านของสี และขนาดของแป้ง ซึ่งมีผลต่อการควบคุมคุณภาพการผลิต

นอกจากคุณสมบัติของแป้งสาลีที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการเลือกแป้งสาลีให้เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบแล้ว แป้งสาลียังมีลักษณะอื่นๆ ที่แสดงให้เห็นว่าเป็นแป้งที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ตารางที่ 2.4) ทั้งความหนืด และอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของแป้งสาลี

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	1 – 40
ปริมาณอะมิโลส (%)	24 – 27
ขนาดอะมิโลส (Degree of polymerization)	800 – 1600
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, ^{o}C)	77
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	65
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	270
ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU)	60
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาทิไนซ์ (Onset temperature, T_o, ^{o}C)	48 – 50
อุณหภูมิสูงสุดเกิดเจลาทิไนซ์ (Peak temperature, T_p, ^{o}C)	59 - 62

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550

2.4 เค้ก

เค้ก (Cake) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีโครงสร้างเนื้อเนียน ละเอียด เนื้อเค้กมีเนื้อสัมผัสนุ่ม มีกลิ่นหอมหวาน ซึ่งคุณภาพของเค้กขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และกรรมวิธีการผลิต วัตถุดิบในการผลิตเค้ก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ทำให้เกิดโครงสร้างของเค้ก ได้แก่ แป้ง ไข่ และนม ส่วนประเภทที่ทำให้เค้กมีความนุ่ม ได้แก่ น้ำตาล ไขมัน และผงฟู

เค้ก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

1. เค้กเนย (Butter – type cakes) เป็นเค้กประเภทที่มีอัตราส่วนของไขมันสูง เนื้อเค้กนุ่ม ชุ่มเนย การขึ้นฟูของเค้กประเภทนี้ เกิดจากการตีเนยในขั้นตอนแรก เม็ดไขมันของเนยจะทำหน้าที่กักเก็บอากาศไว้ และไปขยายตัวในระหว่างการอบ ทำให้ปริมาตรเค้กเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเค้กประเภทนี้ ได้แก่ Butter cake, Chocolate cake, Devil's food cake และ Fruit cake เป็นต้น

2. เค้กไข่ (Foam – type cakes) เป็นเค้กประเภทที่ไม่มีไขมันในส่วนผสม เนื้อเค้กโปร่ง เบา เนื้อสัมผัสแห้ง ไม่ชุ่มเนย การขึ้นฟูของเค้กประเภทนี้เกิดจากการตีไข่ โดยโปรตีนในไข่จะทำหน้าที่หุ้มฟองอากาศที่เกิดขึ้น และกักเก็บไว้ใน Batter จากนั้นจะขยายตัวในระหว่างการอบ ทำให้เกิดการขึ้นฟู ปริมาตรของเค้กเพิ่มขึ้น การผลิตเค้กประเภทนี้ควรทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากฟองที่เกิดขึ้นจากการตีไข่ขาวนั้นอ่อนตัว ไม่แข็งแรงเหมือนฟองอากาศที่เกิดขึ้นในการตี

เนย ดังนั้นหากไม่ระมัดระวัง Batter จะไม่สามารถกักเก็บฟองอากาศเหล่านั้นไว้ได้ เค้กที่ได้มีปริมาตรไม่ดี ไม่ขึ้นฟู ตัวอย่างเค้กประเภทนี้ ได้แก่ แองเจิลฟูดเค้ก และแยมโรล เป็นต้น

3. ชิฟฟอนเค้ก (Chiffon – type cakes) เป็นเค้กที่รวมลักษณะของเค้กเนย และเค้กไข่ คือมีโครงสร้างที่ละเอียดของเค้กไข่ และมีเนื้อเค้กที่มันเงาด้วยไขมันแบบเค้กเนย แตกต่างจากเค้กเนยที่เค้กเนยใช้เนยเป็นส่วนผสม แต่ชิฟฟอนเค้กจะใช้น้ำมันพืชเป็นส่วนผสมของไขมันแทนเนย หรือ มาการีน และมีวิธีการผสมที่แตกต่างกัน

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเค้ก

2.4.1.1 แป้ง โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ขนมอบจะใช้แป้งสาลี เนื่องจากลักษณะเด่นของแป้งสาลี คือ มีโปรตีนกลูเตน (Edwards, 2007) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ มีความสามารถในการกักเก็บอากาศที่เกิดขึ้นในโครงสร้างได้ โดยในผลิตภัณฑ์เค้ก แป้งสาลีทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปอยู่ได้หลังผ่านการอบ และช่วยรวมส่วนผสมอื่นๆ ให้เข้ากัน แป้งสาลีที่ใช้ในการทำเค้กส่วนใหญ่นิยมใช้แป้งสาลีที่ผลิตมาจากข้าวสาลีชนิดอ่อน มีปริมาณโปรตีนต่ำ คือประมาณ 7 – 9% และส่วนใหญ่นิยมใช้แป้งที่ผ่านการฟอกสี เนื่องจากแป้งที่ผ่านการฟอกสีแล้วจะสามารถดูดน้ำตาล น้ำ และไขมันได้มากกว่าแป้งที่ไม่ได้ผ่านการฟอก (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

2.4.1.2 ไข่ เป็นวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ โดยเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนไข่ระหว่างการอบ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่นรส และให้คุณค่าทางอาหารแก่เค้ก นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์เค้กประเภทเค้กไข่ ไข่ยังมีหน้าที่สำคัญในการทำให้เกิดฟองอากาศและกักเก็บฟองอากาศเหล่านั้นไว้ในโครงสร้าง เพื่อเพิ่มปริมาตรให้กับผลิตภัณฑ์ (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

2.4.1.3 นม เป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่ในการสร้างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ นมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กมีหลายชนิด เช่นนมผง นมสด นมพร่องมันเนย และนมข้น เป็นต้น ทั้งนี้การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับหน้าที่ และความต้องการของเค้กแต่ละสูตร แต่ละชนิด โดยส่วนใหญ่นิยมใช้นมผง เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณน้ำในสูตรได้ นมผงจะมีส่วนช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยเชื่อมกับโปรตีนในแป้งทำให้เกิดความแข็งตัวขึ้น นอกจากนี้นมยังมีส่วนประกอบของน้ำตาลแลคโตส มีส่วนทำให้เปลือกนอกของเค้กมีสีน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของเค้ก และยังช่วยปรับปรุงให้เค้กมีกลิ่นรสที่ดี เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคอีกด้วย ปริมาณนมผงมีผลต่อคุณภาพของเค้กหลังผ่านการอบ ปริมาณนมผงที่มากเกินไป จะทำให้เค้กที่ผ่านการอบแล้วเกิดการยุบตัวขณะทิ้งให้เย็นโดย เค้กจะเริ่มยุบตัวจากทางด้านข้าง เนื้อเค้กที่บริเวณฐานมี

