สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ได้ผลทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ[1]
protein	8.05 ± 0.39
fat	20.02 ± 0.93
moisture	43.36 ± 0.44
fiber	6.52 ± 0.18
ash	2.50 ± 0.02
Carbohydrate[2]	19.55

(1) - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

(2) - คำนวณมาจากผลต่างของ 100- (โปรตีน+ไขมัน+ความชื้น+เส้นใย+เถ้า)

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟมีองค์ประกอบทางเคมีคือ โปรตีน 8.05% คาร์โบไฮเดรต 19.55% ไขมัน 20.02% ความชื้น 43.36% เส้นใย 6.52% และเถ้า 2.50%

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

ชนิดของตัวอย่าง	ค่า L	ค่า a	ค่า b
ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง	54.35 ± 1.25	+3.87 ± 0.34	+18.86 ± 1.20

ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าสีในระบบ Hunter ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยค่า L เป็นค่าที่แสดงถึง ความสว่าง ค่า L เข้าใกล้ 0 หมายถึง สีดำหรือมืด และค่าเข้าใกล้ 100 หมายถึง สีขาวหรือสว่าง และสำหรับค่า a และ b จะไม่มีตัวเลขกำหนดแน่นอน โดยค่า a ที่เป็นบวกแสดงถึง สีแดง และค่า a ที่เป็นลบแสดงถึง สีเขียว ค่า b ที่เป็นบวกแสดงถึง สีเหลือง และค่า b ที่เป็นลบแสดงถึง สีน้ำเงิน (MacDougall, 2002.) และพอที่จะคาดได้ว่าค่าทางสีเหล่านี้เกิดจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning แบบ Maillard (Fennema, 1985) ที่ทำให้สีผิวของผลิตภัณฑ์ทอดแบบน้ำมันท่วมมีสีน้ำตาลทอง

4.2 ศึกษาหาสาเหตุการลดลงของคุณภาพผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

การศึกษาหาสาเหตุการลดลงของคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ มีสมมติฐานว่า เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ (moisture migration) ในระหว่างองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w แตกต่างกัน ทำให้คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสลดลง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงตรวจวัดค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นต่างๆ และไส้ของปอเปี๊ยะทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งเปรียบเทียบกับปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นต่างๆ และไส้ของปอเปี๊ยะทอดและปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

ชนิดของตัวอย่าง	a_w			
	แผ่นแป้งชั้นที่ 1	แผ่นแป้งชั้นที่ 2	แผ่นแป้งชั้นที่ 3	ไส้
ปอเปี๊ยะทอด	$0.497^{a} \pm 0.019$	$0.880^{b} \pm 0.022$	$0.964^{b} \pm 0.007$	$0.972^{b} \pm 0.008$
ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง	$0.763^{b} \pm 0.024$	$0.851^{a} \pm 0.012$	$0.936^{a} \pm 0.027$	$0.942^{a} \pm 0.014$

a,b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่1 (ชั้นนอก) ของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปอเปี๊ยะทอด ทั้งนี้เนื่องจากไส้

ของปอเปี๊ยะมีค่า a_w สูงกว่าแผ่นแป้งด้านนอก ทำให้น้ำในบริเวณที่มีค่า a_w สูงเคลื่อนที่มายังบริเวณที่ค่า a_w ต่ำกว่า (Fennema *et al.*, 1993) เมื่อเทียบค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 2 (ชั้นกลาง) และ 3 (ชั้นใน) พบว่าค่า a_w ของแผ่นแป้งทั้งสองชั้นของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งต่ำกว่าปอเปี๊ยะทอด อาจเนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากแผ่นแป้งทั้งสองชั้นไปยังแผ่นแป้งด้านนอกซึ่งมีค่า a_w ต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของไส้ระหว่างปอเปี๊ยะทอดและปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ พบว่าค่า a_w ของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำออกจากไส้ไปสู่แผ่นแป้งด้านนอกในระหว่างการเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Kester และ Fennema (1989b) ซึ่งศึกษาการใช้ฟิล์มบริโภคได้ที่ทำจากลิพิดและเซลลูโลสอีเทอร์ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนวิช (sandwich bread) ที่ทาด้วยซอสพิซซ่าที่ทำจากมะเขือเทศ (tomato-base sauce) ไว้ด้านบนขนมปัง เมื่อวัดปริมาณความชื้นของขนมปังที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ พบว่าขนมปังมีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากซอสพิซซ่าซึ่งมีความชื้นสูงไปสู่ขนมปังที่มีความชื้นต่ำกว่าในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 2 (ชั้นกลาง) และแผ่นแป้งชั้นที่ 3 (ชั้นใน) ของปอเปี๊ยะทอดและปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ พบว่า ค่า a_w ของปอเปี๊ยะทอดทั้งสองชนิด มีค่าค่อนข้างสูง โดยที่แผ่นแป้งในชั้นที่ 2 และ 3 มีค่า a_w สูงกว่าเมื่อเทียบกับแผ่นแป้งชั้นที่ 1 เนื่องจากการทอดเป็นการใช้น้ำมันซึ่งได้รับความร้อนเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนให้อาหาร ทำให้มีการดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำที่ระเหยออกไปเมื่อโดนความร้อน (วิไล รังสาดทอง, 2543) มีผลทำให้ค่า a_w ลดลง เมื่อนำปอเปี๊ยะไปทอดในน้ำมัน แผ่นแป้งปอเปี๊ยะในแต่ละชั้นจะมีการสัมผัสน้ำมันไม่เท่ากัน โดยแผ่นแป้งในชั้นที่ 1 (ชั้นนอกสุด) จะมีการสัมผัสมากที่สุดและรับความร้อนมากที่สุด ทำให้น้ำระเหยออกไปมากที่สุด ดังนั้นค่า a_w ในชั้นนี้จึงมีค่าต่ำที่สุดและค่า a_w ในแผ่นแป้งชั้นที่ 2, 3 และไส้ มีค่าสูงมากขึ้นตามลำดับ

เมื่อวัดเนื้อสัมผัสทางกายภาพ (ค่า texture profile analysis บริเวณตรงกลางและด้านปลายของชิ้นผลิตภัณฑ์) โดยแสดงเป็นค่า slope (g/mm) และ hardness (g) ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ได้ผลดังตารางที่ 4.4-4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 Texture profile ที่วัดบริเวณตรงกลางชิ้นของปอเปี๊ยะทอดและปอเปี๊ยะทอดแช่เยือก-แข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

ชนิดของตัวอย่าง	slope (g/mm)	hardness (g)
ปอเปี๊ยะทอด	$137.27^{b} \pm 11.54$	$629.28^{b} \pm 45.70$
ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง	$28.26^{a} \pm 3.88$	$340.15^{a} \pm 16.75$

หมายเหตุ a,b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

slope หมายถึง ค่าความชันของ peak ที่วัดจากระยะทาง 0 mm. ถึง 0.5 mm.

hardness หมายถึง ค่าแรงที่ใช้ในการกด (compression) ที่ทำให้เกิด peak สูงสุด

ตารางที่ 4.5 Texture profile ที่วัดบริเวณด้านปลายของชิ้นปอเปี๊ยะทอดและปอเปี๊ยะทอดแช่-เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

ชนิดของตัวอย่าง	slope (g/mm)	hardness (g)
ปอเปี๊ยะทอด	$73.60^{b} \pm 4.55$	$657.53^{b} \pm 54.35$
ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง	$26.66^{a} \pm 2.51$	$558.83^{a} \pm 46.55$

a,b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบค่า slope ระหว่างตัวอย่างทั้งสอง พบว่า ค่า slope ของปอเปี๊ยะทอดมีค่ามากกว่าปอเปี๊ยะทอดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่า slope เป็นค่าที่แสดงถึงความกรอบ (Vincent, 2004) โดยค่าความกรอบแปรผันตามค่า slope ที่วัดได้ คือ ถ้า slope มาก หมายถึง กรอบมาก (Jackson *et al.*, 1996) ดังนั้น ปอเปี๊ยะทอดจึงมีความกรอบมากกว่าปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ และเมื่อเปรียบเทียบค่า hardness ระหว่างตัวอย่างทั้งสอง พบว่าค่า hardness ซึ่งแสดงถึงค่าความแข็งของปอเปี๊ยะทอดก็มีค่ามากกว่าปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน

เมื่อพิจารณาผลด้านเนื้อสัมผัสทางกายภาพ (ตารางที่ 4.4) ร่วมกับค่า a_w (ตารางที่ 4.3) จะเห็นได้ว่า ค่าเนื้อสัมผัสทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w โดยแผ่นแป้งชั้นที่ 1 ของปอเปี๊ยะทอดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ มีค่า

a_w มากกว่าปอเปี๊ยะทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้ความกรอบและความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องจากปริมาณน้ำมีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความกรอบ เช่นใน dry snack food โดยน้ำจะทำให้ส่วนที่เป็น starch-protein matrix อ่อนนุ่มและยืดหยุ่นขึ้น ส่งผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง (Katz and Labuza, 1981)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gennadios และคณะ (1997) ซึ่งศึกษาผลของการเก็บผลิตภัณฑ์หัวหอมชุบแป้งทอดแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า ค่าความชื้นของชั้นแป้งทอดที่ใช้เคลือบหัวหอมเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์หัวหอมชุบแป้งทอดแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ และเมื่อวัดค่า specific shear force ($kN\ kg^{-1}$) ที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความกรอบ พบว่าค่า specific shear force ของหัวหอมชุบแป้งทอดมีค่ามากกว่าหัวหอมชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง

เมื่อพิจารณาค่า slope และ hardness ซึ่งวัดจากบริเวณด้านปลายของชิ้นปอเปี๊ยะ (ตารางที่ 4.5) พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลการทดลองด้านเนื้อสัมผัสทางกายภาพในตารางที่ 4.4 คือ ค่า slope และ hardness ของปอเปี๊ยะทอดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปอเปี๊ยะทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าเมื่อเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่บริเวณใดๆ ก็ตาม จะได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเดียวกัน

จากการศึกษาหาสาเหตุการลดลงของคุณภาพผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ สรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w แตกต่างกัน ทำให้คุณภาพเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งลดลงและด้อยกว่าปอเปี๊ยะทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สารลดค่า a_w ที่เป็น sorbitol ในไส้ของปอเปี๊ยะเพื่อลดความแตกต่างของค่า a_w ระหว่างไส้กับแผ่นแป้งด้านนอก เพื่อทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างองค์ประกอบของปอเปี๊ยะลดลง

4.3 การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

4.3.1 ศึกษาผลของการใช้สารลดค่า a_w (sorbitol) ในไส้ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งหลังจากอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

การทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ทำโดยแปรปริมาณ sorbitol แทนที่น้ำตาลในสูตรของไส้ 4 ระดับ คือ 25%, 50%, 75% และ 100% ของน้ำหนักน้ำตาลในสูตร และมีสูตรที่ใช้น้ำตาลเป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้นนำมาตรวจวัดค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นต่างๆ และไส้ของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นต่างๆ และไส้ของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	a_w			
	แผ่นแป้งชั้นที่ 1 ns	แผ่นแป้งชั้นที่ 2 ns	แผ่นแป้งชั้นที่ 3 ns	ไส้ ns
sugar	0.764±0.012	0.855±0.013	0.953 ±0.006	0.944 ±0.005
sorbitol 25%	0.758 ±0.009	0.852 ±0.008	0.953 ±0.006	0.945 ±0.008
sorbitol 50%	0.753 ±0.011	0.849 ±0.014	0.951 ±0.005	0.945 ±0.006
sorbitol 75%	0.750 ±0.008	0.842 ±0.010	0.947 ±0.005	0.944 ±0.006
sorbitol 100%	0.744 ±0.008	0.840 ±0.009	0.944 ±0.005	0.943 ±0.007

หมายเหตุ ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

sugar หมายถึง สูตรของปอเปี๊ยะซึ่งไม่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตร

sorbitol 25%, 50%, 75% และ 100% หมายถึง สูตรของปอเปี๊ยะที่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol เป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1,2 และ 3 ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลในสูตรที่มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้น ค่า a_w มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ และในตัวอย่างที่ใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลในสูตร 100% มีค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 น้อยที่สุด ส่วนค่า a_w ของไส้ของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยค่า a_w ของไส้มีแนวโน้มที่แปรผกผันกับปริมาณ sorbitol ที่ใช้ ซึ่งการใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลสูตร 100% ทำให้ไส้มีค่า a_w ต่ำที่สุด และมีความแตกต่างของ a_w ระหว่างไส้และแผ่นแป้งน้อยที่สุด อาจส่งผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้มาสู่แผ่นแป้งด้านนอกน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีความแตกต่างของค่า a_w ระหว่างองค์ประกอบของอาหารมากขึ้น (Kamper and Fennema, 1984) sorbitol สามารถลดค่า a_w ในไส้ของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากเป็นสารโมเลกุลเดี่ยวและมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าน้ำตาล (sucrose) ซึ่งเป็นสารโมเลกุลคู่ระหว่าง glucose กับ fructose ดังนั้น sorbitol จึงสามารถจับน้ำได้มากกว่าน้ำตาล ทำให้ค่า a_w ของไส้ลดลง ค่า a_w ที่ลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองของ Buchanan และ Bagi (1997) ที่ศึกษาผลของการใช้สารลดค่า a_w ในอาหารเลี้ยงเชื้อ brain–heart infusion broth (BHI) และพบว่า sorbitol สามารถลดค่า a_w ของอาหารเลี้ยงเชื้อได้มากกว่าน้ำตาล

เมื่อวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการแทนที่น้ำตาลในสูตรของไส้ด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ บริเวณตรงกลางและด้านปลายของผลิตภัณฑ์ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7-4.8

ตารางที่ 4.7 Texture profile ที่วัดบริเวณตรงกลางชิ้นของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	slope (g/mm)	hardness (g)
sugar	$28.46^{a} \pm 4.90$	$334.57^{a} \pm 17.97$
sorbitol 25%	$37.98^{b} \pm 2.69$	$437.48^{b} \pm 18.95$
sorbitol 50%	$48.46^{c} \pm 6.98$	$470.03^{bc} \pm 21.71$
sorbitol 75%	$52.54^{c} \pm 3.51$	$502.29^{c} \pm 33.16$
sorbitol 100%	$59.92^{d} \pm 5.21$	$552.50^{d} \pm 28.58$

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 Texture profile ที่วัดบริเวณด้านปลายของชิ้นปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	slope (g/mm)	hardness^{ns} (g)
sugar	$26.97^{a} \pm 0.83$	549.76 ± 31.65
sorbitol 25%	$42.55^{b} \pm 2.45$	564.59 ± 37.31
sorbitol 50%	$49.02^{c} \pm 3.20$	565.17 ± 18.15
sorbitol 75%	$50.36^{c} \pm 2.02$	569.57 ± 12.58
sorbitol 100%	$51.72^{c} \pm 2.62$	581.24 ± 11.33

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้ค่า slope เพิ่มขึ้น (มีความกรอบเพิ่มขึ้น) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 4.6 คือ ค่าความกรอบมากขึ้นเมื่อมีค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 น้อยลง แสดงว่าเมื่อลดการเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บได้ อาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เช่นเดียวกันกับค่า hardness ซึ่งพบว่า เมื่อมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนที่มากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่า hardness มากขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญ และจากผลของการวัดเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.7 และ 4.8) พบว่า ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol 100% เป็นสูตรที่มีความกรอบมากที่สุด โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Katz และ Labuza (1981) ซึ่งศึกษาผลของค่า

a_w ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านแรงกลและประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ โดยนำผลิตภัณฑ์ไปเก็บใน desiccator ซึ่งมีสารละลายอิ่มตัวที่มีค่า a_w ต่างๆ กันในช่วง 0-0.85 พบว่าเมื่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้มีความกรอบลดลง (ค่า slope ลดลง)

ผลการทดลองในตารางที่ 4.8 มีแนวโน้มเดียวกันกับในตารางที่ 4.7 ซึ่งเป็นการวัดเนื้อสัมผัสของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟที่บริเวณการวัดแตกต่างกัน แสดงว่าค่าเนื้อสัมผัสทางกายภาพที่วัดได้ไม่ขึ้นกับบริเวณที่ใช้ในการวัด แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่า hardness ที่ด้านปลายของชิ้นมีค่าสูงกว่าบริเวณตรงกลาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทางด้านปลายของชิ้นมีจำนวนชั้นแป้งที่มากกว่า (4 ชั้น) บริเวณตรงกลาง (3 ชั้น) จึงเกิดการต่อต้านแรงกดมากกว่าและทำให้วัดค่า hardness ได้สูงกว่า

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งซึ่งมีและไม่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ มาทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสีที่เปลือก ความกรอบและความแข็ง ด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน)

ชนิดของตัวอย่าง	colour^{ns}	crispness	hardness^{ns}
sugar	2.56 ± 0.51	1.83^{a} ± 0.62	2.11 ± 0.83
sorbitol 25%	2.67 ± 0.69	2.11^{ab} ± 0.90	2.22 ± 0.88
sorbitol 50%	2.72 ± 0.57	2.28^{ab} ± 0.75	2.39 ± 0.92
sorbitol 75%	2.56 ± 0.78	2.56^{b} ± 0.86	2.44 ± 0.62
sorbitol 100%	2.61 ± 0.70	2.67^{b} ± 0.91	2.50 ± 0.92

หมายเหตุ a,b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

colour หมายถึง สีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ (0= สีไม่เข้ม,..., 5=สีเข้มมาก)

crispness หมายถึง ความกรอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ (0= ไม่กรอบ,..., 5=กรอบมาก)

hardness หมายถึง ความแข็งของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ (0= ไม่แข็ง,..., 5=แข็งมาก)

จากตารางที่ 4.9 พบว่า คะแนนเฉลี่ยความเข้มสีที่เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสีที่เปลือกเกิดจากการทอดแบบน้ำมันท่วม ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้เวลา (4 นาที) และอุณหภูมิในการทอดที่เท่ากัน (180±5 องศาเซลเซียส) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.56-2.72 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนความกรอบพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 1.83-2.67 ซึ่งสูตรของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่แทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol 100% มีความกรอบมากที่สุด อาจเนื่องจากค่า a_w ระหว่างไส้กับแผ่นแป้งด้านนอกมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในไส้มาสู่แผ่นแป้งด้านนอกน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.6) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเนื้อสัมผัสทางกายภาพในตารางที่ 4.7 และ 4.8 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.11-2.50 และพบว่าเมื่อใช้ปริมาณ sorbitol มากขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัสทางกายภาพเช่นเดียวกัน ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Heidenreich และคณะ (2004) ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพองกรอบ (extruded rice crisps) โดยเก็บตัวอย่างในภาวะที่มีค่า a_w ต่างๆ กันในช่วง 0-0.743 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ พบว่า คะแนนความกรอบจะลดลงเมื่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสีที่เปลือก รสเค็ม รสหวาน ความกรอบและความแข็งของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้ง 5 สูตร ด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring และทดสอบความชอบของคุณลักษณะต่างๆ เหล่านี้และความชอบโดยรวม ด้วยแบบทดสอบชนิด acceptance test ใช้สเกลแบบ 7 point hedonic ประเมินโดยผู้บริโภค ได้ผลดังตาราง 4.10-4.11

ตารางที่ 4.10 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

ชนิดของตัวอย่าง	colour^{ns}	saltiness	sweetness^{ns}	crispness	hardness^{ns}
sugar	2.56 ± 0.50	2.22^{a} ± 1.06	2.78 ± 1.09	2.00^{a} ± 0.97	2.04 ± 1.07
sorbitol 25%	2.62 ± 0.67	2.24^{a} ± 0.59	2.74 ± 1.05	2.08^{ab} ± 1.07	2.28 ± 1.18
sorbitol 50%	2.70 ± 0.51	2.44^{ab} ± 0.97	2.70 ± 1.09	2.36^{bc} ± 0.48	2.34 ± 0.94
sorbitol 75%	2.64 ± 0.56	2.68^{bc} ± 1.06	2.52 ± 0.65	2.50^{c} ± 0.74	2.44 ± 0.84
sorbitol 100%	2.60 ± 0.90	2.98^{c} ± 0.98	2.32 ± 1.02	2.84^{d} ± 0.84	2.48 ± 0.81

หมายเหตุ a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

saltiness หมายถึง รสเค็มของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ (0=ไม่เค็ม,..., 5=เค็มมาก)

sweetness หมายถึง รสหวานของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ (0= ไม่หวาน,..., 5=หวานมาก)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มของสีที่เปลือกที่ประเมินโดยผู้บริโภค และใช้แบบทดสอบชนิด QDA with scoring ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.56-2.70 ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความเข้มของสีที่เปลือกที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝนในตารางที่ 4.9 และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรสเค็ม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.22-2.98 เนื่องจาก sorbitol มีความหวานเพียง 60% ของน้ำตาล (O'Neil *et al.*, 2001) เมื่อนำไปแทนที่น้ำตาลในสูตรมากขึ้นจะทำให้ไส้ของปอเปี๊ยะที่ได้มีรสหวานน้อยลง ส่งผลให้ผู้บริโภครับรู้รสเค็มได้มากขึ้น ส่วนคะแนนเฉลี่ยรสหวาน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.32-2.78 และพบว่าเมื่อมีการใช้ sorbitol เข้าไปแทนที่น้ำตาลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนรสหวานมีแนวโน้มที่ลดลงตามลำดับ เนื่องด้วย sorbitol ให้รสหวานน้อยกว่าน้ำตาลดังกล่าวมาแล้ว

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความกรอบ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.00-2.84 ซึ่งสูตรที่แทนที่น้ำตาลด้วย sorbitol 100% มีความกรอบมากที่สุด อาจเนื่องจาก sorbitol มีสมบัติในการลดค่า a_w และตรึงน้ำไว้ได้ จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในไส้มาสู่แผ่นแป้งด้านนอกน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับคะแนนความกรอบที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความแข็ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.04-2.48 และเมื่อมีการใช้ sorbitol เข้าไปแทนที่น้ำตาลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความแข็งที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝนในตารางที่ 4.9 เช่นกัน

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

ชนิดของตัวอย่าง	colour ^{ns}	saltiness ^{ns}	sweetness ^{ns}	crispness	hardness ^{ns}	overall liking ^{ns}
sugar	5.12 ± 1.65	4.82 ± 1.04	4.70 ± 1.56	3.94^{a} ± 1.15	4.34 ± 1.38	4.14 ± 0.81
sorbitol 25%	5.24 ± 0.77	5.16 ± 1.46	4.68 ± 1.45	4.14^{ab} ± 0.86	4.36 ± 1.17	4.48 ± 1.52
sorbitol 50%	5.12 ± 0.66	4.94 ± 1.04	4.74 ± 1.55	4.28^{ab} ± 1.05	4.42 ± 1.43	4.34 ± 0.85
sorbitol 75%	5.04 ± 1.38	4.90 ± 1.18	4.80 ± 0.78	4.44^{b} ± 0.70	4.44 ± 0.81	4.44 ± 0.81
sorbitol 100%	5.38 ± 0.75	4.52 ± 1.36	4.38 ± 1.18	4.88^{c} ± 0.75	4.58 ± 0.70	4.38 ± 0.92

หมายเหตุ a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

overall liking หมายถึง ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เมื่อพิจารณาสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ อย่างครบถ้วน ใช้ระดับคะแนนความชอบตั้งแต่ 1=ไม่ชอบมาก,..., 7= ชอบมาก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.11 พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบของสีที่เปลือกที่ประเมินโดยผู้บริโภคและใช้แบบทดสอบ 7 - point hedonic scale ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 5.04-5.38 แสดงว่าผู้บริโภคชอบสีของผลิตภัณฑ์ที่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนต่างๆ เล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบรสเค็มและรสหวาน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.52-5.16 และ 4.38-4.80 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการแทนที่น้ำตาลด้วย sorbitol ในอัตราส่วนที่มากขึ้น คะแนนความชอบรสเค็มและหวานมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อนำ sorbitol ไปแทนที่น้ำตาลในสูตรมากขึ้นจะทำให้ไส้ของปอเปี๊ยะที่ได้มีรสหวานน้อยลงแล้วส่งผลให้มีรสเค็มเด่นมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบลดลง

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบความกรอบ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 3.94-4.88 ซึ่งคะแนนความชอบด้านความกรอบมากขึ้นเมื่อมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนที่มากขึ้น และเมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อระดับคะแนนความกรอบที่ประเมินโดยผู้บริโภคและใช้แบบทดสอบชนิด QDA มากขึ้น ระดับคะแนนความชอบความกรอบที่ประเมินโดยผู้ทดสอบกลุ่มเดียวกัน แต่ใช้แบบทดสอบชนิด hedonic จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของการให้คะแนนโดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสกลุ่มเดียวกันแต่ใช้แบบทดสอบต่างกัน และยังบ่งบอกว่าผู้ทดสอบชอบตัวอย่างที่มีความกรอบสูงกว่า ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบความแข็ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนดังกล่าวอยู่ในช่วง 4.34-4.58 ซึ่งมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ในอัตราส่วนที่มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวม (overall liking) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.14-4.48 ทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ทำให้มีคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น แต่ลดคุณลักษณะทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ลง ซึ่งอาจทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน

ในการทดลองทางประสาทสัมผัสนี้มีการใช้ผู้ทดสอบ 2 แบบ คือ ผู้ทดสอบแบบฝึกฝนและผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภคทั่วไป โดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝนจะประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring ของสีที่เปลือก ความกรอบและความแข็ง เพื่อเปรียบเทียบผลทดลองที่ได้กับผลทางกายภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่วัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส สำหรับผู้บริโภคจะประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring และ acceptance test เพื่อทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์และจากการพิจารณาคะแนนและความสัมพันธ์ของผลการทดสอบที่ได้จากแบบทดสอบทั้งสองชนิด ซึ่งพบว่า เมื่อคะแนนรสเค็ม

เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มคะแนนความชอบรสเค็มลดลง ในขณะที่เมื่อคะแนนรสหวาน ความกรอบและความแข็งเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มของคะแนนความชอบด้านนั้นๆ เพิ่มขึ้นตาม และผลการทดสอบที่ได้จากผู้ทดสอบทั้ง 2 แบบ มีผลการทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

Katz และ Labuza (1981) ศึกษาผลของค่า a_w ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านแรงกลและประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พบว่า เมื่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีคะแนนความกรอบและคะแนนความชอบความกรอบลดลง

การแทนที่น้ำตาลในสูตรของไส้ด้วย sorbitol ทำให้คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบและความชอบความกรอบ ซึ่งตัวอย่างที่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol 100% มีคะแนนมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกไส้สูตรนี้กับสูตรที่ใช้น้ำตาลในไส้ในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้ฟิล์มบริโภคได้เพียงอย่างเดียวกับการใช้ฟิล์มบริโภคได้ร่วมกับการใช้สารลดค่า a_w

4.3.2 ศึกษาผลของการใช้ edible film เคลือบบนแผ่นแป้งชั้นในสุด ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งหลังจากอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

การทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟในขั้นนี้ ทำโดยใช้ WPI film ที่เตรียมจากสารละลายฟิล์ม WPI ความเข้มข้น 4, 5 และ 6 % (w/w) เคลือบบนแผ่นแป้ง แล้วนำมาหุ้มไส้ไว้ภายในเพิ่มขึ้นอีกชั้นหนึ่ง (แผ่นแป้งชั้นในสุด) โดยการทดลองเบื้องต้น พบว่าความเข้มข้นของ WPI ที่ 6% เป็นความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไป WPI ไม่สามารถละลายได้และจับตัวกันเป็นก้อน ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงใช้ความเข้มข้นของ WPI film 4 และ 5 % เท่านั้น และมีสูตรของไส้เป็นน้ำตาลและ sorbitol ซึ่งแทนที่น้ำตาลในสูตร 100% โดยตัวอย่างควบคุมคือ ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่ใช้แป้งที่ไม่มีการเคลือบด้วยฟิล์มหุ้มไส้ไว้ภายในและใช้น้ำตาลในสูตรของไส้ จากการวัดค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นต่างๆ และไส้ของผลิตภัณฑ์ ผลทดลองแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นต่างๆ และไส้ของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการเคลือบ WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด

ชนิดของตัวอย่าง	a_w				
	แผ่นแป้งชั้นที่ 1	แผ่นแป้งชั้นที่ 2 ^{ns}	แผ่นแป้งชั้นที่ 3 ^{ns}	แผ่นแป้งเคลือบ WPI film (ชั้นในสุด) ^{ns}	ไส้ ^{ns}
control	$0.758^{c} \pm 0.019$	0.860 ± 0.013	0.924 ± 0.012	0.948 ± 0.005	0.949 ± 0.006
sugar + film 4%	$0.740^{bc} \pm 0.028$	0.857 ± 0.005	0.919 ± 0.014	0.945 ± 0.005	0.953 ± 0.008
sugar + film 5%	$0.721^{b} \pm 0.015$	0.847 ± 0.014	0.911 ± 0.007	0.938 ± 0.010	0.963 ± 0.007
sorbitol + film 4%	$0.729^{bc} \pm 0.020$	0.852 ± 0.029	0.918 ± 0.011	0.939 ± 0.013	0.954 ± 0.011
sorbitol + film 5%	$0.686^{a} \pm 0.028$	0.837 ± 0.013	0.906 ± 0.007	0.932 ± 0.008	0.961 ± 0.006

หมายเหตุ a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

control หมายถึง ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งใช้น้ำตาลในสูตร ไม่มี WPI film เคลือบ แต่มีแผ่นแป้งธรรมดาหุ้มไส้ไว้

sugar + film 4% และ 5% หมายถึง ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งใช้น้ำตาลในสูตร และมี WPI film 4% และ 5% เคลือบแผ่นแป้งหุ้มไส้ไว้ตามลำดับ

sorbitol + film 4% และ 5% หมายถึง ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลในสูตร 100% และมี WPI film 4% และ 5% เคลือบแผ่นแป้งหุ้มไส้ไว้ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 (แผ่นแป้งชั้นนอกสุด) ของผลิตภัณฑ์พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปอเปี๊ยะที่ใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลทั้งหมด 100% และเคลือบแผ่นแป้งด้วย WPI 5% มีค่า a_w น้อยที่สุด แสดงว่าเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้มาสู่แผ่นแป้งด้านนอกน้อยที่สุด เนื่องจาก WPI film มีคุณสมบัติในการป้องการซึมผ่านของน้ำ โดยใน WPI มีองค์ประกอบหลัก คือ β-lactoglobulin ซึ่งมีอยู่ประมาณ 58% ของปริมาณโปรตีนใน whey ทั้งหมด (Yada, 2004) และ β-lactoglobulin สูญเสียสภาพธรรมชาติ เมื่อได้รับความร้อนที่สูงกว่า 65 องศาเซลเซียส ที่เวลาเหมาะสม ผลที่ได้คือ β-lactoglobulin ซึ่งเดิมมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่ด้านใน เกิดการ unfolding ออกมา (McHugh and Krochta, 1994) และเกิดพันธะ hydrophobic จึงทำหน้าที่เสมือน barrier ช่วยลดการแพร่ผ่านของน้ำในระหว่างการเก็บแบบแช่เยือกแข็งได้ นอกจากนี้การใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลในไส้ ทำให้ค่า a_w ของไส้ปอเปี๊ยะมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการตรึงน้ำเอาไว้ ส่งผลให้มีความแตกต่างของค่า a_w ระหว่างไส้กับแผ่นแป้งด้านนอกลดลง จึงเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้ไปสู่แผ่นแป้งด้านนอกลดลง และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย พบว่า ตัวอย่างที่มีค่า a_w จากน้อยไปถึงมากที่สุด คือ sorbitol + film 5%, sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control ตามลำดับ โดยแผ่นแป้งที่เคลือบ WPI 4% มีคุณสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของน้ำได้น้อยกว่าแผ่นแป้งที่เคลือบ WPI 5% เนื่องจากความเข้มข้นของ WPI น้อยลง ทำให้มีสัดส่วนของกลุ่ม hydrophobic ลดลง ส่วน control พบว่า แผ่นแป้งชั้นที่ 1 มีค่า a_w มากที่สุด เนื่องจากตัวอย่างไม่มีส่วนของแผ่นแป้งเคลือบ WPI มาป้องกันการแพร่ผ่านของน้ำ และไม่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol จึงไม่สามารถลดการเคลื่อนที่ของน้ำได้เช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของไส้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย พบว่าสูตรที่มีการใช้แผ่นแป้งที่เคลือบด้วย WPI 5% มีค่า a_w ของไส้มากกว่าสูตรอื่นๆ เนื่องจาก WPI 5% ซึ่งมีสัดส่วนของกลุ่มที่เป็น hydrophobic มากกว่า WPI 4% ทำให้มีคุณสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของน้ำได้มากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Albert และ Mittal (2002) และ Aminlari และคณะ (2005) ซึ่งพบว่า WPI film สามารถใช้ในการป้องกันการแพร่ผ่านของน้ำในอาหารได้และมีคุณสมบัติดีกว่า polysaccharide film และฟิล์ม จาก proteins ชนิดอื่นๆ

เมื่อวัดเนื้อสัมผัสบริเวณตรงกลางและด้านปลายของผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบด้วย WPI บนแผ่นแป้งชั้นในสุดของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 Texture profile ที่วัดบริเวณตรงกลางชิ้นของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการเคลือบด้วย WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด

ชนิดของตัวอย่าง	slope (g/mm)	hardness (g)
control	$30.21^{a} \pm 2.42$	$389.20^{a} \pm 17.92$
sugar + film 4%	$47.42^{b} \pm 3.64$	$535.31^{b} \pm 25.39$
sugar + film 5%	$70.16^{d} \pm 3.11$	$587.88^{c} \pm 16.83$
sorbitol + film 4%	$60.82^{c} \pm 3.16$	$564.94^{bc} \pm 29.02$
sorbitol + film 5%	$84.32^{e} \pm 4.33$	$595.29^{c} \pm 28.61$

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 Texture profile ที่วัดบริเวณด้านปลายของชิ้นปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการเคลือบด้วย WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด

ชนิดของตัวอย่าง	slope (g/mm)	hardness (g)
control	$28.23^{a} \pm 1.00$	$576.45^{a} \pm 14.86$
sugar + film 4%	$42.27^{b} \pm 1.97$	$592.71^{ab} \pm 19.07$
sugar + film 5%	$60.63^{d} \pm 3.01$	$628.79^{cd} \pm 12.97$
sorbitol + film 4%	$52.03^{c} \pm 2.70$	$614.15^{bc} \pm 19.65$
sorbitol + film 5%	$66.08^{e} \pm 3.97$	$651.68^{d} \pm 13.83$

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบค่า slope พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5%, sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control มีค่า slope จากมากไปถึงน้อยที่สุดตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า สูตร sorbitol + film 5% เป็นสูตรที่มีความกรอบมากที่สุด เนื่องจากการเคลือบด้วย WPI film ช่วยป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำและ sorbitol มีสมบัติในการจับกับน้ำผ่าน H-bonding (Mathlouthi, 1986) ทำให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่หรือแพร่ผ่านออกจากไส้ไปสู่แป้งได้ดีหรือมากเท่ากับตัวอย่างอื่นๆ โดยเฉพาะตัวอย่างควบคุม ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลของค่า a_w ในตารางที่ 4.12 คือ เมื่อค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 น้อยจะทำให้ค่า slope ที่ได้มีค่ามาก เช่นเดียวกันกับค่า hardness ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตร sorbitol + film 5% เป็นสูตรที่มีค่าทั้งสองมากที่สุด

รองลงมาคือ sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control จึงกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะจะสามารถคงความกรอบและความแข็งได้หากสามารถป้องกันการแพร่ผ่านของน้ำออกจากไส้ไปสู่ชั้นแป้งที่หุ้มอยู่ได้

ผลการทดลองในตารางที่ 4.14 ที่แสดงค่า slope และ hardness ที่วัดบริเวณด้านปลายของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตร sorbitol + film 5% เป็นสูตรที่มีค่าทั้งสองมากที่สุด รองลงมาคือ sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับค่า slope และ hardness ที่วัดบริเวณตรงกลางชิ้น (ตารางที่ 4.13) แสดงว่าค่าเนื้อสัมผัสทางกายภาพที่วัดได้ไม่ขึ้นกับบริเวณที่ใช้ในการวัด และเป็นข้อสรุปที่คล้ายคลึงกับผลการทดลองทางเนื้อสัมผัสที่แสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 กับตารางที่ 4.7 และ 4.8

เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีที่เปลือก ความกรอบและความแข็งของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้ง 5 สูตร ใช้แบบทดสอบชนิด QDA with scoring (0-5) และใช้ผู้ทดสอบแบบฝึกฝน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการเคลือบ WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน)

ชนิดของตัวอย่าง	colour ^{ns}	crispness	hardness
control	2.67 $\pm$ 0.69	2.17^{a} $\pm$ 0.71	2.50^{a} $\pm$ 0.51
sugar + film 4%	2.72 $\pm$ 0.75	2.56^{ab} $\pm$ 0.62	2.72^{ab} $\pm$ 0.67
sugar + film 5%	2.61 $\pm$ 0.70	3.00^{bc} $\pm$ 0.59	3.06^{bc} $\pm$ 0.54
sorbitol + film 4%	2.67 $\pm$ 0.59	2.72^{b} $\pm$ 0.57	2.83^{ab} $\pm$ 0.62
sorbitol + film 5%	2.72 $\pm$ 0.67	3.28^{c} $\pm$ 0.75	3.33^{c} $\pm$ 0.69

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.15 พบว่า คะแนนเฉลี่ยความเข้มของสีที่เปลือกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสีที่เปลือกเกิดจากการทอดแบบน้ำมันท่วม ซึ่งในการทดลองนี้ใช้อุณหภูมิและเวลาในการทอดที่เท่ากัน (180 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที) จึงทำให้เกิดสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.61-2.72 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความ

กรอบและความแข็ง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.17-3.28 และ 2.50-3.33 ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีคะแนนความกรอบและความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่าง sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเนื้อสัมผัสทางกายภาพในตารางที่ 4.13 และ 4.14 สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้านสีที่เปลือก รสเค็ม รสหวาน ความกรอบและความแข็งด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring (0-5) และการทดสอบความชอบสีที่เปลือก ความชอบรสเค็ม ความชอบรสหวาน ความชอบความกรอบ ความชอบความแข็งและความชอบโดยรวม ด้วยแบบทดสอบชนิด acceptance test ใช้สเกลแบบ hedonic (1-7) และใช้ผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภค ได้ผลดังตาราง 4.16-4.17 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการเคลือบ WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด (ประเมินโดยผู้บริโภค)

ชนิดของตัวอย่าง	colour ^{ns}	saltiness	sweetness	crispness	hardness
control	2.56 ± 0.50	2.20^{a} ± 1.01	2.84^{b} ± 0.84	2.16^{a} ± 0.91	2.18^{a} ± 0.85
sugar + film 4%	2.62 ± 0.67	2.16^{a} ± 0.87	2.98^{b} ± 0.91	2.48^{ab} ± 0.71	2.44^{ab} ± 1.05
sugar + film 5%	2.70 ± 0.51	2.30^{a} ± 1.05	2.78^{b} ± 0.86	3.04^{cd} ± 1.01	2.80^{bc} ± 0.90
sorbitol + film 4%	2.64± 0.56	2.96^{b} ± 0.81	2.38^{a} ± 0.85	2.70^{bc} ± 0.95	2.62^{b} ± 0.85
sorbitol + film 5%	2.60± 0.90	2.90^{b} ± 0.86	2.44^{a} ± 0.97	3.38^{d} ± 0.92	3.12^{c} ± 1.00

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.16 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มทางด้านสีที่เปลือก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.56-2.70 ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับคะแนนของสีที่เปลือกที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝนในตารางที่ 4.15 และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรสเค็มและรสหวาน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.16-2.96 และ 2.38-2.98 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อนำ sorbitol ไปแทนที่น้ำตาลในสูตรจะทำให้ไส้ของปอเปี๊ยะที่ได้มีรสหวานน้อยลงและส่งผลให้รสเค็มเด่นมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างที่มีการแทนที่ของน้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol มีคะแนนรสเค็มมากกว่าตัวอย่างที่ใช้ไส้เป็นน้ำตาล แต่จะมีคะแนนรสหวานน้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความกรอบและความแข็ง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.16-3.38 และ 2.18-3.12 ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่าง sorbitol + film 5% เป็นตัวอย่างที่มีความกรอบและความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่าง sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเนื้อสัมผัสทางกายภาพในตารางที่ 4.13 และ 4.14 และมีแนวโน้มเดียวกับคะแนนความกรอบและความแข็งที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝนในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.17 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีการเคลือบ WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด (ประเมินโดยผู้บริโภค)

ชนิดของตัวอย่าง	colour ^{ns}	saltiness	sweetness	crispness	hardness	overall liking
control	5.18 ± 0.90	4.84^{b} ± 1.18	4.90^{b} ± 0.99	4.26^{a} ± 1.07	4.26^{a} ± 0.99	4.30^{a} ± 1.13
sugar + film 4%	5.10 ± 0.93	4.94^{b} ± 1.11	4.96^{b} ± 1.18	4.56^{ab} ± 1.03	4.58^{ab} ± 0.95	4.68^{ab} ± 1.15
sugar + film 5%	5.24 ± 0.89	4.88^{b} ± 1.19	4.88^{b} ± 1.06	5.08^{c} ± 1.01	4.92^{bc} ± 0.75	5.14^{cd} ± 0.97
sorbitol + film 4%	5.28 ± 0.97	4.22^{a} ± 0.86	4.36^{a} ± 1.06	4.92^{bc} ± 0.94	4.78^{bc} ± 0.82	4.82^{bc} ± 0.92
sorbitol + film 5%	5.20 ± 0.90	4.38^{a} ± 1.03	4.42^{a} ± 0.99	5.50^{d} ± 0.89	5.08^{c} ± 1.05	5.28^{d} ± 1.01

a,b,... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.17 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบสีที่เปลือกของปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 5.10-5.28 แสดงว่าผู้บริโภคชอบสีของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบรสเค็มและความชอบรสหวาน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.22-4.94 และ 4.36-4.96 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่มีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol มีคะแนนความชอบรสเค็มและรสหวานน้อยกว่าสูตรของไส้ที่ใช้น้ำตาล ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อนำ sorbitol ไปแทนที่น้ำตาลในสูตรจะทำให้ไส้ของปอเปี๊ยะที่ได้มีรสหวานน้อยลงและส่งผลให้รสเค็มเด่นมากขึ้น อาจทำให้คะแนนความชอบทั้งสองด้านนี้ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบความกรอบและความชอบความแข็ง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.26-5.50 และ 4.26-5.08 ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่าง sorbitol + film 5% เป็นตัวอย่างที่มีคะแนนความชอบด้านความกรอบและความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่าง sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.16 พบว่าเมื่อคะแนนความกรอบและความแข็งมากขึ้น คะแนนความชอบความกรอบและความแข็งจะเพิ่มขึ้นตาม

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.30-5.28 ทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol และการเคลือบแผ่นแป้งชั้นในด้วย WPI film ช่วยลดการเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้มาสู่แป้งได้ ส่งผลให้มีคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสที่ดี โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่าง sugar + film 5%, sorbitol + film 4%, sugar + film 4% และ control ตามลำดับ

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นแป้งที่มีและไม่มีการเคลือบด้วย WPI film (ตารางที่ 4.18) พบว่าแผ่นแป้งที่มีการเคลือบด้วย WPI film ความเข้มข้น 5% สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นแป้งที่มีการเคลือบด้วย WPI film ความเข้มข้น 4% และแผ่นแป้งเปล่า ตามลำดับ จึงพิสูจน์ได้ว่าการเคลือบแผ่นแป้งด้วยฟิล์มโปรตีนที่เป็น whey protein isolate ในปริมาณที่เหมาะสมช่วยลดการแพร่ผ่านของความชื้นในผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งได้ และยืนยันผลการทดลองที่ว่าฟิล์มโปรตีนจาก whey protein isolate สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของน้ำใน deep-fried cereal product (Albert and Mittal, 2002) และใน protein-coated low-fat potato chips (Aminlari *et al.*, 2005)

ตารางที่ 4.18 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นแป้งที่มีและไม่มีการเคลือบด้วย WPI film

ชนิดตัวอย่าง	WVTR ($x10^{-4}$ กรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร ชั่วโมง)
แผ่นแป้งเปล่า	3.69±0.06
แผ่นแป้งเคลือบ WPI film 4%	2.01±0.06
แผ่นแป้งเคลือบ WPI film 5%	1.24±0.03

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.12-4.17 พบว่าเมื่อมีการแทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol ทั้งหมดร่วมกับการเคลือบแผ่นแป้งด้านในด้วย WPI film ทำให้คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสดีขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยผลทดลองทั้งด้านกายภาพด้วยค่า texture profiles และผลทดลองทางประสาทสัมผัส ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกสูตรของไส้ที่แทนที่น้ำตาลในสูตรด้วย sorbitol 100% และมีการเคลือบแผ่นแป้งด้านในด้วย WPI film 5% ไปศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟในระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษาเปรียบเทียบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพใดๆ (สูตรของไส้เป็นน้ำตาลและไม่ใช้ WPI film) และตัวอย่างที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้ sorbitol 100% ทดแทนน้ำตาลในไส้และห่อไส้ด้วยแผ่นแป้งชั้นในสุดที่เคลือบด้วย WPI film ความเข้มข้น 5% ทำโดยเตรียมตัวอย่างด้วยการทอดแบบน้ำมันท่วม แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว บรรจุในถุงพลาสติก oriented polypropylene/aluminum/linear low density polyethylene (OPP/Al/LLDPE) ซึ่งมีความหนา 100 micron โดยบรรจุตัวอย่างถุงละ 20 ชิ้น ปิดผนึกถุงที่ความดันปกติ แล้วเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (-18 องศาเซลเซียส) นาน 3 เดือน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางเคมี ตรวจวัดสมบัติทางกายภาพและทดสอบทางประสาทสัมผัสทุก 15 วัน แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดในตารางที่ 4.19

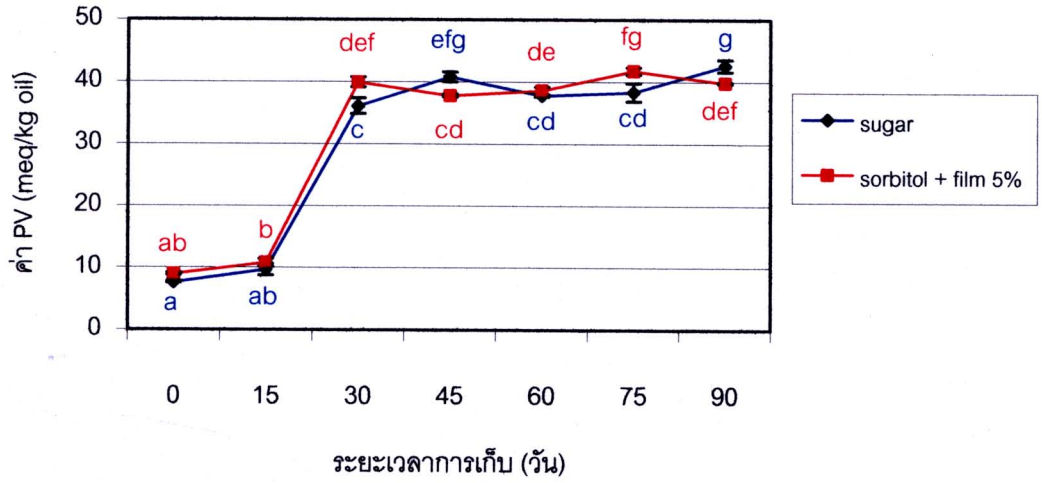
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟที่มีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film

Source of Variation	PV	a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1	a_w ของไส้	บริเวณตรงกลางชิ้น		บริเวณด้านปลายของชิ้น	
				slope	hardness	slope	hardness
ชนิดของตัวอย่าง (A)	*	**	**	**	**	**	**
ระยะเวลาการเก็บ (B)	**	**	**	**	**	**	**
AxB	**	**	**	**	**	**	**

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากตารางที่ 4.19 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างกับระยะเวลาการเก็บ (AxB) มีผลต่อค่า PV (Peroxide value) ค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 และไส้ ค่า slope และ hardness ทั้งบริเวณตรงกลางและด้านปลายของชิ้นผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ดังแสดงผลในรูปที่ 4.1-4.7 ตามลำดับ

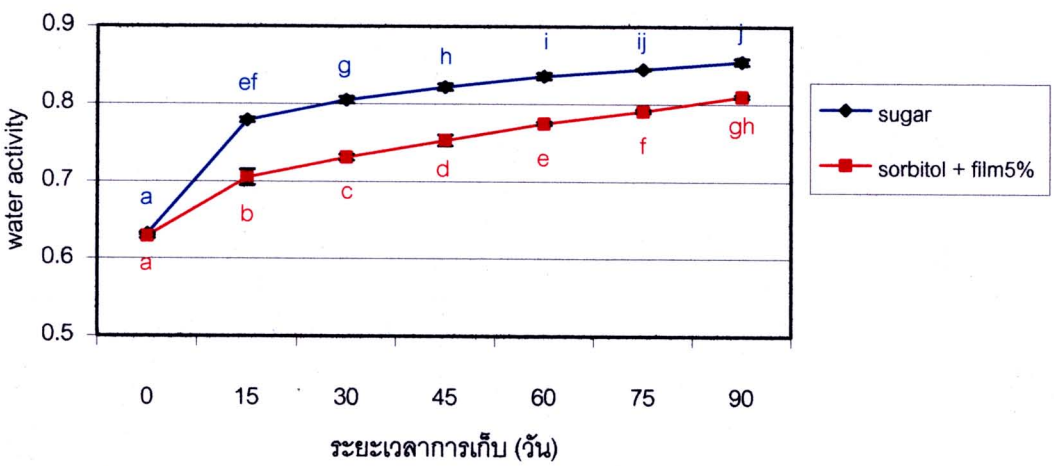


รูปที่ 4.1 ค่า PV ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film `และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ค่า PV ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่เวลาการเก็บต่างๆ โดยค่า PV เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของลิพิด โดยหาปริมาณไฮโดร-เพอร์ออกไซด์ (ROOH) ที่เกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งในการทดลองนี้ค่า PV เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บเป็น 30 วัน และที่ระยะเวลาการเก็บในช่วง 30-90 วัน พบว่าค่า PV ของตัวอย่างทั้งสองมีแนวโน้มคงที่ อาจเนื่องจากการวัดค่า PV เป็นการวัดปริมาณ ROOH ซึ่งเกิดขึ้นในปฏิกิริยาเริ่มต้นของการหืน ซึ่งต้องใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยา และเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น มีออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาลดลง ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดนั้นช้าลงมาก นอกจากนี้ ROOH ที่เกิดขึ้นสามารถจะสลายตัวต่อไปเป็นสารอื่นที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ จึงอาจเป็นไปได้ว่าอัตราการเกิดและสลายตัวของ ROOH เท่ากัน และเมื่อพิจารณาผลของการปรับปรุงคุณภาพทั้งไส้และแป้งชั้นในที่ใช้ห่อ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บในช่วงแรก (0-30 วัน) ตัวอย่างที่มีการปรับปรุงคุณภาพของไส้ปอเปี๊ยะด้วย sorbitol และแผ่นแป้งชั้นในสุดด้วยการเคลือบ WPI film (sorbitol + film 5%) จะมีค่า PV มากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ (sugar) อาจเนื่องจากการใช้ WPI film ที่ทาบนแผ่นแป้งชั้นในสุดของปอเปี๊ยะ ทำให้มีแผ่นแป้งเพิ่มมากขึ้นอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มทั้งมวลและพื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงทำให้ดูดซับน้ำมันในปริมาณที่มากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเคลือบ ส่งผลให้มีค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยอัตราเร็วในการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสอากาศ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

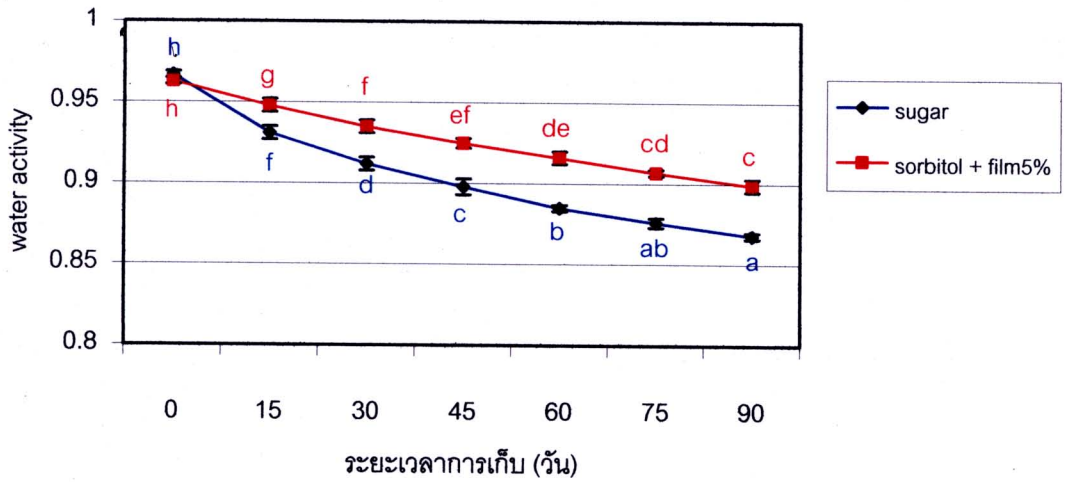
อย่างไรก็ตาม Aminlari และคณะ (2005) ซึ่งศึกษาผลของเวลาในการเก็บที่มีต่อผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่เคลือบด้วยโปรตีน 3 ชนิด คือ sodium caseinate, whey protein concentrate (WPC) และ egg white protein และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณไขมันที่ดูดซับและค่า PV พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย WPC มีปริมาณไขมันที่ดูดซับและค่า PV น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลือบ ซึ่งจากการศึกษานี้ ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย WPC จะลดปริมาณไขมันที่ดูดซับได้เพียงเล็กน้อย ประมาณ 5% แต่สามารถลดค่า PV ได้มากกว่า 50% (ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย WPC และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลือบมีปริมาณไขมันที่ดูดซับ 31.5 และ 33.1% ตามลำดับ และมี PV 8.4 และ 19.1 meq/kg ตามลำดับ) อาจเนื่องจาก WPC สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ช้าลง โดย Maté และ Krochta (1996) ศึกษาผลของการเคลือบ WPI ต่อการแพร่ผ่านของออกซิเจนของผลิตภัณฑ์ถั่วคั่ว (roasted peanut) โดยนำผลิตภัณฑ์ซึ่งมีการเคลือบและไม่มีการเคลือบใส่ในภาชนะปิดที่ทราบปริมาณออกซิเจนที่อยู่ด้านใน แล้วตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ตามเวลาที่กำหนด แล้วคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไป พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย WPI มีปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลือบ แสดงว่าการเคลือบด้วย WPI สามารถลดการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ตรงกันข้ามกับผลการทดลองของ Aminlari และคณะ เนื่องจากในการทดลองนี้มีการเคลือบ WPI film ไว้ด้านในของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะและมีการเพิ่มชั้นของแผ่นแป้งทำให้เพิ่มทั้งมวลและพื้นที่ผิวในการดูดซับไขมันและทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ในขณะที่งานวิจัยของ Aminlari และคณะ เคลือบ WPC film ไว้ที่ผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด



รูปที่ 4.2 ค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 ของตัวอย่างทั้งสองชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 15 วันแรก และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงต่อมา อย่างไรก็ตามตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่าง sugar ที่ทุกระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากการใช้ sorbitol แทนที่น้ำตาลในไส้ ทำให้ค่า a_w ของไส้ปอเปี๊ยะมีค่าลดลง ส่งผลให้มีความแตกต่างของค่า a_w ระหว่างไส้กับแผ่นแป้งด้านนอกลดลง และการเคลือบ WPI film บนแผ่นแป้งชั้นในสุด ช่วยขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้ไปสู่แผ่นแป้งด้านนอก ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้ไปสู่แผ่นแป้งด้านนอกลดลง

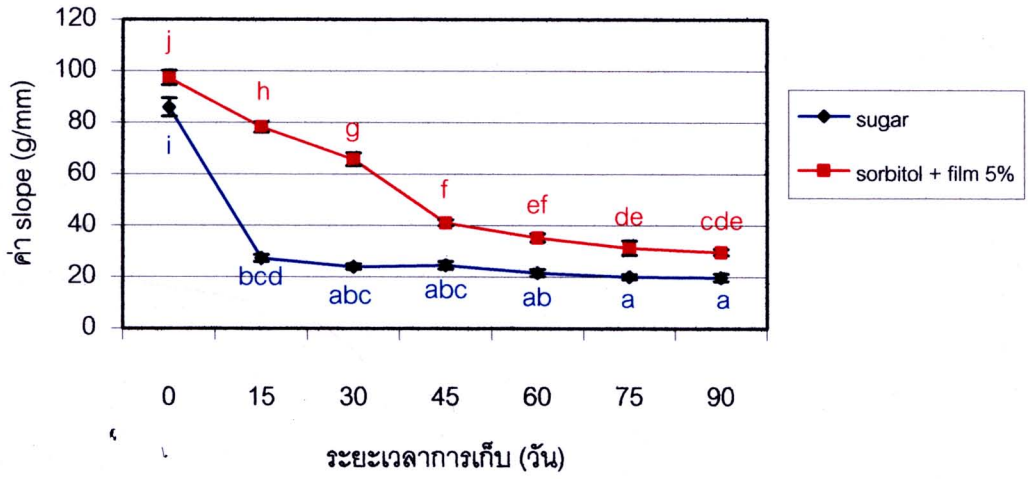


รูปที่ 4.3 ค่า a_w ของไส้ผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

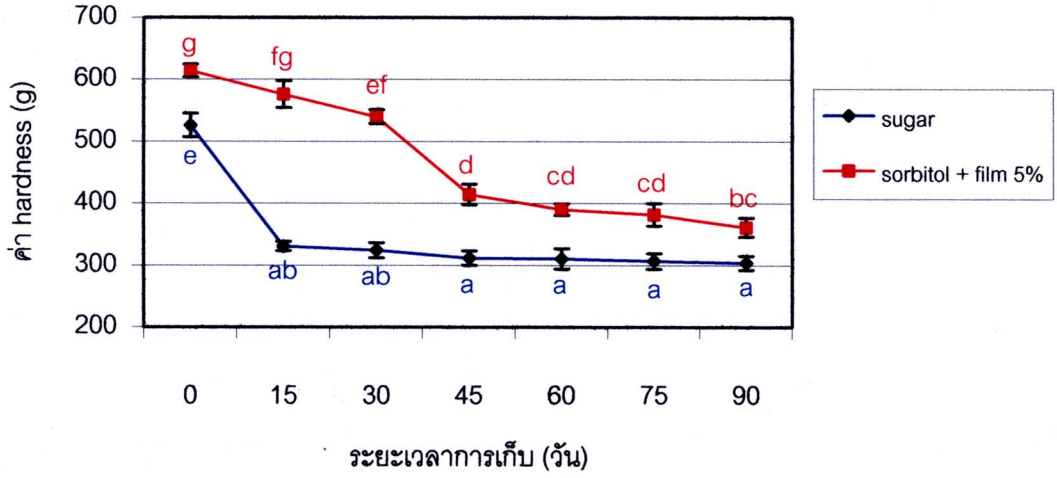
จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่า a_w ของไส้ผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยค่า a_w ของไส้ของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้ไปสู่แผ่นแป้งด้านนอก นอกจากนี้ ตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีค่า a_w สูงกว่าตัวอย่าง sugar ที่ทุกระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากการใช้ sorbitol ทดแทนน้ำตาลในไส้และการใช้ WPI film ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำจากไส้ไปสู่แผ่นแป้งด้านนอกลดลง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gennadios และคณะ (1997) ซึ่งพบว่า เมื่อเก็บหัวหอมชุบแป้งทอดแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เนื้อเยื่อหัวหอมมีค่าความชื้นและ a_w ลดลง เมื่อเทียบกับหัวหอมชุบแป้งทอดที่ผ่านการ

ทอดใหม่ๆ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำจากเนื้อเยื่อหัวหอมซึ่งมีความชื้นสูงไปยังชั้นแป้งทอดที่เคลือบไว้ด้านนอกซึ่งมีความชื้นต่ำกว่า



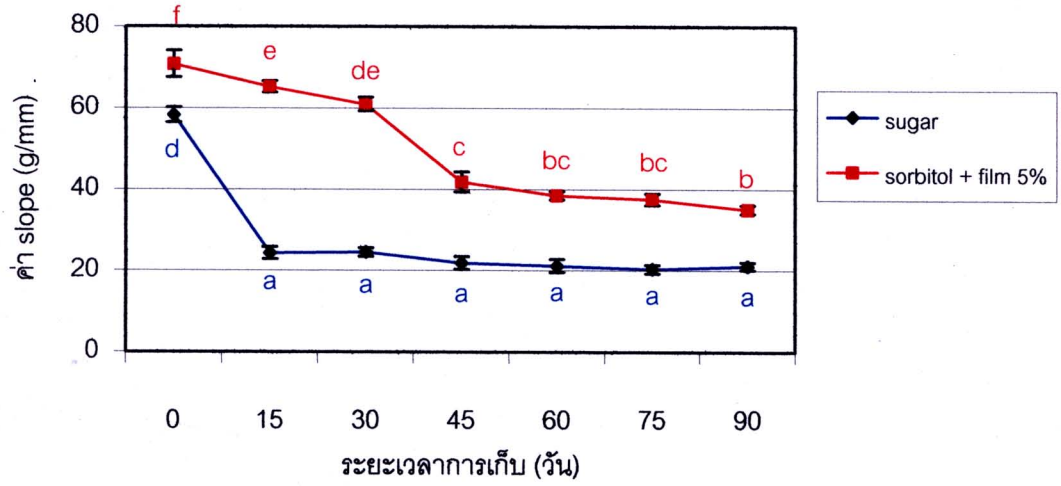
รูปที่ 4.4 ค่า slope บริเวณตรงกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)



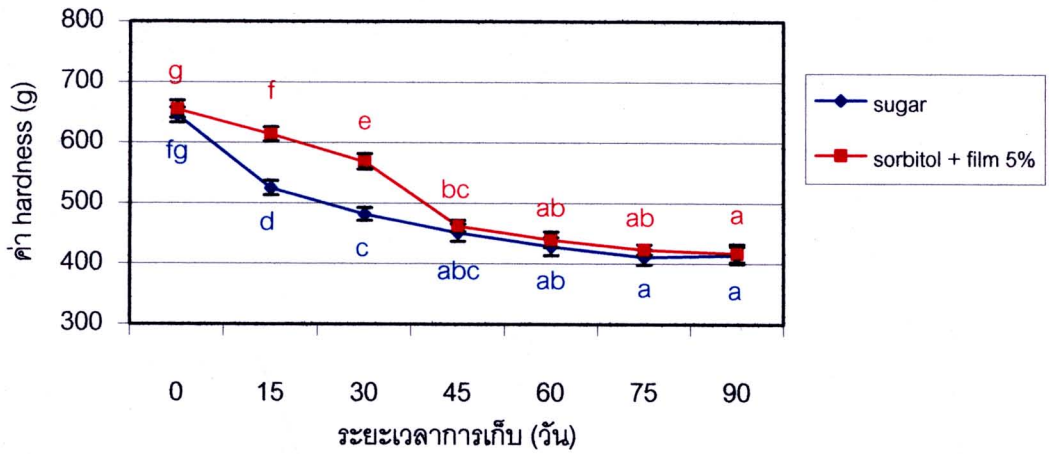
รูปที่ 4.5 ค่า hardness บริเวณตรงกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)



รูปที่ 4.6 ค่า slope บริเวณด้านปลายของชิ้นผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)



รูปที่ 4.7 ค่า hardness บริเวณด้านปลายของชิ้นผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่า slope บริเวณตรงกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เมื่อระยะเวลา

การเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสองตัวอย่างมีค่า slope ลดลง โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีค่า slope (ความกรอบ) มากกว่าตัวอย่าง sugar ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน เนื่องจากการเคลือบด้วย WPI film ช่วยป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำและ sorbitol ช่วยลดความแตกต่างของค่า a_w ระหว่างไส้กับแผ่นแป้ง และตัวอย่าง sorbitol + film 5 % มีแนวโน้มการลดลงของค่า slope อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของระยะเวลาการเก็บ (0-45 วัน) ซึ่งลดลงอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บเป็น 45 วัน และในระยะการเก็บช่วงหลัง (45-90 วัน) ค่า slope จะลดลงช้ากว่าในช่วงแรกมาก ในขณะที่ตัวอย่าง sugar ลดลงอย่างรวดเร็วมากในช่วง 15 วันแรก หลังจากนั้นการลดลงของค่า slope จะค่อนข้างน้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 4.2) คือ เมื่อค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า slope ที่ได้มีค่าลดลง และผลที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (1996) ซึ่งใช้ laminated edible film ของ methylcellulose และ corn zein เป็นบรรจุภัณฑ์ของมันฝรั่งทอด และพบว่า ความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่า hardness บริเวณตรงกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสองตัวอย่างมีค่า hardness ลดลง โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีค่า hardness มากกว่าตัวอย่าง sugar ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากันและเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับค่า slope ที่บริเวณตรงกลางชิ้นและจากผลการวัดค่า slope และ hardness ที่บริเวณด้านปลายชิ้นดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับค่าเนื้อสัมผัสที่วัดบริเวณตรงกลางชิ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัสทางกายภาพที่ตำแหน่งทั้งสองของชิ้นปอเปี๊ยะให้ผลที่คล้ายคลึงกัน และค่าที่วัดได้ไม่ขึ้นกับบริเวณที่ใช้วัดมากนัก

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างทั้งสองในด้านระดับความเข้มสีที่เปลือก ระดับความกรอบและระดับความแข็ง ด้วยแบบทดสอบชนิด QDA with scoring โดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน แสดงในตารางที่ 4.20 และผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4.8-4.11

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟที่มีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน)

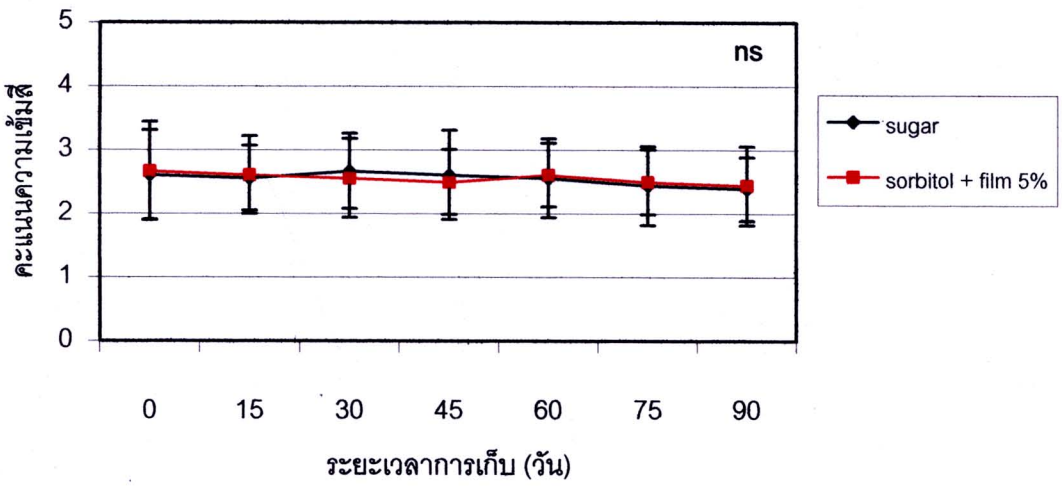
Source of Variation	colour	crispness	hardness
ชนิดของตัวอย่าง (A)	ns	**	**
ระยะเวลาการเก็บ (B)	ns	**	**
AxB	ns	*	ns

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

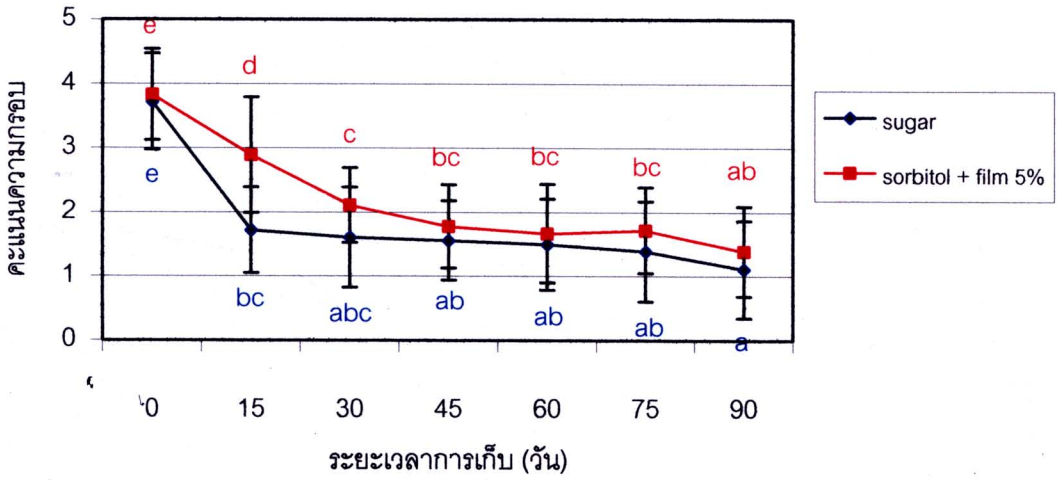
จากตารางที่ 4.20 พบว่าชนิดของตัวอย่าง (A) ระยะเวลาการเก็บ (B) และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างกับระยะเวลาการเก็บ (AxB) ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มของสีที่เปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.8 โดยอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างกับระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนความกรอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.9 และชนิดของตัวอย่างและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนความแข็งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ซึ่งแสดงผลของคะแนนความแข็งในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 คะแนนความเข้มสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

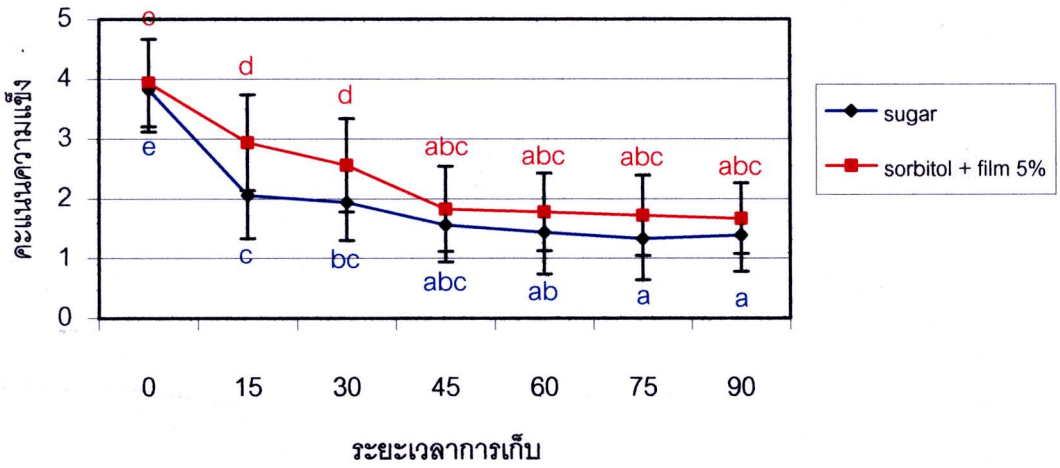
จากรูปที่ 4.8 พบว่าคะแนนความเข้มของสีที่เปลือกของตัวอย่างทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยจะมีคะแนนความเข้มของสีที่เปลือกอยู่ในช่วง 2.39-2.67 (ตารางที่ จ.8; ภาคผนวก) คือ มีสีเข้มค่อนข้างน้อยถึงสีเข้มปานกลาง



รูปที่ 4.9 คะแนนความกรอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.9 พบว่าคะแนนความกรอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนความกรอบของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าลดลง โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5% จะมีคะแนนความกรอบมากกว่าตัวอย่าง sugar ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน และในช่วงแรกของการเก็บ (0-45 วัน) ตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีการลดลงของคะแนนความกรอบอย่างรวดเร็วกว่าในช่วงหลังของการเก็บ (45-90 วัน) ส่วนตัวอย่าง sugar คะแนนความกรอบจะลดลงอย่างรวดเร็วมากที่อายุการเก็บ 15 วัน หลังจากนั้นคะแนนความกรอบจะลดลงอย่างช้าๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (slope) ในรูปที่ 4.4 และ 4.6 และอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 4.10 คะแนนความแข็งของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

คะแนนความแข็งของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนความแข็งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.20) ตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีคะแนนความแข็งมากกว่าตัวอย่าง sugar และคะแนนความแข็งของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.10) โดยคะแนนความแข็งลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บ (0-45 วัน) ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (hardness) ในรูปที่ 4.5 และ 4.7 และอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่กล่าวไว้แล้วเช่นกัน

เมื่อผู้บริโภคทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของสีที่เปลือก ความเข้มของกลิ่นหืน ความเข้มของรสเค็ม ความเข้มของรสหวาน ระดับความกรอบ และระดับความแข็ง ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.21 และผลทดลองแสดงในรูปที่ 4.11-4.16

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟที่มีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film (ประเมินโดยผู้บริโภค)

Source of Variation	colour	rancidity	saltiness	sweetness	crispness	hardness
ชนิดของตัวอย่าง (A)	ns	*	**	**	**	**
ระยะเวลาการเก็บ (B)	ns	**	ns	ns	**	**
AxB	ns	ns	ns	ns	**	**

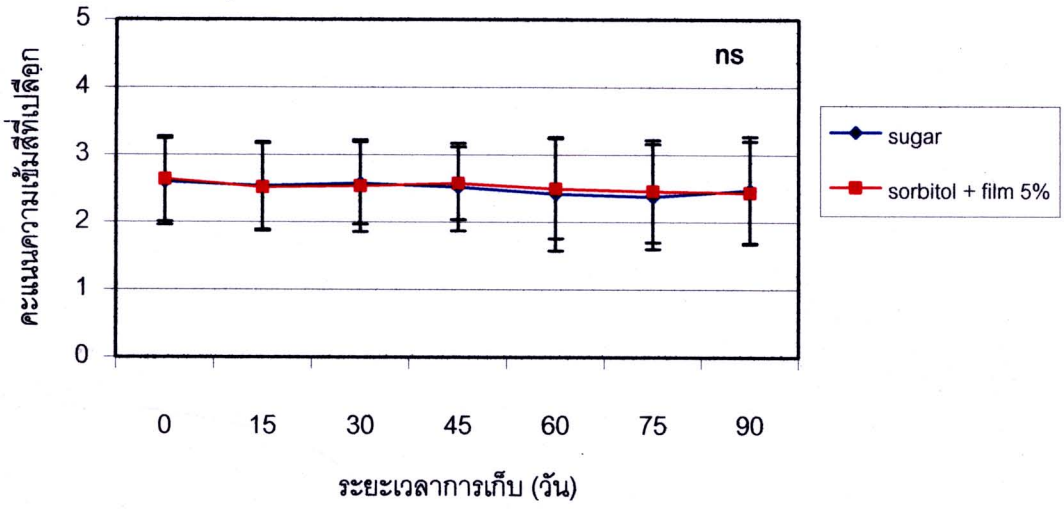
หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

rancidity หมายถึง กลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ (0=ไม่มีกลิ่นหืน ,..., 5=กลิ่นหืนมาก)

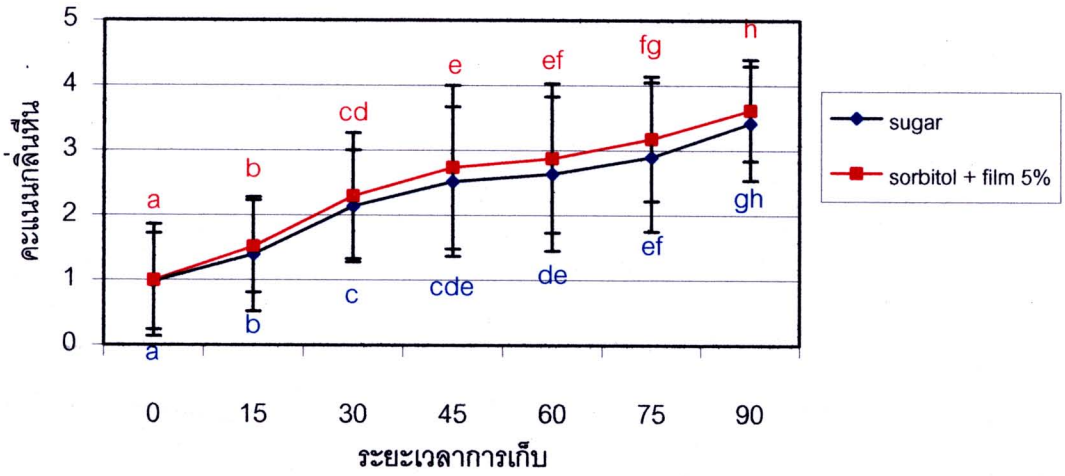
จากตารางที่ 4.21 พบว่าชนิดของตัวอย่าง (A) ระยะเวลาการเก็บ (B) และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างกับระยะเวลาการเก็บ (AxB) ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มของสีที่เปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.11 ชนิดของตัวอย่างมีผลต่อคะแนนกลิ่นหืนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนกลิ่นหืนอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยแสดงผลของคะแนนกลิ่นหืนในรูปที่ 4.12 ชนิดของตัวอย่างมีผลต่อคะแนนรสเค็มและรสหวานอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) แต่ระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อคะแนนรสเค็มและรสหวานอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงผลของคะแนนรสเค็มและรสหวานในรูปที่ 4.13-4.14 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างกับระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนความกรอบและความแข็งอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยแสดงผลในรูปที่ 4.15-4.16 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 คะแนนความเข้มสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

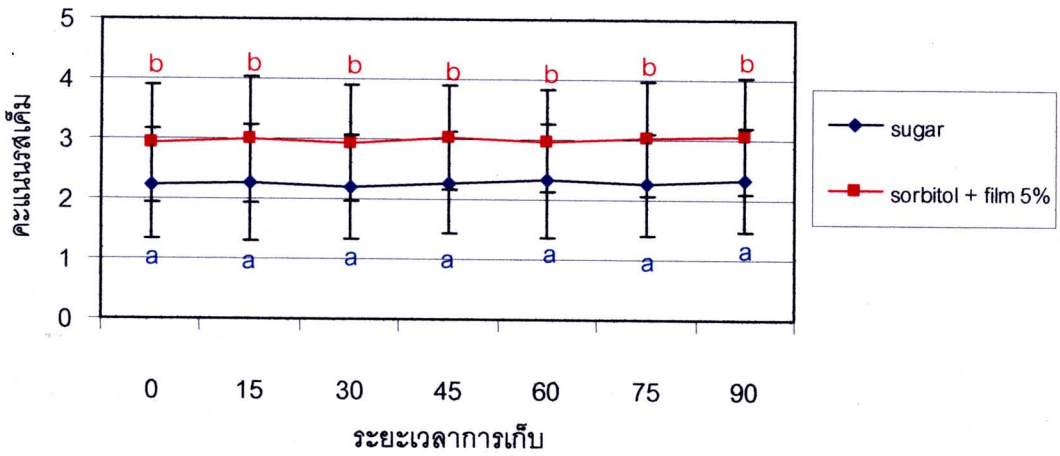
จากรูปที่ 4.11 พบว่าคะแนนความเข้มของสีที่เปลือกของตัวอย่างทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยจะมีคะแนนความเข้มของสีที่เปลือกอยู่ในช่วง 2.38-2.64 (ตารางที่ จ.11; ภาคผนวก) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองทางประสาทสัมผัสที่ประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝนในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.12 คะแนนกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

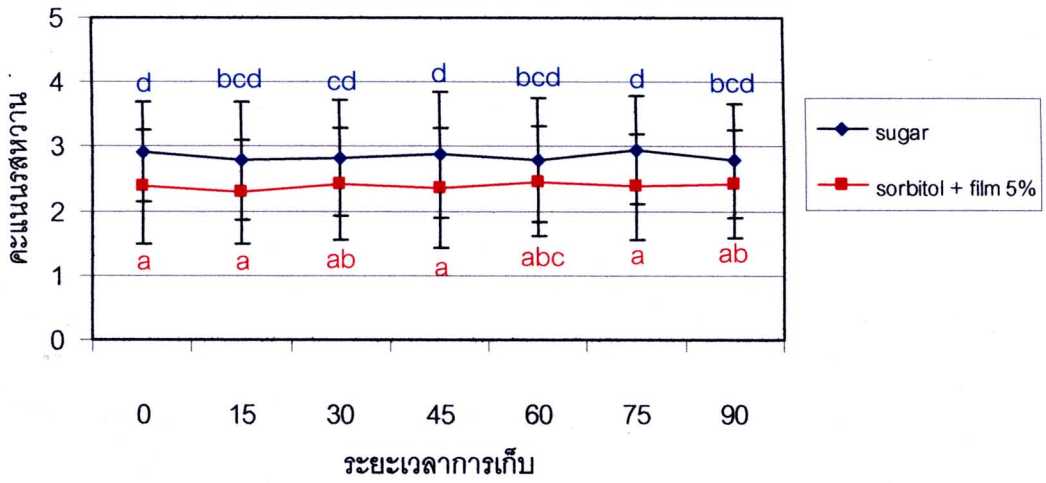
คะแนนกลิ่นหืนของตัวอย่างทั้งสองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนกลิ่นหืนอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.21) เมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.12) โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5% จะมีคะแนนกลิ่นหืนมากกว่าตัวอย่าง sugar ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน เนื่องจากตัวอย่างที่เคลือบด้วย WPI film บนแผ่นแป้งด้านใน อาจทำให้เกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายสาเหตุดังที่กล่าวไว้สำหรับผลของการเปลี่ยนแปลงค่า PV ระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.13 คะแนนรสเค็มของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

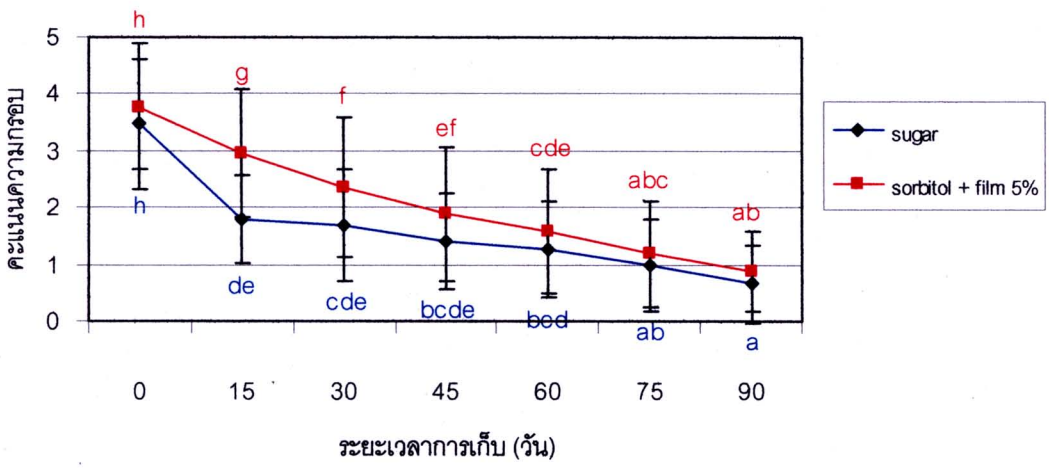
คะแนนรสเค็มของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.21) และจากรูปที่ 4.13 พบว่าตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีคะแนนรสเค็มสูงกว่าตัวอย่าง sugar เนื่องจากมีการใช้ sorbitol เข้าไปแทนที่น้ำตาลในสูตรของไส้ ซึ่ง sorbitol มีความหวานเพียง 60% ของน้ำตาล (O'Neil *et al.*, 2001) ทำให้ไส้ของปอเปี๊ยะที่ได้มีรสหวานน้อยลง ส่งผลให้รสเค็มเด่นมากขึ้น และคะแนนรสเค็มของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.14 คะแนนรสหวานของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

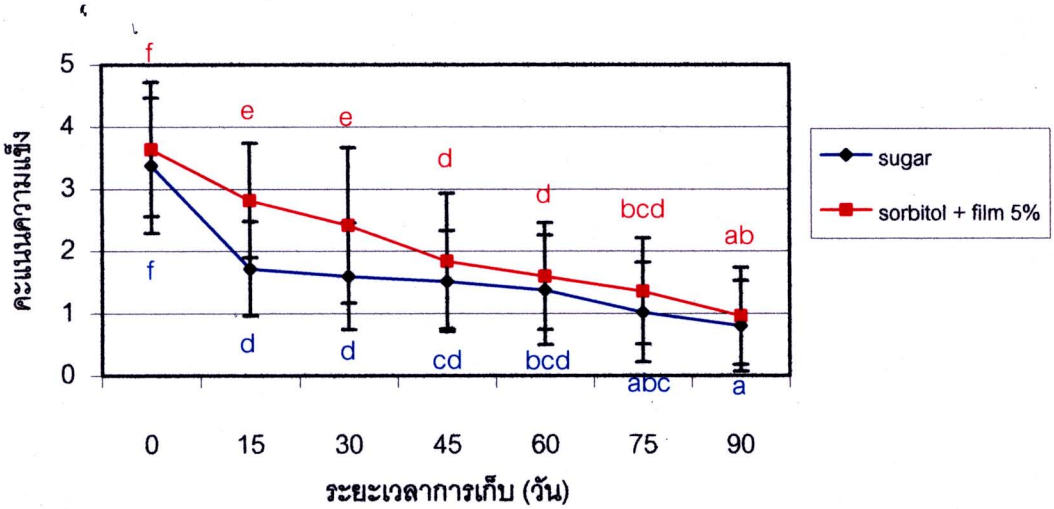
คะแนนรสหวานของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.21) และจากรูปที่ 4.14 พบว่าตัวอย่าง sorbitol + film 5% จะมีคะแนนรสหวานน้อยกว่าตัวอย่าง sugar เนื่องจาก sorbitol มีความหวานน้อยกว่าน้ำตาล และคะแนนรสหวานของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.15 คะแนนความกรอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากรูปที่ 4.15 พบว่าคะแนนความกรอบของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนความกรอบของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าลดลง โดยคะแนนความกรอบของตัวอย่าง sugar จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาการเก็บ 15 วัน ส่วนตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีแนวโน้มการลดลงของคะแนนความกรอบค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ และจะเห็นได้ว่าเวลาในการเก็บที่เท่ากัน คะแนนความกรอบของตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีค่าลดลงน้อยกว่าตัวอย่าง sugar ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (รูปที่ 4.4 และ 4.6) และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบประเมินโดยผู้ทดสอบแบบฝึกฝน (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.16 คะแนนความแข็งของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากรูปที่ 4.16 พบว่าคะแนนความแข็งของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนความแข็งของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าลดลง โดยคะแนนความแข็งของตัวอย่าง sugar จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาการเก็บเป็น 15 วัน และในช่วงเวลาการเก็บ 15-90 วัน คะแนนความแข็งจะลดลงช้ากว่า ในขณะที่ตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีแนวโน้มการลดลงของคะแนนความแข็งค่อนข้างคงที่ และจะเห็นได้ว่าคะแนนความแข็งของตัวอย่าง sorbitol + film 5%

มีค่าลดลงน้อยกว่าตัวอย่าง sugar ที่เวลาการเก็บเท่ากัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (รูปที่ 4.5 และ 4.7)

ผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดสรุปได้ว่าสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lee และ Resurreccion (2006) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) ระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ถั่วคั่ว (roasted peanuts) ที่มีต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ คือ 0.33, 0.44, 0.54, 0.67 และ 0.75 พบว่าคะแนนความกรอบ (crunchiness) ลดลง เมื่อระยะเวลาและค่า a_w เพิ่มขึ้น

เมื่อทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดด้านความชอบด้านสีที่เปลือก ความชอบด้านกลิ่นรส ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยแบบทดสอบชนิด acceptance test ประเมินโดยผู้บริโภค ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.22 และผลทดลองแสดงในรูปที่ 4.17-4.20

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความชอบด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟที่มีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film (ประเมินโดยผู้บริโภค)

Source of Variation	colour	flavor	texture	overall liking
ชนิดของตัวอย่าง (A)	ns	**	**	**
ระยะเวลาการเก็บ (B)	*	**	**	**
AxB	ns	ns	**	*

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

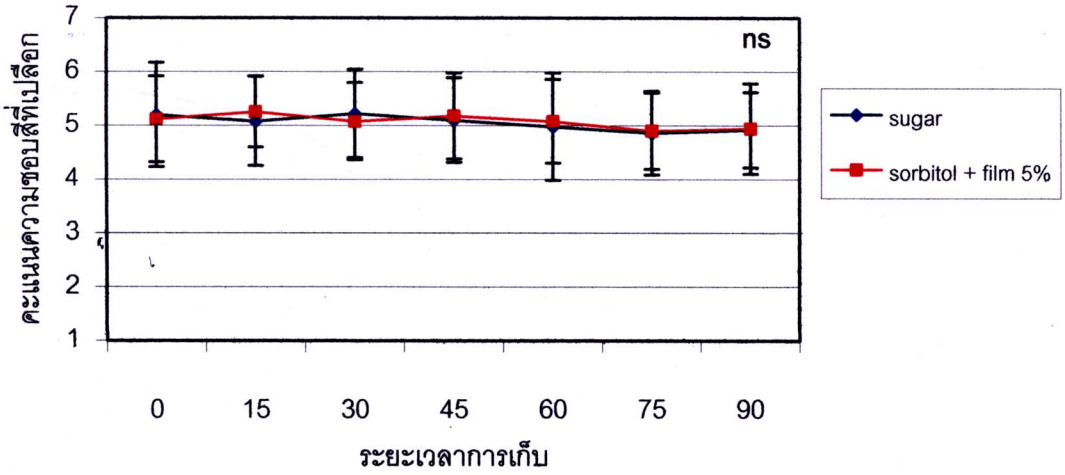
** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

flavor หมายถึง ความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

texture หมายถึง ความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งที่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

จากตารางที่ 4.22 พบว่าชนิดของตัวอย่าง (A) ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบของสีที่เปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บ (B) มีผลต่อคะแนนความชอบของสีที่เปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงผลของคะแนนความชอบสีที่เปลือกในรูปที่ 4.17 ชนิดของ

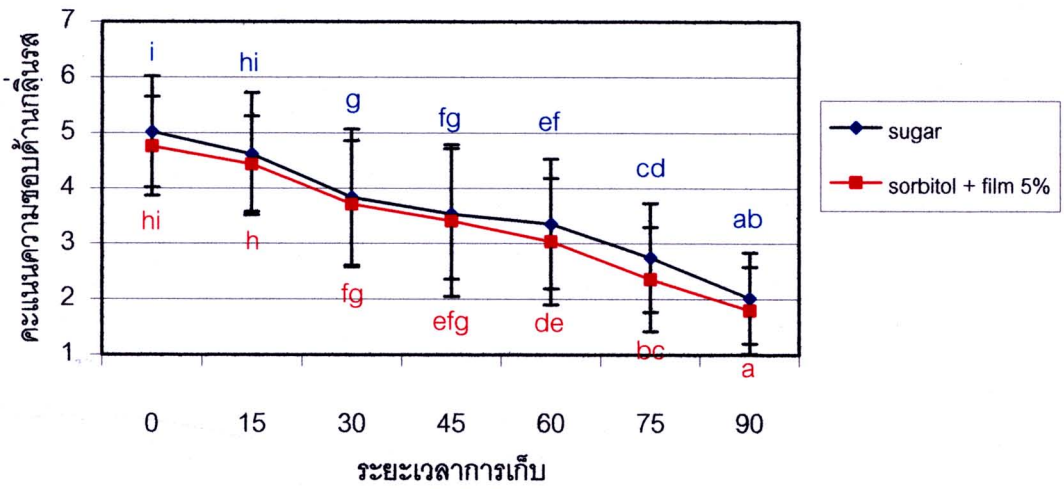
ตัวอย่างและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ซึ่งแสดงผลของคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสในรูปที่ 4.18 ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างกับระยะเวลาการเก็บ (AxB) มีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ดังแสดงผลในรูปที่ 4.19 และมีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงผลในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.17 คะแนนความชอบสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

คะแนนความชอบสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดผ่านกระบวนการทอดที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการทอดเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งลดลงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากค่า a_w ของแผ่นแป้งชั้นที่ 1 เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2) และยังมีการแพร่ผ่านของน้ำจากไส้ออกไปยังแผ่นแป้งด้านนอกอยู่ ดังนั้นปริมาณน้ำในแผ่นแป้งด้านนอกที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้สีที่เปลือกซีดจางลงเล็กน้อยได้ ส่งผลให้คะแนนความชอบสีที่เปลือกของผลิตภัณฑ์ลดลง

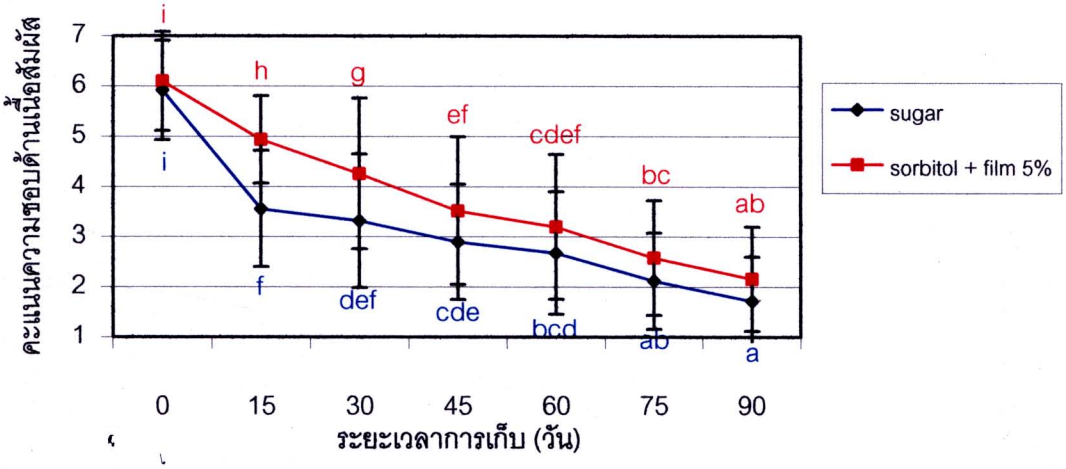


รูปที่ 4.18 คุณแนนความชอบกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของตัวอย่างทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 22) และจากรูปที่ 4.18 พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่าง sorbitol +film 5% มีคะแนนความชอบทางด้านนี้ต่ำกว่าตัวอย่าง sugar ที่เวลาการเก็บเท่ากัน เนื่องจากการใช้ sorbitol ไปแทนที่น้ำตาลในสูตร ทำให้ไส้ปอเปี๊ยะที่ได้มีรสหวานน้อยลงและรสเค็มมากขึ้น และการใช้ WPI film เคลือบแผ่นแป้งชั้นในสุดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีมวลและพื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้น อาจทำให้เกิดออกซิเดชันได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์มากกว่าในตัวอย่าง sugar ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนกลิ่นหืนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บมากขึ้น (รูปที่ 4.12) โดยผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บไว้นาน 30 วัน (คะแนนความชอบต่ำกว่า 4 คะแนน) และจากผลการวัดปริมาณ PV (รูปที่ 4.1) พบว่าค่า PV ของตัวอย่างทั้งสองชนิด ที่ระยะเวลาการเก็บ 30 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นสูงมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเก็บ 15 วัน (จาก 9.69 และ 10.83 meq/kg เป็น 36.09 และ 39.93 meq/kg ของตัวอย่าง sugar และ sorbitol + film 5% ตามลำดับ) (ตารางที่ จ. 1; ภาคผนวก) ซึ่ง Akubor และ Adejo (2000) รายงานว่า กลิ่นหืนของอาหารทั่วไปจะเกิดขึ้นเมื่อค่า PV เป็น 30 meq/kg ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Grosso และ Resurreccion (2002) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับของผู้บริโภค การทดสอบทางประสาทสัมผัส และการวัดปริมาณ hexanal ใน roasted peanuts และ cracker-coated

peanuts พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง เนื่องจากมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น

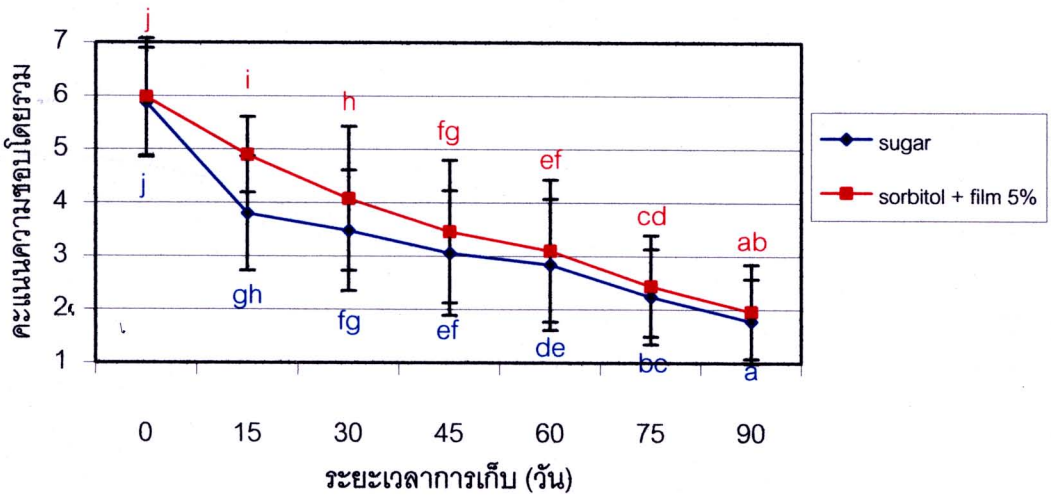


รูปที่ 4.19 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากรูปที่ 4.19 พบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่-เยือกแข็งทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ความชอบด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าลดลง โดยตัวอย่าง sorbitol + film 5% จะมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าตัวอย่าง sugar ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน และคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง sugar ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาการเก็บเป็น 15 วัน ซึ่งมีคะแนนความชอบด้านนี้ต่ำกว่า 4 คะแนน (ผู้ทดสอบเริ่มไม่ยอมรับคุณลักษณะด้านนี้ของผลิตภัณฑ์) ในขณะที่ตัวอย่าง sorbitol + film 5% คะแนนความกรอบจะลดลงค่อนข้างคงที่ และมีคะแนนต่ำกว่า 4 คะแนน เมื่อเวลาในการเก็บเป็น 45 วัน และเมื่อพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.15 และ 4.16) พบว่าผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกัน คือ เมื่อคะแนนความกรอบซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดและคะแนนความแข็งลดลง คะแนนความชอบทางเนื้อสัมผัสจะลดลงตาม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Akubor และ Adejo (2002) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ จุลชีววิทยาและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ plantain chips ที่เก็บที่อุณหภูมิ 30$\pm$2 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน และพบว่า ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น เพราะผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากบรรยากาศ และ Lee และ Resurreccion

(2006) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ถั่วคั่ว (roasted peanuts) ที่มีต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่า เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w สูงขึ้น ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสลดลง



รูปที่ 4.20 คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีและไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วย sorbitol และ WPI film และเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาต่างๆ (ประเมินโดยผู้บริโภค)

a,b,... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.20 พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะทอดแช่เยือกแข็งทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าความชอบโดยรวมของตัวอย่างทั้งสองชนิดมีค่าลดลง โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 1.78-5.98 (ตารางที่ จ.20; ภาคผนวก) ตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าตัวอย่าง sugar ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน ซึ่งคะแนนความชอบโดยรวมอาจได้รับอิทธิพลจากความชอบทางเนื้อสัมผัสมากกว่าความชอบทางด้านกลิ่นรส เนื่องจากคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่าง sorbitol + film 5% มากกว่าตัวอย่าง sugar เช่นเดียวกันกับคะแนนความชอบทางเนื้อสัมผัส แต่ตรงข้ามกับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสที่ตัวอย่าง sorbitol + film 5% มีคะแนนน้อยกว่าตัวอย่าง sugar

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่าง sugar ซึ่งไม่มีการปรับปรุงคุณภาพมีค่ากายภาพทางด้านเนื้อสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว และผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมของ

ผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 4 เมื่อมีอายุการเก็บเพียง 15 วัน ในขณะที่ผู้ทดสอบจะไม่ยอมรับตัวอย่าง sorbitol + film 5% เมื่อมีอายุการเก็บ 30 วัน ดังนั้นการใช้ sorbitol ร่วมกับ WPI film จึงสามารถยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้

ในงานวิจัยนี้ไม่มีการศึกษาทางจุลชีววิทยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการทอดที่มีความร้อนสูง (อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส) อาจทำให้จำนวนเชื้อเริ่มต้นต่ำ นอกจากนี้การเก็บผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ยังช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Geiges, 1996) งานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสทั้งที่ประเมินโดยเครื่องมือทางกายภาพ (texture profiles) และโดยผู้ประเมินทางประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค