บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุกกี้ (cookies)

คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีรสหวาน มีขนาดเล็กและแบน ทำจากแป้งสาลีโปรตีนต่ำ ประมาณร้อยละ 7-9 สำหรับเนยขาวและน้ำตาลเป็นส่วนผสมที่สำคัญ โดยมีปริมาณมากน้อย ตามประเภทของคุกกี้ คุกกี้ทั่วไปจะมีปริมาณของเนยขาวร้อยละ 30-35 ของแป้ง และมีน้ำตาลมากกว่าเนยขาวเล็กน้อย สำหรับวัตถุดิบอื่นๆ จะเหมือนกับที่ใช้เป็นส่วนผสมในเค้ก อาจมีการดัดแปลงเพื่อเพิ่มความอร่อย โดยตกแต่งด้วยผลไม้แห้ง ถั่วต่างๆ กาแฟ ช็อกโกแลต ซึ่งจะมีการเรียกชื่อตามส่วนผสมนั้นๆ (จิตธนา และอรอนงค์, 2549)

2.1.1 ส่วนผสมหลักในการผลิตคุกกี้

ส่วนผสมหลักของคุกกี้คือ แป้งสาลีเอนกประสงค์ ไขมัน (เนยสดหรือมาร์การีน) และน้ำตาล ซึ่งสมบัติของวัตถุดิบต่างๆ สามารถจำแนกได้ดังนี้

แป้งสาลี ปกติในผลิตภัณฑ์คุกกี้จะใช้เป็นแป้งสาลีชนิดโปรตีนปานกลาง (ร้อยละ 10-11) หรือแป้งสาลีที่มีโปรตีนต่ำ (ร้อยละ 7-9) คือ แป้งอเนกประสงค์ หรือแป้งเค้ก แป้งทั้งสองชนิดนี้เหมาะสำหรับทำคุกกี้ เพราะทำให้คุกกี้มีความกรอบทนสามารถเก็บไว้ได้นาน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำแล้ว โปรตีนในแป้งสาลีซึ่งประกอบด้วยกลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) จะทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า กลูเตน (gluten) โดยในคุกกี้จะมีส่วนของแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบสำคัญในสูตรมากถึงร้อยละ 80 จึงมีผลโดยตรงต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Matz, 1972)

ไขมัน เป็นส่วนที่สำคัญต่อคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์คุกกี้ เนื่องจากไขมันมีส่วนทำให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่ดี และเพิ่มกลิ่นรสให้กับผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้นการลดปริมาณไขมันจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ (Drewnowski *et al*., 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาล เป็นส่วนผสมหลักในขั้นตอนการอบรองจากแป้ง ซึ่งคุกกี้โดยทั่วไปใช้น้ำตาลทรายเป็นส่วนผสม แต่ปัจจุบันมีแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยใช้น้ำตาลตัวอื่นเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การลดต้นทุนในการผลิตโดยใช้ไฮฟรุกโตสคอร์นไซรับ (Curley and Hoseney, 1984) การลดพลังงานและความหวานในผลิตภัณฑ์คุกกี้โดยใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลพวกแอลกอฮอล์ (Foster-Powell and Brand-Miller, 1995)

2.1.2 กระบวนการผลิตคุกกี้

กรรมวิธีการผลิตคุกกี้โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ (จิตธนา และอรอนงค์, 2549)

2.1.2.1 การผสม วิธีการผสมของคุกกี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการทำเค้กคือ มีวิธีการผสม 2 แบบ ได้แก่ การตีเป็นครีม และการผสมครั้งเดียว สำหรับคุกกี้เนย มีการผสมแบบแรก โดยจะต้องตี เนยกับน้ำตาล แล้วเติมไข่ทีละฟอง ตีต่อไปจนส่วนผสมเข้ากันดี จึงเติมแป้งแล้วผสม เบาๆ จนได้ส่วนผสมที่เนียนดี ส่วนการผสมแบบที่ 2 ทำได้ง่าย โดยการใส่ส่วนผสม ทั้งหมด ยกเว้นสารช่วยขึ้นฟูและเกลือนำมาละลายน้ำบางส่วน เมื่อส่วนผสมเข้ากันดี จึงนำไปผ่านเครื่องรีดให้เป็นแผ่นหนาบางตามต้องการ และเข้าเครื่องตัดเป็นชิ้น หรือกด เป็นรูปร่างต่างๆ (จิตธนา และอรอนงค์, 2549)

2.1.2.2 การอบ การอบคุกกี้จะเป็นหลักการให้ความร้อนทั้งแบบการนำความร้อน (conduction) และการพาความร้อน (convection) ซึ่งกระบวนการอบในระดับอุตสาหกรรมจะเป็นเตาอบขนาดใหญ่ มีสายพานเคลื่อนที่พาคุกกี้เข้าไป แล้วออกมาอีกทางหนึ่ง คุกกี้ที่มีเนยและน้ำตาลมาก ควรใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการอบปกติ เมื่อนำคุกกี้เข้าตู้อบ ด้านนอกของโดจะเริ่มสุก จึงเกิดลักษณะเป็นฟิล์มแข็ง หรือมีผิวนอกแข็ง ความร้อนจากตู้อบจะทำให้ไขมันในโดละลายและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้โดขยายตัวและเพิ่มปริมาตรขึ้น ในขณะเดียวกันน้ำในโดก็จะเปลี่ยนเป็นไอ ซึ่งจะดันให้คุกกี้ขยายตัวออกมา ทำให้โดขยายตัวและเพิ่มปริมาตรมากขึ้น ในขณะเดียวกันน้ำในโดจะเปลี่ยนเป็นไอ ซึ่งจะดันทำให้คุกกี้ขยายตัวต่อไป เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสตาร์ชจะเริ่มเปลี่ยนเป็นเจล โปรตีนในแป้ง ไข่ หรือนมจะแข็งตัว ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงของคุกกี้ ใกล้ช่วงสุดท้ายของการอบ คุกกี้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กลิ่นหอมและมีรสชาติดี เมื่อคุกกี้ออกจากเตาอบแล้ว ควรถ่ายออกจากตะแกรงหรือถาดทันที เพื่อป้องกันการแตกหักเสียหาย เพราะเมื่อคุกกี้เย็นลงจะแข็งตัวและเปราะแตกง่าย โดยทั่วไป อุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบคุกกี้จะอยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส (Ameur *et al*., 2007; Courel *et al*., 2009) ทั้งนี้อุณหภูมิในการอบนั้นเป็นสิ่งสำคัญ ส่งผลต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ได้ทั้งทางกายภาพ เช่น ด้านสี เนื้อสัมผัส เป็นต้น และทางเคมี เช่น กลิ่น สารอะคริลาไมด์ ซึ่งเป็นสารอันตรายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยปริมาณของสารอะคริลาไมด์ที่เริ่มมีอันตราย คือมีปริมาณ 200 ppb ซึ่งเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่อบอุณหภูมิ 150, 200 และ 250 องศาเซลเซียส นาน 6.29, 0.20 และ 0.03 นาที ตามลำดับ (Acar and Gökmen, 2010)

2.2 การแพ้กลูเตนจากแป้งสาลี

ปัจจุบัน ผู้บริโภคบางกลุ่มมีอาการแพ้อาหารบางประเภท โดยเฉพาะการแพ้กลูเตนที่พบมากขึ้น (Goodwin and Rawcliffe, 1983; Sampson, 1999; Lee, *et al*., 2009) ดังจะเห็นว่าในหลายๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และประเทศในแถบยุโรปได้หันมาให้ความสำคัญกับอาหารที่ปราศจากกลูเตนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผู้บริโภคที่มีอาการแพ้กลูเตนจะเป็นผู้ที่มีอาการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันที่มี T-cell เป็นสื่อเมื่อได้รับกลูเตน อาการตอบสนองดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละคน สำหรับผู้มีอาการแพ้จะมีอาการถ่ายเหลวเป็นน้ำ แน่นท้องมีลมในท้องมาก คลื่นไส้อาเจียน ปากเป็นแผล หรือน้ำหนักลด (Ciacci *et al*., 2007) ซึ่งจากการที่คุกกี้ทั่วไปใช้แป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลัก ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการใช้วัตถุดิบทดแทนแป้งสาลี เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวเหนียว แป้งถั่วเหลือง หรือแป้งข้าวเจ้า เป็นต้น โดยต้องคำนึงถึง คุณภาพ ทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ซึ่งเป็นคุณภาพที่สำคัญ ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยวัตถุดิบอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทดแทน

จากการศึกษาคุกกี้ปราศจากกลูเตน โดยใช้แป้งข้าวโพดผสมกับแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2 และ 7:3 (โดยน้ำหนัก) มีปริมาณโปรตีน ความชื้น และเถ้าต่ำกว่าแป้งสาลี แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงกว่า (p<0.05) และเมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้น แป้งผสมจะมีปริมาณโปรตีน ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการเกิดเจลลดต่ำลง มีค่าแรงตัดขาด และความหนาแน่นต่ำกว่าคุกกี้สูตรควบคุม (แป้งสาลี) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งมากขึ้น คุกกี้จะมีค่าสี L* และอัตราการแผ่ขยายตัวลดต่ำลง โดยที่คุกกี้สูตรแป้งข้าวโพดต่อแป้งถั่วหรั่ง 9:1 มีค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (p≥0.05) (กมลทิพย์, 2553)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 แป้งข้าวเจ้า

