

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 คุณภาพของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ

เส้นใยจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอที่สกัดได้มีสีค่อนข้างขาว โดยมีค่าสี L^* เท่ากับ 87.02 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตจากกากส้มและเปลือกในส้มโอ (อภิรักษ์, 2549) เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตได้มีการแช่เอทานอลเพื่อกำจัดสารให้สีออกไปแล้วและการสกัดเส้นใยอาหารจากพืชควรคำนึงถึงคุณภาพของเส้นใยอาหารที่ได้ โดยเฉพาะสีของเส้นใยอาหารที่ควรมีสีอ่อน เนื่องจากสีของเส้นใยอาหารเป็นข้อจำกัดในการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทและมีผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ (วันเพ็ญ, 2551) และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.113 ถือว่ามีค่าที่ต่ำซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันมีค่าสูงกว่าเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.96 และ 1.01 ตามลำดับ (ชนิกานต์, 2549) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันของเส้นใยอาหารจะช่วยในเรื่องของการเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง (Zhang *et al.*, 2010) และมีเส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 84.02 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเปลือกในส้มโอมีค่ามากกว่ากากส้มสีทอง กากส้มสายน้ำผึ้ง และกากส้มเขียวหวาน ตามลำดับ (อภิรักษ์, 2549) ดังตารางที่ 4.1

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเส้นใยอาหารจากกากของมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ เมื่อทำการวิเคราะห์เส้นใยอาหารที่ได้จากกระบวนการบดกากมะพร้าว พบว่า ขนาดของอนุภาคของเส้นใยมีผลต่อคุณสมบัติในการจับน้ำ ค่าการดูดซึมน้ำ การอุ้มน้ำ โดยเมื่อขนาดอนุภาคลดลงจะมีผลทำให้สมบัติในการจับน้ำ และค่าการดูดซึมน้ำมันเพิ่มขึ้น (Raghavendra *et al.*, 2006)

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพ เคมีของเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอ

คุณภาพทางกายภาพ เคมี	เส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอ
ค่าสี L*	87.02±23.45
a*	0.31±0.09
b*	11.83±2.34
เส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ)	84.02±0.10
ค่าแอดเวอร์แอกทีวิตี	0.113±0.021
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม น้ำต่อกรัม ตัวอย่าง)	12.47±3.72
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัม น้ำมันต่อกรัม ตัวอย่าง)	2.61±1.08

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารที่สกัดได้ พบว่า มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตทางการค้าที่ต้องมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 9 (Larrauri, 1999) และเส้นใยอาหารที่สกัดได้มีไขมันปริมาณต่ำเท่ากับร้อยละ 0.19 โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใย และกากใยหยาบ ดังตารางที่ 4.2 เส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอจึงน่าจะเหมาะกว่าการใช้เส้นใยจากเปลือกส้มเขียวหวาน (ธนิกานต์, 2549) และ แอบเปิ้ล (Sudha *et al.*, 2007) เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง เช่น ขนมอบ เป็นต้น (ปิยะรัชต์ และคณะ, 2553) เนื่องจากมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันสูงกว่า โดยจากการศึกษาสมบัติของใยอาหารที่ได้จาก *Canna edulis* พบว่า มีปริมาณเส้นใยอาหารถึงร้อยละ 54.84 โดยเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส (ประกอบด้วยไซโตกลูแคน อาราบิโนไซแลน และกลูคูโลไซแลน) เพกทินและลิกนิน สมบัติของเส้นใยอาหารที่ได้จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงเท่ากับ 12.5 มิลลิลิตรต่อกรัม ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 14 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งจะมีความคงตัวดีในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง (Zhang *et al.*, 2010)

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอ

องค์ประกอบทางเคมี	เส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอ
คาร์โบไฮเดรต(ร้อยละ)	51.61±8.16
โปรตีน (ร้อยละ)	4.43±1.59
ไขมัน (ร้อยละ)	0.19±0.05
เถ้า (ร้อยละ)	8.49±3.14
กากใยหยาบ (ร้อยละ)	30.86±4.54
ความชื้น (ร้อยละ)	4.42±1.09

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 การศึกษาชนิดของสารทดแทนความหวานต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี

4.2.1 ผลของสารทดแทนความหวานต่อคุณภาพทางกายภาพ

การใช้สารให้ความหวานที่แตกต่างกันได้แก่ ซูโครส มอลติตอล และไซลิทอลในผลิตภัณฑ์คุกกีปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าพบว่า คุกกีที่ได้มีสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน โดยการใช้มอลติตอลมีผลทำให้คุกกีให้ค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด คือ 67.97 ซึ่งสูงกว่าการใช้ซูโครสและไซลิทอล อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากสมบัติของมอลติตอลมีความคงตัวต่อความร้อน จึงไม่ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาล (browning) และการเกิดคาราเมล (caramelization) ทำให้สีของคุกกีที่ได้มีความสว่างมากกว่า (Ronda *et al.*, 2005) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังตารางที่ 4.3

นอกจากนี้คุกกีที่ใช้ไซลิทอลยังมีค่าความแข็งต่ำที่สุด คือ 429.50 กรัมแรง ซึ่งทำให้คุกกีที่ได้มีความเปราะ นุ่ม และแตกหักง่ายกว่า เนื่องจากคุกกีที่ใช้น้ำตาลซูโครสเมื่อผ่านการอบแล้วจะเกิดผลึกของน้ำตาลทำให้คุกกีแข็งขึ้น ในขณะที่ไซลิทอลจะมีการละลายได้มากกว่าเมื่ออุณหภูมิสูงและไม่เกิดผลึกหลังจากการอบ จึงทำให้คุกกีไซลิทอลนุ่มลง (Olewnik and Kulp, 1984) และเมื่อใช้สารทดแทนความหวาน คือ erythritol แทนซูโครสในการผลิตคุกกีก็ทำให้ผลิตภัณฑ์คุกกีที่ได้จะมีลักษณะนุ่มลง (Lin *et al.*, 2010) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Mushtaq *et al.* (2010) ที่ศึกษาการใช้ไซลิทอลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ทดแทนซูโครสในผลิตภัณฑ์คุกกี พบว่า ผลิตภัณฑ์

ลูกกึ่งที่มีการใช้ไซลิทอลในปริมาณที่แตกต่างกันจะมีค่าความชื้นแตกต่างกัน โดยลูกกึ่งที่ใช้ไซลิทอลร้อยละ 100 มีค่าความชื้นสูงสุดคือร้อยละ 4.04 โดยลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ไม่ใช้ไซลิทอลจะมีความแข็ง แห้ง และกรอบร่วนกว่าลูกกึ่งที่ใช้ไซลิทอล ลูกกึ่งที่ใช้ไซลิทอลร้อยละ 100 จะมีลักษณะที่นุ่มกว่าลูกกึ่งที่ไม่ใช้ไซลิทอล

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดสารทดแทนความหวานที่ต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า

ลูกกึ่ง	L*	a*	b*	ความแข็ง (กรัมแรง)
ซูโครส	64.05±0.21 ^b	6.685±0.07 ^a	25.355±0.28 ^a	873.97±27.43 ^a
มอลติตอล	67.97±0.08 ^a	6.695±0.23 ^a	25.400±0.26 ^a	866.34±26.33 ^a
ไซลิทอล	62.58±0.20 ^b	6.880±0.08 ^a	23.240±0.11 ^b	429.50±25.15 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.2.2 ผลของสารทดแทนความหวานต่อคุณภาพทางเคมี

การใช้สารให้ความหวานในลูกกึ่งที่ต่างกันพบว่า ลูกกึ่งที่ใช้ไซลิทอลมีปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูงกว่าการใช้ซูโครสและมอลติตอลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.87-3.68 และ 0.2-0.3 ตามลำดับ ทั้งนี้ยังพบว่า ลูกกึ่งที่มีการทดแทนซูโครสด้วยมอลติตอลและไซลิทอลมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดน้อยกว่าการใช้ซูโครสอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 34-37.5 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งดังตารางที่ 4.4 เนื่องจากเมื่อคำนวณปริมาณที่ใช้มอลติตอลและไซลิทอลในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแล้วมีส่วนในสูตรมากกว่า และจึงอาจทำให้อัตราส่วนของปริมาณสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ลดลง (BeMiller, 2007)

ตารางที่ 4.4 ผลของชนิดสารทดแทนความหวานที่ต่างกันต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า

คุกกี้	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ wb)	a_w	ปริมาณ สตาร์ชทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)
ซูโครส	3.09±0.08 ^b	0.212±0.010 ^b	37.50±0.09 ^a
มอลติตอล	2.86±0.14 ^b	0.221±0.011 ^b	34.09±0.04 ^c
ไซลิทอล	3.67±0.10 ^a	0.313±0.031 ^a	36.59±0.20 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