ลักษณะเนื้อแน่น แต่ถ้ามีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้ปริมาตรของเค้กลดลง เนื้อเค้กมีลักษณะแห้งและแข็งกระด้าง (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

2.4.1.4 น้ำตาล เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำ และมีรสหวาน เป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่ทางด้านให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เค้ก ช่วยทำให้เค้กมีความนุ่ม เกิดรสหวาน ช่วยให้เกิดสีน้ำตาลบริเวณผิวเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ จากคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี ทำให้สามารถเก็บความชื้น และช่วยทำให้โปรตีนในแป้งอ่อนตัว ส่งผลทำให้เค้กมีความนุ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลมีผลต่อคุณภาพของเค้ก โดยปริมาณน้ำตาลที่มากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของวัตถุดิบที่มีหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง เป็นเหตุให้เค้กเกิดการยุบตัว เนื้อเค้กเละแฉะ ทำให้เค้กมีสีเข้มเกินไปทั้งในส่วนของผิวเปลือกนอก และในเนื้อเค้ก นอกจากนั้นอาจเกิดจุดด่างสีขาวที่เปลือกนอกของเค้ก ซึ่งเป็นสีของเกล็ดน้ำตาล ในทางกลับกันหากปริมาณน้ำตาลในสูตรน้อยเกินไป จะทำให้เค้กมีปริมาตรลดลง และผิวหน้าเค้กแตก เปลือกนอกขาดความมันเงา เนื้อสัมผัสแห้ง แข็งกระด้าง (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

2.4.1.5 ไขมัน เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนสำคัญต่อปริมาตรของเค้กหลังอบ มีหน้าที่กักเก็บอากาศไว้ในส่วนผสมเค้ก ไขมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบมีหลายประเภท เช่น เนยสด เนยขาว และ มาการีน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความต้องการของเค้กแต่ละประเภท และความต้องการของผู้บริโภค โดยเนยสดเป็นไขมันที่ให้กลิ่นรสดีที่สุด แต่มีข้อเสียที่มีคุณสมบัติในการเป็นครีมค่อนข้างต่ำ มีความสามารถในการกักเก็บฟองอากาศได้น้อย ฟองอากาศที่เกิดจากเนยสดจะไม่แข็งแรง เค้กที่ทำจากเนยสดจึงมีปริมาตรต่ำ และมีเนื้อสัมผัสหยาบกว่าเค้กที่ทำจากเนยขาว ซึ่งเป็นไขมันที่มีคุณสมบัติการเป็นครีมที่ดี แต่กลิ่นรสด้อยกว่าเนยสด ด้วยเหตุผลนี้จึงมักนิยมใช้เนยสดควบคู่ไปกับเนยขาว เพื่อให้ส่งเสริมคุณสมบัติต่างๆ โดยใช้เนยสดเพื่อเพิ่มกลิ่นรส และเนยขาวเพื่อปรับปรุงปริมาตรของเค้ก ปริมาณของไขมันมีผลต่อคุณภาพของเค้ก ปริมาณไขมันที่มากเกินไปมีผลทำให้ปริมาตรของเค้กลดลง เนื่องจากจะทำให้โครงสร้างของเค้กอ่อนตัวลง นอกจากนี้ยังทำให้เนื้อเค้กมีลักษณะลื่น มันทั้งเปลือกนอก และเนื้อในของเค้ก ในทางตรงกันข้ามปริมาณไขมันที่น้อยเกินไป ทำให้เปลือกนอกของเค้กแห้ง แข็งอย่างรวดเร็ว ผิวหน้าของเค้กแตกออกเป็นโพรง (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

2.4.1.6 ผงฟู เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนช่วยในการสร้างความนุ่มให้กับเนื้อเค้ก ชนิดของผงฟูที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของเค้ก ความเข้มข้นของสูตร ความหนืดของแป้งที่ผสม และอุณหภูมิในการอบ โดยทั่วไปการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์เค้กเกิดจากหลายลักษณะร่วมกัน คือการขึ้นฟูด้วยอากาศ การขึ้นฟูด้วยสารเคมี เช่น ผงฟู หรือผงโซดา และการขึ้นฟูด้วยความดันไอน้ำที่เกิดขึ้น

เมื่อเค้กอยู่ในเตาอบ ปริมาณผงฟูที่ใช้มีผลต่อคุณภาพของเค้ก ปริมาณผงฟูที่มากเกินไปจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะอบมากเกินไป ทำให้ขนมพอง และฟูเร็ว ทำให้โครงสร้างของเค้กไม่แข็งแรงเมื่อนำออกจากเตาอบ โครงร่างที่ไม่แข็งแรงจะเกิดการยุบตัวลง ในทางกลับกัน ปริมาณผงฟูที่น้อยเกินไป จะทำให้เกิดการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ผลิตภัณฑ์เกิดการพองฟูน้อย ส่งผลให้ปริมาตรของเค้กลดลง (จิตธนา และอรอนงค์, 2539)

จากวัตถุดิบทั้งหมดจะเห็นได้ว่า วัตถุดิบแต่ละชนิดมีหน้าที่ และความสำคัญแตกต่างกันไป สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเพื่อลดการใช้แป้งสาลี ต้องคำนึงถึงหน้าที่ของแป้งสาลีต่อผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบสำคัญที่พบในแป้งสาลี คือโปรตีนกลูเตน โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ให้เค้กมีปริมาตรที่ดี เนื้อเค้กนุ่ม ฟูน่ารับประทาน

2.4.2 กรรมวิธีการผลิต

กรรมวิธีการผลิตเค้กแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเค้ก บัตเตอร์เค้กมีวิธีการผลิตแสดงดังนี้ (สัพเพเหระข้างครัว, 2551)

1. ร่อนแป้ง ผงฟู และเกลือเข้าด้วยกัน และพักไว้

2. ตีเนยสด และน้ำตาลด้วยเครื่องตีผสม โดยใช้หัวตีรูปใบไม้ด้วยความเร็วต่ำให้เข้ากัน เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วให้ปรับความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วสูงประมาณ 10 นาที เพื่อให้เกิดฟองอากาศในส่วนผสม

3. ปรับความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วระดับปานกลาง และเติมไข่ไก่ลงไปในส่วนผสม ตีส่วนผสมต่อเป็นเวลาประมาณ 5 นาที

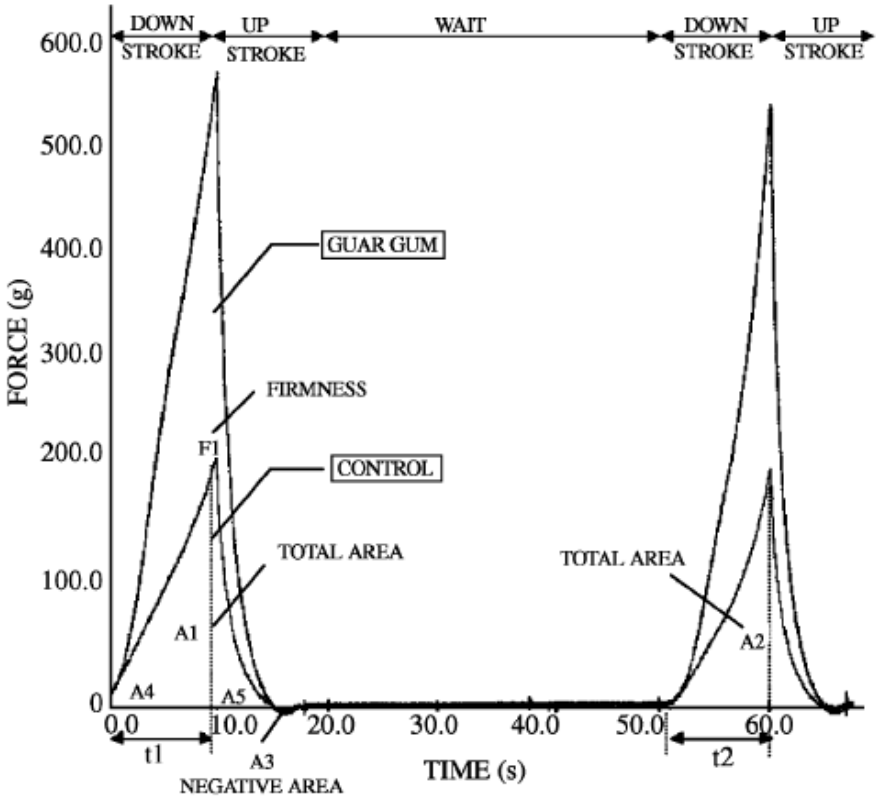
4. ปรับความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วระดับต่ำ และเติมส่วนผสมของแป้ง ผงฟู และเกลือที่ร่อนพักไว้ สลับกับนมข้นจืดจนหมด และตีผสมให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1 นาที

5. เทส่วนผสมใส่พิมพ์ที่ทาเนยขาวเตรียมไว้ประมาณ 400 กรัม นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ประมาณ 45 นาที

2.4.3 การวัดเนื้อสัมผัสของเค้ก

ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้ก จะแตกต่างกันตามชนิดของเค้ก กรรมวิธีการผลิตและชนิดของวัตถุดิบ โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ การประเมินคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเค้กสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การประเมินโดยใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ด้วยการชิม หรือการวัดด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ซึ่งจะทำงานเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ โดยมีหัววัด

ประเภทต่างๆ ใช้หัววัดทำการกดตัวอย่าง 2 ครั้ง แล้วแสดงค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้ออกมาในรูปแบบกราฟที่แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กราฟ และค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

ที่มา: Gómez และคณะ, 2007

ค่าต่างๆ ที่บันทึกได้จากกราฟการวิเคราะห์เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Gómez และคณะ, 2007) มีดังนี้

- Firmness (ค่าความแข็งของตัวอย่าง) เป็นค่าแรงกดสูงสุดของการกดผลิตภัณฑ์ครั้งแรก (F1)

- Cohesiveness (ค่าการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง) เป็นค่าที่บอกถึงการเสียรูปของผลิตภัณฑ์ต่อการกดครั้งที่ 2 ซึ่งจะสัมพันธ์กับพฤติกรรมที่การตอบสนองหลังจากการกดครั้งแรก โดยวัดจากพื้นที่ของงานที่ได้ระหว่างการกดครั้งที่ 2 หารด้วยพื้นที่ของงานที่ได้ระหว่างการกดครั้งที่ 1 (A2/A1)

- Springiness (ค่าการคืนตัว) เป็นค่าที่บอกถึงการคืนตัวกลับของผลิตภัณฑ์หลังจากการเสียรูปในระหว่างการกดครั้งแรก การคืนตัวกลับวัดจากการถอนแรงของการกดครั้งที่ 2 โดยค่าที่ได้วัดจากระยะทางที่ได้จากการกดครั้งที่ 2 หารด้วยระยะทางจากการกดครั้งแรก (t2/t1)

- Gumminess (ค่าความเหนียวคล้ายยาง) เป็นค่าที่คำนวณได้จากค่า firmness คูณกับค่า cohesiveness (F1*(A2/A1))

- Chewiness (ค่าความยากง่ายในการเคี้ยว) เป็นค่าที่คำนวณได้จากค่า gumminess คูณกับค่า springiness (F1*(A2/A1)*(t2/t1))

2.4.4 การใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ในปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมอบเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีความหลากหลาย อร่อย มีคุณค่าทางโภชนาการ และพกพาไปรับประทานได้สะดวก เหมาะสำหรับวิถีชีวิตแบบคนเมืองที่มีความเร่งรีบ ทำให้มีการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีความพยายามศึกษาเพื่อใช้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนการใช้แป้งสาลี โดยแป้งข้าวเป็นแป้งชนิดหนึ่งที่พบว่าสามารถใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ อีกทั้งประเทศไทยยังมีความสามารถในการผลิตข้าวสูง จึงถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่างๆ แต่เนื่องจากแป้งข้าวไม่มีโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการสร้างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความนุ่ม ยืดหยุ่น ดังนั้นหากนำแป้งข้าวไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ อาจเกิดปัญหาด้านคุณภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กแน่น แข็งกระด้าง ไม่นุ่มฟู เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่า มีผู้วิจัยนำแป้งข้าวมาประยุกต์ใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้หลายชนิด เช่น ขนมปัง คุ้กกี้ และเค้ก เป็นต้น โดยมีทั้งการทดแทนได้เพียงบางส่วน หรือทดแทนได้ทั้งหมด ดังมีรายละเอียดดังนี้

อุศมา (2545) พัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากข้าวหอมมะลิโดยศึกษาปริมาณการทดแทนที่ 3 ระดับ คือร้อยละ 80, 90 และ 100 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีได้ทั้งหมด โดยสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กจากแป้งข้าวหอมมะลิ ประกอบด้วยแป้งข้าวหอมมะลิ ไข่ไก่ นมข้นจืด น้ำตาลทรายบด เนยสด เนยเทียม ผงฟู และวนิลลาในปริมาณร้อยละ 20.16, 26.87, 5.4, 23.51, 16.46, 7.05, 0.3 และ 0.24 ตามลำดับ บัตเตอร์เค้กที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีจะมีปริมาตรลดลง มีความแน่นเนื้อและมีคะแนนความชอบของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้แป้งสาลีล้วนอย่างมี

นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 94 ให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์

งามชื่น และคณะ (2543) ศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้ก และคุ้กกี้ โดยใช้ข้าวเจ้าสายพันธุ์เหลืองปะทิว 123, กข 23 และขาวดอกมะลิ 105 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวมากขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการยอมรับของผู้บริโภคลดลง และการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 20 ของน้ำหนักแป้งทำให้บัตเตอร์เค้กที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลีมากที่สุด

ณัชนก (2549) พัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กลดพลังงาน และลดน้ำตาลจากแป้งข้าวกล้อง โดยใช้ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวกล้องทดแทนแป้งสาลีได้ทั้งหมด สูตรบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวกล้องลดพลังงาน และน้ำตาลที่เหมาสมประกอบด้วย แป้งข้าวกล้องร้อยละ 17.48 เนยสดร้อยละ 15.92 มอลโตเดรกตรินร้อยละ 8.57 ไข่แดงร้อยละ 3.34 ไข่ขาวร้อยละ 24.63 สาร lactitol ร้อยละ 18.08 สาร Acesulfame K ร้อยละ 0.09 นมข้นจืดร้อยละ 6.29 ผงฟูร้อยละ 0.64 สารอิมัลซิไฟเออร์ EC25 ร้อยละ 3.70 เกลือร้อยละ 0.48 กลิ่นเนยร้อยละ 0.53 และกัวร์กัมร้อยละ 0.25 และสามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 36 กิโลเคลลอรี่ต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม ผู้บริโภคร้อยละ 99 ให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์สามารเก็บรักษาได้นาน 3 วันที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่มีการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

พรวีนัส (2544) พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ได้ร้อยละ 30 โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิมากขึ้น ขนมปังที่ได้จะมีปริมาตรลดลง แต่มีความแข็งของเนื้อขนมปังเพิ่มมากขึ้น สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง แป้งข้าวหอมมะลิ หางนมผง ยีสต์แห้งชนิดผง น้ำตาลทราย เกลือป่น ไข่ไก่ น้ำ เนยขาว และโมโนกลีเซอไรด์ในอัตราส่วนร้อยละ 32.83, 14.07, 1.88, 0.59, 8.44, 0.47, 4.69, 26.73, 9.38 และ 0.94 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

ภัทร์ภณ (2552) ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนจะทำให้เนื้อขนมปังมีความแข็งเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีปริมาตร และคะแนนความชอบจากผู้บริโภคลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือร้อยละ 30 ของน้ำหนักแป้ง

2.4.5 การใช้สารเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เค้กที่ใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลี

การใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้ก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรต่ำ เนื้อสัมผัสแข็ง กระด้าง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการลดปริมาณแป้งสาลีในสูตร ถือเป็นการลดปริมาณกลูเตนในส่วนผสมลงด้วย ดังนั้นจึงมีการใช้สารเสริมคุณภาพต่างๆ เพื่อชดเชยหน้าที่ของกลูเตน โดยช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บอากาศในส่วนผสม ความสามารถในการเป็นโครงสร้างให้ผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการเป็นอิมัลชัน เป็นต้น ซึ่งสารปรับปรุงคุณภาพที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เค้ก อาจแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ดังนี้

2.4.5.1 แป้งดัดแปร (Modified starch)

แป้งดัดแปร มีความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี และ/หรือทางฟิสิกส์ด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ

แป้งดิบโดยทั่วไปมีคุณสมบัติบางประการไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น มีช่วงความหนืดที่แคบ มีความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น เช่น มีคุณสมบัติในการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น (กล้าณรงค์ และคณะ, 2550) การใช้แป้งดัดแปรในผลิตภัณฑ์เค้กแป้งข้าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำในส่วนผสม ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เค้กหลังอบมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น มีปริมาตรมากขึ้น แป้งดัดแปรที่พบว่ามีการใช้ในเค้ก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังพรีเจลลาติไนซ์ (Varavinit และ Snobsngob, 2000)

Varavinit และ Snobsngob (2000) ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งข้าว และบัตเตอร์เค้กที่ผลิตจากแป้งสาลี โดยมีการใช้แป้งดัดแปรประเภทแป้งมันสำปะหลังพรีเจลลาติไนซ์ (pregelatinized tapioca starch) ร้อยละ 5 ของน้ำหนักแป้งเป็นสารปรับปรุงคุณภาพ พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีได้ทั้งหมด ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวจะยังคงมีปริมาตรต่ำกว่าบัตเตอร์เค้กแป้งสาลี แต่มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากบัตเตอร์เค้กแป้งสาลี

2.4.5.2 สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)

สารอิมัลซิไฟเออร์ถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กข้าวเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในส่วนผสมเค้ก ทำให้ไม่เกิดการแยกชั้นของส่วนผสมต่างๆ ในระหว่างการอบ เนื่องจากการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี เป็นการลดปริมาณโปรตีนกลูเตนซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง

ส่วนผสมเค้กเป็นสารประกอบประเภทอิมัลชันชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยสถานะน้ำ น้ำมัน และอากาศ (ปาริฉัตร, 2545) โดยการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์จะมีส่วนช่วยให้ส่วนผสมมีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เค้กแป้งข้าวสุดท้ายมีปริมาตรมากขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น เนื่องจากเกิดการสูญเสียของน้ำ และไขมันระหว่างการอบน้อยลง