สำหรับประเทศไทยได้มีการนำเข้าแป้งสาลีเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2550 ประเทศไทยนำเข้าข้าวสาลี และแป้งสาลีคิดเป็นมูลค่าประมาณ 11,000 ล้านบาท โดยเพิ่มขึ้นจาก ปี 2549 ที่นำเข้าประมาณ 9,500 ล้านบาท โดยสองในสามส่วนของแป้งสาลีที่นำเข้านั้นจะใช้เพื่อการบริโภค ซึ่งพบว่าใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรีถึงร้อยละ 35 อีกทั้งยังพบว่า แป้งสาลีมีราคาสูงขึ้นจากเดิม (ศูนย์วิจัยกสิกร, 2548; สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) ซึ่งวัตถุดิบที่น่าจะเหมาะแก่การนำมาทดแทนแป้งสาลีได้ดีคือ ข้าว เนื่องจากประเทศเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญ และมีการนำแป้งข้าวเจ้ามาใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้เช่นกัน

แป้งข้าวเจ้าผลิตได้จากข้าวเจ้า *Orayza sativa* L. เป็นแป้งที่มีราคาถูก หาได้ง่าย สามารถผลิตได้ในหลายประเทศ ในเม็ดแป้งจะมีพอลิเมอร์ 2 ชนิด ได้แก่ แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพกทิน (amylopectin) แอมิโลสมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 105-106 และมีจำนวนกลูโคสในหนึ่งโมเลกุลประมาณ 500-5000 หน่วย เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α,1-4 glucosidic linkage ส่วนแอมิโลเพกทิน น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 107-109 ลักษณะของแอมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน โดยส่วนสายตรงจะเชื่อมกันด้วยพันธะ α,1-4 glucosidic linkage ส่วนที่แตกกิ่งก้านเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1-6 glucosidic linkage แอมิโลเพกทินจะอยู่ด้วยกันในโครงสร้างแบบกลุ่ม (cluster) ทำให้มีโครงสร้างภายในเป็นแบบผลึกและอสัณฐาน ซึ่งปริมาณของแอมิโลเพกทินสายเดี่ยวๆ ที่พบในแป้งข้าวเจ้าประมาณร้อยละ 80-90 สายที่เหลือร้อยละ 10-20 ที่จะเชื่อมต่อกันเป็นกลุ่ม (Stephen, 1995) สมบัติทั่วไปของแป้งข้าวเจ้าคือ ไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น แต่สามารถที่จะพองตัวได้ในน้ำอุ่น ซึ่งปริมาณการพองตัวของแป้งนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เม็ดแป้งจะมีการพองตัวจนสูงสุดและแตกออก ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่เกิดการเจลาติไนซ์ คุณลักษณะและสมบัติของแป้งข้าวเจ้า ดังตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 สมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า

สมบัติ	แป้งข้าวเจ้า
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	6.8[a]
กำลังการพองตัว (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)	19[c]
การละลาย (ร้อยละ) (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)	18[c]
ปริมาณแอมิโลส (โมเลกุล)	18-27[a]
ขนาดของแอมิโลส (โมเลกุล)	900-1,100[b]
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาทิไนซ์ (องศาเซลเซียส)	60[a]
อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลาทิไนซ์ (องศาเซลเซียส)	77[a]

ที่มา: [a] Ellis and Gudmundsson (1996)

[b] Hizukuri (1996)

[c] Leach *et al*. (1959)

สำหรับการนำแป้งข้าวมาใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่ามีการนำแป้งข้าวกล้องในการผลิตคุกกี้ โดยพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับสูงสุดในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ใช้แป้งข้าวกล้องร้อยละ 60 ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวกล้องที่ได้จะมีปริมาณใยอาหาร วิตามินบี 1 บี 2 และไนอาซินเพิ่มขึ้น (จุฑา, 2544) และการใช้แป้งน้ำนมข้าวยาคูในปริมาณร้อยละ 10 ผู้บริโภคให้ค่าคะแนนความชอบสูงโดยไม่แตกต่างจากคุกกี้สูตรปกติ แต่พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งน้ำนมข้าวยาคูในปริมาณร้อยละ 10 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าการใช้แป้งน้ำนมข้าวยาคูในปริมาณร้อยละ 40 (วันเพ็ญ และคณะ, 2548) ซึ่งชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ดังตารางที่ 2.2

รุจิรา และคณะ (2543) ได้ศึกษาการนำแป้งข้าวมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยใช้แป้งข้าวจากข้าวเจ้าพันธุ์หอมมะลิ 105 กข 23 และเหลืองประทิว 123 ซึ่งมีทั้งแบบโม่แห้งและโม่น้ำโดยพบว่า แป้งข้าวทุกพันธุ์ ทั้งโม่แห้งและโม่น้ำสามารถนำมาผลิตคุกกี้ได้ โดยที่คุณภาพของคุกกี้ยังได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับคุกกี้จากแป้งสาลี โดยคุกกี้จากแป้งข้าว กข 23 จะได้คะแนนการยอมรับใกล้เคียงกับคุกกี้แป้งสาลีมากที่สุด อย่างไรก็ตาม คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าก็ยังมีข้อด้อยกว่าคุกกี้จากแป้งสาลี เพราะมีลักษณะร่วน แตกหักง่าย มีเนื้อหยาบและอ่อนตัวเร็ว จึงมีการนำแป้งชนิดอื่นๆ มาใช้ร่วมด้วย เช่น ในการศึกษาการเสริมคุกกี้แป้งข้าวเจ้าด้วยโปรตีนที่สกัดจากกากงาดำ โดยทดแทนในอัตรา ส่วนของแป้งข้าวเจ้าในระดับที่ร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 พบว่า คุกกี้แป้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดที่ได้จากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 เป็นสูตรที่ใกล้เคียงกับสูตรคุกกี้แป้งสาลีมากที่สุด เมื่อนำไปทดสอบการยอมรับผู้บริโภคจำนวน 100 คน ให้คะแนนการยอมรับในด้านความชอบโดยรวม กลิ่นรส ความกรอบ และความร่วนสูงกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า ซึ่งสรุปได้ว่าการเสริมคุกกี้แป้งข้าวเจ้าด้วยโปรตีนที่สกัดจากกากงาดำช่วยปรับปรุงคุณลักษณะคุกกี้ให้ดีขึ้น (วราทิพย์, 2552) และ de Simas *et al*. (2009) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งจาก king palm ต่อลักษณะทางเคมีกายภาพและลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ โดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งจาก king palm ตั้งแต่ ร้อยละ 0-30 พบว่า การเติมแป้ง king palm ทุกๆ ระดับทำให้โดมีความแน่นเพิ่มขึ้น มีค่า adhesive ลดลง และคุกกี้ที่ได้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ การใช้แป้ง king palm ทำให้มีปริมาณเส้นใยอาหาร และแร่ธาตุเพิ่มขึ้น โดยผู้บริโภคยอมรับคุกกี้ที่มีการเติมแป้ง king palm ร้อยละ 10 และ 20

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้แป้งชนิดและปริมาณต่างๆ แทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ เช่น การใช้แป้งข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลัง แป้งจากน้ำนมข้าวยาคูผง แป้งข้าวยาคู แป้งข้าวเจ้า ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้จากรายงานการวิจัย

ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดแทนแป้งสาลี	**ปริมาณที่ใช้ทดแทน (ร้อยละ)**	**แหล่งที่มา**
แป้งข้าวกล้อง	40-60	จุฑา (2544)
แป้งมันสำปะหลัง	40	พรดี (2528)
แป้งจากน้ำนมข้าวยาคูผง	0-40	วันเพ็ญ และคณะ (2548)
แป้งข้าวยาคู	7	วันเพ็ญ และคณะ (2548)
แป้งข้าวเจ้า	0-100	de Oliveir *et al.* (2009)
แป้งข้าวเจ้า	97	วราทิพย์ (2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การใช้สารทดแทนความหวานแทนน้ำตาล

คุกกี้มีส่วนผสมของน้ำตาลสูง การบริโภคในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคผิวหนัง เป็นต้น การใช้สารที่ให้ความหวานทดแทนน้ำตาลกับผลิตภัณฑ์คุกกี้จึงได้รับความสนใจและพัฒนาเพื่อแนวทางในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์น้ำอัดลม ลูกอมและหมากฝรั่ง โดยสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล (sugar substitutes) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

กลุ่มแรก คือ สารที่ให้ความหวานพลังงานต่ำ (low-calorie sweeteners) เป็นสารให้แคลอรีเป็นศูนย์ บางครั้งเรียกว่าน้ำตาลเทียม มีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทราย) ตั้งแต่ 30 ถึง 8,000 เท่า เช่น แอสพาเทม (aspartame) แซคคาริน (saccharin) ซูคราโลส (sucralose) เป็นต้น สารกลุ่มนี้เหมาะนำมาใช้ในกรณีต้องการควบคุมน้ำหนัก (กล้าณรงค์, 2542)

กลุ่มที่สอง คือ สารให้ความหวานที่ลดพลังงาน (reduced-calorie sweeteners) ได้แก่ น้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohols) หรือ พอลิออล์ (polyols) สารกลุ่มนี้ต่างกับกลุ่มแรก คือให้ความหวานและมีคุณสมบัติเพิ่มมวลเหมือนน้ำตาลซูโครส แต่ให้พลังงานต่ำกว่า (ประมาณ 1.6 ถึง 2.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม) และไม่ทำให้น้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลัน เนื่องจากน้ำตาลแอลกอฮอล์จะถูกย่อยเปลี่ยนเป็นกลูโคสช้ามาก และไม่ต้องใช้อินซูลิน แต่การบริโภคสารกลุ่มนี้มากเกินไปกว่าระดับที่กำหนดอาจก่อให้เกิดการระบายจนถึงขั้นท้องเสียได้ (laxative effect) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไซลิทอล มอลติทอล เป็นต้น (BeMiller, 2007)