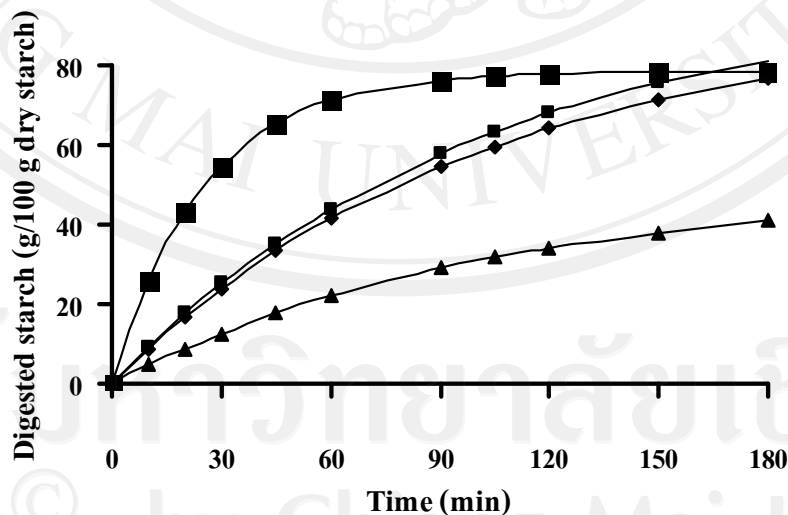
ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.2.3 ผลของสารทดแทนความหวานต่อปริมาณ hydroxymethylfurfural (HMF)

ในกระบวนการผลิตคุกกี้ ซึ่งมีการให้ความร้อนจากกระบวนการอบ โดยองค์ประกอบในคุกกี้ที่ประกอบด้วยส่วนผสมที่มีทั้งน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลแบบ Maillard ที่ทำให้คุกกี้มีสีสันทันรับประทาน อย่างไรก็ตาม อาจทำให้เกิดสารประกอบ HMF ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลในระหว่างกระบวนการอบผลิตภัณฑ์คุกกี้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีและกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และมีผลต่อการเหนียวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (mutation) ในเซลล์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ซึ่งพบว่า ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สารให้ความหวานต่างชนิดกัน พบสาร HMF ในปริมาณน้อยมาก ซึ่งในการศึกษาปริมาณสาร HMF ในผลิตภัณฑ์คุกกี้จะพบสารนี้มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.5-74.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Ameur *et al.*, 2007) เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิต่ำปริมาณสาร HMF เกิดขึ้นได้น้อย เพราะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้นมากกว่า 200 องศาเซลเซียส ปริมาณสาร HMF ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Ameur *et al.*, 2007; Gökmen *et al.*, 2008)

4.2.3 ผลของสารทดแทนความหวานต่อค่าดัชนีน้ำตาล

จากการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลาย (in vitro starch digestibility) ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าพบว่าอัตราการย่อยสลายในช่วง 0-180 นาที ของคุกกี้ที่ใช้มอลติตอลแทนซูโครสจากพื้นที่ได้กราฟ มีค่าต่ำกว่าการใช้ไซลิทอลและซูโครส ดังภาพที่ 4.1 และเมื่อนำมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลพบว่า การใช้มอลติตอลและไซลิทอลสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลลงได้ร้อยละ 26.89 และ 3.06 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้ซูโครสในคุกกี้ ซึ่งค่า D_0 จะบ่งชี้อัตราการย่อยสลายที่เรียกว่า very rapidly digested starch ซึ่งจะเกิดการย่อยอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการย่อยที่เกิดโดยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสในปาก ซึ่งในการวิเคราะห์หาอัตราการย่อยจะเกิดขึ้นในช่วงไม่เกิน 1 นาที นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากอัตราการย่อย (k) พบว่า คุกกี้ทุกตัวอย่างมีอัตราการย่อยช้ากว่าขนมปังขาว ในขณะที่คุกกี้ที่ใช้มอลติตอลมีอัตราการย่อยช้าที่สุด (0.05 ต่อนาที) ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มของระดับน้ำตาลในร่างกายช้ากว่าหลังการรับประทานคุกกี้ที่มีการใช้มอลติตอลทดแทนซูโครส ดังตารางที่ 4.5 และการที่อัตราการย่อยสลายของคุกกี้ที่ใช้มอลติตอลแทนซูโครสมีอัตราการย่อยแป้งที่ต่ำกว่าการใช้ไซลิทอล และทำให้มีค่าดัชนีน้ำตาลลดลง เนื่องจากมอลติตอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่เป็นอนุพันธ์ของมอนอแซ็กคาไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาลอิสระ จึงมีความหวานแต่ให้พลังงานน้อยกว่า และถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ช้ากว่าซูโครสจึงไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน (Quilez *et al.*, 2007)



ภาพที่ 4.1 อัตราการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สารให้ความหวานต่างกัน โดย ■ คือ ขนมปังขาว ◐ คือ ซูโครส ▲ คือ มอลติตอล ◆ คือ ไซลิทอล

นอกจากนี้การใช้มอลติตอลยังเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์คุกกี้เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากการใช้ซูโครส อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้ไซลิทอลในคุกกี้จะไม่สามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลลงได้ แต่ยังมีข้อดีคือ การให้แคลอรีต่ำกว่า และช่วยยับยั้งแบคทีเรียในช่องปากที่ทำให้ฟันผุได้ เนื่องมาจากการที่จุลินทรีย์ในช่องปากไม่สามารถย่อยไซลิทอลได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ค่าความเป็นกรดในช่องปากมีค่าประมาณ 5.5 (BeMiller, 2007)

ตารางที่ 4.5 ค่า D_0 , D_{∞} , k ในโมเดลการทำนาย, ดัชนีไฮโดรไลซิส (HI) และค่าดัชนีน้ำตาลจากการทำนาย (pGI) ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สารให้ความหวานแตกต่างกันเปรียบเทียบกับขนมปัง

คุกกี้	D_0	D_{∞}	k (min^{-1})	H_{90}^b	HI ^c	pGI^d
ขนมปังขาว ^a	-	78.19	0.040	76.10	100.00	100.28
ซูโครส	7.14	97.25	0.013	57.71	81.17	85.55
มอลติตอล	3.87	48.96	0.005	29.05	40.86	62.54
ไซลิทอล	8.96	91.76	0.007	54.45	76.59	82.93

หมายเหตุ ^a อ้างอิงจาก Goni *et al.* (1997)

^{b,c} อัตราการย่อยแป้งที่ 90 and 180 นาที ทำนายจาก modified first-order kinetic model จาก Mahasukhonthachat *et al.* (2009)

^d ค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ทำนายจากสมการของ Goni *et al.* (1997) as $GI=39.21+(0.803 \times H_{90})$

4.2.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ใช้สารให้ความหวานต่างชนิดกัน พบว่า ค่าคะแนนความชอบทางด้านกลิ่น รสชาติ ความแข็ง และความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ใช้มอลติตอลไม่แตกต่างจากซูโครสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากโดยรวมแล้วคุณสมบัติทางกายภาพของคุกกี้ที่ทำจากมอลติตอลมีความใกล้เคียงกับคุกกี้ที่ทำจากซูโครสมาก (สุชาติ และยุทธนา, 2553) แต่คุกกี้ที่ใช้มอลติตอลมีค่าคะแนนความชอบด้านสีน้อยที่สุดคือ 4.9 เนื่องจากคุกกี้ที่ได้มีสีอ่อนซึ่งสัมพันธ์กับค่าสี L^* ของคุกกี้ที่ใช้มอลติตอลซึ่งมีค่ามากที่สุด ดังตารางที่ 4.6 โดยเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านความแข็งของเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของคุกกี้พบว่า คุกกี้ที่ใช้ไซลิทอลมีค่าแตกต่างจากการใช้ซูโครส และมอลติตอลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ ชลัญญา และระวีวรรณ (2553) พบว่า การใช้อัตราส่วนน้ำตาลซูโครสต่อมอลติ

ตอลในผลิตภัณฑ์คุกกี้เท่ากับ 40 ต่อ 60 มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีระดับค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และจากการใช้ไซลิทอลทดแทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่า การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้จากไซลิทอล เมื่อเพิ่มปริมาณไซลิทอลในคุกกี้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส mouth feel และความชอบโดยรวมจะลดลงจนถึงไม่ชอบผลิตภัณฑ์ (Mushtaq *et al.*, 2010)

ตารางที่ 4.6 ค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สารทดแทนความหวานต่างชนิดกัน

คุกกี้	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ความชอบโดยรวม
ซูโครส	6.1±1.61 ^b	5.8±1.69 ^a	5.5±1.84 ^a	6.1±1.44 ^a	6.5±0.83 ^a
มอลติตอล	4.9±1.37 ^c	5.5±1.23 ^a	4.9±1.47 ^a	5.8±1.32 ^a	6.3±1.18 ^a
ไซลิทอล	6.9±1.08 ^a	5.8±1.55 ^a	4.0±1.94 ^b	3.0±1.03 ^b	3.6±1.66 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ดังนั้นการใช้มอลติตอลแทนซูโครสในผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า ไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของคุกกี้ และค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ที่ใช้มอลติตอลไม่แตกต่างจากการใช้ซูโครส ทั้งในด้านกลิ่น รสชาติ ความแข็ง และความชอบโดยรวม แต่การใช้มอลติตอลทำให้คุกกี้มีผลดีต่อสุขภาพมากขึ้นในแง่ของค่าดัชนีน้ำตาลลดลง คือ มีค่า GI เท่ากับ 62 ซึ่งถือว่ามีความ GI อยู่ในระดับปานกลาง และลดลงจากการใช้ซูโครสถึงร้อยละ 27 และเมื่อพิจารณาถึงค่าดัชนีน้ำตาลแบบถ่วงน้ำหนัก (glycemic load, GL) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณสารที่มีอยู่ในอาหารนั้น และปริมาณการบริโภคต่อหนึ่งหน่วยบริโภคด้วย โดยคุกกี้หนึ่งหน่วยบริโภคมีย้ำหนักประมาณ 30 กรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2541) ดังนั้นการบริโภคคุกกี้ในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคจะถือว่ามีความ GL เท่ากับ 6.39 ซึ่งหากค่า $GL < 10$ จะถือว่าอยู่ในช่วงต่ำ (Brouns *et al.*, 2005) การศึกษาในตอนต่อไปจึงเลือกใช้มอลติตอลทดแทนซูโครส

4.3 ผลของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอทดแทนไขมันและแป้งในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า

4.3.1 ผลของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอต่อน้ำหนัก ความกว้าง ความหนา และ อัตราการแผ่ขยายตัว

การใช้อัตราส่วนเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF) ในผลิตภัณฑ์คุกกี้พบว่า ลักษณะทางกายภาพของคุกกี้ มีน้ำหนัก ความกว้าง ความหนา และอัตราการแผ่ขยายตัวอยู่ในช่วง 4.79-4.86 กรัม 40.14-46.12 มิลลิเมตร 7.12-7.14 มิลลิเมตร และ 5.62-6.45 กว้าง/หนา ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.7 โดยน้ำหนักของคุกกี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารที่อัตราส่วนมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าของ วราทิพย์ (2552) ที่พบว่า คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากงาเข้าไปในปริมาณที่มากขึ้น จะมีแนวโน้มน้ำหนักของคุกกี้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยอัตราส่วนของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ เนยสด และแป้งข้าวเจ้า ที่แตกต่างกันมีผลทำให้คุกกี้ที่ได้มีน้ำหนัก ความกว้าง และอัตราการแผ่ขยายตัวแตกต่างกัน ทั้งนี้ชนิดของส่วนผสม เช่น ชนิดของแป้ง ไขมันและปริมาณที่ใช้ในสูตรที่ต่างกันทำให้มีผลต่อลักษณะทางกายภาพน้ำหนัก ความกว้าง ความหนา และอัตราการแผ่ขยายตัวของคุกกี้ (Bilgicli *et al.*, 2006; Hadinezhad and Butler, 2009)

4.3.2 ผลของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอต่อค่าสี

สำหรับค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ใช้เส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ เนยสด และแป้งข้าวเจ้า พบว่า ค่าสี L* และ a* ในทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลทำให้ค่าสี b* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยสูตรที่ 4 มีค่ามากที่สุด (28.92) เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอมากที่สุด (ตารางที่ 4.8) ซึ่งการใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ส่วนใหญ่จะมีผลทำให้สีของคุกกี้เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับคุกกี้ที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร โดยที่ส่วนใหญ่แล้วจะมีแนวโน้มของสีเข้มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสีของ เส้นใยอาหารที่ใช้ด้วย (Jeltema *et al.*, 1983; จิรนาถ และนาตยา, 2552) เช่น การใช้เส้นใยจากกากข้าวโพด ที่มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 16.6 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 57.7 ลิกนินร้อยละ 1 และเถ้าร้อยละ 1 เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่า การใช้เส้นใยในผลิตภัณฑ์คุกกี้ทำให้คุกกี้มีสีเข้มขึ้น

และเมื่อทดสอบความชอบกับผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบของลูกกึ่งที่ไม่ได้เติมเส้นใยอาหารมากกว่าลูกกึ่งที่เติมเส้นใยอาหาร (Artz *et al.*, 1990; Rose *et al.*, 2010)

ตารางที่ 4.7 น้ำหนัก ความกว้าง ความหนา และอัตราการแผ่ขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า เมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ไขมัน (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

สูตร (ร้อยละของส่วนผสม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	อัตราการ แผ่ขยายตัว (กว้าง/หนา)
1 (RF53.19/B38.85/PF7.96)	4.85±0.02	42.58±0.01	7.12±0.01	5.98±0.04
2 (RF55.56/ B38.43/ PF6.00)	4.83±0.01	41.98±0.10	7.14±0.04	5.87±0.04
3 (RF53.19/ B40.89/ PF5.92)	4.82±0.10	41.82±0.20	7.14±0.06	5.85±0.02
4 (RF53.20/ B36.80/ PF10)	4.86±0.04	40.14±0.08	7.13±0.10	5.62±0.01
5 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	4.81±0.06	44.63±0.24	7.12±0.02	6.26±0.02
6 (RF59.11/ B38.84/ PF2.05)	4.79±0.01	43.11±0.02	7.13±0.02	6.04±0.01
7 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	4.81±0.01	44.87±0.10	7.12±0.02	6.30±0.01
8 (RF56.15/ B40.89/ PF2.96)	4.80±0.02	43.25±0.05	7.13±0.01	6.06±0.01
9 (RF59.11/ B40.89/ PF0)	4.80±0.04	46.12±0.30	7.14±0.18	6.45±0.01
p-value	0.013*	0.015*	0.208 ^{ns}	0.017*

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.3.3 ผลของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมี

ส่วนค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและค่าความชื้นในทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Singh and Mohamed (2007) ที่พบว่า การผสมโปรตีนถั่วเหลืองกับกลูเตนในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งไม่ส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและการเพิ่มโปรตีนถั่วเหลืองกับกลูเตนในช่วงร้อยละ 6-17.5 ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดลดลง ซึ่งจากการทดลองพบว่า การแทนเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งมีผลทำให้ลูกกึ่งที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและค่าปริมาณสตาซ์ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับ de Simas *et al.* (2009) ที่พบว่า การเติมแป้ง

king palm ในอัตราส่วนที่ต่างกันมีผลทำให้ได้มีความแน่นเพิ่มขึ้น แต่มีค่า adhesive ลดลง และคูกี้ที่ได้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ การใช้แป้ง king palm ทำให้มีปริมาณเส้นใยอาหารและแร่ธาตุเพิ่มขึ้น โดยผู้บริโภครับคูกี้ที่มีการเติมแป้ง king palm ร้อยละ 10 และ 20 อีกทั้งยังพบว่า เมื่อทดแทนปริมาณแป้งข้าวเจ้าและเนยสดด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ มีผลทำให้ปริมาณไขมันของคูกี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพบว่า ในสูตรที่ 4 ที่มีการใช้เส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ ร้อยละ 10 ทำให้มีปริมาณไขมันในคูกี้ลดลงร้อยละ 43.7 เมื่อเปรียบเทียบกับคูกี้สูตรที่ 9 ที่เป็นสูตรคูกี้พื้นฐานที่ไม่มีการทดแทนด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (ตารางที่ 4.9 และ 4.10)

ตารางที่ 4.8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์คูกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า เมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

สูตร (ร้อยละของส่วนผสม)	L*	a*	b*
1 (RF53.19/B38.85/PF7.96)	71.37±0.10	5.48±0.14	28.04±0.08
2 (RF55.56/ B38.43/ PF6.00)	69.98±0.24	6.65±0.16	28.45±0.24
3 (RF53.19/ B40.89/ PF5.92)	68.82±1.15	6.42±0.40	27.42±0.49
4 (RF53.20/ B36.80/PF10)	72.71±0.14	4.89±0.05	28.92±0.41
5 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	69.64±0.43	6.55±0.35	27.24±0.18
6 (RF59.11/ B38.84/ PF2.05)	67.55±0.68	6.94±0.12	27.79±0.36
7 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	68.31±0.56	6.88±0.19	28.07±0.88
8 (RF56.15/ B40.89/ PF2.96)	67.89±0.61	7.08±0.19	27.39±0.28
9 (RF59.11/ B40.89/ PF0)	71.40±0.89	5.75±0.40	25.64±0.45
p-value	0.108 ^{ns}	0.073 ^{ns}	0.021*

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางกายภาพ เคมี ของผลิตภัณฑ์คูกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า เมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

สูตร (ร้อยละของส่วนผสม)	ค่าอเวอเจอร์ แอกทิวิตี	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ น้ำหนักแห้ง)	ความแข็ง (กรัมของแรง)
1 (RF53.19/B38.85/PF7.96)	0.391±0.008	3.35±0.13	893.61±36.72
2 (RF55.56/ B38.43/ PF6.00)	0.285±0.009	1.43±0.13	874.82±48.07
3 (RF53.19/ B40.89/ PF5.92)	0.316±0.008	2.11±0.01	862.56±49.93
4 (RF53.20/ B36.80/PF10)	0.349±0.004	2.77±0.20	928.64±36.64
5 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	0.361±0.004	2.64±0.04	841.99±125.11
6 (RF59.11/ B38.84/ PF2.05)	0.280±0.003	1.76±0.11	823.60±74.71
7 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	0.255±0.001	1.34±0.15	849.59±24.05
8 (RF56.15/ B40.89/ PF2.96)	0.282±0.002	1.98±0.21	845.01±44.28
9 (RF59.11/ B40.89/ PF0)	0.397±0.002	3.24±0.01	843.60±24.56
p-value	0.865 ^{ns}	0.796 ^{ns}	0.011*

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.3.4 ผลของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คูกี้ที่มีอัตราส่วนของ ปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ไขมัน (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF) ที่แตกต่างกันพบว่า อัตราส่วนที่ต่างกันของทั้ง 3 ส่วนผสมไม่มีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่นหอมหวาน รสชาติ และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังตารางที่ 4.11 โดยมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 5.3-6.8 แต่มีผลต่อคะแนนความชอบทางด้านความแข็ง ($p < 0.05$) เนื่องจากการแทนเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์คูกี้มีผลทำให้คูกี้ที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (Jeltema *et al.*, 1971)

ตารางที่ 4.10 คุณภาพเคมีของผลิตภัณฑ์คูกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า เมื่อทำการผันแปร ปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

สูตร (ร้อยละของส่วนผสม)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณ สตาร์ช ทั้งหมด (ร้อยละ น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณ กาบไยหยาบ (ร้อยละ น้ำหนักแห้ง)
1 (RF53.19/B38.85/PF7.96)	3.35±0.13	24.88±0.10	35.67±2.48	2.59±0.22
2 (RF55.56/ B38.43/ PF6.00)	1.43±0.13	25.49±0.09	34.00±3.65	2.32±0.09
3 (RF53.19/ B40.89/ PF5.92)	2.11±0.01	25.04±0.08	36.44±1.24	1.89±1.05
4 (RF53.20/ B36.80/ PF10.00)	2.77±0.20	24.31±0.04	23.37±4.33	3.15±1.32
5 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	2.64±0.04	27.11±0.02	25.05±1.78	1.84±0.43
6 (RF59.11/ B38.84/ PF2.05)	1.76±0.11	30.22±0.05	30.08±2.51	1.09±0.19
7 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	1.34±0.15	26.91±0.12	25.82±1.29	1.42±0.56
8 (RF56.15/ B40.89/ PF2.96)	1.98±0.21	29.30±0.05	38.23±5.21	1.25±0.41
9 (RF59.11/ B40.89/ PF0)	3.24±0.01	28.81±0.02	41.51±5.59	-
p-value	0.796 ^{ns}	0.008*	0.002*	0.000*

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ค่าคะแนนความชอบในด้านคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

สูตร (ร้อยละของส่วนผสม)	สี	กลิ่นหอม หวาน	รสชาติ	ความแข็ง	ความชอบ โดยรวม
1 (RF53.19/B38.85/PF7.96)	6.4±1.2	6.6±1.2	5.7±1.2	6.2±1.4	5.6±0.9
2 (RF55.56/ B38.43/ PF6.00)	6.4±1.3	6.5±1.2	5.9±1.3	6.3±1.2	6.0±1.0
3 (RF53.19/ B40.89/ PF5.92)	6.2±1.1	6.1±1.3	5.6±1.3	6.3±1.3	5.7±1.1
4 (RF53.20/ B36.80/ PF10.00)	6.0±1.3	6.1±1.1	5.4±1.3	6.3±1.2	5.5±1.0
5 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	6.8±1.2	6.4±1.1	6.0±1.3	5.8±1.3	6.2±1.0
6 (RF59.11/ B38.84/ PF2.05)	6.5±1.4	6.0±1.2	6.2±1.1	5.4±1.4	5.9±1.1
7 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	6.0±1.1	5.5±1.2	5.4±1.2	5.3±1.2	5.4±1.0
8 (RF56.15/ B40.89/ PF2.96)	6.5±1.3	6.3±1.2	5.8±1.2	5.4±1.4	6.0±1.1
9 (RF59.11/ B40.89/ PF0)	6.5±1.0	6.4±1.2	6.3±1.3	5.2±1.12	6.3±1.1
p-value	0.43 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.01 [*]	0.18 ^{ns}

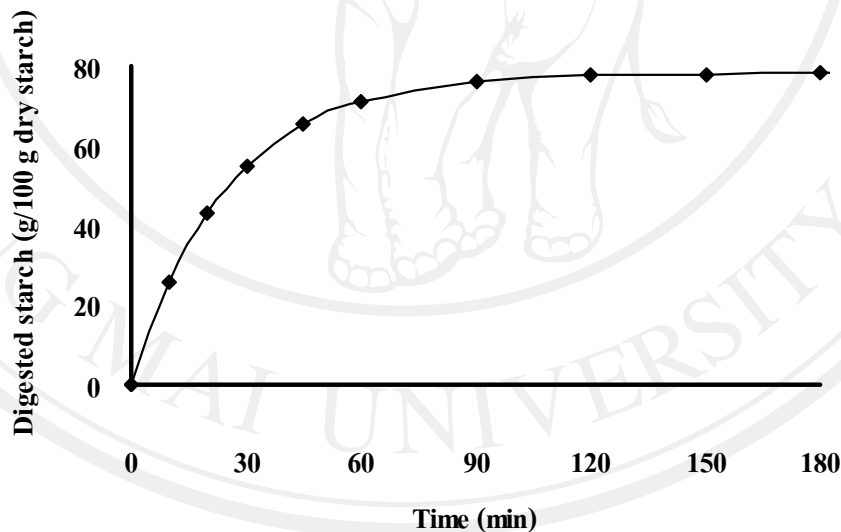
หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

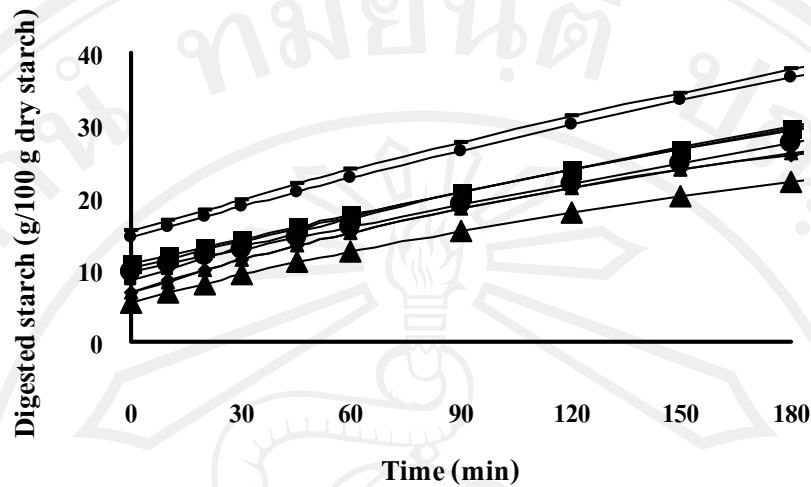
4.3.5 ผลของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอต่อค่าดัชนีน้ำตาล

เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟ พบว่าอัตราการย่อยสลายในช่วง 0-180 นาที ของคุกกี้ที่ทดแทนแป้งและไขมันด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้ที่ไม่มีเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (สูตรที่ 9) ดังภาพที่ 4.2-4.3 และเมื่อนำมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลพบว่า การทดแทนแป้งสาลีและไขมันเนยด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดลง เนื่องจากเส้นใยอาหารไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยระบบน้ำย่อยปกติในร่างกาย จึงไม่มีผลโดยตรงต่อระดับน้ำตาลในเลือด และเมื่อรับประทานเข้าไปยังไม่ก่อให้เกิดพลังงานส่วนเกิน โดยช่วยขัดขวางการดูดซึมไขมันและคอเลสเตอรอลได้อีกด้วย (Mulholland *et al.*, 2009) ซึ่งจะเห็นได้จากค่า D_0 ของสูตรที่มีปริมาณเส้นใยอาหารน้อย จะมีค่าสูง แสดงถึงการย่อยสลายได้รวดเร็ว นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากอัตราการย่อย (k) พบว่า คุกกี้ทุกตัวอย่างมีอัตราการย่อยช้ากว่าขนมปังขาว ซึ่งค่านี้จะส่งผลต่อการเพิ่มของระดับ

น้ำตาลในเลือดช้ากว่า (ตารางที่ 4.12) เช่นเดียวกับ การลดลงของค่าดัชนีน้ำตาลของขนมปังที่เติมเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare*) ในปริมาณร้อยละ 2.5 และ 5 พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้เบตากลูแคนมีคุณภาพของโคและคุณลักษณะหลังการอบแตกต่างและดีกว่าขนมปังขาว แต่การใช้เบตากลูแคนที่ระดับร้อยละ 5 สามารถลดการปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์ในโมเดลแบบจำลองการย่อย ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพของค่าดัชนีน้ำตาลได้ (Brennan and Cleary, 2007) และจากการศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ในผลิตภัณฑ์ unleavened Indian flatbread ที่ไม่มีสารทำให้ขึ้นฟูที่มีชื่อเรียกว่า chapattis ที่มีสารประกอบของเบตากลูแคนจากข้าวบาร์เลย์ปริมาณ 0, 2, 4, 6, และ 8 กรัม พบว่าค่าดัชนีน้ำตาลของ 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) (Thondre and Henry, 2009)



ภาพที่ 4.2 อัตราการย่อยแป้งของขนมปังขาว



ภาพที่ 4.3 การย่อยแป้งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปร ปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF) โดย

◆ คือ สูตรที่ 1 ■ คือ สูตรที่ 2 ▲ คือ สูตรที่ 3 ▲ คือ สูตรที่ 4 ● คือ สูตรที่ 5 ● คือ สูตรที่ 6 ■ คือ สูตรที่ 7 — คือ สูตรที่ 8 — คือ สูตรที่ 9

นอกจากนี้การนำกากมะพร้าวไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร ในปริมาณร้อยละ 20-25 เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า การใช้กากมะพร้าวไม่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุของอาหารแต่มีผล ทำให้อาหารต่างๆ มีค่า GI ต่ำ ดังนี้ มาคารุน (45.7 ± 3.0) เล็กแครอท (51.8 ± 3.3) และบรานนี้ (60.1 ± 5.4) ซึ่งปริมาณกากมะพร้าวที่ใช้ในอาหารแต่ละชนิดมีผลต่อค่า GI ในส่วนของการใช้กากมะพร้าวร้อยละ 15 เป็นส่วนผสมในคุกกี้ช็อกโกแลตชิพ พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ได้มีค่า GI เท่ากับ 43.4 สำหรับบุคคลทั่วไป และ 50.7 ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Trinidad *et al.*, 2006)

ตารางที่ 4.12 ค่า D_0 , D_∞ , k ในโมเดลการทำนาย ค่าดัชนีไฮโดรไลซิสซิส (HI) และค่าดัชนีน้ำตาลจากการทำนาย (pGI) ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

สูตร (ร้อยละของส่วนผสม)	D_0	D_∞	k (min^{-1})	H_{90}^b	HI^c	pGI^d
ขนมปัง (WB)	-	78.19	0.040	76.10	100.00	100.28
1 (RF53.19/B38.85/PF7.96)	6.84	40.28	0.005	18.35	25.91	53.95
2 (RF55.56/ B38.43/ PF6.00)	8.39	49.51	0.004	20.68	29.29	55.81
3 (RF53.19/ B40.89/ PF5.92)	6.70	39.17	0.005	18.47	25.97	54.04
4 (RF53.20/ B36.80/ PF10.00)	5.44	35.18	0.005	15.45	22.09	51.61
5 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	9.66	100.00	0.001	19.02	27.41	54.48
6 (RF59.11/ B38.84/ PF2.05)	14.38	83.67	0.002	26.50	36.50	60.49
7 (RF59.11/ B36.80/ PF4.09)	10.72	100.00	0.001	20.64	29.45	55.78
8 (RF56.15/ B40.89/ PF2.96)	10.20	100.00	0.001	20.61	29.81	55.76
9 (RF59.11/ B40.89/ PF0)	15.39	88.26	0.002	27.50	37.59	61.29

หมายเหตุ ^a อ้างอิงจาก Goni *et al.* (1997)

^{b,c} อัตราการย่อยแป้งที่ 90 and 180 นาที ทำนายจาก modified first-order kinetic model จาก Mahasukhonthachat *et al.* (2009)

^d ค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ทำนายจากสมการของ Goni *et al.* (1997) as $GI=39.21+(0.803 \times H_{90})$

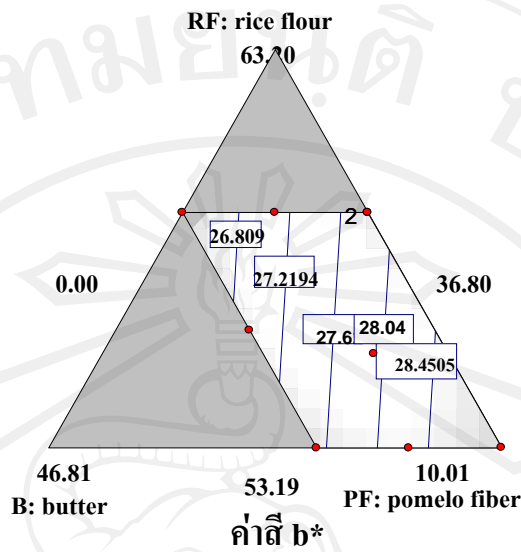
จากการหาความสัมพันธ์ของปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ เนยสด และแป้งข้าวเจ้าต่อค่าคุณภาพต่างๆ พบว่า การทดแทนแป้งข้าวเจ้าและไขมันด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ มีผลทำให้ค่าคุณภาพของคุกกี้ในด้านอัตราการแผ่ขยายออกค่า b^* ค่าความแข็ง ค่าปริมาณสสารทั้งหมด ปริมาณไขมัน ปริมาณกากใยหยาบ คะแนนความชอบด้านความแข็ง และค่าดัชนีน้ำตาลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังสมการถดถอยในทั้ง 8 สมการในตารางที่ 4.13 และสามารถนำมาสร้างกราฟพื้นที่การตอบสนอง ได้ดังภาพที่ 4.4-4.11

ตารางที่ 4.13 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF) ต่อค่าคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์คูกี้ที่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า

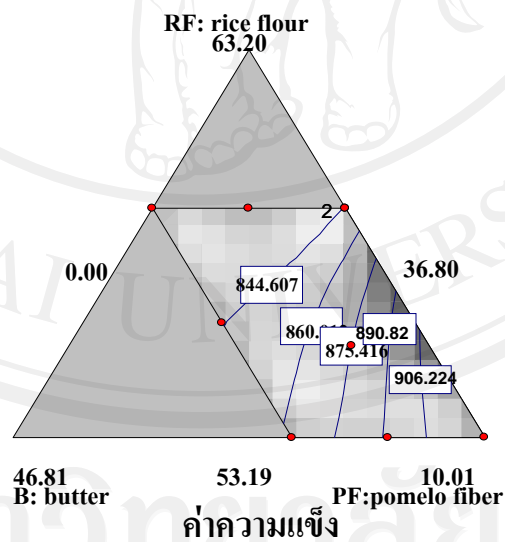
คุณภาพ	สมการถดถอย	Adj. R ²	p-value
- อัตราการแผ่ขยายออก	$= 0.082(RF) + 0.037(B) + (1.294 \times 10^{-003})(PF)$	0.657	0.0170
- ค่าสี b*	$= 0.330 (RF) + 0.167(B) + 0.532(PF)$	0.629	0.022
- ปริมาณสารทั้งหมด	$= 0.332(RF) + 0.247(B) - 0.311(PF)$	0.723	0.009
- ความแข็ง	$= -60.450(RF) - 110.948(B) - 1354.185(PF) + 3.704(RF)(B) + 27.834(RF)(PF) + 36.767(B)(PF) - 0.705(RF)(B)(PF)$	0.985	0.011
- ไขมัน	$= -0.969(RF) + 2.366(B) - 1.014(PF)$	0.824	0.002
- ปริมาณกากใยหยาบ	$= 0.026(RF) - 0.031(B) + 0.306(PF)$	0.959	0.000
- คัชนีน้ำตาล	$= 0.579(RF) + 0.637(B) - 0.312(PF)$	0.722	0.009
- คะแนนความชอบด้านความแข็ง	$= 0.027(RF) + 0.088(B) + 0.177(PF)$	0.801	0.008

การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสี b* ค่าความแข็ง กากใยหยาบ และคะแนนความชอบด้านความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.4-4.7) ทั้งนี้การเพิ่มเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) มากขึ้นมีผลทำให้ส่วนผสมในสูตรส่วนอื่นๆ ลดลงและส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้เส้นใยอาหารจากเมล็ดทานตะวันร้อยละ 0-20 ในผลิตภัณฑ์คูกี้ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์คูกี้มีค่าสีและความแข็งของผลิตภัณฑ์คูกี้เพิ่มขึ้น (จิรนาถ และนาตยา, 2552)

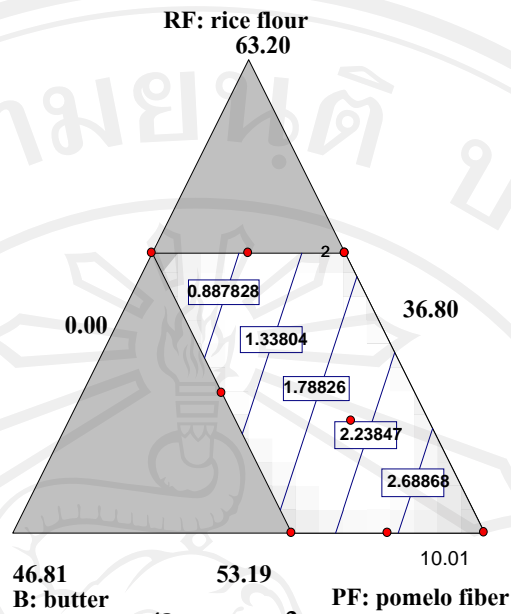
เนื่องจากการใช้ส่วนผสมทดแทนแป้งสาลี และปริมาณของส่วนผสมนั้นในสูตรการผลิตคูกี้มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์คูกี้ จึงมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค เช่น การใช้โปรตีนสกัดจากพืช (Mohsen *et al.*, 2009) ผลไม้แบบผง (Uchoa *et al.*, 2009) แป้งจากพืชหลายชนิด (Seker *et al.*, 2010) เป็นต้น ซึ่งแนวโน้มของผู้บริโภคส่วนใหญ่จะให้คะแนนความชอบลดลงเมื่อมีการใช้ส่วนผสมทดแทนเหล่านี้ในปริมาณที่สูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและคุณสมบัติของเส้นใยอาหารที่นำมาทดแทนแป้งสาลีด้วย



ภาพที่ 4.4 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

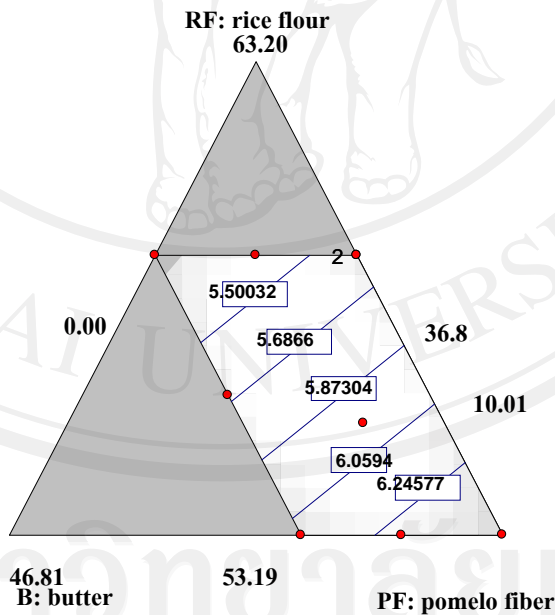


ภาพที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)



ปริมาณกากใยหยาบ

ภาพที่ 4.6 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณกากใยหยาบ ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

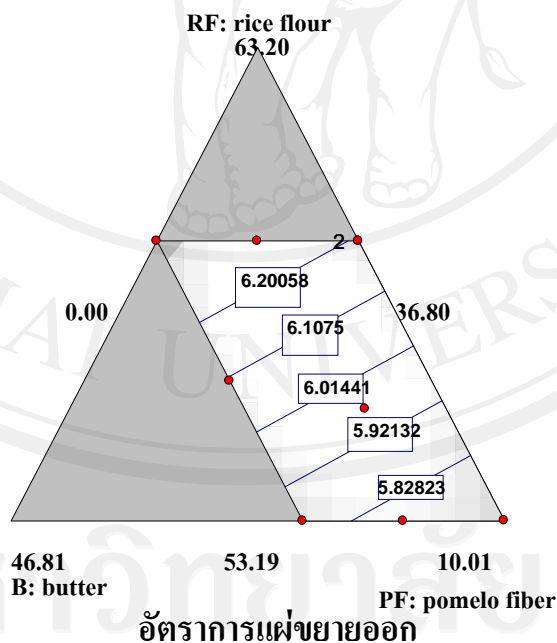


คะแนนความชอบด้านความแข็ง

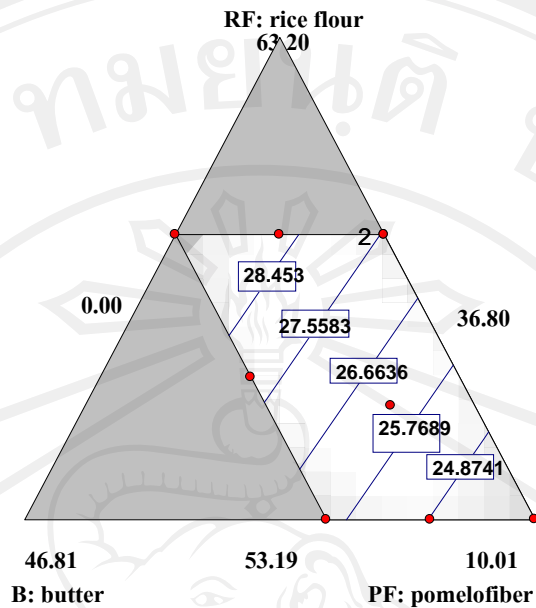
ภาพที่ 4.7 พื้นที่การตอบสนองต่อคะแนนความชอบด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่า ค่าอัตราการแผ่ขยายออก ปริมาณสารซึ่งทั้งหมดและค่าดัชนีน้ำตาลมีค่าลดลงหากเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ (ภาพที่ 4.8-4.10) ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมเส้นใยจากเมล็ดทานตะวัน หากปริมาณเส้นใยในคุกกี้เพิ่มจะทำให้อัตราการแผ่ขยายออกลดลง (จิรนาถ และนาตยา, 2552)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ลดไขมัน ทำได้โดยการลดปริมาณส่วนผสมที่เป็นไขมันในสูตรการผลิตคุกกี้ นั้น พบว่า เมื่อปริมาณเนยสดในสูตรการผลิตลดลง ปริมาณไขมันของคุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าจะลดลงด้วย ซึ่งปริมาณเนยสดในสูตรและปริมาณไขมันที่วัดได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (ภาพที่ 4.11) ปริมาณไขมันในสูตรควรมีปริมาณที่เหมาะสมเพราะส่งผลถึงคุณลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ โดย Bilgicli *et al.* (2006) และ Pareyt *et al.* (2009) พบว่าการใช้ไขมันสูง ทำให้คุกกี้มีความหนาและอัตราการแผ่ขยายตัวเพิ่มขึ้น

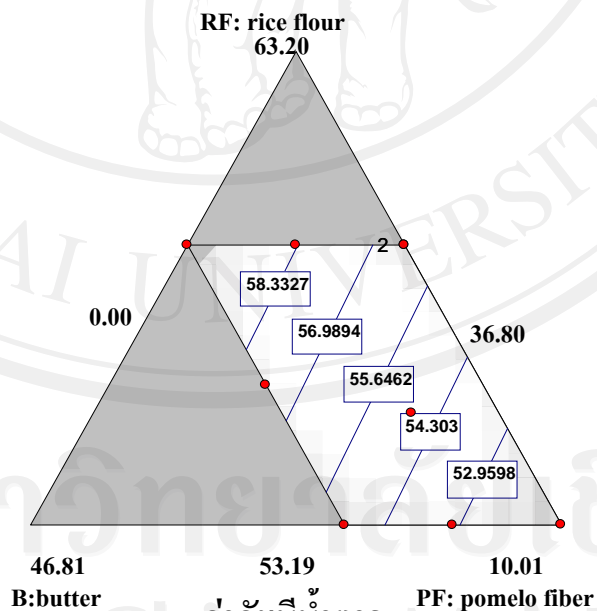


ภาพที่ 4.8 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าอัตราการแผ่ขยายออกของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)



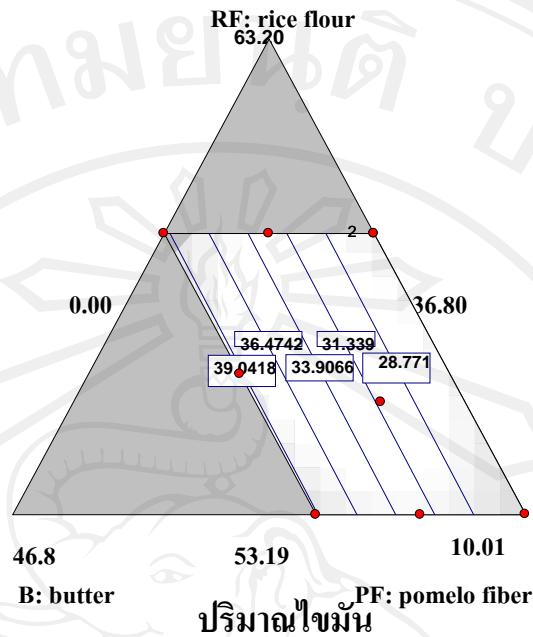
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ภาพที่ 4.9 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ไขมัน (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)



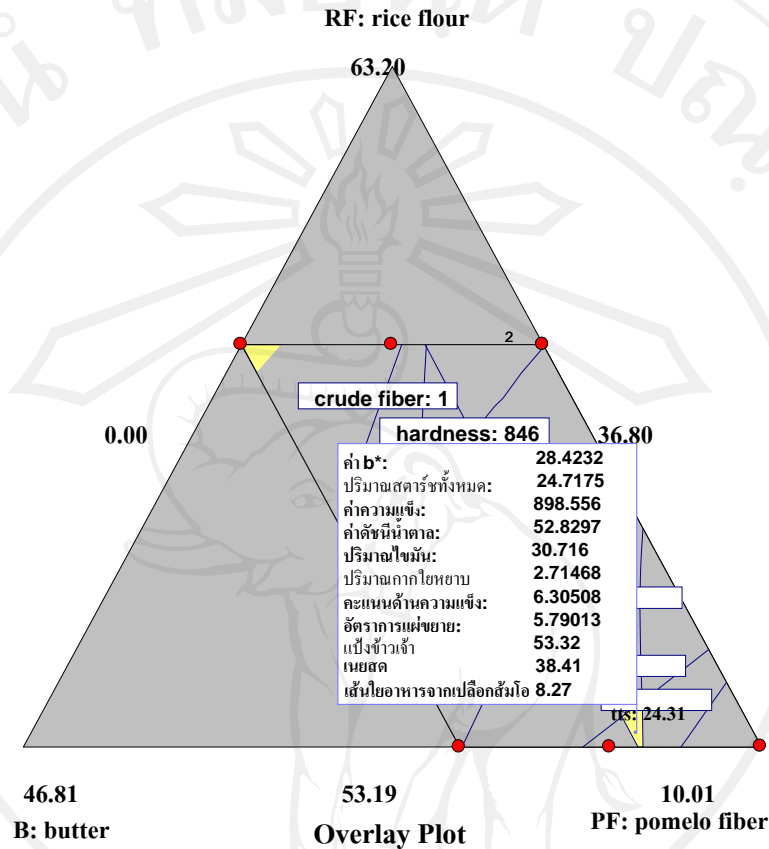
ค่าดัชนีน้ำตาล

ภาพที่ 4.10 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) เนยสด (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)



ภาพที่ 4.11 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์คุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำการผันแปรปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ไขมัน (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้อ่านมาทำนายสูตรที่เหมาะสม โดยกำหนดดังนี้ (1) มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดต่ำที่สุด (2) ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 846-900 กรัมแรง ซึ่งใกล้เคียงกับคุกกี้ที่ใช้น้ำตาลซูโครสจากการทดลองของ สุชาดา และบุษนา (2553) (3) ทำให้ปริมาณไขมันไม่เกินร้อยละ 31 ซึ่งลดลงจากสูตรควบคุมร้อยละ 25 และ (4) ปริมาณกากใยอาหารมีค่าสูงสุด (5) มีค่าดัชนีน้ำตาลไม่เกิน 55 บ่งชี้ว่าเป็นอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (FAO/WHO, 1998) และ (6) ค่าคะแนนความชอบด้านความแข็งไม่ต่ำกว่า 6 ทำให้ได้สูตรของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า ไขมัน และเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ เท่ากับ ร้อยละ 53.32, 33.41 และ 8.27 ตามลำดับ และใช้มอลติตอลเกลือ ไข่ไก่ นมสด โซเดียมไบคาร์บอเนต และวนิลาเท่ากับร้อยละ 51.2, 0.5, 15.4, 16.9, 0.9 และ 1 ของน้ำหนักของเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ไขมัน (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF) ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่พัฒนาได้จะมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดเท่ากับ 24.68 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ค่าความแข็งเท่ากับ 898.851 กรัมแรง ปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 29.21 ปริมาณกากใยหยาบเท่ากับร้อยละ 2.72 ค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 52.78 และค่าคะแนนความชอบด้านความแข็งเท่ากับ 6.31 ดังภาพที่ 4.12 แสดงพื้นที่ของสูตรที่เป็นไปได้ (บริเวณพื้นที่สีเหลือง) ของส่วนผสมคุกกี้



ภาพที่ 4.12 สูตรที่เป็นไปได้ (บริเวณพื้นที่สีเหลือง) ของส่วนผสมคุกกี้จาก การผันแปรเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (PF) ไขมัน (B) และแป้งข้าวเจ้า (RF)

4.4 การศึกษาคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่พัฒนาได้

เมื่อนำสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 4.3 ของผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนัก ค่าความกว้างและความหนา อัตราการแผ่ขยายตัวของคุกกี้เท่ากับ ค่าสี L^* , a^* และ b^* ค่าความแข็ง และค่าแอมเพอร์เอกทิวิตี ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนายในการทดลองที่ 4.3 ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 คุณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

คุณภาพทางกายภาพ	ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่พัฒนาได้
น้ำหนัก (กรัม)	4.82±0.08
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	42.80±0.25
ความหนา (มิลลิเมตร)	7.11±0.04
อัตราการแผ่ขยายตัว (กว้าง/หนา)	5.51±0.10
ค่าสี L*	70.93±13.42
a*	4.68±1.08
b*	28.12±3.54
ความแข็ง (กรัมแรง)	850.00±35.68
ค่าแอมเพอร์แอกทิวิตี	0.213±0.021

จากการวิเคราะห์ห้อยค่าประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่พัฒนาได้พบว่า มีปริมาณความชื้นร้อยละ 1.98±0.10 ดังตารางที่ 4.15 โดยมีปริมาณไขมัน โปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เถ้า และกากใยหยาบร้อยละ 25.78±0.79, 5.42±0.24, 62.35±3.89, 1.23±0.08 และ 3.24±0.58 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณกากใยหยาบมากกว่าร้อยละ 3 และทำให้มีปริมาณไขมันลดลงจากสูตรปกติถึงร้อยละ 37.89 สำหรับปริมาณสารทั้งหมดเท่ากับ 22.24±5.14 ร้อยละของน้ำหนักแห้ง และผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอนี้จัดเป็นอาหารประเภทที่มีดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 53.47 ซึ่งสามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (น้อยกว่า 55) ตามที่ FAO/WHO (1998) กำหนด

เมื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีน้ำตาลแบบถ่วงน้ำหนัก (glycemic load, GL) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณสารที่มีอยู่ในอาหารนั้น และปริมาณการบริโภคต่อหนึ่งหน่วยบริโภคด้วย โดยคุกกี้หนึ่งหน่วยบริโภคจะมีน้ำหนักประมาณ 30 กรัม (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2541) ดังนั้นการบริโภคผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ ในปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคจะมีค่า GL เท่ากับ 3.56 ซึ่งมีค่า GL<10 จึงถือว่าอยู่ในช่วงต่ำ (Brouns *et al.*, 2005)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราของคุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ พบว่ามีปริมาณ <math><10\text{ CFU/g}</math> ผลិតภัณฑ์นี้จึงปลอดภัยต่อการบริโภค ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์ตามคุกกี้ มพช. 118/2546 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546)

ตารางที่ 4.15 คุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

คุณภาพทางเคมี	ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่พัฒนาได้
ความชื้น (ร้อยละ)	1.98±0.10
ไขมัน (ร้อยละ)	25.78±0.79
โปรตีน (ร้อยละ)	5.42±0.24
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	62.35±3.89
เถ้า (ร้อยละ)	1.23±0.08
กากใยหยาบ (ร้อยละ)	3.24±0.58
ปริมาณสารทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	22.24±5.14
ดัชนีน้ำตาล	53.47±2.59

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคจำนวน 200 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านสี กลิ่นหอมหวาน ความแข็ง และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.7-6.3 ดังตารางที่ 4.16 ซึ่งค่าคะแนนความชอบที่ได้ในการทดลองที่ 4.4 นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าคะแนนความชอบในการทดลองที่ 4.3

ตารางที่ 4.16 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งจากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส	ค่าคะแนนความชอบ (ไม่บอกข้อมูลผลิตภัณฑ์)	ค่าคะแนนความชอบ (บอกข้อมูลผลิตภัณฑ์)
สี	6.3±1.1 ^b	7.2±1.2 ^a
กลิ่นหอมหวาน	6.1±1.3 ^b	6.9±1.0 ^a
กลิ่นรสโดยรวม	5.8±1.6 ^b	6.9±0.9 ^a
ความแข็ง	5.7±1.5 ^b	6.7±1.0 ^a
ความชอบโดยรวม	6.0±1.5 ^b	6.9±0.9 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ส่วนการให้ผู้บริโภครับรู้ถึงข้อมูลประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งจากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอช่วยให้ผู้บริโภคมีทัศนคติที่ดีต่อผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4.17 พบว่า เมื่อมีคำอธิบายประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งจากแป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอในแบบประเมินทางด้านประสาทสัมผัส ค่าคะแนนความชอบในทุกคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.69, 14.77, 19.82, 17.83 และ 14.47 ตามลำดับ โดยผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยจนถึงชอบปานกลาง (6.9-7.2) โดยพบว่า ค่าคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะที่บอกข้อมูลประโยชน์ของผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่าค่าคะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้บอกข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่น ในการศึกษาผลการให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ของเทคโนโลยีชีวภาพในการยอมรับของผู้บริโภคของอาหารดัดแปลงพันธุกรรม โดยใช้ผู้บริโภคที่มีความเต็มใจในการทำการทดสอบ ซึ่งใช้ผู้บริโภคในอเมริกา 3 เมือง (California, Florida, and Texas) และในยุโรป 2 เมือง (England and France) ผลที่ได้พบว่า มีการเอื้อประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และประเทศโลกที่สาม แต่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์ลดลงเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่สูง อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับการให้ข้อมูล และสถานที่ทำการทดสอบ (Jayson *et al.*, 2004)

4.5 การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่พัฒนาได้

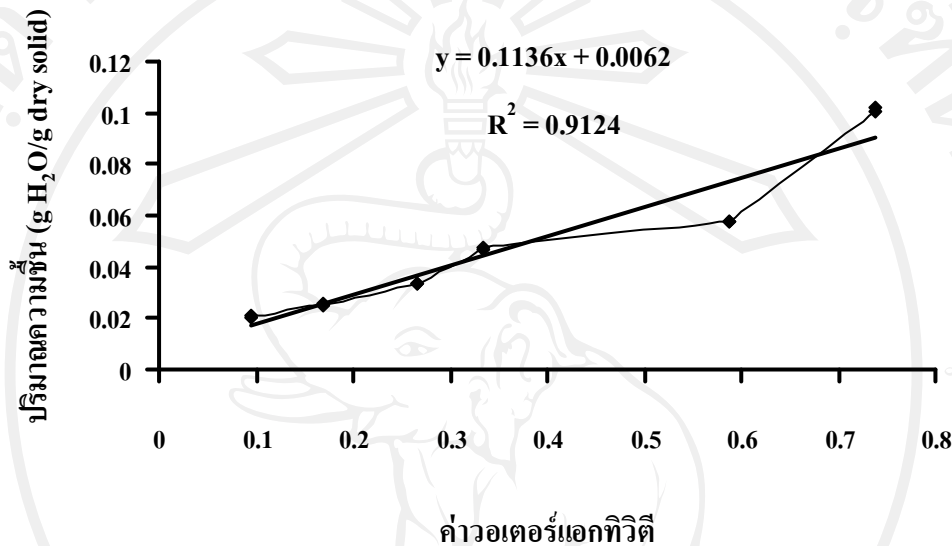
จากการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาล ด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ โดยใช้ Sorption isotherm ซึ่งจะเป็นการทำนายค่าโดยพิจารณาปัจจัยทางด้านความชื้นที่มีผลต่อการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ซึ่งพบว่า ค่าความแข็งของคุกกี้มีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นของคุกกี้จะเพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำตัวอย่างที่จุดสมดุลมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค 50 คน พบว่า ผู้บริโภคไม่ยอมรับมากกว่าร้อยละ 90 และให้คะแนนความชอบด้านความแข็งน้อยกว่า 5 ในตัวอย่างที่เก็บในสภาวะปิดสนิทที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 95.90, 85.80, 73.85 และ 58.70 ตามลำดับ โดยตัวอย่างมีค่าความแข็ง และค่าความชื้นอยู่ในช่วง 257.68 - 455.31 กรัมแรง และร้อยละ 20.54-6.02 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลของค่าแรงกดแตก คะแนนความชอบด้านความแข็งและความชื้นของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	ค่าความแข็ง (กรัมแรง)	คะแนนความชอบด้านความแข็ง	ค่าความชื้น (ร้อยละ)
95.9	257.68±2.73	1.8±0.5	20.54±1.38
85.8	368.19±1.98	1.8±1.0	15.93±1.21
73.8	421.73±4.54	2.4±1.6	10.11±0.79
58.7	455.31±5.89	4.2±1.9	6.02±0.91
33.3	482.57±9.56	5.6±1.3	4.54±0.39
26.6	499.09±4.27	5.5±1.3	3.34±0.92
16.8	516.62±8.39	5.1±1.1	2.53±0.31
9.5	556.89±3.68	6.2±1.2	2.15±0.21

เมื่อนำตัวอย่างที่เก็บไว้ในสภาวะที่มีการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีการดูดซับความชื้นจนอิ่มตัว นำตัวอย่างที่จุดสมดุลนี้ไปหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างที่จุดสมดุล (equilibrium moisture content, EMC) และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี นำมาพลอตกราฟระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี จะได้กราฟ Sorption isotherm โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า

วอเตอร์แอกทิวิตีเป็นสมการเส้นตรง คือ $y = 0.1136x - 0.0062$ ค่า R^2 เท่ากับ 0.9124 ทดสอบสมการเส้นตรงที่ได้โดยการวิเคราะห์ linear regression



ภาพที่ 4.13 Moisture sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สมการที่ใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษาโดยใช้ sorption isotherm (แสดงตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ข-15) ของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 เมื่อใช้ฟอยล์ลามิเนต (laminated/PE) เป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งให้ค่า WVTR เท่ากับ 0.310 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน จะมีอายุการเก็บรักษา 411 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าบรรจุภัณฑ์และสภาวะในการเก็บรักษาก็มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยจากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อัลมอนต์เพรสตรีภายใต้ของอุณหภูมิ (20 และ 30 องศาเซลเซียส) และเวลาการเก็บที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 45 วัน ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ อลูมิเนียมฟอยล์ ถุงพลาสติกภายใต้สภาวะสุญญากาศ/พอลิเอทิลีนฟิล์ม ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ปริมาณของแข็ง ค่าสีของผลิตภัณฑ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บคุกกี้คือ การใช้บรรจุภัณฑ์ อลูมิเนียมฟอยล์และถุงพลาสติกภายใต้สภาวะสุญญากาศ/พอลิเอทิลีนฟิล์มที่อุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส จะช่วยลดความแข็งของเนื้อในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ (Romeo *et al.*, 2010)

นอกจากนี้เมื่อใช้สมการในการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ ที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาได้ดังตารางที่ 4.18 โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 35 องศาเซลเซียส เป็น 40 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 70 และร้อยละ 80 มีผลทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาลดลงจาก 612 วัน เหลือ 312 วัน เนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารมักจะขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเสื่อมเสียมักจะเพิ่มขึ้นด้วย (ยูทชนา, 2553) นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากเกิดการถ่ายเทความชื้นหรือไอน้ำที่มีอยู่ทั้งภายใน และภายนอกผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity, ERH) (Labuza and Hyman, 1998) ซึ่งพบว่า ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Labuza and Hyman (1998) การสูญเสียความกรอบจะเกิดขึ้นถ้าทำให้น้ำเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.35-0.50 ในอาหารประเภทขนมขบเคี้ยว เช่น มันฝรั่งทอด แครกเกอร์ และป๊อปคอร์น ค่าอวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.44 สำหรับ puffed rice cakes และค่าอวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.28-0.55 สำหรับ breakfast cereals

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Siripatrawan and Jantawat (2008) พบว่าการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 เป็นร้อยละ 85 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 401 เป็น 311 วัน และพบว่าอายุการเก็บรักษาแป้งขนมด้วยฟูสำเร็จรูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 35 องศาเซลเซียส จะเก็บได้ประมาณ 12 สัปดาห์ แต่ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะเหลือประมาณ 10 สัปดาห์ (รุ่งรัตน์, 2544)

ตารางที่ 4.18 การทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
35	70	612
35	80	411
40	70	464
40	80	312