Sae-Eaw และคณะ (2007) ศึกษาการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งประกอบด้วย propylene glycol ester และ diacetyl tartaric acid ester of monoglyceride อัตราส่วน 8:2 ร้อยละ 7.5 และ 15 ของน้ำหนักมากาารีน เป็นสารปรับปรุงคุณภาพในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กข้าว ผลการทดสอบการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคชาวอเมริกัน พบว่าผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพมีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายนอก ความนุ่มฟูของเนื้อเค้กจากการมองเห็น และสีของผลิตภัณฑ์มากกว่าบัตเตอร์เค้กที่ไม่มีการเติมสารปรับปรุงคุณภาพ และไม่แตกต่างจากบัตเตอร์เค้กแป้งสาลีตรา SaraLee® สำหรับความชอบต่อลักษณะความนุ่ม ความชุ่มชื้น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่าบัตเตอร์เค้กแป้งข้าวที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพมีคะแนนความชอบต่อลักษณะดังกล่าวมากกว่า บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวที่ไม่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพ แต่ยังคงมีคะแนนน้อยกว่าบัตเตอร์เค้ก SaraLee® ส่วนผลการตัดสินใจซื้อ พบว่าการใช้สารปรับปรุงคุณภาพทำให้ผู้บริโภคสนใจผลิตภัณฑ์ และมีความตั้งใจซื้อผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย

ภัทร์ภณ (2552) พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน โดยใช้สาร KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้งเป็นสารปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งสาร KS 505 เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดหนึ่ง บัตเตอร์เค้กที่ได้จะมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้น มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าบัตเตอร์เค้กที่ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ คือมีความนุ่มมากขึ้น สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง แป้งข้าวสีนิล เนยขาว นมผง น้ำตาลทราย เกลือ KS 505 ยีสต์แห้ง และน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 39.49, 16.92, 2.82, 2.26, 2.26, 0.85, 0.85, 0.33 และ 34.22 ตามลำดับ

2.4.5.3 สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหารมีวัตถุประสงค์ เพื่อช่วยทำให้เกิดความข้นหนืด ช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น ช่วยในการเกิดเจล เป็นต้น (ศิวาพร, 2535) การเลือกใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตบัตเตอร์เค้กข้าว เนื่องจากคุณสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้ส่วนผสมเค้กมีความข้นหนืดมากขึ้น ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของอากาศในส่วนผสมเค้ก ทำให้สามารถกักเก็บอากาศไว้ในระบบได้มากขึ้น (Turabi และคณะ, 2008b) จึงคาดว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายน่าจะมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นด้วย สารไฮโดรคอลลอยด์ที่พบว่ามีการใช้ในผลิตภัณฑ์เค้ก ได้แก่ xanthan gum, guar gum, cellulose และ hydroxyl-propyl-methylcellulose (HPMC) เป็นต้น

Gómez และคณะ (2007) ศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเลเยอร์เค้ก โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ ได้แก่ alginate, carrageenan, locust bean gum, guar gum, hydroxyl-propyl-methylcellulose (HPMC), pectin และ xanthan gum ปริมาณ ร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง พบว่า xanthan gum เป็นสารปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์เลเยอร์เค้ก โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรมากที่สุด และทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกๆ ด้านมากที่สุด

Turabi และคณะ (2008a) ศึกษาผลของกัมชนิดต่างๆ และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณภาพของเค้กแป้งข้าว โดยกัมที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ xanthan gum, guar gum, xanthan gum : guar gum (50:50), carrageenan, locust bean gum, HPMC และ xanthan gum : carrageenan (50:50) โดยศึกษาการทำงานของกัม และการทำงานของกัมชนิดต่างๆ ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ (Purawave^{TM}) พบว่าเมื่อใช้ xanthan gum ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์จะทำให้บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวมีคุณภาพดีที่สุด ทำให้บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวมีปริมาตรเพิ่มขึ้นสูงที่สุด และเนื้อเค้กที่ได้มีความนุ่มมากขึ้น

2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

การทดสอบเชิงพรรณา (Descriptive test) หมายถึง การวิเคราะห์หารายละเอียดที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของผลิตภัณฑ์ หรือลักษณะที่แสดงคุณภาพ (Quality characteristic) พร้อมบอกระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวในสเกลทางประสาทสัมผัส (ปราณี, 2551) ผู้ทดสอบจะต้องเป็นผู้ที่ผ่านการฝึกฝนมาอย่างเพียงพอ เนื่องจากการวิเคราะห์รายละเอียดลักษณะคุณภาพ

ทั้งชนิดและปริมาณจะต้องแม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยผู้ทดสอบจะถูกคัดเลือก และฝึกฝนให้มีความสามารถในการแยกแยะ การจดจำ การเปรียบเทียบ แล้วสามารถรายงานการรับรู้ต่างๆ นั้นได้

การทดสอบเชิงพรรณา ประกอบด้วยแนวทางการวิเคราะห์ 4 ด้าน คือ

1. การวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพ (Quality characteristics analysis) หมายถึง การวิเคราะห์รายละเอียดของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยประสาทการรับรู้ของมนุษย์ (Human sense) ลักษณะคุณภาพต่างๆ ได้แก่

1.1 ลักษณะปรากฏ (Appearance) เป็นลักษณะทั่วไปที่มองเห็นได้ เช่น สี ลักษณะเนื้อสัมผัส ขนาด รูปร่าง เป็นต้น

1.2 กลิ่น (Odor / Aroma) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้ทางจมูก

1.3 กลิ่นรส (Flavor) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้ภายในปากทางด้านกลิ่น รสชาติ และความรู้สึกอื่นๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ร้อน เผ็ด เย็น เป็นต้น

1.4 เนื้อสัมผัส (Texture) เป็นความรู้สึกด้านแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวตัวอย่าง และลักษณะทางด้านรูปร่าง รูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสัมผัสด้วยมือ หรือการสัมผัสภายในช่องปาก เหงือก ลิ้น เพดานปาก เป็นการรับรู้ด้านความรู้สึกต่อเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง เริ่มตั้งแต่ริมฝีปาก ฟันหน้า ฟันหลัง ฟัน ลิ้น เพดานปาก เช่นความหยาบ ความแข็ง ความเปราะ เป็นต้น

1.5 สิ่งตกค้าง (Aftertaste) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้ภายหลังจากกลืนตัวอย่างไปแล้ว เช่น รสชาติตกค้างในปาก หรือลักษณะเนื้อสัมผัสที่ตกค้าง เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ความเข้มของลักษณะคุณภาพ (Intensity of quality characteristic analysis) เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ จะวิเคราะห์ต่อจากรายละเอียดลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ได้ เป็นขั้นตอนการประเมินความเข้มของลักษณะต่างๆ โดยใช้สเกลต่างๆ เช่น สเกลบอกระดับชั้น (Category scale) สเกลเส้นบอกระดับคะแนน (Line scale) หรือสเกลประมาณค่า (Magnitude estimation, ME) เป็นต้น

3. การจัดลำดับความรู้สึก (Order of perception) การจัดลำดับความรู้สึกต่อชนิดและระดับของลักษณะคุณภาพเป็นวิธีการที่เกี่ยวข้องกับเวลา การรับรู้ของประสาทสัมผัสแต่ละชนิดมีความไวแตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์นี้เป็นการจัดลำดับก่อนและหลังของความรู้สึกที่รับรู้ได้ตั้งแต่เริ่มชิม ขณะชิม และหลังจากชิมตัวอย่างแล้ว

4. ความรู้สึกรวม หรือการรับรู้องค์รวม (Overall impression) เป็นการวิเคราะห์ความรู้สึกจากการรับรู้ทุกด้านอย่างต่อเนื่อง โดบพบว่าในบางครั้งความรู้สึกในแต่ละรายละเอียด

เช่น รสชาติ เนื้อสัมผัส อาจจะน้อยเกินไป แต่เมื่อหลายลักษณะมารวมกันจะได้ความรู้สึกรวมที่ดีได้ เช่น ความเข้มของรสชาติโดยรวม ความกลมกล่อม เป็นต้น (ปราณี, 2551)

ในการทดสอบเชิงพรรณา ต้องอาศัยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแล้วมาอย่างดี ขั้นตอนการทดสอบจะเริ่มจากให้ผู้ทดสอบประเมิน และบันทึกความรู้สึกเกี่ยวกับลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ กำหนดคำศัพท์ และคำจำกัดความที่ใช้อธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้ กำหนดตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้เปรียบเทียบ จัดลำดับความสำคัญและการรับรู้ของแต่ละลักษณะพร้อมกำหนดสเกลคะแนน และฝึกฝนให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับตัวอย่างอ้างอิง จากนั้นจึงเริ่มทดสอบกับตัวอย่าง

การทดสอบเชิงพรรณนามีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ทดสอบหาลักษณะเฉพาะทางกลิ่นรส (Flavor profile method) การวิเคราะห์ทดสอบหาลักษณะเฉพาะทางเนื้อสัมผัส (Texture profile method) การวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเวลา ความเข้ม (Time-Intensity profile method) และ การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางประสาทสัมผัสแบบอิสระ (Free-choice profile method; FCP) เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2549)

2.6 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับ (Acceptance test) เป็นวิธีการที่ผู้บริโภคเท่านั้นที่สามารถบอกได้ เป็นการทดสอบที่มาจากการรับรู้ ทัศนคติ ความคิดเห็น ความชอบ และการตอบรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์นั้นๆ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น การรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในทิศทางเดียวกับที่ผู้บริโภคต้องการ หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อหาแนวคิดจากผู้บริโภคไปเป็นแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

การทดสอบการยอมรับสามารถทำได้หลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ และผู้บริโภค เช่น การสัมภาษณ์ และการใช้แบบทดสอบเป็นเครื่องมือ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้สเกลกำหนดระดับความชอบ ได้แก่ (ปราณี, 2551)

- วิธีทดสอบฮีโดนิก (Hedonic test) สเกลแบบฮีโดนิกมีทั้งแบบตัวเลข (Numerical hedonic scale) และแบบตัวหนังสือ (Verbal hedonic scale) ซึ่งมีหลายระดับ เช่น 3 จุด 5 จุด 7 จุด และ 9 จุด (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 สเกลฮีโดนิกสำหรับการทดสอบการยอมรับ

สเกลตัวเลข และตัวหนังสือ							
9 จุด		7 จุด		5 จุด		3 จุด	
1	ไม่ชอบมากที่สุด	1	ไม่ชอบมาก	1	ไม่ชอบมาก	1	ไม่ชอบ
2	ไม่ชอบมาก	2	ไม่ชอบปานกลาง	2	ไม่ชอบ	2	บอกไม่ได้ว่าชอบ
3	ไม่ชอบปานกลาง	3	ไม่ชอบเล็กน้อย	3	บอกไม่ได้ว่าชอบ		หรือไม่ชอบ
4	ไม่ชอบเล็กน้อย	4	บอกไม่ได้ว่าชอบ		หรือไม่ชอบ	3	ชอบ
5	บอกไม่ได้ว่าชอบ		หรือไม่ชอบ	4	ชอบ		
	หรือไม่ชอบ	5	ชอบเล็กน้อย	5	ชอบมาก		
6	ชอบเล็กน้อย	6	ชอบปานกลาง				
7	ชอบปานกลาง	7	ชอบมาก				
8	ชอบมาก						
9	ชอบมากที่สุด						

ที่มา: ดัดแปลงจากปราณี, 2551

- วิธีทดสอบสเกลพอดี (Just–about–right; JAR test) ตัวอย่างสเกลพอดีแสดงดังตารางที่ 2.6 เป็นสเกลที่เข้าใจง่าย และให้ข้อมูลทิศทางของการเปลี่ยนแปลงได้ แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถบ่งชี้คะแนนจริงของความชอบได้ และข้อมูลที่ได้ไม่ใช่ข้อมูลแบบ Interval data

ตารางที่ 2.6 สเกลพอดีสำหรับการทดสอบการยอมรับ

แบบ 3 จุด	แบบ 5 จุด	แบบ 7 จุด
- รสหวานน้อยเกินไป	- รสหวานน้อยเกินไปมาก	- รสหวานน้อยเกินไปมากที่สุด
- **รสหวานพอดี**	- รสหวานน้อยเกินไป	- รสหวานน้อยเกินไปมาก
- รสหวานมากเกินไป	- **รสหวานพอดี**	- รสหวานน้อยเกินไป
	- รสหวานมากเกินไป	- **รสหวานพอดี**
	- รสหวานมากเกินไปมาก	- รสหวานมากเกินไป
		- รสหวานมากเกินไปมาก
		- รสหวานมากเกินไปมากที่สุด

ที่มา: ปราณี, 2551

- วิธีสเกลรอยยิ้ม หรือลายหน้า (Smiley scale / Face scale) หมายถึงสเกลภาพแสดงระดับความพอดีด้านสีหน้า ลักษณะสเกลคล้ายคลึงกับสเกลแบบฮีโดนิก แต่ใช้สัญลักษณ์รูปหน้าแทน เหมาะสำหรับผู้ทดสอบที่เป็นเด็ก เพื่อให้เข้าใจแบบทดสอบได้ง่ายขึ้น

สถานที่ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ต้องมีการควบคุมสภาวะให้เหมาะสม หากทำการทดสอบในสถานที่ที่ต่างกันจะให้ผลการทดสอบที่ต่างกัน แม้จะเป็นตัวอย่างเดียวกัน การควบคุมสถานที่ทดสอบเพื่อลดอคติของผู้ทดสอบ กำจัดตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ สถานที่ทดสอบสามารถแบ่งออกได้ (เพ็ญขวัญ, 2536) ดังนี้

- การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory test) เป็นการทดสอบที่ต้องการควบคุม ตัวแปรที่จะมีอิทธิพลรบกวนความสามารถในการรับรู้ มีข้อได้เปรียบ คือสามารถควบคุมการเตรียม และการเสิร์ฟไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ แต่เป็นการทดสอบที่ไม่เป็นไปตามรูปแบบบรรยากาศการบริโภคจริง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

- การทดสอบในที่สาธารณะ (Central location test) เป็นการทดสอบในสถานที่ที่มีผู้บริโภคอยู่จำนวนมาก เช่น แหล่งชุมชน งานแสดงสินค้า ศูนย์การค้า ซึ่งสามารถใช้ผู้บริโภคจำนวนมากได้ จำนวนผู้ทดสอบโดยทั่วไปประมาณ 30-500 คน ข้อดีของการทดสอบนี้ คือผลการทดสอบที่ได้เป็นความจริง และน่าเชื่อถือ เนื่องจากผู้ทดสอบสามารถสอบถามผู้ดำเนินการทดสอบได้เมื่อมีข้อสงสัย กลุ่มผู้ทดสอบเป็นผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับการคัดเลือก แต่มีข้อเสียเปรียบด้านการควบคุมตัวอย่าง และสภาพแวดล้อม ผู้ทดสอบอาจได้รับการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมาก ดังนั้นแบบสอบถามที่ใช้ควรเข้าใจง่าย มีความชัดเจน

- การทดสอบที่บ้าน (Home-use test) เป็นการทดสอบที่ให้ผู้ทดสอบนำตัวอย่างกลับไปใช้ที่บ้าน เป็นการจำลองการบริโภคที่เหมือนจริง ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่ได้จากความรู้สึกที่มาจากความคุ้นเคยในการใช้จริง ความชอบหรือการยอมรับผลิตภัณฑ์เกิดจากการใช้ซ้ำ มากกว่าความรู้สึกที่ใช้เพียงครั้งแรก แต่การทำสอบวิธีนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง เวลานาน และอาจได้รับการตอบกลับน้อย

จำนวนผู้ทดสอบในการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคขึ้นอยู่กับความสามารถ ความชำนาญของผู้ทดสอบ ความแตกต่าง ความสม่ำเสมอของตัวอย่าง และวิธีการทดสอบ โดย Stone และ Sidel (1993) แนะนำให้ใช้ผู้ทดสอบอย่างน้อย 40 คนต่อตัวอย่างสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผู้ทดสอบอย่างน้อย 100 คนสำหรับการทดสอบผู้บริโภคในที่สาธารณะ ส่วนการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบผู้บริโภคตามบ้านควรใช้ผู้ทดสอบ 50 – 100 คน ซึ่งจำนวนผู้ทดสอบที่มากจะให้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือกว่าการทดสอบที่ใช้ผู้ทดสอบน้อย

ผู้ทดสอบสำหรับการทดสอบการยอมรับ เป็นผู้บริโภคผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อให้ตรงกับกลุ่มเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพศ อายุ รายได้ของผู้ทดสอบ เพื่อกำหนดกลุ่มเป้าหมายต่อไป การทดสอบผู้บริโภคมีขั้นตอนต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (ปราณี, 2551)

- บอกวัตถุประสงค์ของการทดสอบอย่างชัดเจน เช่น เพื่อสอบถามเกี่ยวกับการยอมรับ แนวโน้มการขาย ราคาที่ผู้บริโภคยอมจ่าย เป็นต้น
- วางแผนการทดสอบ เริ่มจากกำหนดผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ จากนั้นวางแผนการทดสอบ โดยพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ จำนวนผู้บริโภค ขนาดของตัวอย่าง สถานที่ทำการทดสอบ และรูปแบบการทดสอบว่าจะใช้การทดสอบวิธีใด เช่น การสัมภาษณ์ หรือการทำแบบสอบถาม
- ทดสอบแบบสอบถาม เพื่อปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามให้มีความเข้าใจ และชัดเจน
- ทำการทดสอบผู้บริโภค และเก็บข้อมูล
- การวิเคราะห์ข้อมูล และแปลผล

2.7 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น จะเกิดขึ้นเร็ว หรือช้าขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และสภาวะในการเก็บรักษา โดยปกติแล้วการเสื่อมเสียของอาหารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้คุณภาพลดลงจนกระทั่งผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หรือไม่เป็นไปตามกฎหมายกำหนด (รุ่งนภา, 2540) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอายุการเก็บรักษา หมายถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารยังคงมีความปลอดภัย มีคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางเคมี และทางกายภาพที่ดี และยังคงคุณค่าทางโภชนาการเมื่อทำการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่บ่งบอกข้างฉลาก (Olds, 1996)

วิธีการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนดังนี้

1. การจำแนกปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบกับความคงตัวของอาหารมากที่สุด ที่อาจจะส่งผลให้เกิดความเสื่อมเสียของอาหาร ทั้งทางด้านเคมี กายภาพ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดสภาวะการเก็บรักษาของอาหาร

2. การกำหนดจุดวิกฤตที่มีผลต่อการเสื่อมเสีย

เป็นการประเมินและกำหนดจุดวิกฤตที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ทั้งที่เป็นเชื้อก่อโรคและไม่ก่อโรค (บุษกร, 2550) การเสื่อมเสียทางกายภาพและเคมี ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ภายในอาหาร เช่น การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัว การเปลี่ยนสีของอาหารตามธรรมชาติ และการเสื่อมเสียทางประสาทสัมผัส คือ การเปลี่ยนแปลงทางด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัสอันไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้บริโภค

3. การกำหนดวิธีวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางด้านต่างๆ

กำหนดวิธีวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ กายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีมาตรฐาน

4. การกำหนดระดับที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์

กำหนดจุดที่จะบ่งชี้ได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หรือไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค

5. การกำหนดวิธีทดสอบปัจจัยต่างๆ

เป็นการวางแผนการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ กำหนดวิธีการเก็บรักษา สภาวะการเก็บรักษา ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง และจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมในการเป็นตัวแทนของการทดสอบ โดยสภาวะการทดสอบอาจกำหนดได้หลายวิธี ได้แก่

5.1. การทดสอบในสภาวะการเก็บรักษาจริง ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ข้อมูลที่เป็นความจริงและแม่นยำ ทำการทดสอบโดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในสถานที่ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดตั้งแต่วันผลิต และทำการทดสอบตลอดการเก็บรักษาจนกระทั่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ นั่นแสดงว่าหมดอายุการเก็บรักษา วิธีนี้มีข้อเสีย คือใช้เวลาในการทดสอบนาน (March, 1986)

5.2. การทดสอบในสภาวะเร่ง (Accelerated storage test) เป็นวิธีการทดสอบที่คล้ายกับการเก็บรักษาจริง แต่จะเร่งเวลาในการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น เช่น เพิ่มอุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเวลาในการเก็บรักษาที่แท้จริง วิธีนี้จะใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า แต่ข้อมูลที่ได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากไม่ได้ใช้สภาวะที่แท้จริงในการเก็บรักษา (Labuza, 1982)

5.3. การทดสอบโดยการสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulating shelf life test) เป็นการเก็บรักษาด้วยการเลียนแบบสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง โดยสร้างสถานการณ์จำลอง เช่น การได้รับการกระแทกจากการขนส่ง เป็นต้น จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเวลาการเก็บรักษาที่แท้จริง (Quast และ Karel, 1973)

6. การประมวลผล

ประมวลผลจากข้อมูลที่ทำการทดลองได้ จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านี้มากำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมักจะกำหนดโดยผู้ประกอบการ โดยทั่วไปผู้ผลิตจะพยายามทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อยู่ได้ยาวนานที่สุด เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการจัดการ สภาวะการจัดจำหน่าย การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความสำคัญกับกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อกำหนดวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม เป็นการรับประกันว่าผลิตภัณฑ์นั้นๆ จะยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้จนถึงวันที่ระบุอยู่ในฉลาก ทำให้เกิดความพึงพอใจในตัวสินค้า หากกำหนดวันหมดอายุนานเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

2.8 เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เทคนิคทางสถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) มีหลายประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) การวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล (Cluster analysis) และการวิเคราะห์แผนผังความชอบของผู้บริโภค (Preference mapping) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.8.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่อาศัยหลักความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรที่ใช้เป็นข้อมูลองค์ประกอบหลัก (principal component, PC) เป็นการผสมเชิงเส้นตรง (linear combination) ของตัวแปรที่อธิบายการผันแปรของข้อมูลได้มากที่สุดมารวมกลุ่มไว้ในองค์ประกอบเดียวกัน จากนั้นหาการผสมที่สองที่สามารถอธิบายความผันแปรได้มากที่สุดเป็นอันดับที่สอง โดยที่ไม่สัมพันธ์กับการผสมแรก ทำเช่นนี้จนได้องค์ประกอบหลักที่สามารถอธิบายการผันแปรของข้อมูลได้ครบถ้วน ซึ่งองค์ประกอบหลักจะสามารถอธิบาย การผันแปรได้น้อยลงตามลำดับ และทุกองค์ประกอบไม่มีความสัมพันธ์กัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทิศทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทิศทางตรงกันข้าม) ก็ได้ (คณาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2549)

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะปรากฏค่าต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ค่า eigenvalues เป็นค่าที่ได้จากผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบร่วมในแต่ละ

องค์ประกอบ และค่า factor loading เป็นค่าน้ำหนักของตัวแปรแต่ละตัวที่สามารถอธิบายได้ถึงความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบนั้นๆ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอธิบายลักษณะของตัวแปรในแต่ละองค์ประกอบ หากตัวแปรมีค่า factor loading อยู่ในองค์ประกอบหลักใดสูงที่สุด นั่นคือองค์ประกอบนั้นใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายลักษณะของตัวแปรนั้นได้ดีที่สุด (กัลยา, 2546) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมสำหรับข้อมูลที่มีจำนวนตัวแปรมาก โดยมีประโยชน์ด้านการลดจำนวนตัวแปร จากการรวมตัวแปรหลายๆ ตัวให้อยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการข้อมูลต่อไป

2.8.2 **การวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล** (Cluster analysis)

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน มีความคล้ายคลึง หรือเหมือนกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เทคนิคนี้จะทำการจัดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ตัวแปรที่คาดว่ามีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างมาใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่อยู่กลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะคล้ายกัน ส่วนตัวอย่างที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย และตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะสามารถอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว (กัลยา, 2546) การจัดกลุ่มสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับค่าที่จะนำมาใช้กำหนดระยะทางของตัวอย่าง โดยวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือวิธี Hierarchical cluster analysis (HCA) เป็นการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทางความคล้ายระหว่างตัวอย่าง/กลุ่มตัวอย่าง เทคนิคนี้นิยมนำไปใช้ในงานด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านการตลาด โดยเฉพาะการสำรวจผู้บริโภคเพื่อกำหนดกลุ่มของผู้บริโภคให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2.8.3 **การวิเคราะห์แผนผังความชอบของผู้บริโภค** (Preference mapping)

การวิเคราะห์แผนผังความชอบของผู้บริโภค เป็นเทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพเพื่ออธิบายถึงการรับรู้ของผู้ทดสอบต่อตัวอย่าง โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ข้อมูลด้านความชอบที่ได้จากผู้ทดสอบแต่ละคน ข้อมูลลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่นลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณภาพทางกายภาพ หรือทางเคมี เป็นต้น นำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นำผลที่ได้มาสร้างแผนภาพ หรือแผนผังความชอบ ซึ่งแผนภาพที่สร้างขึ้นสามารถใช้ในการอธิบายทัศนคติของผู้บริโภคในด้านต่างๆ เช่น ความชอบ การยอมรับได้ (คณาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2549) เทคนิคนี้นิยมใช้ในงานด้านการตลาด และการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสำรวจความต้องการของผู้บริโภค และแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์