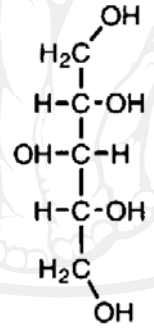
2.4.1 ไซลิทอล (xylitol)

ไซลิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง มีสูตรโมเลกุล คือ $C_5H_{12}O_5$ และมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.1 สามารถละลายน้ำได้ (ประมาณร้อยละ 60 โดยมวลที่ 25 องศาเซลเซียส) และไม่มีกลิ่น ในระหว่างการเก็บจะมีความคงตัวสูงและไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ร่างกายสร้างขึ้นในกระบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตประมาณ 5-15 มิลลิกรัม ต่อวัน (กล้าณรงค์, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิต ไซลิทอลสังเคราะห์จากไซโลสโดยปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันที่อุณหภูมิและความดันสูงใช้โลหะนิเกิลเป็นตัวเร่งหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ในไซโลสจะถูกรีดิวซ์แป็นหมู่ไฮดรอกซี (-OH)

คุณลักษณะและคุณสมบัติ ไซลิทอลเป็นผลึกสีขาว มีรสหวานคล้ายน้ำตาลทรายจัดเป็นสารที่มีรสหวานเช่นเดียวกับน้ำตาลแต่ให้พลังงานต่ำกว่า พบได้ในเส้นใยของผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ผลไม้กลุ่มเบอร์รี ซังข้าวโพด และเห็ด เป็นต้น ไซลิทอลสกัดได้ครั้งแรกจากเปลือกของต้น Birch ที่ประเทศฟินแลนด์ ไซลิทอล ดูดซึมที่ลำไส้เล็กเข้าสู่เลือดไปยังตับแล้วเปลี่ยนเป็นกลูโคสถูกเผาผลาญเป็นพลังงาน เนื่องจากการดูดซึมเกิดช้าจึงทำให้ไซลิทอลส่วนใหญ่ลงไปยังลำไส้เล็กตอนล่างถูกแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์เปลี่ยนเป็นกรดไขมันสายสั้นดูดซึมกลับไปยังตับ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานต่อไป ซึ่งไซลิทอลจะไม่เพิ่มระดับกลูโคสและอินซูลินในเลือด จึงมีการนำไซลิทอลมาใช้ในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง (Kohlmeier, 2003)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไซลิทอล
ที่มา: Kohlmeier (2003)

การใช้ไซลิทอลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ทดแทนน้ำตาลซูโครส ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่มีปริมาณของสารให้ความหวานทั้งหมด 250 กรัม เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่า ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่มีปริมาณไซลิทอลแตกต่างกันจะมีค่าความชื้นแตกต่างกัน โดยคุกกี้ที่ใช้ไซลิทอลร้อยละ 100 มีค่าความชื้นสูงสุดคือร้อยละ 4.04 และลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ไม่ใช้ไซลิทอลเลยจะมีความแข็ง แห้ง และกรอบร่วนมากกว่าคุกกี้ที่ใช้ไซลิทอล

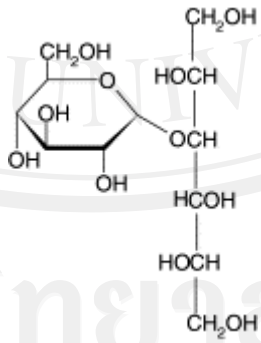
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งคุกกี้ที่ใช้ไซลิทอลร้อยละ 100 จะมีลักษณะที่นุ่มกว่าคุกกี้ที่ไม่ใช้ไซลิทอล (ร้อยละ 0) ส่วนของค่าสีพบว่าคุกกี้ไซลิทอลร้อยละ 100 มีสีสว่างกว่าคุกกี้ที่ไม่ใช้ไซลิทอล เพราะไซลิทอลไม่เกิดปฏิกิริยา คาราเมลไรเซชัน ในส่วนของการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้จากไซลิทอล พบว่ายิ่งเพิ่มปริมาณไซลิทอลในคุกกี้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส mouth feel และความชอบโดยรวมลดลงจนถึงไม่ชอบผลิตภัณฑ์ (3.53 คะแนน) (Mushtaq *et al*., 2010)

2.4.2 มอลติตอล (maltilol)

มอลติตอลมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า hydrogenated high maltose glucose syrup หรือ hydrogenated glucose syrup มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.2 มีรสหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส คือความหวานของมอลติตอลมีประมาณร้อยละ 90 เทียบกับน้ำตาลซูโครส ร่างกายจะดูดซึมมอลติตอลได้อย่างช้า ๆ จึงเกิดการย่อยสลาย (metabolism) ได้พลังงานออกมาน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสซึ่งให้พลังงานถึง 4 แคลอรีต่อกรัม ในขณะที่มอลติตอลให้พลังงานเพียง 2.1 แคลอรีต่อกรัม (BeMiller, 2007)

คุณลักษณะและคุณสมบัติ มอลติตอลเป็นผลึกสีขาว เป็นน้ำตาลที่ไม่ให้ความเย็นซ่า โดยมีคุณสมบัติเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส ดังตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของมอลติตอล
ที่มา: Hurtta and Pitkänen (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

U.S. Food and Drug Administration ไม่มีกำหนดให้ระบุบนฉลากผลิตภัณฑ์เมื่อใช้มอลติตอล นอกจากไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือดแล้วมอลติตอลยังให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลธรรมดาถึงประมาณครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นสารให้ความหวานหรือน้ำตาลที่ไม่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด อีกทั้งยังเป็นน้ำตาลที่เชื้อจุลินทรีย์ในปากไม่สามารถนำไปใช้ไม่ได้จึงไม่ก่อให้เกิดโรคฟันผุ (กล้าณรงค์, 2542)

ตารางที่ 2.3 สมบัติของมอลติตอลเมื่อเปรียบเทียบกับซูโครส

สมบัติ	มอลติตอล	ซูโครส
น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	344	342
ระดับความความหวาน	0.9	1
พลังงานความร้อนของการละลาย (แคลอรี/กรัม)	-16.3	-4.3
ความสามารถในการละลายที่ 37 องศาเซลเซียส (กรัม/100 มิลลิลิตร)	200	220
ความหนืด (สารละลายร้อยละ 50 ในน้ำอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส, มิลลิปาสคาลวินาที)	23	18
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	150	185
ความคงทนต่อความร้อน	คงทน	ไม่คงทน
ความปลอดภัยต่อฟัน	ปลอดภัย	ไม่ปลอดภัย
ค่าดัชนีน้ำตาล	29	60

ที่มา: Roquette and Lestrem (2003)

มีการศึกษาการใช้สารละลายแป้งบุกและมอลติตอลในส่วนผสมคุกกี้พลังงานต่ำ โดยการใช้น้ำตาลต่อมอลติตอลที่อัตราส่วน 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 พบว่า การใช้น้ำตาลต่อมอลติตอลในอัตราส่วน 40:60 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางกายภาพ จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสีที่ได้ก็มีความสอดคล้องกันกับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ส่วนการทดสอบทางด้านเคมี พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนของไขมันและโปรตีน ส่วนพลังงานที่ได้ลดลงจาก 6.61 กิโลแคลอรีต่อกรัม เหลือ 4.26 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งสรุปได้ว่าการเพิ่มมอลติตอลในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ทำให้พลังงานลดลงได้ (ชลัญญา และระวีวรรณ, 2553)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาผลทางประสาทสัมผัส และคุณภาพในผลิตขนมไหว้พระจันทร์ ที่มีการพัฒนาสูตรโดยใช้ แป้งอัลมอนด์แคลิฟอร์เนียและน้ำเชื่อมมอลติตอล แทนแป้งสาลีและน้ำเชื่อมซูโครส และใช้กัมทดแทนไขมัน เมื่อทำการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่า การใช้แป้งอัลมอนด์มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของขนมไหว้พระจันทร์ ซึ่งการแทนที่แป้งอัลมอนด์ที่ร้อยละ 70 ในขนมไหว้พระจันทร์ได้รับค่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุดในด้านรสชาติอัลมอนด์ สี shininess, stickiness, oiliness และ chewiness เพิ่มขึ้น และด้านความแข็งลดลง โดยเมื่อวัดค่าความหวาน และค่าสีของขนมไหว้พระจันทร์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้น้ำเชื่อมมอลติตอลแทนน้ำเชื่อมน้ำตาล ในขณะที่การลดลงของไขมันจะลดค่า shininess, stickiness และ oiliness แต่การใช้กัมจะทำให้คุณภาพลดลง ทั้งนี้ข้อมูลทางกายภาพมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสในด้านความแข็ง ค่า chewiness และค่า stickiness (R^2=0.97, 0.96, และ 0.71 ตามลำดับ) (Jia *et al*., 2008)

การศึกษาค่าดัชนีการตอบสนองต่อน้ำตาล (glycemic response, GR) ที่ระดับดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI) สูง (กลูโคส) และ GI ต่ำ (มอลติตอล) จากเครื่องดื่มที่ทำการทดสอบในกลุ่มชาติพันธุ์ที่แตกต่างกัน ทำการทดสอบแบบสุ่มและ single-blind crossover โดยให้คนผิวขาว 10 คน , อินเดียใต้ 10 คน และคนจีน 10 คนบริโภคน้ำตาลกลูโคสหรือเครื่องดื่มที่มีมอลติตอล 50 กรัม หนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบมีโอกาสที่ได้รับแตกต่างกัน โดยมีการตรวจระดับน้ำตาลในเลือด ที่ 15 และ 10 นาทีก่อนบริโภค และ 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที หลังจากการบริโภคเครื่องดื่มที่ทำการทดสอบ พื้นที่ใต้เส้นโค้งของน้ำตาลกลูโคสและมอลติตอลไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มคน 3 กลุ่ม ค่า GR เฉลี่ยสำหรับมอลติตอลเป็น 33.5% ในคนผิวขาว 32.9% ในคนจีนและ 23.1% ในคนภาคใต้ของอินเดีย ผลที่ได้มีค่า GR ที่ไม่แตกต่างในเครื่องดื่ม GI สูง (กลูโคส) และ GI ต่ำ (มอลติตอล) (Pratt *et al*., 2011)

