บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาระยะเวลาในการอบสุกบางส่วน (part-baking) และการอบซ้ำ (post-baking) ต่อคุณภาพของขนมปังซอฟต์โรลล์

จากการทดลองเตรียมขนมปังซอฟต์โรลล์โดยใช้ระยะเวลาการอบสุกบางส่วนแตกต่างกัน คือ 5, 8 และ 11 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส หลังจากแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน นำขนมปังดังกล่าวมาอบซ้ำที่อุณหภูมิเดียวกันกับการอบครั้งแรก โดยกำหนดให้ระยะเวลารวมของการอบครั้งแรกและการอบซ้ำเท่ากับ 14 นาที ดังนั้นระยะเวลาในการอบซ้ำจึงเท่ากับ 9, 6 และ 3 นาที ตามลำดับ เมื่อพักให้ขนมปังเย็นตัวลงแล้ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ขนมปังที่อบสุกเต็มที่ใช้เวลา 14 นาที โดยไม่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็ง) ผลการทดลองมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.5

4.1.1 การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ และค่าความชื้น

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำก้อนโดเข้าอบครั้งแรกหรือขั้นตอนการอบสุกบางส่วนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5, 8 และ 11 นาที จะมีผลทำให้การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่การอบสุกบางส่วนเป็นเวลา 5 นาที จะมีการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบน้อยที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบสุกบางส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 11 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ในก้อนโดเกิดการระเหยมากขึ้น โดยเมื่อเริ่มใส่ขนมปังเข้าไปในเตาอบ ความชื้นที่ผิวของ ขนมปังจะระเหยออกไปเนื่องจากความร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำขึ้น ความชื้นภายในจะเคลื่อนออกมาสู่ผิวนอก ในขณะเดียวกันความชื้นที่ผิวก็ระเหยออกไปตลอดเวลา (วิไล, 2547) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karaoglu และ Kotancila (2006) ที่รายงานว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของขนมปังขาว (white pan bread) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการอบสุกบางส่วนที่ระยะเวลานานขึ้น และใช้เวลาในการอบซ้ำสั้นลงจะมีผลทำให้ขนมปังมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดหลังการอบซ้ำต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

นอกจากนี้ ความชื้นของตัวอย่างขนมปังที่ได้หลังการอบซ้ำจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สอดคล้องกับร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการ

อบสุกบางส่วนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความชื้นของตัวอย่างขนมปังอบสุกบางส่วนแช่แข็ง (ร้อยละ 28.73 – 29.60) มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 28.94)

ตารางที่ 4.1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ และค่าความชื้นขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง ที่ใช้ระยะเวลาในการอบแตกต่างกัน

ระยะเวลา (นาที)		การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบสุกบางส่วน (ร้อยละ)	การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำ (ร้อยละ)	ความชื้นของขนมปังหลังการอบซ้ำ (ร้อยละ)
อบสุกบางส่วน	อบซ้ำ			
5	9	$7.14^{d} \pm 0.53$	$14.57^{a} \pm 0.4$	$28.73^{b} \pm 0.44$
8	6	$10.76^{c} \pm 0.41$	$13.74^{b} \pm 0.62$	$29.60^{a} \pm 0.67$
11	3	$13.23^{b} \pm 0.93$	$14.29^{a} \pm 1.39$	$29.02^{b} \pm 0.52$
14 (ตัวอย่างควบคุม) *	-	$14.56^{a} \pm 0.45$	-	$28.94^{b} \pm 0.79$

หมายเหตุ : a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

4.1.2 ปริมาตรจำเพาะ และความแข็งของเนื้อขนมปัง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาตรจำเพาะ และความแข็งของเนื้อขนมปังซอฟต์โรลล์ที่ได้เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบสุกบางส่วนและการอบซ้ำแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าขนมปังซอฟต์โรลล์ อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ใช้ระยะเวลาและวิธีอบต่างกัน มีค่าปริมาตรจำเพาะหลังการอบซ้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Carr และคณะ (2006) ซึ่งรายงานว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังฝรั่งเศสอบสุกบางส่วนแช่แข็งมีค่าน้อยกว่าขนมปังฝรั่งเศสที่อบแบบขั้นตอนเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่แข็งมีผลทำให้ผลึกน้ำแข็งทำลายโครงสร้างของขนมปัง (Carr และ Tadini, 2003) จากการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง โดยการแช่แข็งอย่างช้าๆ ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะเกิดที่บริเวณภายนอกเซลล์ (extracellular) น้ำภายในเซลล์จะถูกดึงมาเพิ่มขนาดของผลึกที่ภายนอกเซลล์เป็นผลให้เซลล์หดตัวลดขนาดลงและได้รับความเสียหาย เมื่อเซลล์ถูกทำลายเซลล์จะมีรูปร่างและความแข็งแรงไม่เหมือนเดิม (Hsuและคณะ,1970 อ้างโดย อัมพวัน,2547)

สำหรับค่าความแข็งของเนื้อขนมปังพบว่าการอบสุกบางส่วนที่ 5 นาที (อบซ้ำ 9 นาที) จะมีผลทำให้เนื้อขนมปังมีค่าความแข็งสูงที่สุด ในขณะที่ระยะเวลาการอบสุกบางส่วนที่นานขึ้นเป็น 8 นาที (อบซ้ำ 6 นาที) ขนมปังที่ได้จะมีแนวโน้มของค่าความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการอบสุกบางส่วนเพิ่มเป็น 11 นาที (อบซ้ำ

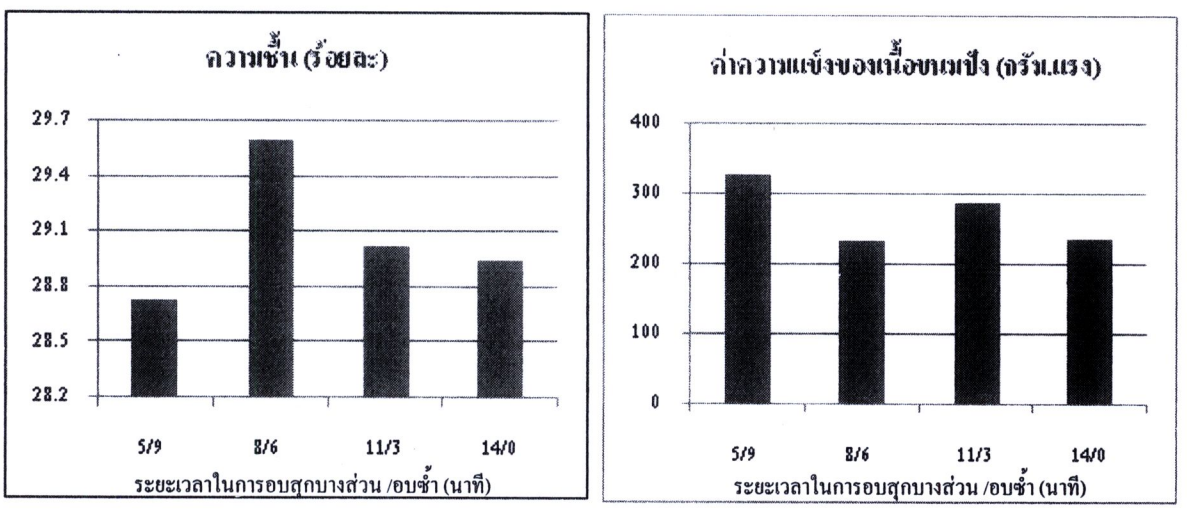
3 นาที) ค่าความแข็งของเนื้อขนมปังจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีก จากภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของขนมปังและค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความชื้นของขนมปังเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความแข็งของเนื้อขนมปังต่ำลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ He และ Hoseney (1990) ที่รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งของเนื้อขนมปังเกี่ยวข้องกับการลดลงของความชื้น โดยจะแปรผกผันกัน

ตารางที่ 4.2 ค่าปริมาตรจำเพาะ และความแน่นแข็งของเนื้อของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน

ระยะเวลา (นาที)		ค่าปริมาตรจำเพาะ	ความแข็งของเนื้อ
อบสุกบางส่วน	อบซ้ำ	(ลบ.ซม./กรัม)	ขนมปัง (กรัม/แรง)
5	9	$3.76^{c} \pm 0.11$	$326.99^{a} \pm 39.96$
8	6	$3.93^{b} \pm 0.08$	$231.70^{c} \pm 24.55$
11	3	$3.93^{b} \pm 0.06$	$287.48^{b} \pm 29.31$
14 (ตัวอย่างควบคุม) *	-	$4.01^{a} \pm 0.07$	$235.81^{c} \pm 28.43$

หมายเหตุ : a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที



ภาพที่ 4.1 ผลของระยะเวลาในการอบสุกบางส่วนและการอบซ้ำ ต่อค่าความชื้นและค่าความแข็งของเนื้อขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง

4.1.3 ค่าสีของเปลือก

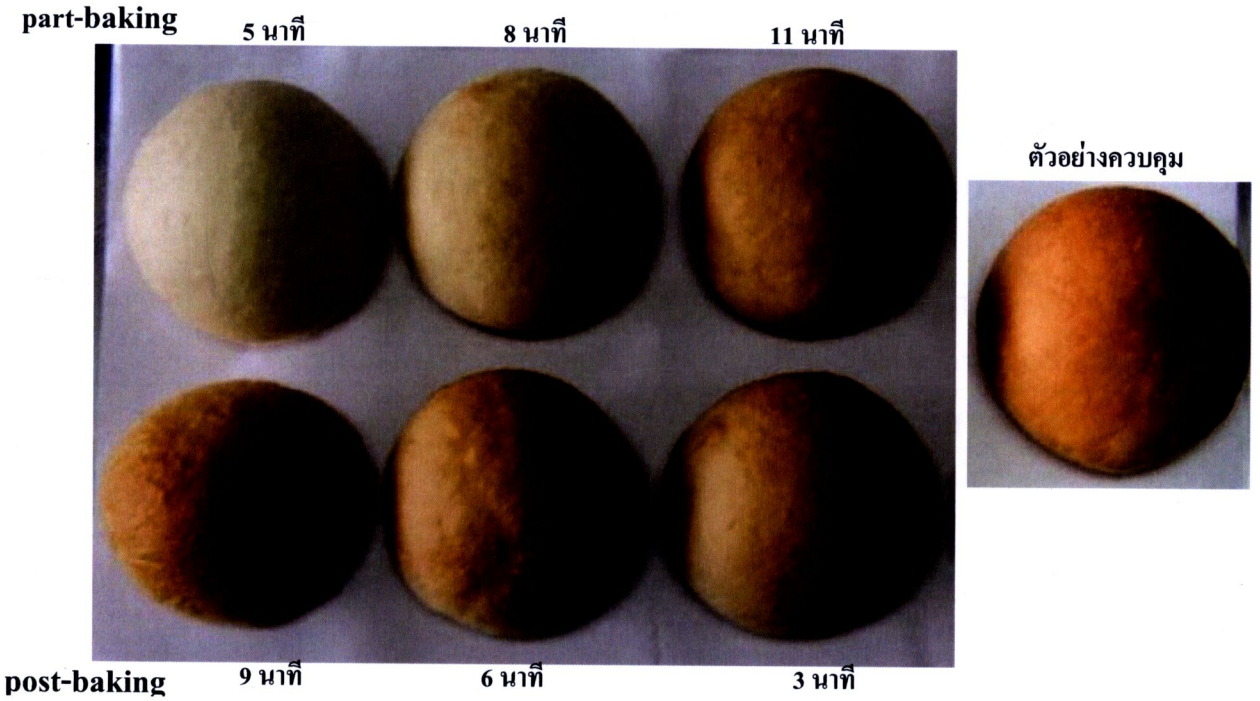
เมื่อพิจารณาค่าสีของเปลือกขนมปังอบสุกบางส่วนแช่แข็งหลังการอบซ้ำเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ตารางที่ 4.3) จะเห็นว่าระยะเวลาการอบสุกบางส่วนที่ 8 นาที และ 11 นาที จะได้ขนมปังที่มีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) หลังการอบซ้ำไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ตัวอย่างขนมปังที่อบสุกบางส่วนที่ระยะเวลา 5 นาที (อบซ้ำ 9 นาที) จะมีสีเข้มที่สุด (ภาพที่ 4.2) ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีคือ มีค่าความสว่างต่ำที่สุด และมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองสูงที่สุด

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของเปลือกขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน

ระยะเวลา (นาที)				
อบสุกบางส่วน	อบซ้ำ	L*	a*	b*
5	9	64.93^{b} ±5.0	16.24^{a} ±2.05	37.51^{a} ±1.30
8	6	68.90^{a} ±3.46	13.64^{c} ±1.36	36.22^{b} ±1.18
11	3	67.45^{a} ±2.33	14.96^{b} ±1.42	35.88^{b} ±1.08
14 (ตัวอย่างควบคุม) *	-	66.96^{a} ±2.43	15.65^{ab} ±0.98	36.27^{b} ±1.23

หมายเหตุ : a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที



ภาพที่ 4.2 ผลของระยะเวลาในการอบสุกบางส่วนและการอบซ้ำต่อสีเปลือกและลักษณะปรากฏของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง

หมายเหตุ : ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

4.1.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง

จากการทดสอบความชอบของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ใช้ระยะเวลาในการอบต่างกันซึ่งมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 4.1 โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าคะแนนความชอบปัจจัยด้านกลิ่นรสของขนมปังทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$) ตัวอย่างขนมปังที่อบสุกบางส่วนเป็นเวลา 5 นาที (อบซ้ำ 9 นาที) จะมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีของเปลือก เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่ำที่สุด ($p\leq0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ใช้เวลาอบสุกบางส่วน 8 นาที (อบซ้ำ 6 นาที) มีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด โดยคะแนนความชอบในทุกปัจจัยจะอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fik และ Surowka (2002) ศึกษาผลของการอบสุกบางส่วนและการเก็บรักษาแบบแช่แข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังโดยการอบสุกบางส่วนจะใช้เวลา 25 และ 15 นาที (คิดเป็น 71

และ 43 เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาการอบทั้งหมด) พบว่าระยะเวลาการอบสุกบางส่วนมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยระยะเวลาการอบสุกบางส่วน 71 เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาการอบทั้งหมด ได้ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสดีกว่าการอบสุกบางส่วน 43 เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาการอบทั้งหมด และมีค่าใกล้เคียงกับขนมปังอบสุกแบบขั้นตอนเดียว

ตารางที่ 4.4 การทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนนของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน

ระยะเวลา (นาที)		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
อบสุกบางส่วน	อบซ้ำ	ลักษณะปรากฏ	สีเปลือก	กลิ่นรส(ns)	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
5	9	$3.90^{b} \pm 1.47$	$4.47^{b} \pm 1.68$	3.90 ± 1.17	$3.93^{b} \pm 1.51$	$4.27^{b} \pm 1.52$
8	6	$5.10^{a} \pm 1.39$	$5.30^{a} \pm 1.47$	4.13 ± 1.31	$4.57^{a} \pm 1.76$	$5.00^{a} \pm 1.26$
11	3	$4.93^{a} \pm 1.08$	$5.10^{ab} \pm 0.92$	4.13 ± 0.94	$4.67^{a} \pm 1.77$	$4.90^{ab} \pm 1.37$
14 (ตัวอย่างควบคุม) *	-	$5.17^{a} \pm 0.95$	$5.33^{a} \pm 0.96$	4.37 ± 1.52	$4.53^{a} \pm 1.41$	$5.03^{a} \pm 1.51$

หมายเหตุ : ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

ในการผลิตขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบสุกบางส่วนก่อนการแช่แข็งมีผลต่อคุณภาพของขนมปังที่ได้หลังการอบซ้ำ จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง จึงสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง คือ ใช้ระยะเวลาในการอบสุกบางส่วนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาที (คิดเป็นระยะเวลา 57 เปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดที่ใช้การอบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียว และระยะเวลาในการอบซ้ำก่อนเสิร์ฟ 6 นาที โดยจะได้ขนมปังซอฟต์โรลล์ที่มีคุณภาพโดยรวมใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้วิธีอบสุกขั้นตอนเดียว

4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็ง

จากการทดลองเตรียมขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วน โดยใช้ระยะเวลาในการอบสุก

บางส่วน 8 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างขนมปังที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทุกสัปดาห์นำตัวอย่างที่ได้หลังการอบซ้ำเป็นเวลา 6 นาทีไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ขนมปังที่อบสุกเต็มที่ใช้เวลา 14 นาที โดยไม่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็ง) ผลการทดลองมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.5-4.8

4.2.1 การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ และค่าความชื้น

จากการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียน้ำหนักและความชื้นหลังการอบซ้ำของตัวอย่างขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าการสูญเสียน้ำหนัก และค่าความชื้นของตัวอย่างขนมปังในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.5 ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Bonnardel และคณะ (1990) อ้างโดย Carr และ Tadini (2003) ซึ่งพบว่าขนมปังฝรั่งเศษที่อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นหลังการอบซ้ำ อย่างไรก็ตาม Vulicevic และคณะ (2003) รายงานว่าความชื้นของขนมปังอบสุกบางส่วนแช่แข็งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษา ต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำ ในทางทฤษฎีเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำของขนมปังน่าจะมีค่าสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้อธิบายได้ว่าในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่แข็ง ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มเสถียรภาพ Reid (1993) อ้างโดย วรัญญา (2540) ตามปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Ostwald ripening ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่จึงส่งผลต่อการทำลายโครงสร้างเซลล์หรือเนื้อเยื่อของอาหาร ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการระเหยของน้ำในระหว่างการอบซ้ำมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ในการทดลองนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นและการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำของตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ศึกษา 4 สัปดาห์ ยังไม่นานพอที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองดังกล่าวอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.5 การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ และค่าความชื้นของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง

ระยะเวลา(สัปดาห์)	การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำ (ns) (ร้อยละ)	ความชื้นของขนมปังหลังการอบซ้ำ (ns) (ร้อยละ)
0 (ตัวอย่างควบคุม)*	13.72 ± 0.78	29.29 ± 0.94
1	13.53 ± 0.85	30.19 ± 0.89
2	13.32 ± 1.19	30.38 ± 0.58
3	13.73 ± 0.86	29.89 ± 1.44
4	13.82 ± 0.67	29.44 ± 1.25

หมายเหตุ : ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

4.2.2 ปริมาตรจำเพาะ และค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วน ในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.6) จะเห็นได้ว่าค่าปริมาตรจำเพาะของตัวอย่างที่เก็บรักษาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย สำหรับค่าความแข็งของเนื้อขนมปังพบว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Barcenas และคณะ (2004) ซึ่งรายงานว่าค่าความแข็งของเนื้อขนมปังอบสุกบางส่วนแช่แข็งหลังจากอบซ้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามตัวอย่างขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนในการทดลองนี้มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง

ระยะเวลา(สัปดาห์)	ค่าปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ซม./กรัม)	ความแข็งของเนื้อขนมปัง (กรัม/แรง)
0 (ตัวอย่างควบคุม)*	$4.11^{a} \pm 0.19$	$216.00^{ab} \pm 16.80$
1	$3.95^{b} \pm 0.16$	$211.72^{b} \pm 13.26$
2	$3.92^{b} \pm 0.20$	$213.94^{b} \pm 14.41$
3	$3.89^{b} \pm 0.25$	$226.36^{a} \pm 22.07$
4	$3.91^{b} \pm 0.18$	$227.09^{a} \pm 21.37$

หมายเหตุ : a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

4.2.3 ค่าสีของเปลือกขนมปัง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเปลือกขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนในระหว่างการเก็บรักษาโดยสภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.7) จะเห็นได้ว่าค่าความสว่าง(L*) และค่าสีเหลือง(b*) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ค่าสีแดง(a*) จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของเปลือกขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง

ระยะเวลา(สัปดาห์)	L*(ns)	a*	b*(ns)
0 (ตัวอย่างควบคุม)*	65.93 ± 1.95	$16.09^{a} \pm 0.69$	36.67 ± 1.62
1	66.27 ± 1.94	$15.16^{b} \pm 1.76$	36.36 ± 1.53
2	66.35 ± 2.08	$15.22^{b} \pm 1.54$	36.41 ± 1.32
3	66.12 ± 2.11	$15.85^{ab} \pm 1.40$	36.45 ± 1.38
4	66.16 ± 2.44	$15.75^{ab} \pm 1.44$	36.50 ± 1.34

หมายเหตุ : ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่ แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

4.2.4 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าคะแนนความชอบของปัจจัยด้านสีของเปลือกและกลิ่นของขนมปังทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น โดยคะแนนความชอบของตัวอย่างควบคุมจะอยู่ในระดับชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างขนมปังอบสุกบางส่วนแช่แข็งจะได้คะแนนความชอบของปัจจัยทั้งสองดังกล่าวอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย สำหรับความชอบโดยรวมพบว่ามีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ ถึงแม้ว่าคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างควบคุมจะได้รับคะแนนสูงกว่าก็ตาม

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนสามารถเก็บได้ในสภาวะแช่แข็งอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยที่คุณภาพทางด้านกายภาพและทางประสาทสัมผัสของขนมปังหลังการอบซ้ำยังคงใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งที่ใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ	สีเปลือก(ns)	กลิ่นรส(ns)	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
0(ตัวอย่างควบคุม)	6.07^{a} ±1.34	5.17 ± 1.72	5.00 ± 1.55	5.98^{a} ± 1.06	6.17^{a} ±0.87
1	5.41^{ab} ± 1.40	5.22 ± 1.71	4.90 ± 1.06	5.53^{ab} ± 1.55	5.27^{b} ±1.39
2	5.47^{ab} ± 1.14	5.27 ± 1.39	5.00 ± 1.02	5.10^{bc} ± 1.83	5.32^{b} ± 1.97
3	5.23^{b} ± 1.50	5.12 ±1.36	4.83 ± 1.23	4.60^{c} ± 1.10	5.25^{b} ± 1.06
4	5.01^{b} ± 1.61	5.20 ±1.13	5.03 ± 1.65	4.67^{c} ± 1.86	5.13^{b} ± 1.31

หมายเหตุ : ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที

4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งหลังการอบซ้ำ ในระหว่างการรอให้บริการ

จากการทดลองเตรียมขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนโดยใช้ระยะเวลาในการอบสุกบางส่วน 8 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างขนมปังที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทุกสัปดาห์นำตัวอย่างที่ได้มาอบซ้ำเป็นเวลา 6 นาที หลังจากการอบซ้ำและพักบนตะแกรงเป็นเวลา 30, 60, 120 และ 180 นาที นำขนมปังที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ คือ การสูญเสียน้ำหนักและค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ขนมปังที่อบสุกเต็มที่ใช้เวลา 14 นาที โดยไม่ผ่านขั้นตอนการแช่แข็ง) ผลการทดลองมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.9 - 4.10

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9, 4.10 และ ภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าทั้งตัวอย่างควบคุมตัวอย่างขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งหลังการอบซ้ำและพักไว้บนตะแกรงเป็นระยะเวลาต่างๆกัน จะมีแนวโน้มของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก และค่าความแข็งของเนื้อขนมปังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการรอให้บริการนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการพักขนมปังไว้บนตะแกรงจะทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นจากผิวขนมปัง นอกจากนี้ตัวอย่างขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนที่เก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งเป็นระยะเวลานานขึ้น การสูญเสียน้ำหนักและค่าความแข็งของเนื้อขนมปังหลังการอบซ้ำจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการพักรอให้บริการ อย่างไรก็ตาม ค่าการสูญเสียน้ำหนักและค่าความแข็งของเนื้อขนมปังของตัวอย่างขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนที่เก็บรักษาไว้ 1-4 สัปดาห์มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม เมื่อพักบนตะแกรงหลังการอบซ้ำไม่เกิน 60 นาที

ตารางที่ 4.9 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำของขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งในระหว่างรอให้บริการ

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	การสูญเสียน้ำหนักหลังการอบซ้ำ (ร้อยละ) และพักบนตะแกรง			
	30 นาที	60 นาที	120 นาที	180 นาที
0 (*ตัวอย่างควบคุม)	12.35 ±1.46	12.82 ±1.44	13.37 ±1.46	13.89 ±1.47
	a (C)	ab (BC)	a (AB)	b (A)
1	11.62 ±0.77	12.30 ±0.79	12.79 ±1.00	13.44 ±1.17
	b (C)	b (B)	b (B)	b (A)
2	12.31 ±0.62	12.75 ±0.82	13.42 ±0.83	13.89 ±1.55
	a (B)	ab (B)	a (A)	b (A)
3	12.35 ±0.52	12.72 ±0.45	13.63 ±0.67	14.80 ±0.62
	a (D)	ab (C)	a (B)	a (A)
4	12.64 ±1.10	13.24 ±1.14	13.94 ±1.19	14.98 ±1.27
	a (C)	a (BC)	a (B)	a (A)

หมายเหตุ : a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็งและ ใช้การอบที่ 200องศาเซลเซียส เวลา 14 นาที

ตารางที่ 4.10 ความแข็งของเนื้อขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งหลังการอบซ้ำระหว่างรอให้บริการ

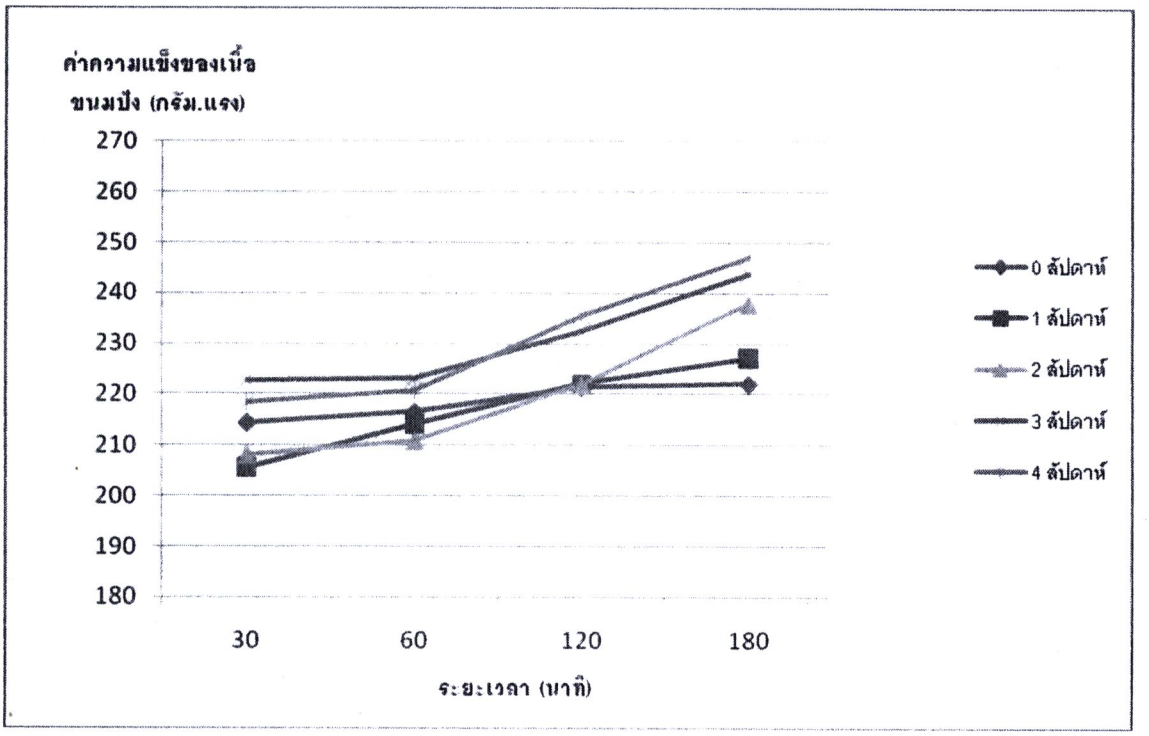
ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง (กรัม.แรง)			
	30 นาที	60 นาที	120 นาที	180 นาที
0 (*ตัวอย่างควบคุม)	214.52 ±16.00	216.60 ±10.72	221.42 ±11.95	222.15 ±12.07
	ab (NS)	abc	b	b
1	205.63 ±15.02	214.20 ±14.90	222.12 ±13.85	227.33 ±21.16
	b (C)	bc (BC)	b (AB)	b (A)
2	208.16 ± 8.93	210.91 ±11.12	221.93 ±10.35	237.96 ±18.60
	b (C)	c (C)	b (B)	a (A)
3	222.81 ±10.04	223.12 ± 7.85	232.50 ±14.17	243.86 ±19.31
	a (C)	a (C)	a (B)	a (A)
4	218.37 ±16.25	220.67 ± 5.84	235.64 ±12.80	247.21 ± 8.19
	a (C)	ab (C)	a (B)	a (A)

หมายเหตุ : a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตาม*แนวตั้ง*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตาม*แนวนอน*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

*ตัวอย่างควบคุม หมายถึงตัวอย่างขนมปังที่อบสุกเต็มที่ขั้นตอนเดียวโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง และใช้การอบที่ 200 องศาเซลเซียส เวลา14 นาที



ภาพที่ 4.3 ค่าความแข็งของเนื้อขนมปังซอฟต์โรลล์อบสุกบางส่วนแช่แข็งหลังการอบซ้ำระหว่างรอให้บริการ