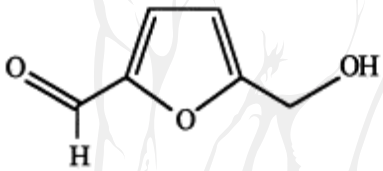
2.5 Hydroxymethylfurfural (HMF)

Neo-formed contaminants (NFCs) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทำความร้อนหรือกระบวนการ preservation ซึ่งมีผลที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ สารประกอบ NFCs ที่ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ ได้แก่ อะคริลาไมด์ และ 5 - hydroxymethylfurfural (HMF) ทั้ง HMF และ อะคริลาไมด์ อาจเกิดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรืออาจจะมีการ metabolized เกิดเป็นสารก่อมะเร็ง โดยอะคริลาไมด์และ HMF ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดจาก Maillard reaction และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ความร้อนซึ่งถือว่าเป็นตัวก่อให้เกิดสารเหล่านี้ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ขนมปังและเบเกอรี อะคริลาไมด์เป็นสารก่อมะเร็งในหนูและบางการศึกษาทางระบาดวิทยาที่ผ่านมาได้เน้นความสัมพันธ์ระหว่างอะคริลาไมด์ในอาหารและการเพิ่มความเสี่ยงของโรคมะเร็งบางชนิด การบริโภค HMF จะอยู่ในหน่วยของมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Capuano and Fogliano, 2011)

สารประกอบ hydroxymethylfurfural (HMF) มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.3 เป็นสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร สารนี้จะถูกสร้างขึ้นในกระบวนการอบโดยมักจะเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ คาราเมลไรเซชัน (caramelization) ของน้ำตาลเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง Teubner *et al*. (2007) ชี้ว่า HMF จะมีผลต่อการเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (mutation) ในเซลล์ จึงมีการศึกษาผลของ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ปริมาณน้ำอิสระ และชนิดของน้ำตาลต่อการเกิดสารประกอบ HMF ในกระบวนการอบคุกกี้ (Gökmen *et al*., 2008)



ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของสารประกอบ hydroxymethylfurfural (HMF)
ที่มา: Gökmen and Acar (1999)

ในผลิตภัณฑ์คุกกี้เมื่อผ่านการอบจะเกิดสารประกอบ HMF ซึ่งจากการศึกษาผลของชนิดผงฟู 2 ชนิด (sodium bicarbonate และ ammonium bicarbonate) และชนิดน้ำตาล 2 ชนิด (น้ำตาลซูโครสและกลูโคส) ต่อการเกิด HMF ในระหว่างการอบคุกกี้พบว่า ชนิดของผงฟู ชนิดน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาล้วนมีผลต่อการเกิด HMF โดยที่ผงฟูมีผลต่อการเกิด HMF เพียงเล็กน้อย แต่น้ำตาลจะส่งผลต่อการเกิด HMF มากกว่า ซึ่งคุกกี้ที่เติมน้ำตาลกลูโคสจะเกิด HMF ได้น้อยหรือไม่พบเลย หลังจากอบไป 10 นาที ในทุกๆ อุณหภูมิ (180, 200, 210 และ 220 องศาเซลเซียส) เนื่องจากสารประกอบ hydroxymethylfurfural (HMF) เป็นผลผลิตที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนได้เป็นสาร 3 deoxyhexosulose จึงมีการสูญเสียน้ำขณะทำปฏิกิริยาได้เป็นสาร 1,2 enol ของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ทั้งนี้อุณหภูมิสูงจะเร่งให้สารตั้งต้น ได้แก่ น้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน จนเกิดสารสีน้ำตาลขึ้นมาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Gökmen *et al*., 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 เส้นใยอาหาร (dietary fiber)

เนื่องจากคุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง การใช้สารทดแทนไขมันจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดพลังงานของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้สารทดแทนไขมัน (fat replacer) สารนี้จะต้องทำหน้าที่แทนไขมันและลดคอเลสเทอรอลในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากไขมัน (fat-based replacer) สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate-based fat replacers) ซึ่งมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์คุกกี้ อย่างเช่นการใช้โปรตีนที่สกัดจากเมล็ดแตงโมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่า มีผลต่อคุณลักษณะของโดระหว่างกระบวนการผลิต และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่แข็งขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนสกัด เช่นเดียวกับสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่จะเข้มขึ้น และมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น (Wani, 2010) หรือการนำเส้นใยอาหารมาทดแทนไขมัน และได้มีการศึกษาการใช้สารทดแทนไขมัน fat mimetics 5 ชนิด ได้แก่ Polydextrose, C*deLight, Dairytrim, Simplesse และ Raftiline ในผลิตภัณฑ์คุกกี้เปรียบเทียบกับคุกกี้ที่ใช้มาการีน พบว่า ชนิดของสารทดแทนไขมันที่แตกต่างกันทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยการเพิ่มปริมาณของ Polydextrose หรือ Dairytrim ในคุกกี้ทำให้คุกกี้แข็งขึ้น (Zoulias *et al*., 2002)

เส้นใยอาหาร เป็นส่วนที่ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งมีโครงสร้างประกอบไปด้วยโมเลกุลน้ำตาลมาต่อกันอย่างซับซ้อน เส้นใยอาหารจะไม่ถูกย่อยด้วยกรดในกระเพาะอาหารและเอนไซม์ในลำไส้เล็ก จึงกลายเป็นกากที่จะไปบดบังพื้นที่ในระบบทางเดินอาหาร เวลารับประทานเข้าไปจึงทำให้รู้สึกอิ่ม อีกทั้งยังเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน เมื่อรับประทานเข้าไปจึงไม่ก่อให้เกิดพลังงานส่วนเกิน และยังช่วยขัดขวางการดูดซึมไขมัน และคอเลสเทอรอลได้อีกด้วย (ดวงจันทร์, 2545; ปาริชาติ, 2540; McCleary and Prosky, 2001) เส้นใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.6.1 เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

เส้นใยชนิดนี้เป็นพวกที่มีความสามารถในการดูดซับอาหารหลายอย่าง ได้แก่ น้ำตาล คอเลสเทอรอล เกลือแร่บางชนิด ดังนั้นจึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย ถึงแม้จะละลายน้ำได้โดยอยู่ในรูปเจล แต่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (ดวงจันทร์, 2545) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กัม เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนและในหมู่โมเลกุลน้ำตาลบางหมู่มีกลุ่มกรดยูโรนิค ไม่มีโครงสร้างทางเคมีที่แน่นอนสำหรับกัม และกัมบางชนิดก็ไม่ละลายน้ำ

เพกทิน เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก และในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก และในหมู่โมเลกุลของน้ำตาล บางหมู่ที่มีกลุ่มเมทิล และกลุ่มยูโรนิค เพกทินบางชนิดไม่ละลายน้ำ ถ้ากลุ่มไฮดรอกซิลในกรดถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิล สารประกอบเพกทินนั้นก็จะละลายได้ในสารละลายด่าง เพกทินพบมากในผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้เชื่อมติดต่อกัน เพกทินจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเจลและจะเคลือบผนังลำไส้ทำให้มีการดูด สารอาหารที่มีประจุ เช่น น้ำตาล เพราะฉะนั้นระดับน้ำตาลในเลือดจึงไม่สูงฉับพลัน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมโรคเบาหวาน

มิวซิเลจ จะถูกหลั่งใน endosperm ของเซลล์พืชเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเกิด dehydration ที่มากเกินไป

2.6.2 เส้น ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำจะเป็นกลุ่มของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสเป็นจำนวน 1,000 โมเลกุล คล้ายกับแป้ง (starch) แต่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวในขณะที่เฮมิเซลลูโลสจะเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (monosaccharide) ชนิดต่างๆตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเป็นจำนวน 100 โมเลกุลที่มีคุณสมบัติในการละลายเหมือนกันคือ ละลายได้ในสารละลายด่าง น้ำตาลเชิงเดี่ยวนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เพนโทแซนส์ (pentosans) และ เฮกโซแซนส์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non cellulose hexosans) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิเซลลูโลส คือ ดี-ไซแลนส์ (D-xylas) และ ดี-กลูโค-ดี-แมนแนนส์ (D-gluco-D-mannans) และมีหมู่ข้างเคียงเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น แอล-อะราบิโนส (L-arabinoses) นอกจากนี้ ยังมีส่วนที่เป็นลิกนิน ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตเมื่อแก่ขึ้น ทำให้ส่วนต่างๆ ของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของธัญพืช ซึ่งถูกทำลายในกระบวนการขัดสี ทั้งนี้ส่วนประกอบของใยอาหารในอาหารจะขึ้นอยู่กับ อายุ พันธุ์พืช และส่วนต่างๆ ของพืช (ดวงจันทร์, 2545; ปาริชาติ, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 การผลิตเส้นใยอาหารเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร

เส้นใยอาหารสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์เนื้อ ไส้กรอก ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ขนมไทย เป็นต้น วิธีการใช้ประโยชน์จากใยอาหารจากพืช ทำได้โดยใช้พืชที่มีเส้นใยนั้นเป็นส่วนผสมโดยตรง หรืออาจใช้เส้นใยที่ผ่านกระบวนการผลิตมาแล้ว เช่น เพกทินทางการค้าในรูปแบบผง เป็นต้น (วันเพ็ญ, 2553; Uysal *et al.*, 2007)

2.6.3.1 การใช้พืชที่มีเส้นใยอาหารเป็นส่วนผสมโดยตรง

วิธีการนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากเส้นใยที่มีต้นทุนต่ำ หาได้ง่าย แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือต้องใช้ปริมาณของพืชที่ให้เส้นใยมาก ยากต่อการควบคุมกระบวนการผลิตอาหารนั้นในระดับอุตสาหกรรม (บัณฑิต และคณะ, 2548)

2.6.3.2 การใช้เส้นใยอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตมาแล้ว

เส้นใยที่ผ่านกระบวนการผลิตมักจะอยู่ในรูปแบบผงเพื่อให้ง่ายต่อการใช้และสะดวกต่อการเก็บรักษา ซึ่งขั้นตอนในการผลิตเส้นใยอาหารผงแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (Larrauri, 1999) คือ

การบดเปียก (wet milling) เป็นการเตรียมวัตถุดิบให้มีขนาดตามที่ต้องการ อาจใช้การบด หรือหั่น ในขั้นตอนนี้ขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อไป หากขนาดวัตถุดิบมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้วัตถุดิบดูดน้ำมากในขั้นตอนการล้าง ส่งผลต้องทำแห้งนานขึ้น และทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำ และอาจทำให้สูญเสียองค์ประกอบของเส้นใยที่ละลายน้ำได้ หากขนาดของวัตถุดิบใหญ่เกินไปจะไม่สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในขั้นตอนของการล้างได้ โดยทั่วไปแล้วขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีขนาดประมาณ 0.6-2.0 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการล้าง (washing) เป็นการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น สารให้สี ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรตเป็นต้น รวมไปถึงเชื้อจุลินทรีย์ออกจากวัตถุดิบ โดยขั้นตอนนี้มีผลต่อคุณลักษณะและคุณสมบัติของเส้นใยที่ได้ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำได้ โดยทั่วไปการล้างอาจทำได้โดยใช้น้ำร้อน หรือเอทานอล

การทำแห้ง (drying) ก่อนขั้นตอนการทำแห้งต้องมีการกำจัดน้ำออกบางส่วนก่อน เช่น การสะเด็ด การบีบ หรือใช้กระบวนการอื่นๆ เพื่อลดปริมาณน้ำก่อนทำแห้ง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหลัก และสูญเสียค่าใช้จ่ายมากที่สุดในกระบวนการผลิตทั้งหมด แต่การทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเส้นใยอาหาร อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งและค่าบรรจุภัณฑ์ด้วย

การบดแห้ง (dry milling) เป็นการลดขนาดของเส้นใยอาหาร เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจะทำการบดให้มีขนาด 0.15-0.43 มิลลิเมตร

2.6.4 การเพิ่มปริมาณเส้นใยในผลิตภัณฑ์อาหาร

เส้นใยอาหารพบได้ในอาหารจากพืชเท่านั้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน โดยในผลไม้นั้นจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่สูง จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยอาหาร โดยผลไม้ที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ได้แก่ แอบเปิ้ล กล้วย องุ่น มะม่วง ฝรั่ง และพืชตระกูลส้ม เป็นต้น (Schieber *et al*., 2002) ซึ่งเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มจะพบมากในส่วนของเปลือกมากกว่าส่วนของผลที่ปอกเปลือก Garcia *et al*. (2002) ได้ศึกษาการใช้เส้นใยอาหารจากธัญพืชและผลไม้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้งไขมันต่ำ พบว่า การใช้เส้นใยอาหารจากส้มในปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 1.5 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้งไขมันต่ำเสริมเส้นใยอาหาร ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสริมเส้นใยอาหาร และจากการศึกษาคุณภาพของคุกกี้ที่มีการแทนที่แป้งสาลีด้วยเส้นใยอาหารจากแอบเปิ้ล มะนาว ข้าวสาลี และรำข้าวสาลี ที่ร้อยละ 15, 20 และ 30 และเอนไซม์ไซลาเนส (xylanase) ร้อยละ 0.4 พบว่า การเติมเอนไซม์ไซลาเนสทำให้อัตราการกระจายตัวของคุกกี้เพิ่มขึ้น แต่การเติมเส้นใยอาหารจากทุกแหล่งและทุกระดับมีผลทำให้อัตราการกระจายตัวของคุกกี้ลดลง โดยเฉพาะเส้นใยอาหารจากรำข้าวสาลีที่ระดับร้อยละ 15 และ 20 และคุกกี้มีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเอนไซม์ xylanase และเติมเส้นใยจากทุกแหล่งและทุกระดับ (Uysal *et al*., 2007) Pachekrepapol *et al*. (2009) ได้ศึกษาการใช้วุ้นจากลูกสำรองทดแทนไขมันในเค้กบราวนี่ที่ปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 พบว่า ผู้ชิมให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติของบราวนี่ที่ใช้วุ้นแทนเนยสดร้อยละ 25 และ 50 มากกว่าบราวนี่สูตรควบคุมและการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อใช้วุ้นแทนเนยสดในปริมาณมากกว่าร้อยละ 75

การเพิ่มเส้นใยหรือนำเส้นใยอาหารมาทดแทนส่วนผสมอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์คุกกี้มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีและการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ซึ่งแหล่งที่มาหรือชนิดของเส้นใยมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมีของคุกกี้ที่ได้ เช่น ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แข็งขึ้น มีสีเข้มขึ้น คุณภาพทางเคมีมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม เป็นต้น (Jeltema *et al.*, 1971) เช่น การนำเส้นใยอาหารจากพืชชนิดต่างๆ มาใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ได้แก่ เส้นใยอาหารจากมะนาว แอบเปิ้ล เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 การเสริมเส้นใยอาหารจากพืชในผลิตภัณฑ์คุกกี้

ชนิดของใยอาหาร	ปริมาณที่ใช้ทดแทน (ร้อยละ)	อ้างอิงจาก
เส้นใยอาหารจากกากเมล็ดทานตะวัน	0-20	จิรนาถและนาตยา (2552)
เส้นใยอาหารจากแอปเปิล	0-30	Uysal *et al.* (2007)
เส้นใยอาหารจากมะนาว	0-30	Uysal *et al.* (2007)
เส้นใยอาหารจากข้าวสาลี	0-30	Uysal *et al.* (2007)
เส้นใยอาหารจากรำข้าวสาลี	0-30	Uysal *et al.* (2007)
เส้นใยอาหารจากข้าวโอ๊ต	0 และ20	Jeltema *et al.* (1983)
เส้นใยอาหารจากข้าวโพด	0 และ20	Jeltema *et al.* (1983)
เส้นใยอาหารจากถั่วเหลือง	0 และ20	Jeltema *et al.* (1983)
เส้นใยอาหารจากถั่วขาว	0 และ20	Jeltema *et al.* (1983)
ข้าวโพดฝักอ่อน	30-50	บัณฑิตและคณะ (2548)

ส่วนของกากเมล็ดทานตะวัน สามารถนำมาสกัดเส้นใยอาหารผสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ปริมาณของกากเมล็ดทานตะวันที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0-20 ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ได้ พบว่า มีค่าสี L*, a* และ b* และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกากเมล็ดทานตะวันที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าอัตราการแผ่ขยายตัวของผลิตภัณฑ์คุกกี้จะลดลงเมื่อมีการแปรระดับกากเมล็ดทานตะวันที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะพบว่า มีปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยอาหารเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการแปรระดับกากเมล็ดทานตะวันที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คุกกี้สูตรที่ใช้เส้นใยอาหารจากกากเมล็ดทานตะวันร้อยละ 5 ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด (จิรนาถ และนาตยา, 2552)

การใช้เส้นใยอาหารจากข้าวโพดฝักอ่อนแทนแป้งเอนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ในสัดส่วนร้อยละ 30, 40 และ 50 พบว่า คุกกี้ที่ได้มีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นจากสูตรมาตรฐานร้อยละ 17, 35 และ 57 ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงจากสูตรมาตรฐานร้อยละ 6.63, 7.86 และ 10.72 เมื่อนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผู้บริโภคให้ชอบและให้การยอมรับคุกกี้ที่แทนเส้นใยอาหารจากข้าวโพดฝักอ่อนร้อยละ 40 (บัณฑิต และคณะ, 2548)

2.7 ส้มโอ

ส้มโอเป็นไม้ผลยืนต้น มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Citrus maxima* (Burm) Merr. มีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อ เช่น pummelo, pomelo, shaddock และ barbados เป็นต้น จัดเป็นพืชในตระกูลส้ม อยู่กลุ่มเดียวกับส้มโอผลเล็ก (grapefruit) ผลมีขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 10-30 เซนติเมตร รูปทรงผลมีตั้งแต่ทรงแป้น (oblate) กลม (pear-shaped หรือ pyriform) แกนกลางแต่ละกลีบแยกจากกันด้วยเนื้อเยื่อที่ค่อนข้างเหนียวและหนา เนื้อผลที่ใช้ในการบริโภค เกิดจากส่วนเจริญของ endocarp มีลักษณะเป็นเส้นอัดยาว รวมตัวกันอยู่เรียกว่า ตัวกุ้ง (juice sac) ซึ่งมีขนาดใหญ่และแยกออกจากกันได้ง่าย ภายในมีน้ำที่มีกลิ่นหอมและรสอมเปรี้ยว ส่วนที่หุ้มเนื้อส้มโอจะเป็นเปลือกผลที่หนา ในประเทศไทย มีแหล่งผลิตส้มโอที่สำคัญได้แก่ นครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี ชัยนาท พิจิตร ปราจีนบุรี นครนายก ตราด ชุมพร สงขลา เป็นต้น และยังเป็นผู้ผลิตส้มโอรายใหญ่ที่สุดของโลก ซึ่งพันธุ์ส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยอย่างแพร่หลายมี 3 พันธุ์ คือ ขาวพวง ขาวแป้น และขาวทองดี (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530; ดีพร้อม, 2527; สมชาย, 2550)

2.7.1 เปลือกส้มโอ (pomelo peel)

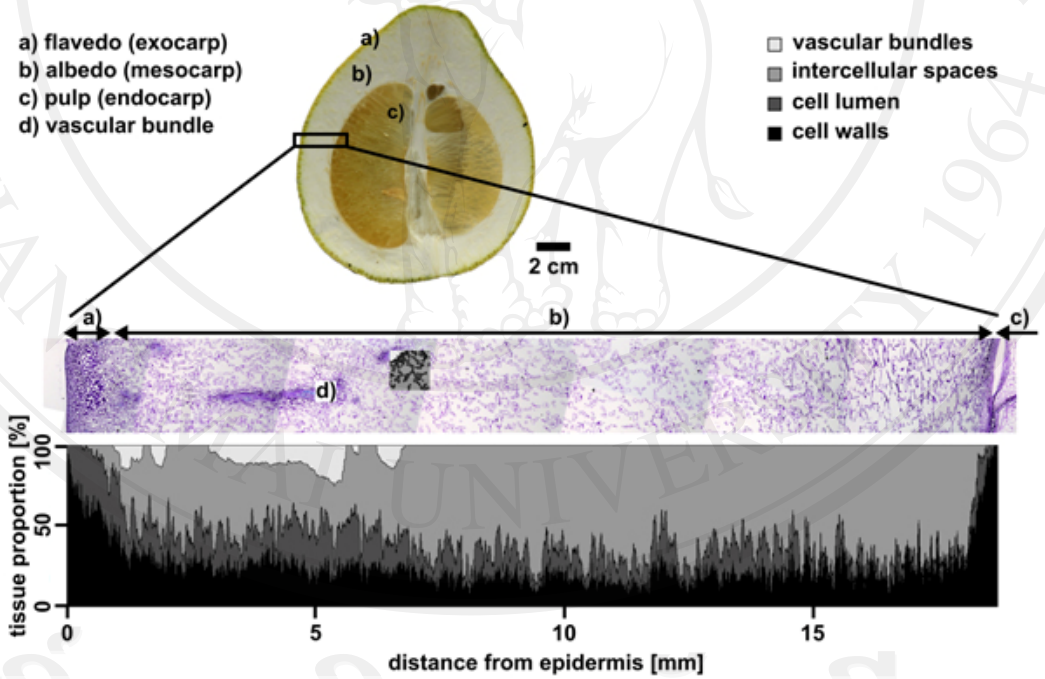
เปลือกส้มโอ (ภาพที่ 2.4) เป็นส่วนที่หุ้มเนื้อในของผลส้มโอ ลักษณะของเปลือกจะหนาและเกาะติดเนื้อแกนกลางต้น โดยทั่วไปลักษณะ ความหนาของเปลือกจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ซึ่งส่วนของเปลือกส้มโอ (pomelo pericarp, peel) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น (พร, 2535) คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชั้นนอกสุด (exocarp) จะบางกว่าเปลือกชั้นกลาง ประกอบไปด้วยส่วน ที่เป็นสีของเปลือก หรือที่เรียกว่า flavedo ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่มีแครอทีนอยด์เป็นองค์ประกอบในส่วนนี้จะมีน้ำมันหอมระเหยสะสมอยู่

เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) จะมีสีขาว หนา และอ่อนนุ่ม ซึ่งในเปลือกของส้มโอจะมีทั้งเส้นใย เพกทิน และสารพวกเมือก รวมถึงวิตามินและเอนไซม์ ซึ่งจะมีความหนาประมาณ 1-3 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับพันธุ์

เปลือกชั้นในสุด (endocarp) มีลักษณะเป็นเยื่อโปร่งใสหุ้มอยู่ที่กลีบของเนื้อส้มโอ



ภาพที่ 2.4 ส่วนของเปลือกส้มโอ และเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้อง

ที่มา: Grolms (2011)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้มโอ Red pummelo ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มีปริมาณความชื้น เถ้า กากอาหาร โปรตีน และไขมัน เท่ากับร้อยละ 15.6,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.7, 4.3, 0.28 และ 14.7 ตามลำดับ อีกทั้งยังมีแครอทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และวิตามินซี นอกจากนี้ในเปลือกส้มโอส่วนที่เป็นสีขาวจะประกอบด้วยเส้นใย เพกทิน และสารพวกเมือก (Tsai *et al*., 2007)

2.7.2 การใช้ประโยชน์จากเปลือกส้มโอ

จากการสำรวจพบว่าใน ปี พ.ศ. 2550 มีพื้นที่การปลูกส้มโอรวม 95,282 ไร่ และได้ผลผลิต 64,178 ไร่ โดยคิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 1,281 กิโลกรัมต่อไร่ (ศูนย์สารสนเทศกรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) เนื่องจากส้มโอมีส่วนของเปลือกถึงร้อยละ 40-50 (อำนวย, 2528) ดังนั้นทำให้มีปริมาณเปลือกส้มโอเหลือทิ้งถึง 37,000 ตัน ซึ่งแนวทางในการลดปริมาณเปลือกส้มโอที่เหลือทิ้งนอกเหนือจากการแปรรูปพื้นฐาน เช่น การทำเป็นขนมหวาน คือ

- การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอมีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Chanthaphon *et al*., 2008)

- การใช้เปลือกส้มโอเป็นวัสดุดูดซับนั้นสามารถที่จะกำจัดไอออนของทองแดง และสังกะสีจากสารละลายได้ดีและยังมีต้นทุนที่ต่ำจึงน่าที่จะนำไปประยุกต์กับเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการลดปริมาณของโลหะหนัก (Saikaew *et al*., 2009)

- การผลิตใยอาหาร ส่วนของเปลือกชั้นกลางของส้มโอที่เป็นสีขาวจะมีสารประกอบที่เป็นเส้นใยอยู่มาก สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเส้นใยได้ อย่างเช่น การสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอ ซึ่งเพกทินเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์มีองค์ประกอบ 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่ ส่วนของ homo galacturonan (1-4) linked ซึ่งเป็นกรดกาแลกทูโรนิกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glycosidic linkage และกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ และส่วน rhamnogalactunan (1-2) repeating linked ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกันซ้ำๆ ของน้ำตาลแรมโนสและกรดกาแลกทูโรนิค (Fishman *et al*., 2006) สารนี้พบได้ในพืช โดยจับกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช เป็นโครงสร้างของเซลล์ และเป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้น middle lamella ที่ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้ (BeMiller, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง 3 ชนิดคือ เปลือกดิบ เปลือกต้มในน้ำ 5 นาที และ 10 นาที จากนั้นนำมาทำการอบที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งใยอาหารที่ได้มีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 2.5 พบว่า การต้มและการทำแห้งทำให้ผลผลิตของใยอาหารลดลงโดยเปลือกที่ไม่ได้ต้มได้ปริมาณผลผลิตของใยอาหารสูงสุดคือร้อยละ 93.07 (ตารางที่ 2.5) องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ผลิตได้มีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 64.05-94.88 ปริมาณกากใยร้อยละ 17.91-24.40 ความชื้นร้อยละ 0.13-76.95 ค่า pH เท่ากับ 4.52-5.36 ค่าประสิทธิภาพสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่ากับ 1.29-1.53 (วันเพ็ญ, 2551)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของใยอาหาร (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ชนิดของวัตถุดิบ	TDF	SDF	IDF	SDF/IDF
R	64.05	30.69	33.36	1:1.08
C 5	94.28	45.03	49.25	1:1.09
C 10	94.88	43.86	51.02	1:1.16

ที่มา: วันเพ็ญ (2551)

หมายเหตุ TDF= ใยอาหารทั้งหมด SDF = ใยอาหารที่ละลายน้ำ IDF= ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
SDF/IDF = ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ละลายน้ำ
R = เปลือกดิบที่ไม่ผ่านการอบแห้ง C5 = เปลือกต้ม 5 นาที ที่ไม่ผ่านการอบแห้ง C10 =เปลือกต้ม 10 นาทีที่ไม่ผ่านการอบแห้ง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตจากกากส้ม และเปลือกในส้มโอ พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเปลือกในส้มโอจะมีปริมาณมากที่สุด คือร้อยละ 60.98 รองลงมาได้แก่ กากส้มสีทอง กากส้มสายน้ำผึ้งและกากส้มเขียวหวาน ตามลำดับ (อภิรักษ์, 2550)

2.8 ค่าดัชนีน้ำตาล

ค่าดัชนีน้ำตาลเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยวิเคราะห์ว่าคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคจะย่อยสลายยากง่าย และเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดในเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากรับประทาน และเข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกายสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อยโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ น้ำตาลกลูโคส หรือขนมปังขาวซึ่งมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

GI เท่ากับ 100 โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตตามค่า GI ออกเป็น 3 กลุ่มคือ (FAO/WHO, 1998)

1.1 อาหารที่มีค่า GI ต่ำ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 55 หรือ น้อยกว่าเมื่อเปรียบกับสารมาตรฐาน อาหารที่มีค่า GI ต่ำ เช่น ถั่วชนิดต่างๆ ผักและอาหารที่มีเส้นใยสูง ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำ โยเกิร์ตไขมันต่ำและไม่หวาน เกรฟฟรุต แอปเปิล และมะเขือเทศ เป็นต้น

1.2 อาหารที่มีค่า GI ปานกลาง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 56-69 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน อาหารที่มีค่า GI ปานกลางจะเป็นอาหารประเภทเส้น ถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว มันเทศ น้ำส้มคั้น บลูเบอรี่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ซุปถั่ว whole wheat และข้าวกล้อง เป็นต้น

1.3 อาหารที่มีค่า GI สูง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่า กับ 70 หรือ มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ประเภทของอาหารที่มีค่า GI สูงได้แก่ ขนมปังขาว corn-flake ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่งอบ มันฝรั่งทอด (French fries) ไอศกรีม ลูกเกด ผลไม้อบแห้ง กล้วย แครอท ผลไม้ที่มีรสหวาน เช่น แตงโม เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ค่าดัชนีน้ำตาลของอาหารไทยเมื่อเทียบกับข้าวขาว (ให้ GI เป็น 100)

อาหารไทยเมื่อเทียบกับข้าวขาว	**50 กรัม ของคาร์โบไฮเดรต**
กลูโคส	141
ข้าวเหนียวขาว	106
ข้าวเจ้าขาว	100
บะหมี่	81
เส้นก๋วยเตี๋ยว	76
เส้นหมี่	75
วุ้นเส้น	63

ที่มา: ชวลิต (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.1 ข้อดีของการคำนึงถึงค่า GI ในการบริโภคอาหาร

การรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงในปริมาณมาก คาร์โบไฮเดรตในอาหาร จะถูกย่อยเป็นกลูโคส และถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว มีผลไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ทำให้กลูโคสถูกนำเข้าสู่เซลล์ต่างๆ ในร่างกายเพื่อเผาผลาญให้เป็นพลังงาน แต่หลังจากการรับประทานอาหารไปแล้ว 2-4 ชั่วโมง ปริมาณอาหารที่ถูกดูดซึมในทางเดินอาหารลดลง แต่ฤทธิ์ของอินซูลินยังคงอยู่ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงมาก จนอาจทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ และทำให้รู้สึกอยากอาหาร ส่วนคนที่รับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ระดับน้ำตาลในเลือดยังคงอยู่ในระดับปกติ หลังจากการรับประทานอาหาร 4-6 ชั่วโมง ร่างกายจะหลั่งฮอร์โมนบางชนิดออกมาเพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่ โดยกระตุ้นการสลายไกลโคเจนซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในร่างกาย และเพิ่มการสร้างกลูโคสจากแหล่งอาหารอื่น เช่น ไขมัน การรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง จึงมีผลให้ระดับกรดไขมันในเลือดเพิ่มขึ้นมากกว่า การรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Frost *et al*., 1999) ดังนั้น ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานควรคำนึงถึงค่า GI ของอาหารที่บริโภค ซึ่งผู้ป่วยโรค เบาหวานควรบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (low GI) เพราะนอกจากประโยชน์อื่นๆ ที่เกิดจากการย่อย และดูดซึมช้า ยังเป็นอาหารที่ช่วยให้รู้สึกอิ่มง่ายและนาน ซึ่งทำให้เกิดผลดีในด้านระดับอินซูลิน และไขมันในเลือดที่เหมาะสมทำให้เกิดผลดีต่อสุขภาพในระยะยาว ซึ่งในปัจจุบันได้มีผู้หันมาสนใจและนำมาใช้กับผู้ป่วยเบาหวานและปรากฏว่าการเลือกอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำให้ผู้ป่วยเบาหวานจะสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดียิ่งขึ้น (สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย, 2550)

2.8.2 การวิเคราะห์ค่า GI ของอาหาร

การวัดค่า GI สามารถทำได้ 2 วิธีการหลักๆ คือ การวัดโดยวิธี *in vivo* จะใช้ผู้ทดสอบที่สุขภาพร่างกายแข็งแรง ซึ่งการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบรับประทานอาหารที่ต้องการทดสอบและวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือด และเปรียบเทียบกับอาหารที่มีค่า GI เท่ากับ 100 ได้แก่ ขนมปังขาว หรือน้ำตาลกลูโคส แต่วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน (Wiseman *et al*., 2000) อีกวิธีการหนึ่ง คือ วิธี *in vitro* ซึ่งเป็นการวัดอัตราการย่อยของแป้งในหลอดทดลอง Goni *et al.* (1997) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่า GI ที่วัดด้วยวิธี *in vitro* กับวิธี *in vivo* การวิเคราะห์ทำโดยวิธีการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ α – amylase และเอนไซม์ amyloglucosidase อัตราการย่อยแป้งแสดงในรูปของร้อยละ total starch ที่ถูกย่อยในเวลาต่างกัน จากนั้นนำมาเขียนกราฟ hydrolysis เพื่อคำนวณหาพื้นที่ใต้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กราฟ (area under curve, AUC) จาก 0-180 นาที จากนั้นคำนวณหา hydrolysis index (HI) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง AUC ของอาหารและ AUC ของขนมปังขาวที่ใช้เป็นอาหารอ้างอิงพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า HI และ GI ได้เป็นสมการ GI = 39.21 + 0.803(H_{90}) โดยค่า H_{90} คือ ร้อยละของแป้งที่ถูกย่อยเมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที

การศึกษาอัตราการย่อยสตาร์ชของ Mahasukhonthachat *et al*. (2010) ได้ศึกษาอัตราการย่อยสตาร์ชในเมล็ดข้าวฟ่างที่มีการเตรียม 2 วิธี (cryomilled และ hammer-milled)โดยใช้เอนไซม์และจำลองการย่อยในร่างกายมนุษย์ และวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เวลา 0, 10, 20, 30, 45, 90, 120, 150, 180, 210, 240 นาที โดยกลุ่มตัวอย่างแสดงเป็น ophasic digestograms และใช้สามโมเดลในการย่อย (Duggleby, first-order kinetic และ Peleg models) เพื่ออธิบาย digestograms ซึ่งการย่อยแป้งเป็นไปตาม first-order kinetic และ modified first-order exponential model และ Peleg model adequately (ค่าเฉลี่ยโมดูลัสเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ <10%) สามารถอธิบาย digestograms โดยไม่ต้องตัดหรือมีตัดจุดศูนย์กลาง มีค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น ($r^2 > 0.61$, $p < 0.01$) ระหว่างค่าคงที่อัตราการย่อย ค่าความสัมประสิทธิ์ความชัน เท่ากับ 0.4–0.9x 10-7 $cm^2\ s^{-1}$ ได้จากสัมประสิทธิ์การแพร่ของแอลฟาแอมิเลสภายในเมล็ดข้าวฟ่างบด ซึ่งจะใช้สมการ

$$DS = \frac{0.9 \times G_G \times 180 \times V}{W \times S(100\text{-}M)}$$

เพื่อหาอัตราการย่อยแป้ง และนำค่าที่ได้มาทำสมการทำนายค่า โดยใช้สมการ $D_t = D_0 + D_{\infty-0}(1-\exp(-kt))$ ซึ่งวิธีการนี้จะบอกได้ถึงค่า D_0 ที่เรียกว่า very rapidly digested starch ซึ่งจะเกิดการย่อยอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการย่อยที่เกิดโดยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสในปาก ซึ่งในการวิเคราะห์หาอัตราการย่อยจะเกิดขึ้นในช่วงไม่เกิน 1 นาที ซึ่งการเตรียมเมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 2 วิธี และขนาดอนุภาคมีผลต่ออัตราการย่อยสตาร์ช

เช่นเดียวกับ Frei *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาข้าวหกสายพันธุ์ของฟิลิปปินส์ที่มีปริมาณแอมิโลส แตกต่างกัน โดยทำการทดลอง 2 การทดลอง คือ วิเคราะห์ค่า GI ทันทีหลังจากปรุงสุก และวิเคราะห์ค่า GI เมื่อเก็บตัวอย่างหลังการปรุงสุก ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การทดลองแรกค่า GI ของข้าวแต่ละสายพันธุ์อยู่ในช่วง 68 – 109 และ การทดลองที่ 2 อยู่ในช่วง 64 – 87 ในการทดลองนี้ได้ปรับปรุงสมการความสัมพันธ์ในการหาค่า GI จากวิธีการของ Goni *et al.* (1997) ได้สมการคือ GI = 39.71 + (0.549 × HI)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.3 การลดค่าดัชนีน้ำตาล

Brennan *et al*. (2004) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการเพิ่มอินูลินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะเฉพาะทางด้านโภชนาการของแป้งพาสต้า พบว่าการเพิ่มอินูลิน (inulin) จะส่งผลต่อค่า swelling index และ firmness แต่จะไม่มีผลต่อค่า adhesiveness และ elasticity ของผลิตภัณฑ์พาสต้า ส่วนทางด้านโภชนาการ พบว่า การย่อยน้ำตาลระหว่างกระบวนการ in vitro starch digestion เป็นไปอย่างช้าๆ และการทำนายค่า GI ลดลงถึงร้อยละ 15

โดยทั่วไปขนมปังขาวจะมีใยอาหารน้อยกว่าร้อยละ 2.5 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังขาวที่มีใยอาหารสูงที่มีคุณค่าทางโภชนากับผู้บริโภค โดยใช้ Glucagel® ซึ่งเป็นเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare*) ในปริมาณร้อยละ 2.5 กับ 5 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้ Glucagel® มีคุณภาพของโดและคุณลักษณะหลังการอบแตกต่างและด้อยกว่าขนมปังขาว แต่การใช้ Glucagel® ที่ระดับร้อยละ5 สามารถลดระดับการปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์ในโมเดลแบบจำลองการย่อย ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพของค่าดัชนีน้ำตาลได้ (Brennan and Cleary, 2007)

จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลของอาหาร 102 ชนิด ด้วยวิธี *in vivo* โดยทำการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เปรียบเทียบกับขนมปังขาวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 100 ผลการวิเคราะห์ พบว่า ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 5 ชนิด (3 ยี่ห้อ) มีค่าดัชนีน้ำตาล อยู่ในช่วง 88-110 (Wolever *et al*., 1994)

จากการศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์และผ่านกระบวนการผลิตแบบง่ายและไม่ผ่านความร้อนมากซึ่งอาจส่งผลต่อค่า glycemic response ต่ำ เมื่อทำการทดลองแบบสุ่ม single-blind และ controlled crossover trial กับผู้ทดสอบที่มีสุขภาพดี 8 คน (ผู้ชาย 3 คน ผู้หญิง 5 คน อายุ 26-50 ปี มีดัชนีมวลกายน้อยกว่า 30 kg/m^2) โดยให้รับประทาน unleavened Indian flatbread ที่ไม่มีสารทำให้ขึ้นฟูที่มีชื่อเรียกว่า chapattis ที่มีสารประกอบของเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ปริมาณ 0, 2, 4, 6, และ 8 กรัม และทำการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดที่ 0, 15, 30, 45, 60, 90, และ 120 นาที หลังจากการบริโภค พบว่า พื้นที่ใต้กราฟปริมาณน้ำตาลของ chapattis ทั้ง 5 สิ่งทดลองมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิงประเภทน้ำตาลกลูโคส โดยพื้นที่ใต้กราฟปริมาณน้ำตาลของ chapattis ที่มีสารประกอบของเบตากลูแคนจากข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บาร์เลย์ปริมาณ 4 และ 8 กรัม มีค่าต่ำกว่า chapattis สูตรควบคุม และค่าดัชนีน้ำตาลของ chapattis ที่มีสารประกอบของเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ปริมาณ 4 และ 8 กรัมจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำ คือ ร้อยละ 43 และ 47 ตามลำดับ (ค่า GI เท่ากับ 30 และ 29 ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับ chapattis ที่ไม่มีสารประกอบของเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ (GI เท่ากับ 54) จึงสรุปได้ว่า เบตากลูแคนจากบาร์เลย์มีผลต่อระดับ GI ของ chapattis โดยปริมาณที่ควรใช้คือ 4 และ 8 กรัม (Thondre and Henry, 2009)

2.9 การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับการประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ซึ่งควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คุกกี้ เช่น ส่วนผสม สูตรในการผลิตคุกกี้ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คุกกี้ เช่น สภาวะในการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ เป็นต้น (ยุทธนา, 2553) โดยหลักการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ทั่วไปแล้วลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่เสื่อมเสียเพราะความชื้น จะมีเนื้อสัมผัสไม่กรอบ นิ่ม หรือแข็งเนื่องจากการเกิดผลึกของน้ำตาล มีการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่วนทางเคมีอาจพบว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน เพราะมีส่วนประกอบที่เป็นไขมันสูง และมีการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์อย่างแบคทีเรีย ยีสต์และรา หากทำการประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ จึงควรพิจารณาปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้อายุของผลิตภัณฑ์ จากรายงานการวิจัยในการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์คุกกี้นั้น ปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้อายุของผลิตภัณฑ์ เช่น สี เนื้อสัมผัส ความชื้น ปริมาณ thiobarbituric acid number (Hoque *et al*., 2009; Romeo *et al*., 2010; Sharif e*t al*., 2003)

จากการศึกษาการเพิ่มอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยใช้น้ำมันรำข้าวแทนที่ไขมันในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ทำการเก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างทุกวันที่ 0, 15, 30 และ 45 วัน นำมาทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค และปริมาณ thiobarbituric acid number ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างคุกกี้ที่มีน้ำมันรำข้าวสูงจะมีปริมาณ thiobarbituric acid number ต่ำ ซึ่งการใช้น้ำมันรำข้าวในคุกกี้จะช่วยชะลอการเกิดกลิ่นเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ (Sharif *et al*., 2003)

การใช้อิมัลซิฟายเออร์อย่างเลซิทินช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของโด และช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ในการทดลองใช้เลซิทินปริมาณร้อยละ 0.27, 0.21, 0.19 และ 0.16 ทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การตรวจวัดปริมาณความชื้นโดยใช้ moisture analyzer (Scaltec, SMOl, Germany) หลังจาก 5 นาที ถึง 45 นาที ซึ่งการเพิ่มปริมาณเลซิทินในสูตร คุกกี้ที่ได้จะมีการค่าการดูดความชื้นต่ำ ดังนั้น การใช้เลซิทินมีแนวโน้มที่จะช่วยยืดอายุให้กับผลิตภัณฑ์ (Hoque *et al*., 2009)

การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อัลมอนด์เพรสตรี้ ในสภาวะอุณหภูมิ (20 และ 30 องศาเซลเซียส) และเวลาในการเก็บที่แตกต่างกัน (0, 5, 10, 20, 30 และ 45 วัน) ในบรรจุภัณฑ์ พอลิไวนิลคลอไรด์ อลูมิเนียมฟอยล์ และถุงพลาสติกภายใต้สภาวะสุญญากาศ/พอลิเอทิลินฟิล์ม และทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ปริมาณของแข็ง ค่าสีของผลิตภัณฑ์ สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บคุกกี้คือ การใช้บรรจุภัณฑ์ อลูมิเนียมฟอยล์ และถุงพลาสติกภายใต้สภาวะสุญญากาศ/พอลิเอทิลินฟิล์มที่อุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส จะช่วยลดความแข็งของเปลือกนนอกผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ (Romeo *et al*., 2010)

จากการศึกษาและทำนายอายุการเก็บรักษาของแป้งขนมถ้วยฟูสำเร็จรูป ด้วยวิธีเร่งสภาวะ บรรจุแป้งขนมถ้วยฟูในซองอะลูมิเนียมฟอยด์ขนาดบรรจุ 100 กรัม เก็บที่อุณหภูมิห้อง ที่ 35 และที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าค่า a_w ของแป้งขนมถ้วยฟูสำเร็จรูปมีค่าลดลง และเมื่อนำมาผลิตขนมถ้วยฟู วัดค่าทางเนื้อสัมผัส พบว่าค่าความแข็ง และความยืดหยุ่นของขนมถ้วยฟูมีค่าเพิ่มขึ้น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จากผลการทดลองสรุปว่าแป้งขนมถ้วยฟูสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 35 องศาเซลเซียส ได้อย่างน้อย 12 สัปดาห์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ประมาณ 10 สัปดาห์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง (รุ่งรัตน์, 2544)

การทดสอบอายุการเก็บในสภาวะเร่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้มีอายุการเก็บที่ยาวนาน แต่ต้องการทราบอายุการเก็บในช่วนระยะเวลาสั้นๆ จึงนำเทคนิคการเก็บในสภาวะเร่งเข้ามาใช้ โดยเร่งสภาวะแวดล้อมหนึ่งที่ทราบค่า เพื่อที่จะให้ผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมสภาพเร็วกว่าอัตราปกติ โดยทั่วไปนิยมใช้อุณหภูมิเป็นสภาวะแวดล้อมที่ทราบค่าเพราะอุณหภูมิเป็นสาเหตุสำคัญในการเปลี่ยนคุณภาพของอาหารตลอดระยะเวลาการเก็บ อาศัยหลักการทางจลนพลศาสตร์ทางเคมีที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย คือ กำหนดให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุม และให้ปัจจัยภายนอก (เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ แสง) หนึ่งปัจจัยหรือมากกว่าอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับปกติ ทำให้อัตราการการเสื่อมเสียถูกเร่งให้เร็วขึ้นมีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับในเวลาที่สั้นขึ้น (Barbosa-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Canovas *et al*., 2007) โดยการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยใช้ sorption isotherm สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1 (Bell and Labuza, 2000)

$$\theta_s = \frac{\ln\left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right]}{\frac{P}{x}\frac{A}{w_s}\frac{p_0}{b}} \qquad (2.1)$$

โดยที่ m_e = ความชื้นสมดุล (g H_2O/g dry solid)

m_i = ความชื้นเริ่มต้นของอาหาร (g H_2O/g dry solid)

m_c = ความชื้นวิกฤต (g H_2O/g dry solid)

P/x = สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่าน (กรัมต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท)

A = พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์ (ตารางเมตร)

W_s = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)

p_0 = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ ณ. อุณหภูมิการเก็บรักษา (มิลลิเมตรปรอท)

b = ความชันที่ได้จากสมการเส้นตรงของ moisture sorption isotherm

θ_s = อายุการเก็บรักษา (วัน)

จากการศึกษาคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมมะลิ ที่มีผลต่อความชื้น โดยใช้ moisture sorption isotherm ที่กำหนดความชื้นสัมพันธ์ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 95 และเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว 10 คน ประเมินผลิตภัณฑ์ในด้านระดับความชื้น วัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และ critical moisture control (CMC) ในแต่ละตัวอย่าง โดยศึกษาบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือชนิดพอลิพรอพิลิน (polypropylene, PP) และชนิดพอลิเอททิลิน (polyethylene, PE) บรรจุตัวอย่างในถุงทั้ง 2 ชนิดนี้แล้วเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 75 สังเกตลักษณะความคงตัวของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปก็ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นที่ทุกสภาวะการเก็บรักษาด้วยถุงชนิด PP มีอายุการเก็บรักษาสูงกว่าถุงชนิด PE วัดค่า water vapor transmission rate (WVTR) ของบรรจุภัณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM (Siripatrawan and Jantawat, 2008) ซึ่งถุงชนิด PP จะมีอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ได้ 40 และ 31 วัน ในขณะที่ถุง PE

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถเก็บได้ 36 และ 27 วัน ที่สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 75 และ 85 ตามลำดับ (Siripatrawan, 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved