บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลของการให้ความร้อนก่อนแช่เยือกแข็งและทำละลายต่อคุณภาพกะหรี่ปั๊ป

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

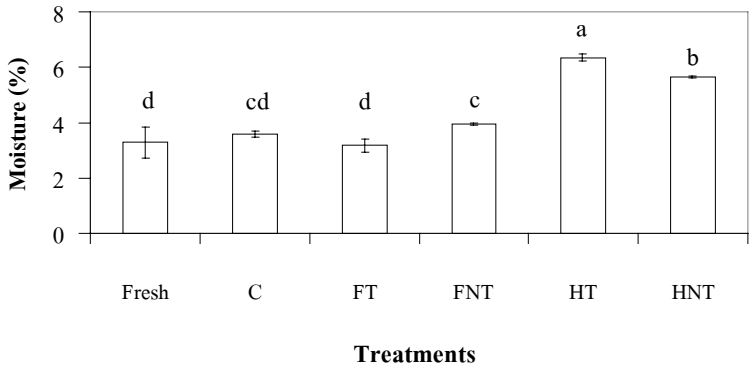
เตรียมกะหรี่ปั๊ปจากวิธีการทดลองในข้อ 1 นำมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14±1 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ค่าต้านแรงกด และค่าสีของเปลือกกะหรี่ปั๊ป

1.1.1 ความชื้น

เมื่อนำชิ้นกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้นมาทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที แล้วนำเปลือกมาวิเคราะห์หาความชื้น พบว่า เปลือกของกะหรี่ปั๊ปมีความชื้นร้อยละ 3.25 แต่เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดและทอดมาเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง พบว่า กะหรี่ปั๊ปสดและชุดควบคุมมีความชื้นไม่แตกต่างจากกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบกะหรี่ปั๊ปสดและทอดภายหลังการเก็บรักษา พบว่า กะหรี่ปั๊ปสดมีความชื้นต่ำกว่ากะหรี่ปั๊ปทอด โดยกะหรี่ปั๊ปสดที่ทำละลายมีความชื้นต่ำกว่ากะหรี่ปั๊ปสดไม่ที่ทำละลาย เนื่องจากการทำละลายก่อนทอดทำให้ขณะที่ทำการทอดความชื้นสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้มากกว่า เพราะถ้าชิ้นกะหรี่ปั๊ปมีผลึกน้ำแข็ง เปลือกที่อยู่ภายนอกสุดจะเกิดเป็นเปลือกแข็งก่อนที่น้ำแข็งจะละลาย ความชื้นจากเปลือกจึงเคลื่อนที่ออกไปได้น้อย และไอน้ำจากไส้จะมาสะสมที่เปลือก ความชื้นจึงเพิ่มขึ้น ขณะที่กะหรี่ปั๊ปทอดที่ไม่ทำละลายมีความชื้นต่ำกว่ากะหรี่ปั๊ปทอดที่ทำละลาย เนื่องจากกะหรี่ปั๊ปทอดที่ไม่ทำละลายใช้อุณหภูมิในการอบนานกว่า

1.1.2 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)

เมื่อนำเปลือกของชิ้นกะหรี่ปั๊ปทุกชุดการทดลองมาวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี พบว่า ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น โดยตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำจะมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำด้วย ซึ่งกะหรี่ปั๊ปสดที่ทำละลายมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4545 ขณะที่กะหรี่ปั๊ปทอดที่ทำละลายมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6762



C = Uncooked curry puff storaged at 4°C (Control).

FT = Freezing uncooked curry puff is thawed before fring.

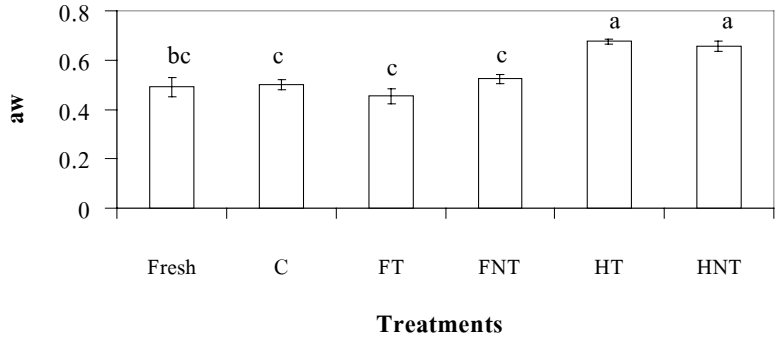
FNT = Freezing uncooked curry puff is not thawed before fring.

HT = Freezing fried curry puff is thawed before bake.

HNT = Freezing fried curry puff is not thawed before bake.

ภาพที่ 7 ความชื้นของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งภายหลังการอุ่น

Moisture of freezing uncooked and fried curry puff after warmed.
Letters show significant differences of mean among treatments (P<0.05).
Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

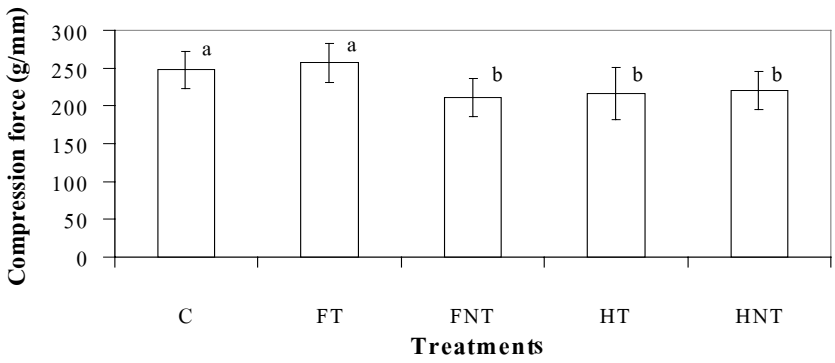


ภาพที่ 8 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งภายหลังการอุ่น

Water activity of freezing uncooked and fried curry puff after warmed.
Letters show significant differences of mean among treatments (P<0.05).
Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.
Abbreviations refer in figure 7

1.1.3 ค่าต้านแรงกดของเปลือกกะหรี่ปั๊ป

เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปแช่เยือกแข็งที่เตรียมจากกะหรี่ปั๊ปสด (ไม่ผ่านความร้อน) และกะหรี่ปั๊ปทอด มาวิเคราะห์ พบว่า การทำละลายมีผลต่อค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปสด แต่ไม่มีผลต่อกะหรี่ปั๊ปทอด เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดไปอุ่น กะหรี่ปั๊ปสดที่ทำละลายจะมีค่าต้านแรงกดสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปสดที่ไม่ทำละลาย แสดงดังภาพที่ 9 นอกจากนี้กะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการทำละลายมีค่าต้านแรงกดไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ขณะที่กะหรี่ปั๊ปทอดที่ผ่านและไม่ผ่านการทำละลายมีค่าต้านแรงกดต่ำกว่ากะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการทำละลาย และไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกะหรี่ปั๊ปสดที่ไม่ผ่านการทำละลาย กะหรี่ปั๊ปสดที่ทำละลายมีค่าต้านแรงกดสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปสดที่ไม่ผ่านการทำละลาย เนื่องจากกะหรี่ปั๊ปที่ไม่ทำละลายก่อนทอดจะทำให้ผิวภายนอกสุกเกิดเปลือกแข็งก่อนที่น้ำแข็งภายในชิ้นอาหารจะละลายหมด ความชื้นจึงถูกกักอยู่ภายในชิ้นอาหาร และภายหลังการทอดความชื้นภายในจะเคลื่อนที่มายังเปลือกซึ่งมีความชื้นต่ำ ความชื้นเหล่านั้นทำให้โครงสร้างของเปลือกกะหรี่ปั๊ปอ่อนแอลง และส่งผลให้ค่าต้านแรงกดลดลง ในขณะที่กะหรี่ปั๊ปที่ทำละลายด้วยตู้ไมโครเวฟก่อนทอด น้ำแข็งจะถูกทำละลายอย่างสมบูรณ์ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2539) เมื่อนำไปทอดความชื้นสามารถระเหยออกสู่ภายนอกได้ ส่วนการทำละลายกะหรี่ปั๊ปทอดไม่มีผลต่อค่าต้านแรงกด เนื่องจากก่อนการแช่เยือกแข็งกะหรี่ปั๊ปทอดผ่านการให้ความร้อนมาแล้ว จึงเกิดเปลือกแข็งห่อหุ้มโดยรอบ ดังนั้นความชื้นจึงถูกกักไว้ภายในชิ้นกะหรี่ปั๊ป เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปทอดที่ผ่านและไม่ผ่านการทำละลายไปอบจะทำให้ชิ้นกะหรี่ปั๊ปมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งความชื้นส่วนใหญ่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงความชื้นจะควบแน่นและสะสมอยู่ที่เปลือก นอกจากนี้ระยะเวลาการอบสั้นและอุณหภูมิขณะอบไม่สูงพอที่จะทำให้ความชื้นที่เปลือกระเหยได้มากพอที่จะทำให้เกิดความกรอบ ขณะที่การทอดใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้นก็สามารถทำให้ความชื้นส่วนใหญ่ระเหย Rice และ Gamble (1989) กล่าวว่า กระบวนการทอดทำให้น้ำอิสระที่ผิวหน้าจะระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ผิวหน้าแห้งและความชื้นภายในจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ



ภาพที่ 9 ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งภายหลังการอุ่น

Compression force of freezing uncooked and fried curry puff after warmed.
Letters show significant differences of mean among treatments ($P<0.05$).
Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.
Abbreviations refer in figure 7

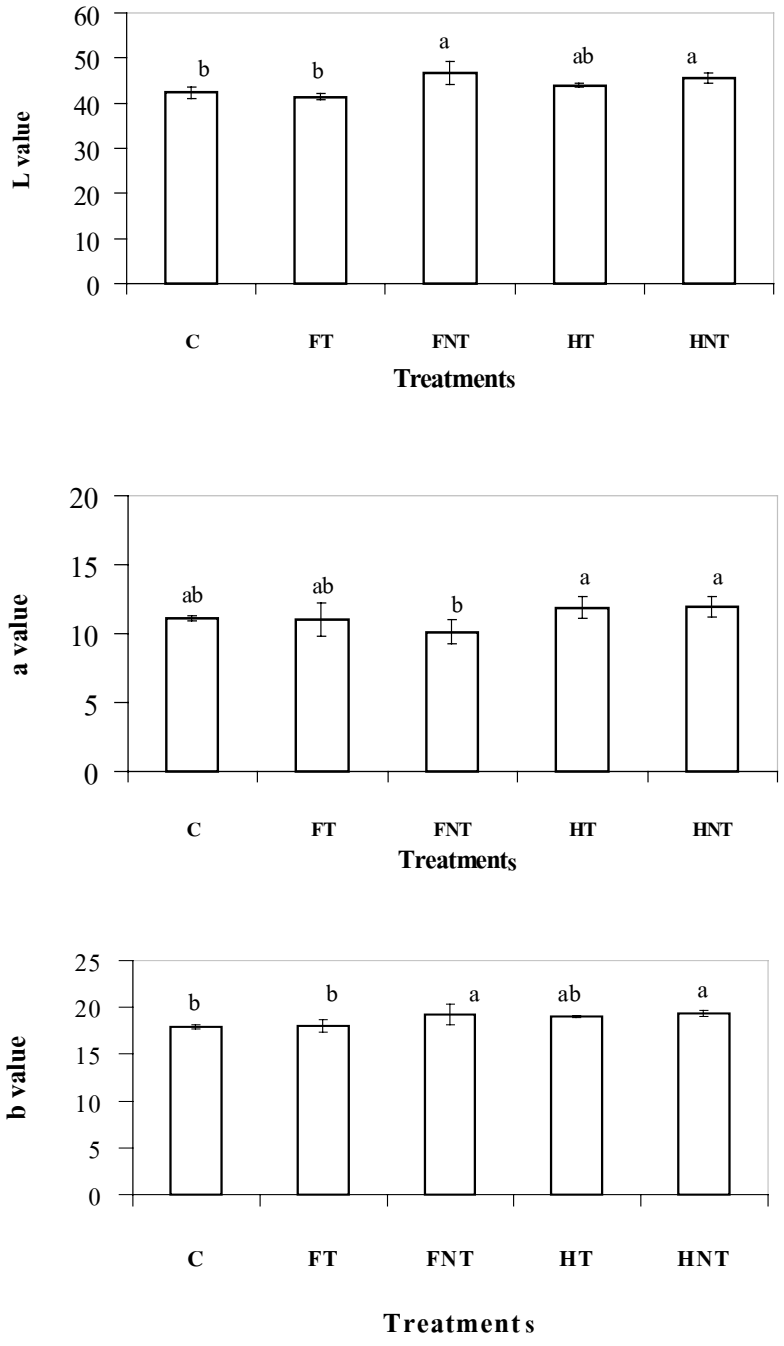
1.1.4 ค่าสี

การวัดค่าสีด้วยระบบ Hunter จะแสดงค่าสีด้วย L a และ b โดยค่า L แสดงค่าความสว่าง โดยมีค่าเริ่มจากความสว่างน้อยมีค่า L เท่ากับ 0 จนกระทั่งความสว่างมากที่สุดมีค่า L เท่ากับ 100 ส่วนค่า a หมายถึง ค่าสีแดงถึงสีเขียว เมื่อค่า a เป็นบวก แสดงค่าของสีแดง ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงค่าสีเขียว ในขณะที่ค่าสี b เป็นบวกแสดงค่าสีเหลือง เมื่อค่า b เป็นลบแสดงค่าสีน้ำเงิน เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดและทอดที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งแล้วมาอุ่นเพื่อวิเคราะห์ค่าสี พบว่า การให้ความร้อนก่อนแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อค่าสี (L, a และ b) ยกเว้นค่าสี a ของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดที่ไม่ผ่านการทำละลาย แสดงดังภาพที่ 10 ส่วนการทำละลายไม่มีผลต่อค่าสี (L, a และ b) ของกะหรี่ปั๊ปทอด แต่มีผลต่อกะหรี่ปั๊ปสด เนื่องจากกะหรี่ปั๊ปทอดที่ผ่านการทำละลายมีอุณหภูมิของชิ้นกะหรี่ปั๊ปก่อนอบสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปทอดที่ไม่ทำละลาย ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการอบจึงสั้นกว่ากะหรี่ปั๊ปทอดที่ไม่ทำละลาย ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเท่ากัน ขณะที่กะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการทำละลายจะมีสีเข้มกว่ากะหรี่ปั๊ปสดที่ไม่ผ่านการทำละลาย เนื่องจากการทำละลายมีผลให้อุณหภูมิของชิ้นกะหรี่ปั๊ปสูงขึ้น เมื่อจุ่มตัวอย่างลงในน้ำมันทำให้อุณหภูมิของน้ำมันลดลงน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำละลาย นอกจากนี้พบว่าชุดควบคุมซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการทำละลายมีค่าสีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ Loewe (1996) รายงานว่า ลักษณะของสีที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มด้วยแป้งที่

ผ่านการทอดขึ้นกับการดูดซับน้ำมัน ความหนาแน่น (บนพื้นฐานความหนาของแป้ง) และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของน้ำตาลรีดิวซ์กับแหล่งโปรตีน ในระหว่างการทอดผลิตภัณฑ์จะดูดซับน้ำมันไว้ระหว่างช่องว่างของโครงสร้าง สีของน้ำมันที่ดูดซับจึงปรากฏที่ผิวของตัวอย่าง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นของแป้งสูงจะทำให้น้ำมันแทรกไปตามช่องว่างได้น้อย ผิวที่อยู่ภายในได้รับความร้อนน้อยกว่าภายนอก จึงทำให้ผิวนอกเกิดการเปลี่ยนแปลงสีขณะที่ผิวที่ลึกลงไปเกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่า

1.2 คุณสมบัติทางเคมี

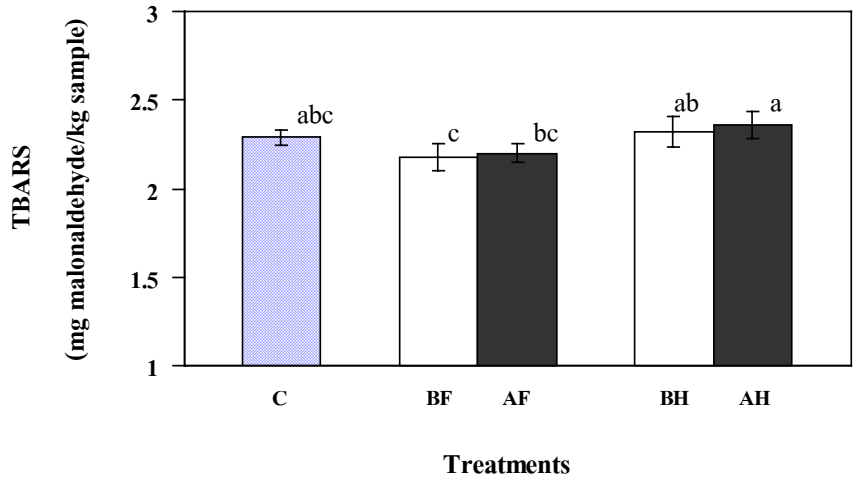
การวิเคราะห์ความหืนของลิปิดในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถทำได้โดยการตรวจวัดค่า TBARS เมื่อวิเคราะห์ค่า TBARS ของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสดและทอดเริ่มต้น พบว่า ค่า TBARS ของเปลือกกะหรี่ปั๊ปทอดมีค่าสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปสด แสดงดังภาพที่ 11 เนื่องจากความชื้นภายในชิ้นกะหรี่ปั๊ปจะระเหยขณะทอด และผลิตภัณฑ์เกิดการดูดซับน้ำมัน (Krokida *et al*., 2000) ส่งผลให้สัดส่วนของน้ำมันต่อเนื้อแป้งในกะหรี่ปั๊ปทอดสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปสด นอกจากนี้ความร้อนสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Nawar, 1996) เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปทั้งสองชนิดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14±1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า ค่า TBARS ของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสดและทอดไม่เปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของแต่ละตัวอย่าง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาสั้นๆ ทั้งที่อุณหภูมิ 4 และ –18 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นหืน ส่วนค่า TBARS ของไส้กะหรี่ปั๊ปสดและทอดก่อนและภายหลังเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งและชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเนยสดเป็นลิปิดในไส้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 66 (สวนิต อ่อนรุ่งเรือง, 2535; Christensen and Holmer, 1996b) จึงมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



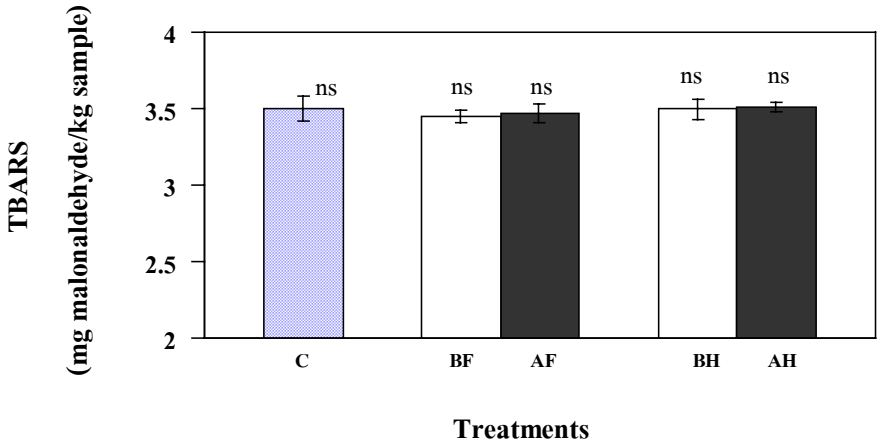
ภาพที่ 10 ค่าสีของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งภายหลังการอุ่น

L, a and b value of freezing uncooked and fried curry puff after warmed. Letters show significant differences of mean among treatments ($P<0.05$). Bars represent the standard deviation of triplicate determinations. Abbreviations refer in figure 7

A)



B)



BF	=	Fresh uncooked curry puff.
BH	=	Fresh fried curry puff.
C	=	Uncooked curry puff storaged at 4°C (Control).
AF	=	Freezing uncooked curry puff is storaged at -18°C.
AH	=	Freezing fried curry puff is storaged at -18°C.

ภาพที่ 11 ค่า TBARS ของเปลือก (A) และไส้ (B) ของกะหรี่ปั๊ปก่อนและภายหลังเก็บรักษา

TBARS value of crust and filling from curry puff before and after storage.

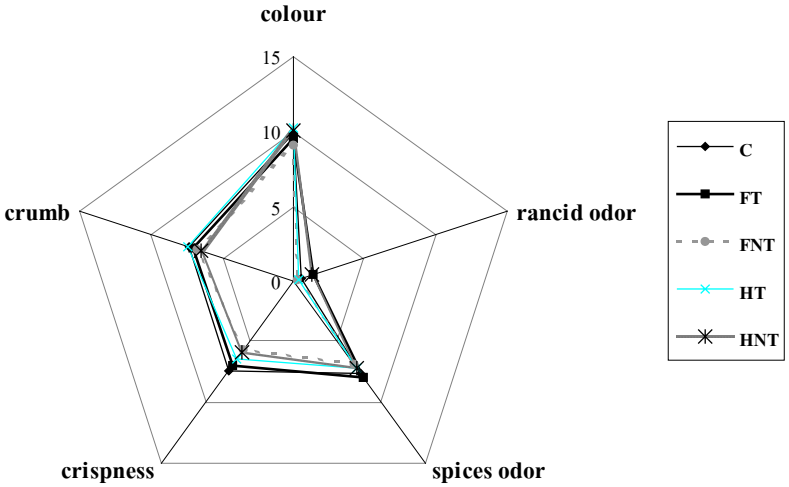
Letters show significant differences of mean among treatments ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ

ภาพที่ 12 แสดงคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งโดยภายหลังอุ่น พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณกลิ่นหืน กลิ่นเครื่องเทศ และความร่วน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลิ่นหืนมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.28-1.42 ซึ่งแสดงว่า กลิ่นหืนเกือบไม่พบ กลิ่นเครื่องเทศ มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.92-7.94 ซึ่งแสดงว่า กลิ่นเครื่องเทศพบอยู่ระหว่างพบเล็กน้อยถึงปานกลาง และความร่วน มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.83-7.42 ซึ่งแสดงว่า ความร่วนอยู่ในระดับร่วนเล็กน้อยถึงปานกลาง นอกจากนี้ลักษณะของสีที่ปรากฏ พบว่า ในตัวอย่างกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งจะมีแนวโน้มเข้มกว่ากะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งและชุดควบคุม ขณะที่กะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการทำละลายก่อนอบมีค่าสีน้อยที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี โดยจะพบว่า กะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการทำละลายมีค่า L สูง และค่าสี a ต่ำ ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างมีความเข้มของสีน้ำตาลน้อย ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านความกรอบ พบว่า กะหรี่ปั๊ปสดและทอดที่ผ่านและไม่ผ่านการทำละลายมีความกรอบต่ำกว่าชุดควบคุม ขณะที่กะหรี่ปั๊ปสดและทอดที่ผ่านการทำละลายมีความกรอบสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปที่ไม่ผ่านการทำละลาย การทำละลายก่อนอุ่นจะช่วยให้ความชื้นระเหยได้ง่าย ดังนั้นภายหลังการอุ่นความชื้นของตัวอย่างจึงน้อยกว่ากะหรี่ปั๊ปที่ไม่ทำละลาย ส่งผลให้ตัวอย่างมีความกรอบสูง เพราะอาหารที่มีความกรอบสูงจะต้องมีความชื้นต่ำ a_w ต่ำ และมีโครงสร้างเป็นรูพรุน (Schiffmann, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tesch และคณะ (1996) ศึกษาคลื่นเสียงจากอาหารพวกธัญญาพืชที่มี a_w 2 ระดับ คือ 0.11 และ 0.57 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มี a_w เท่ากับ 0.11 มีจำนวนคลื่นเสียงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มี a_w เท่ากับ 0.57 ในทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งจำนวนคลื่นเสียงมากแสดงว่ามีความกรอบสูง ซึ่งปัญหาหลักของการสูญเสียความกรอบคือการดูดซับความชื้น (Katz and Labuza, 1981; Peleg, 1998; Harris and Peleg, 1996)



ภาพที่ 12 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งภายหลังการอุ่น

Mean quantitative descriptives sensory scores of freezing uncooked and fried curry puff after warmed.

All values are the means of 10 panelists.

Abbreviations refer in figure 7

1.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

การทดสอบระดับความชอบของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็ง พบว่า การให้ความร้อนแก่กะหรี่ปั๊ปก่อนการแช่เยือกแข็งและการทำละลายไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 6 นอกจากนี้การให้ความร้อนก่อนแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อกลิ่นรสและความชอบรวม ขณะที่การทำละลายไม่มีผลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัส และกลิ่นรส ของกะหรี่ปั๊ปสดและคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกปัจจัยของกะหรี่ปั๊ปทอด โดยลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสมีความสัมพันธ์กับค่าต้านแรงกดและค่าสี (L, a และ b) ซึ่งการทำละลายกะหรี่ปั๊ปทอดไม่มีผลต่อค่าทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ โดยกะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งที่ทำละลายก่อนทอดและกะหรี่ปั๊ปทอดที่ไม่ผ่านการทำละลายมีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกปัจจัยไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งชุดควบคุมมีคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยทุกปัจจัยสูงที่สุด ยกเว้นด้านลักษณะเนื้อสัมผัส นอกจากนี้กะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็ง

ที่ทำละลาย และกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งที่ไม่ทำละลายก่อนอุ่นมีคะแนนความชอบรวมลดลงตามลำดับ

ดวงเดือน วารีวะนิช (2543) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการทอดหอยแมลงภู่ชุบแป้งและขนมปังป่นก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทอดที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา 2 ระดับ คือ 5 และ 10 วินาที เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทอดก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งคะแนนทางด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทอดก่อนการแช่เยือกแข็งมีคะแนนสูงที่สุด

ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยความชอบของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งภายหลังการอุ่น

Mean liking scores of freezing uncooked and fried curry puff after warmed.

Attributes	**Treatment**				
	C[1]	**FT**[1]	**FNT**[1]	**HT**[1]	**HNT**[1]
Appearance	7.2^{ns}	7.1^{ns}	7.1^{ns}	6.5^{ns}	6.9^{ns}
Texture	7.0^{ab}	7.2^{a}	6.3^{ab}	6.2^{b}	6.6^{ab}
Flavor	7.4^{a}	7.1^{ab}	6.3^{b}	6.7^{ab}	6.7^{ab}
Overall liking	7.3^{a}	7.2^{a}	6.2^{b}	6.6^{ab}	7.0^{ab}

The different superscripts in the same row denote the significant differences ($P<0.05$).

All values are the means of 10 panelists.

[1]Abbreviations refer in figure 7

2. ผลของจำนวนครั้งของการแช่เยือกแข็งและทำละลายซ้ำต่อคุณภาพของกะหรี่ปั๊ป

2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

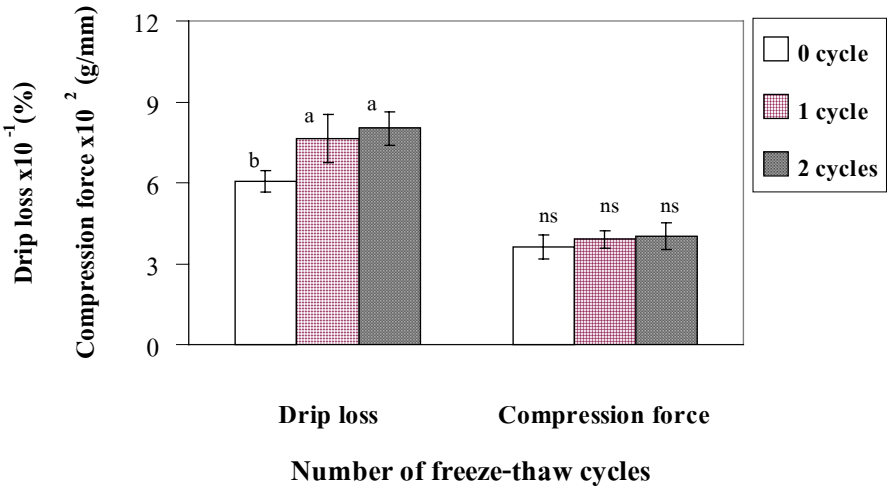
2.1.1 ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลาย

เมื่อนำอาหารแช่เยือกแข็งมาทำละลายจะเกิดการปลดปล่อยของเหลว เรียกว่า ดริฟ (drip) ปริมาณดริฟขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และพื้นที่ผิว แต่ก็ยังขึ้นกับวิธีการแช่เยือกแข็ง

สภาวะเก็บรักษา และวิธีการทำละลาย ปริมาณของดริปประมาณร้อยละ 3-5 หรือมากกว่านี้ (Boegh-Soerensen and Jul, 1985) เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมาทดสอบหาค่าปริมาณของไหลที่ถูกปลดปล่อยหรือค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลาย พบว่า กะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังภาพที่ 13 โดยจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายไม่มีผล อย่างไรก็ตาม Bhattacharya และคณะ (2003) ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันต่อปริมาณน้ำในโดที่สามารถแข็งตัวในสภาวะแช่เยือกแข็ง (freezable water) ด้วย DSC พบว่า การแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมีผลให้ปริมาณ freezable water เพิ่มขึ้น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ โดยผลึกน้ำแข็งที่เกิดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะไปทำลายโครงข่ายของกลูเตนและการเพิ่มขึ้นของตัวถูกละลายระหว่างการแช่เยือกแข็งจะทำให้โครงสร้างโปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพ จึงเกิดการแยกตัวของโมเลกุลน้ำจากโครงสร้างโปรตีนเป็นน้ำอิสระ ซึ่งเป็นน้ำที่สามารถแข็งตัวได้ในสภาวะแช่เยือกแข็ง (Varriano-Marston *et al*., 1980; Autio and Sinda, 1992; Reid, 1997)

2.1.2 ค่าต้านแรงกดของเปลือกกะหรี่ปั๊ป

เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน 0, 1 และ 2 รอบ มาทอด พบว่า ค่าต้านแรงกดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังภาพที่ 13 ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าต้านแรงกดสูงต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีความชื้นจะทำให้โครงสร้างอ่อนแอลง เนื่องจากความชื้นจากไปละลายโครงสร้างบางส่วน (Schiffmann, 1996) แต่การนำกะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมาทอด ทำให้ความชื้นที่เปลือกของกะหรี่ปั๊ปลดลงในปริมาณใกล้เคียงกัน เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงกว่าจุดเดือดของน้ำและอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนทอดมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าตัวอย่างจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายแตกต่างกัน และจากการศึกษาของ Inoue และ Bushuk (1995) พบว่า การทำละลายโดขนมปังอย่างช้า ทำให้ความชื้นในอากาศควบแน่นที่ผิวของโดระหว่างทำละลาย (Reid, 1997) เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์และบรรยากาศ ซึ่งความชื้นเหล่านี้จะเปลี่ยนสถานะเป็นไอเมื่อถูกความร้อน



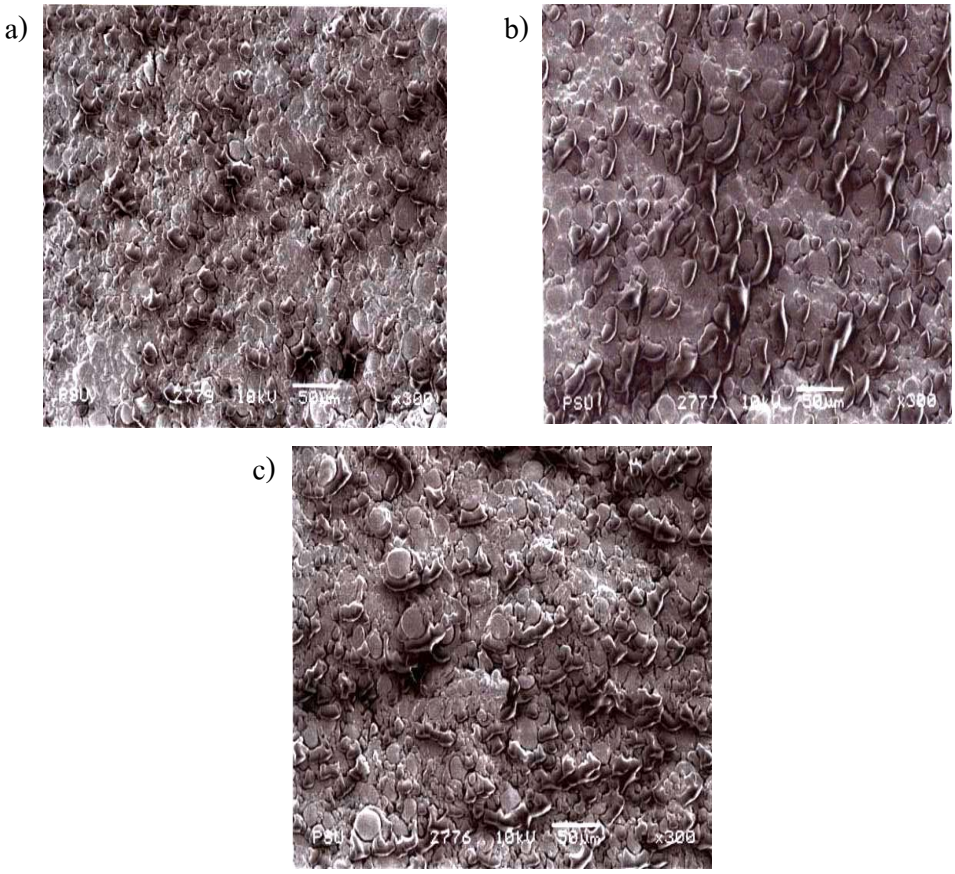
ภาพที่ 13 ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายและค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ป ภายหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน

Drip loss and compression force of freezing curry puff after freeze-thaw process. Letters show significant differences of mean in each parameter ($P<0.05$).
Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

2.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

ภาพที่ 14 แสดงโครงสร้างจุลภาคของแป้งกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน 0 (a) 1 (b) และ 2 (c) รอบ พบว่า โครงสร้างของแป้งมีลักษณะขรุขระมากขึ้นเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและทำละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหลอมละลายของผลึกน้ำแข็งและเกิดผลึกใหม่ ซึ่งจะไปทำลายโครงข่ายของกลูเตนและเกิดการแยกตัวของโมเลกุลน้ำ (Varriano-Marston *et al*., 1980; Autio and Sinda, 1992) Berglund และคณะ (1991) ศึกษาโครงสร้างของโดขนมปังภายหลังผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน พบว่า เม็ดสตาร์ชและกลูเตนถูกทำลาย จึงทำให้เม็ดสตาร์ชแยกจากโครงข่ายของกลูเตน ซึ่งภายในเม็ดสตาร์ชจะถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็ง ขณะที่ผิวนอกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง Tipples (1969 อ้างโดย Berglund *et al*., 1991) รายงานว่า การดูดซับน้ำของแป้งเพิ่มขึ้นจะทำให้เม็ดสตาร์ชถูกทำลายเพิ่มขึ้นด้วย โดยเม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลายจะมีลักษณะเป็นคล้ายฟองน้ำ และจากการศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับในโดที่ไม่เติมยีสต์ของ Inoue และ Bushuk (1991) พบว่า ค่า extensigraph resistance ไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 1 รอบ แต่จะมีค่าลดลงเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับ

กันมากกว่า 1 รอบ ซึ่งอาจเกิดจากการก่อตัวของผลึกน้ำแข็ง (Varriano-Marston *et al*., 1980) ทั้งทางตรง ได้แก่ ทางกล และทางอ้อม ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นในเฟสที่ไม่แข็งตัวเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (Reid, 1997)



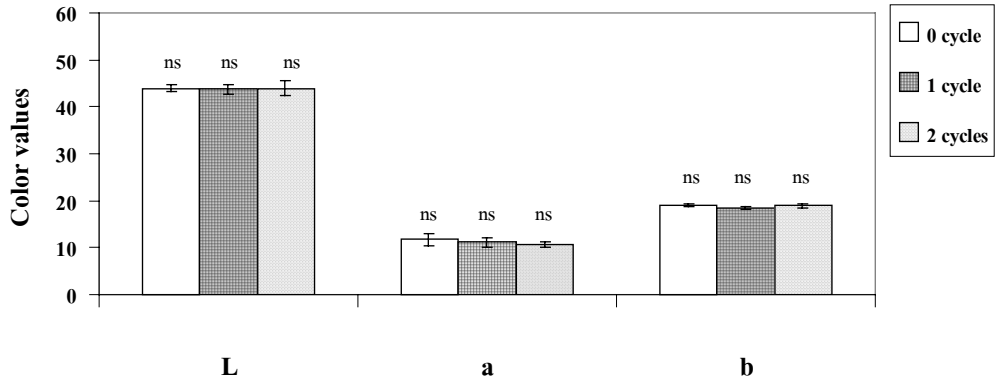
ภาพที่ 14 โครงสร้างจุลภาคของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสดภายหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน 0 (a), 1 (b) และ 2 (c) รอบ (กำลังขยาย 300 เท่า, แท่งวัดขนาด 50 ไมโครเมตร)

Microstructure of crust layer from uncooked curry puff after freeze-thaw 0 (a), 1 (b) and 2 (c) cycles (magnification: 300x, bar = 50 μm).

2.1.4 ค่าสี

ลักษณะปรากฏของกะหรี่ปั๊ปทางด้านสีสามารถบ่งบอกโดยค่า L a และ b เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดมาแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน 0 1 และ 2 รอบ แล้วทอด พบว่า การแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันไม่มีผลต่อค่าสี L a และ b แสดงดังภาพที่15 โดยปกติสีของ

เปลือกกะหรี่ปั๊ปเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างการทอด ซึ่งค่า L ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 43.8-43.9 ส่วนค่า a มีค่าอยู่ในช่วง 10.7-11.7 และค่า b มีค่าอยู่ในช่วง 18.4-18.9 Bhattacharya และคณะ (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของเปลือกและเนื้อขนมปังที่ผ่านการอบจากโดที่เก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งและโดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน 2 รอบ ในระยะเวลา 12 เดือน พบว่า สีของเปลือกและเนื้อขนมปังที่อบจากโดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมีค่าสีไม่แตกต่างจากขนมปังที่อบจากโดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน



ภาพที่ 15 ค่าสี (L, a and b) ของกะหรี่ปั๊ปภายหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน

L, a and b value of freezing curry puff after freeze-thaw process.

Letters show significant differences of mean in each parameter ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

2.2 คุณสมบัติทางเคมี

เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมาวิเคราะห์กลิ่นหืนของเปลือกและไส้ พบว่า จำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันไม่มีผลต่อค่า TBARS ของเปลือกกะหรี่ปั๊ปอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้นจะพบว่า กะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย 2 รอบ มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจากกะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างช้าๆ โดยระหว่างแช่เยือกแข็งและทำละลายจะผ่านอุณหภูมิแช่เย็นทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้น โดยเฉพาะโซเดียม

คลอไรด์ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Boegh-Soerensen and Jul, 1985; King and Earl, 1988) นอกจากนี้ขณะทำละลายตัวอย่างส่วนของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสามารถสัมผัสกับออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์ เพราะไม่ได้เก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ส่วนค่า TBARS ของไส้กะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายไม่แตกต่างจากกะหรี่ปั๊ปสด เพราะส่วนของไส้ถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกจึงสัมผัสกับออกซิเจนได้ยากและเนยสด ซึ่งเป็นส่วนผสมของไส้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสูง (สวนิต อ่อนรุ่งเรือง, 2535; Christensen and Holmer, 1996b) จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่าเปลือกของกะหรี่ปั๊ป

ตารางที่ 7 ค่า TBARS ของกะหรี่ปั๊ปสดภายหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน

TBARS value of uncooked freezing curry puff after freeze-thaw process.

Number of	**Parts of curry puff**	
freeze-thaw cycles	**Crust**	**Filling**
Control	2.54 ± 0.08^{b}	5.90 ± 0.04^{ns}
0	2.63 ± 0.05^{ab}	5.90 ± 0.06^{ns}
1	2.66 ± 0.06^{ab}	5.93 ± 0.01^{ns}
2	2.69 ± 0.07^{a}	5.95 ± 0.07^{ns}

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P<0.05$).

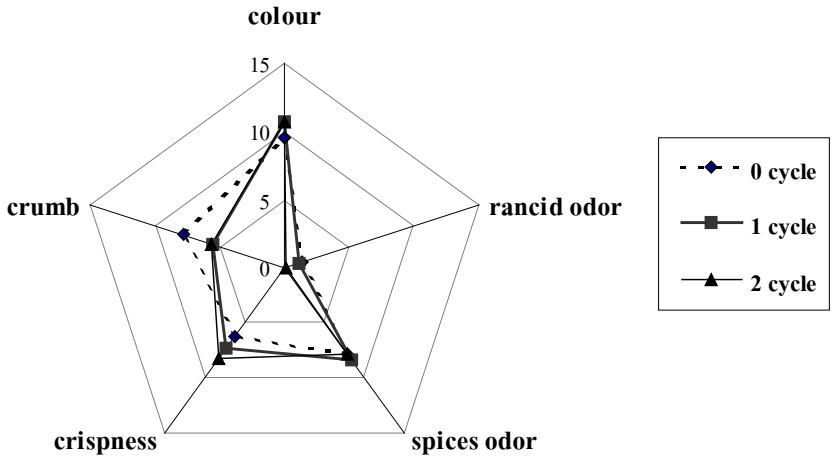
Values are means$\pm$standard deviation.

2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

2.3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ

ภาพที่ 16 แสดงคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน พบว่า การแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันไม่มีผลต่อกลิ่น (กลิ่นหืนและกลิ่นเครื่องเทศ) ซึ่งกลิ่นหืนมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.03-1.39 แสดงว่าเกือบไม่พบกลิ่นหืน ส่วนกลิ่นเครื่องเทศมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.79-8.39 แสดงว่ามีกลิ่นเครื่องเทศเกือบอยู่ในระดับปานกลาง ขณะที่การแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมีผลต่อความเข้มสี ความกรอบ และความร่วนของเปลือก โดยความเข้มสีของเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยกะหรี่ปั๊ปที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมี

ความเข้มสีแตกต่างจากกะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน ขณะที่การวิเคราะห์ค่าสี (L, a และb) ด้วยเครื่องวัดค่าสีไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนความกรอบของกะหรี่ปั๊ปเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน ขณะที่ความร่วนลดลงเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน เนื่องจากการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันทำให้น้ำมันเคลื่อนที่สู่ภายนอกระหว่างการทำละลาย เมื่อแช่เยือกแข็งโปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันแน่น หลังจากให้ความร้อนเปลือกของกะหรี่ปั๊ปจึงมีลักษณะกรอบเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน และส่งผลให้ความร่วนลดลง



ภาพที่ 16 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปภายหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน

Mean quantitative descriptives sensory scores of freezing curry puff after freeze-thaw process.

All values are the means of 10 panelists.

2.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

การทดสอบความชอบของกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน 0, 1 และ 2 รอบ พบว่า จำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและทำละลายไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 8 โดยลักษณะปรากฏมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-7.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสมีคะแนน

เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.3-7.4 กลิ่นรสมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.2-7.5 และความชอบรวมมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.2-7.4 ซึ่งระดับคะแนนในช่วงนี้แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบมีความชอบปานกลางถึงชอบมากทุกปัจจัย ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกันมีผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านสี ความกรอบ และความร่วน เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่มีผลต่อความชอบของผู้ทดสอบ

ตารางที่ 8 คะแนนเฉลี่ยความชอบของกะหรี่ปั๊ปภายหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายสลับกัน

Mean liking scores of freezing curry puff after freeze-thaw process.

Attributes	Number of freeze-thaw cycles		
	0	1	2
Appearance	7.0^{ns}	7.2^{ns}	7.2^{ns}
Texture	7.3^{ns}	7.3^{ns}	7.4^{ns}
Flavor	7.3^{ns}	7.5^{ns}	7.2^{ns}
Overall liking	7.2^{ns}	7.4^{ns}	7.2^{ns}

The different superscripts in the same row denote the significant differences ($P<0.05$).

All values are the means of 10 panelists.

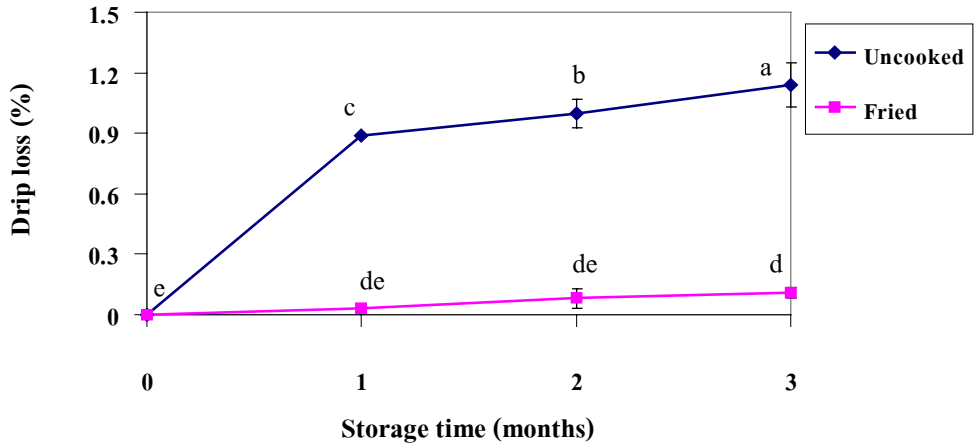
3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊ประหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.1.1 ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลาย

เมื่อเก็บรักษากะหรี่ปั๊ปสด (uncooked) และทอด (fried) ที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายของกะหรี่ปั๊ปทอดไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บรักษา เพราะความชื้นส่วนใหญ่สูญเสียเนื่องจากการทอด ขณะที่ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายของกะหรี่ปั๊ปสดมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 17 โดยกะหรี่ปั๊ปสดมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปทอด ขณะที่Bonnardel และคณะ (1990 อ้างโดย Carr และ Tadini, 2003) พบว่า ความชื้นของขนมปังฝรั่งเศษที่อบบางส่วนก่อนแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7

สัปดาห์ ไม่เกิดการความเปลี่ยนแปลง ขณะที่ Bhattacharya และคณะ (2003) ศึกษาผลของการเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งโดเป็นเวลา 0 4 และ 12 สัปดาห์ ต่อการเกิดน้ำที่สามารถแข็งตัวในสภาวะแช่เยือกแข็งได้ (freezable water) ด้วย DSC พบว่า ความชื้นเคลื่อนที่และปริมาณ freezable water เพิ่มขึ้นทันทีหลังจากแช่เยือกแข็ง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า freezable water เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างกลูเตนและเกิดการแยกตัวของโมเลกุลน้ำ โดยระหว่างการเก็บรักษาปริมาณ freezable water ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามกะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งภายหลังการทำละลายมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายเพิ่มขึ้น แต่การทำละลายด้วยไมโครเวฟทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อยหรือไม่สูญเสียเลยก็ได้ (Mermelstein, 1989)



ภาพที่ 17 ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลายของกะหรี่ปั๊ปสด (—⇦—) และทอด (—❁—) ระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

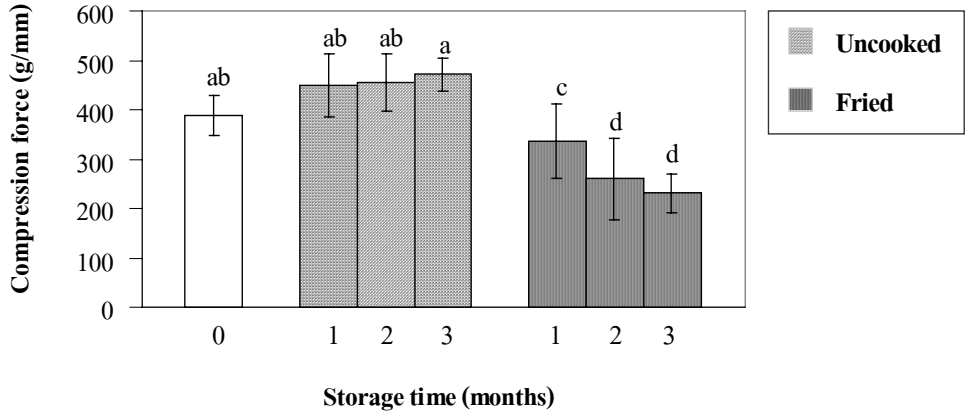
Drip loss of uncooked (—⇦—) and fried (—❁—) curry puff during frozen storage. Letters show significant differences of mean ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

3.1.2 ค่าต้านแรงกดของเปลือกกะหรี่ปั๊ป

การเปลี่ยนแปลงค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 3 เดือน เปรียบเทียบกับกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้น ซึ่งเป็นกะหรี่ปั๊ปที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง พบว่า ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปสดไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษาและไม่มีความแตกต่างจากค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังภาพที่ 18 ขณะที่ค่าต้าน

แรงกดของกะหรี่ปั๊ปทอดมีค่าลดลง (P<0.05) จนกระทั่งภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ค่าความต้านแรงกดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 387.42 กรัมต่อมิลลิลิตร ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปทอดลดลงเหลือ 231.21 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปทอดลดลง เนื่องจากความชื้นจากไส้เคลื่อนที่มายังเปลือก เพราะความแตกต่างของปริมาณความชื้นระหว่างไส้และเปลือก



ภาพที่ 18 ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

Compression force of uncooked and fried curry puff during frozen storage.

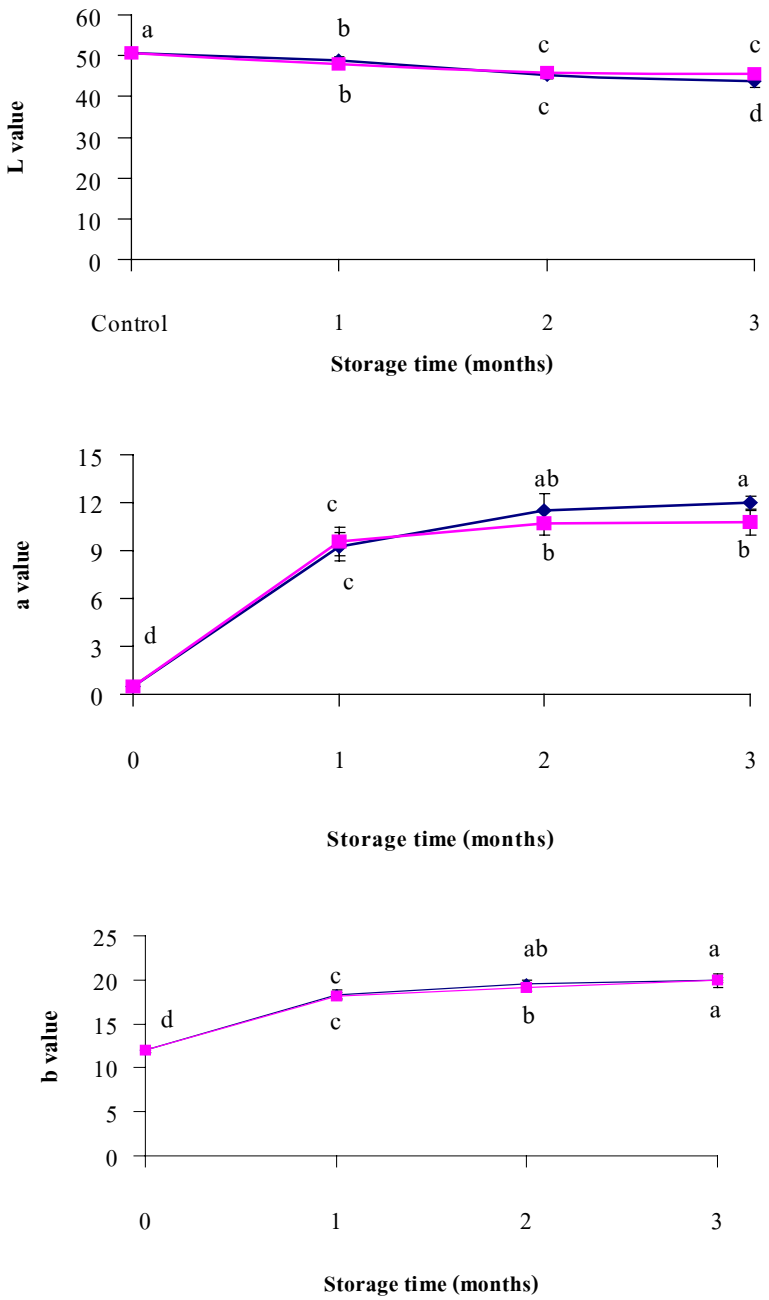
Letters show significant differences of mean (P<0.05).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

3.1.3 ค่าสี

จากการศึกษาค่าสี (L a และ b) ของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 3 เดือน ภายหลังการให้ความร้อน พบว่า กะหรี่ปั๊ปสดมีค่า L ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ขณะที่ค่า a และ b มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 19 เนื่องจากองค์ประกอบของกะหรี่ปั๊ปสดเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษา โดย Xiong (1997) กล่าวว่า การเก็บรักษาโดที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 70 วัน โปรตีนที่ละลายได้ในเอทานอลหรือไกลอะดีน (gliadin) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชนิดของโปรตีนอาจมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่วนการเก็บรักษากะหรี่ปั๊ปทอด พบว่า ค่าสี (L, a และ b) เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกะหรี่ปั๊ปสด Mastrocola และ Munari (2000) ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของระบบที่เติม

และไม่เติมน้ำมันถั่วเหลืองในสตาร์ชที่ผ่านการเกิดเจลแล้ว น้ำ กลูโคส และไลซีน เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 วัน พบว่า ระบบที่เติมและไม่เติมน้ำมันมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (ค่า L ลดลง และค่า a เพิ่มขึ้น) หลังจากให้ความร้อน โดย 80 วันแรกของการเก็บรักษาระบบที่ประกอบด้วยน้ำมันมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ระบบที่ปราศจากน้ำมันไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสารตัวกลาง (intermediate) ของการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งลิปิดมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาเมลลาร์ด ดังนั้นกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยน้ำมันสามารถเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นได้ ขณะที่ ลักขณา ศรชำนิ (2539) ศึกษากุ้งชุบแป้งทอดในน้ำมันปาล์มก่อนการแช่เยือกแข็งและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน โดยวิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 2 สัปดาห์ พบว่า ค่าสี L a และ b ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ยกเว้นค่าสี a ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน มีแนวโน้วเพิ่มขึ้น ($P<0.05$)



ภาพที่ 19 ค่าสีของกะหรี่ปั๊ปสด (—⇦—) และทอด (—❁—) ระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

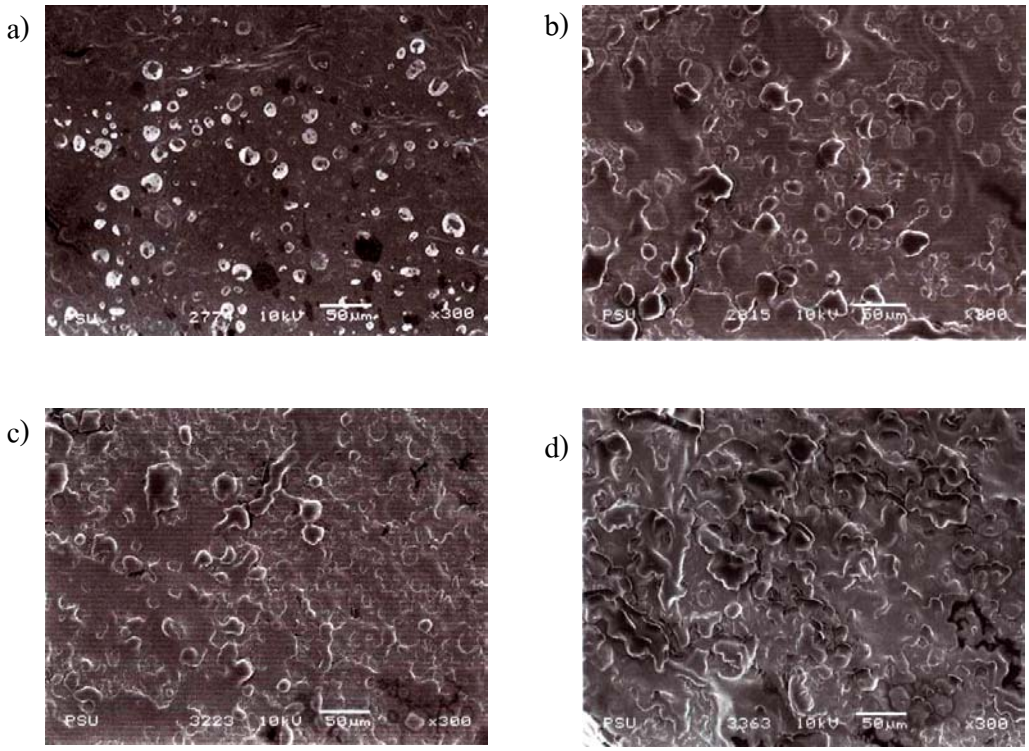
L, a and b value of uncooked (—⇦—) and fried (—❁—) curry puff during frozen storage.

Letters show significant differences of mean ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

3.1.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

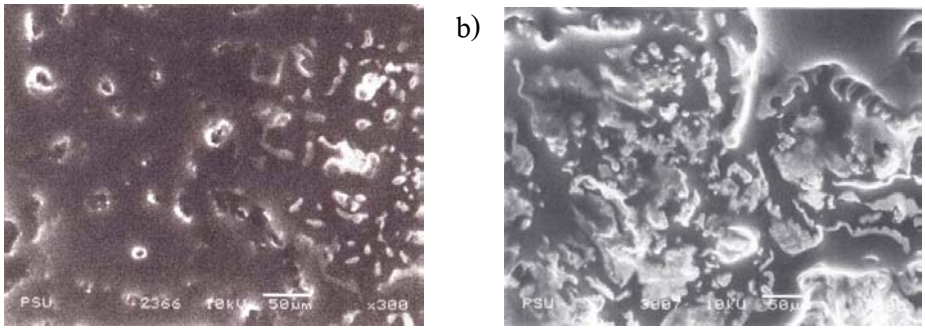
โครงสร้างจุลภาคของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสดและทอดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน (ดังภาพที่ 20 และ 21) โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างทุกๆ เดือน พบว่า เปลือกของกะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งมีผิวเรียบ เม็ดสตาร์ชถูกตรึงด้วยโครงข่ายของกลูเตน โดยปกติเม็ดสตาร์ชมีลักษณะกลมและรี มีทั้งขนาดใหญ่และเล็กปนกัน ซึ่งเม็ดสตาร์ชมีขนาดระหว่าง 2-35 ไมโครเมตร โดยเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ที่สุดอาจมีขนาดถึง 55 ไมโครเมตร (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540) เมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นโครงสร้างโปรตีนถูกทำลายจึงทำให้มีลักษณะขรุขระเพิ่มขึ้น Berglund และคณะ (1991) ศึกษาโครงสร้างของโดขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ –23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 สัปดาห์ พบว่า เม็ดสตาร์ชของโดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่ถูกทำลายและโครงข่ายกลูเตนส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า เม็ดสตาร์ชถูกทำลายและแยกจากโครงข่ายของกลูเตน ส่วนโครงสร้างของกะหรี่ปั๊ปทอดไม่พบเม็ดสตาร์ชและปรากฏพื้นที่สีดำตลอดระยะเวลาเก็บรักษา เนื่องจากอาหารทอดมีน้ำมันแทรกอยู่ตามช่องว่างต่างๆ ซึ่งน้ำมันจะบดบังโครงสร้างของอาหาร Gomez (1988 อ้างโดย McDonough *et al*., 1993) รายงานว่า น้ำมันบางส่วนจะจับกับสตาร์ชในแผ่นแป้งข้าวโพดระหว่างทอด โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส อย่างไรก็ตามน้ำมันส่วนใหญ่จะปกคลุมผิวหน้าและตามช่องว่าง McDonough และคณะ (1993) ศึกษาโครงสร้างของแผ่นแป้งข้าวโพด (Tortilla chip) ทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 60 และ 120 วินาที พบว่า ขณะทอดองค์ประกอบของสตาร์ช โปรตีน และลิปิด ทำปฏิกิริยากันจนเกิดเฟสต่อเนื่อง ซึ่งการสูญเสียความชื้นจะทำให้โครงสร้างมีลักษณะแน่น นอกจากนี้เม็ดสตาร์ชจะถูกทำลายภายหลังจากทอด 60 วินาที



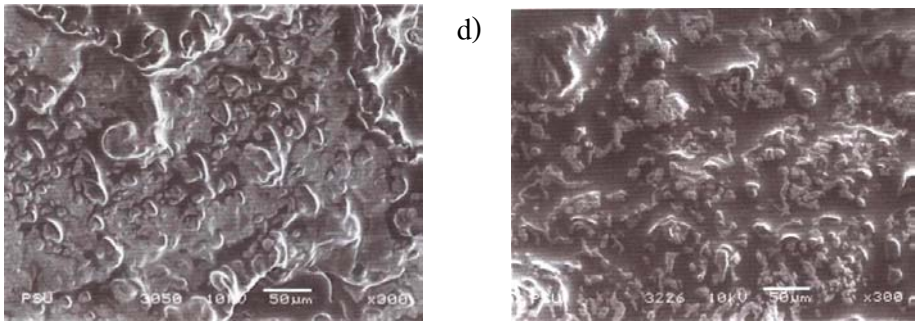
ภาพที่ 20 โครงสร้างจุลภาคของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสด (a) และกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา1 (b), 2 (c) และ 3 (d) เดือน (กำลังขยาย 300 เท่า, แท่งวัดขนาด 50 ไมโครเมตร)

Microstructure of crust from fresh curry puff (a) and frozen uncooked curry puff after 1 (b), 2 (c) and 3 (d) months storage at -18°C (magnification: 300x, bar = 50 µm).

a) b)



c) d)

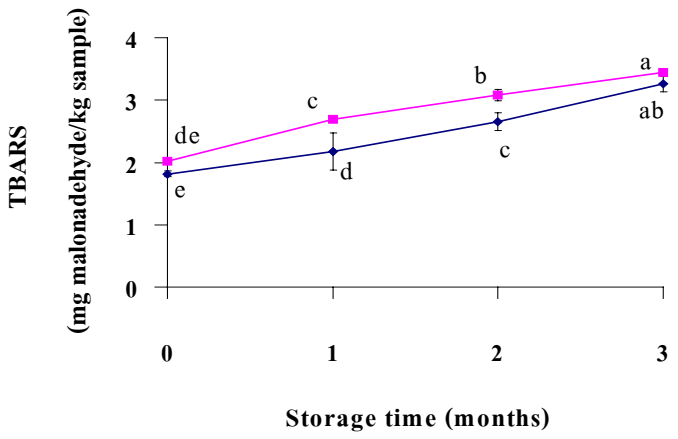


ภาพที่ 21 โครงสร้างจุลภาคของเปลือกกะหรี่ปั๊ปทอด (a) และกะหรี่ปั๊ปทอดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 (b), 2 (c) และ 3 (d) เดือน (กำลังขยาย 300 เท่า, แท่งวัดขนาด 50 ไมโครเมตร)

Microstructure of crust from fresh fried curry puff (a) and frozen fried curry puff after1 (b), 2 (c) and 3 (d) months storage at -18°C (magnification: 300x, bar = 50 μm).

3.2 คุณสมบัติทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสดและทอดระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง (ดังภาพที่ 22 และ 23) พบว่า เปลือกของกะหรี่ปั๊ปทอดมีค่า TBARS เริ่มต้นสูงกว่ากะหรี่ปั๊ปสด เพราะการทอดเร่งสามารถปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของลิปิดได้ แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้นจะทำให้ออกซิเจนละลายในลิปิดและน้ำได้น้อยลง (Nawar, 1996) แต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง เพราะออกซิเจนได้เหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระในลิปิดระหว่างการเก็บรักษาหรือขณะทอดที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก โดยปกติการทอดเป็นเวลานานมีผลให้ความเข้มข้นของมาลอนอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น (Saguy and Dada, 2003) ซึ่งกะหรี่ปั๊ปสดและทอดเกิดออกซิเดชันของไขมันตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($P<0.05$) ถึงแม้ว่าจะบรรจุภายในถุงที่มีการซึมผ่านของออกซิเจนต่ำ ส่วนค่า TBARS ของไส้กะหรี่ปั๊ปสดและทอดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเก็บรักษาเช่นเดียวกับเปลือกของกะหรี่ปั๊ป เนื่องจากองค์ประกอบของไส้มีเหล็กซึ่งเป็นโลหะที่ถูกปลดปล่อยจากโมเลกุลของฮีโมโกบิลสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิปิด แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมของมาลอนอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม สำหรับอาหารทั่วไป (Shamberger *et al.*, 1971)

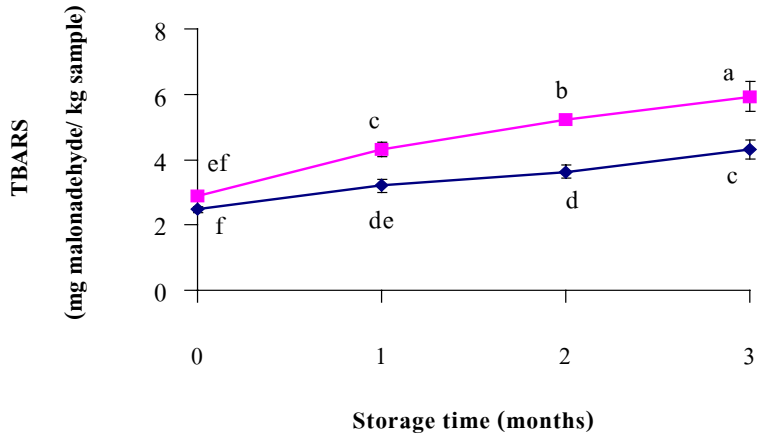


ภาพที่ 22 ค่า TBARS ของเปลือกกะหรี่ปั๊ปสด (—⇦—) และทอด (—❁—) ระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

TBARS value of crust part uncooked (—⇦—) and fried (—❁—) curry puff during frozen storage.

Letters show significant differences of mean ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.



ภาพที่ 23 ค่า TBARS ของไส้กะหรี่ปั๊ปสด (—⇦—) และทอด (—❁—) ระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

TBARS value of filling of uncooked (—⇦—) and fried (—❁—) curry puff during frozen storage.

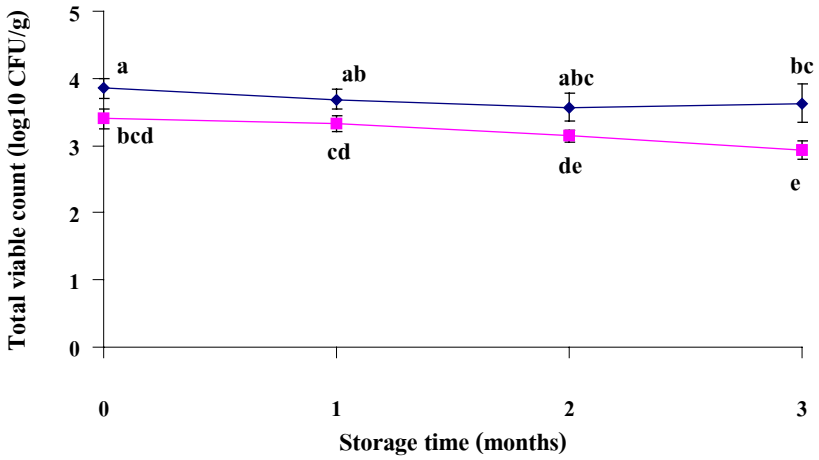
Letters show significant differences of mean ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

3.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

เมื่อวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดเริ่มต้น พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะหรี่ปั๊ปทอดน้อยกว่ากะหรี่ปั๊ปสด แต่เมื่อเก็บรักษากะหรี่ปั๊ปทั้งสองชนิดในสภาวะแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือน มีผลให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 24 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Paine and Paine (1992) นอกจากนี้จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นของกะหรี่ปั๊ปทอดไม่แตกต่างกับจำนวนจุลินทรีย์ของกะหรี่ปั๊ปสดที่ผ่านการเก็บรักษา อังคณา ผ่องภักดี (2546) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในนักเกตปลาโอลาย (*Euthynnus affinis*) ขณะทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ($P<0.05$) และวิไลลักษณ์ กมลธรรม (2538) ศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดในข้าวผัดปูแช่เยือกแข็งที่บรรจุในถุงพลาสติก PA/PE/PE และ PA/PE แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง PA/PE/PE มีปริมาณน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง PA/PE ($P<0.05$) และมีปริมาณลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เนื่องจาก

โครงสร้างของจุลินทรีย์สามารถถูกทำลายด้วยสภาวะแช่เยือกแข็ง แต่ทั้งนี้ยังขึ้นกับองค์ประกอบของอาหาร เพราะอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำตาล เกลือ โปรตีน และ ไขมัน อาจช่วยป้องกันจุลินทรีย์จากสภาวะแช่เยือกแข็งได้ (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537) นอกจากนี้ยังพบว่ากะหรี่ปั๊ปแช่เยือกแข็งไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ประเภท Psychrotrophic bacteria, Coliforms, *S. aureus, B. cereus*



ภาพที่ 24 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะหรี่ปั๊ปสด (—⇦—) และทอด (—❁—) ระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

Total variable count of uncooked (—⇦—) and fried (—❁—) curry puff during frozen storage.

Letters show significant differences of mean ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

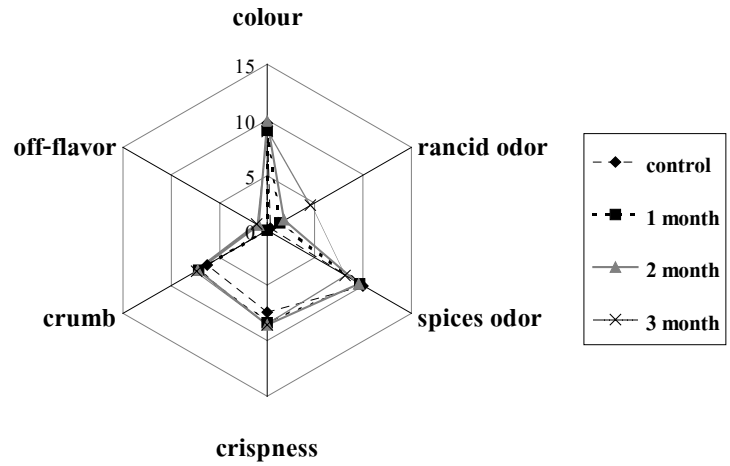
3.4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ

ภาพที่ 25 และ 26 แสดงคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปสดและทอดระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ความเข้มสี กลิ่นเครื่องเทศ ความกรอบ ความร่วน และกลิ่นรสผิดปกติของกะหรี่ปั๊ปสดไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ขณะที่ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน กลิ่นหืนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนกะหรี่ปั๊ปทอดมีคะแนนเฉลี่ยทุกปัจจัยแตกต่างจาก

กะหรี่ปั๊ปเริ่มต้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ยกเว้นความร่วน การเกิดกลิ่นรสผิดปกติปรากฏเป็นผลจากสารที่ไม่สามารถระเหยได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Philip Handel and Guerrieri, 1990) ขณะที่ Boegh-Soerensen and Jul, 1985 กล่าวว่าอัลดีไฮด์เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นและกลิ่นรสผิดปกติ โดยเฉพาะเฮกซานาล (hexanal) ซึ่งเป็นสารที่สามารถระเหยได้ (Erickson, 1997; Christensen and Holmer, 1996a) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ากะหรี่ปั๊ปสดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน มีคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลงจากกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้น ยกเว้นคุณภาพทางด้านกลิ่นหืนที่เปลี่ยนแปลงภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ขณะที่กะหรี่ปั๊ปทอดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน มีคุณภาพไม่แตกต่างจากกะหรี่ปั๊ปเริ่มต้น

3.4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

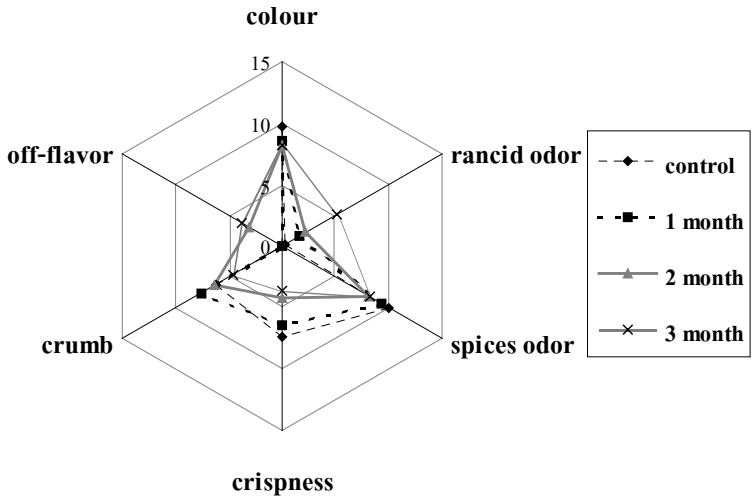
เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปที่ผ่านการเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งมาทดสอบความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวม พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบของกะหรี่ปั๊ปสดแช่เยือกแข็งมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมไม่แตกต่างตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 9 ขณะที่คะแนนด้านลักษณะปรากฏลดลงภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน เนื่องจากน้ำที่ไม่แข็งตัวของกะหรี่ปั๊ปสดเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ภายนอกแล้วจะรวมตัวกันเป็นหยด เมื่อนำกะหรี่ปั๊ปสดไปทอด น้ำจะระเหยทำให้ผิวหน้ามีลักษณะเป็นรูและขรุขระมากขึ้น (Mellema, 2003) ส่วนกะหรี่ปั๊ปทอดมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างตลอดระยะเวลาเก็บรักษา เนื่องจากภายหลังการทอดจะเกิดเปลือกแข็งโดยรอบและมีความชื้นต่ำ เมื่อนำไปอบเกิดการระเหยของความชื้นอย่างช้าๆ เนื่องจากใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก จึงทำให้ผิวของตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวมลดลงหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 2 เดือน ตามลำดับ



ภาพที่ 25 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปสดระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

Mean quantitative descriptives sensory of uncooked curry puff during frozen storage.

All values are the means of 10 panelists.



ภาพที่ 26 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณของกะหรี่ปั๊ปทอดระหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

Mean quantitative descriptives sensory of fried curry puff during frozen storage.

All values are the means of 10 panelists.

ตารางที่ 9 คะแนนเฉลี่ยความชอบของกะหรี่ปั๊ประหว่างเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง

Mean liking scores of uncooked and fried curry puff during frozen storage.

Types	Storage time (months)	Attributes			
		Appearance[1]	Texture[1]	Flavor[1]	Overall liking[1]
Uncooked	**Control**	7.9[a]	7.4[a]	7.4[a]	7.5[a]
	1	7.1[a]	7.4[a]	7.4[a]	7.6[a]
	2	7.3[a]	7.4[a]	7.1[ab]	7.5[a]
	3	5.7[b]	7.4[a]	7.0[ab]	7.2[a]
Fried	**Control**	7.9[a]	7.4[a]	7.4[a]	7.5[a]
	1	7.3[a]	6.4[b]	7.0[ab]	6.9[a]
	2	7.3[a]	5.8[b]	6.2[b]	6.0[b]
	3	7.1[a]	4.3[c]	6.0[b]	5.3[b]

The different superscripts in the same row denote the significant differences ($P<0.05$).

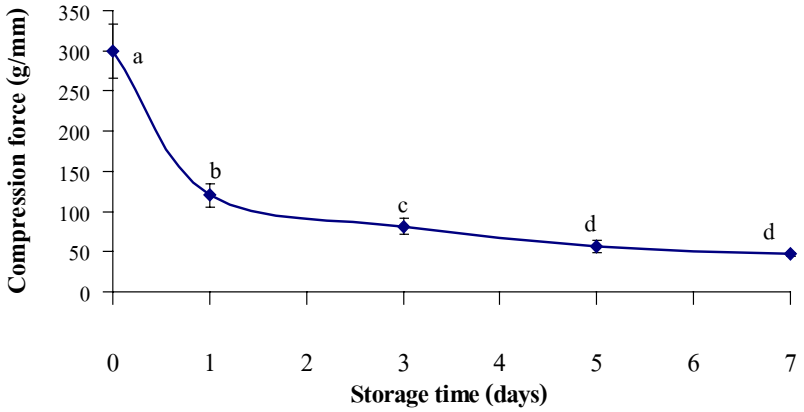
[1]All values are the means of 10 panelists.

4. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

4.1 ค่าต้านแรงกดของเปลือกกะหรี่ปั๊ป

การนำกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีผลให้ค่าต้านแรงกดของเปลือกมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นภายในชิ้นของกะหรี่ปั๊ปที่เป็นผลึกน้ำแข็งละลายและเคลื่อนที่มาสู่เปลือกของกะหรี่ปั๊ปซึ่งมีความชื้นต่ำกว่า และความชื้นเหล่านั้นจะละลายองค์ประกอบบางส่วนของเปลือกกะหรี่ปั๊ป เมื่อเก็บรักษากะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษาจนกระทั่งเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ค่าต้านแรงกดไม่เปลี่ยนแปลง แสดงดังภาพที่ 27 การที่ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปไม่เปลี่ยนแปลงอาจเกิดขึ้น เนื่องจากความชื้นของกะหรี่ปั๊ปเคลื่อนมาสะสมที่เปลือกมาก แล้วละลายองค์ประกอบที่เป็นโครงสร้างเปลือกกะหรี่ปั๊ป จึงทำให้โครงสร้างของเปลือกแฉะ ซึ่งค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปภายหลังการแช่เยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 299.72 กรัม

ต่อมิลลิเมตร แต่ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ค่าต้านแรงกดลดลงเหลือ 46.74 กรัมต่อมิลลิเมตร โดยปกติปริมาณน้ำในอาหารน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า Brunauer-Emmet-Teller (BET) monolayer จะทำให้พันธะไฮโดรเจนและพันธะแวนเดอร์วาล์ในโครงข่ายของคาร์โบไฮเดรตจับกันอย่างแข็งแรงเป็นผลึก แต่ถ้าปริมาณของน้ำมากกว่าค่า BET monolayer จะทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างโมเลกุลลดลง เพราะการจับกันของน้ำทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตสลาย (Suggett, 1965 อ้างโดย Katz and Labuza, 1981)



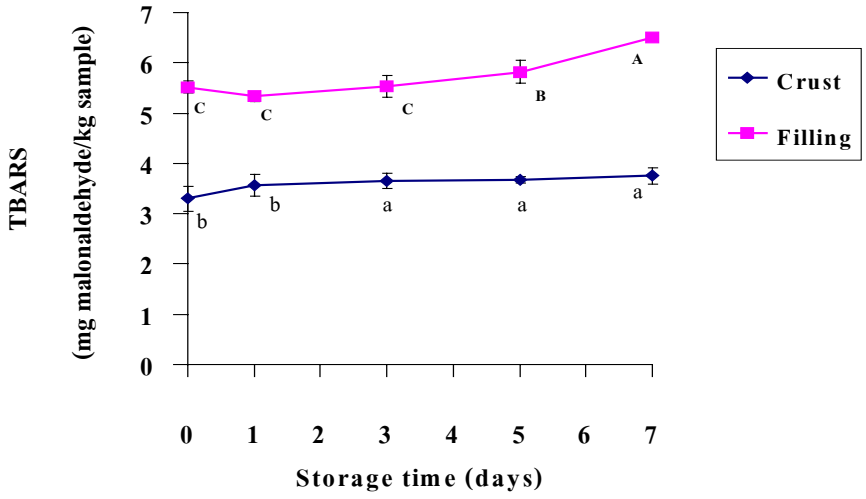
ภาพที่ 27 ค่าต้านแรงกดของกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Compression force of freezing fried curry puff after kept at 10°C.
Letters show significant differences of mean among storage times ($P<0.05$).
Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

4.2 คุณสมบัติทางเคมี

เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ค่า TBARS ของเปลือกของกะหรี่ปั๊ปเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน ขณะที่ไส้ของกะหรี่ปั๊ปมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน แสดงดังภาพที่ 28 อาจเป็นไปได้ว่า ไส้ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ภายในและมีอุณหภูมิต่ำกว่าเปลือก เนื่องจากการนำกะหรี่ปั๊ปแช่เยือกแข็งมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ภายในชิ้นกะหรี่ปั๊ปจึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากภายนอกจนถึงภายใน การที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอกจึงทำให้ส่วนของไส้เกิดปฏิกิริยา

ได้ช้ากว่าเปลือก แต่อย่างไรก็ตามเหล็กอิสระ (Fe^{2+}) ถูกปลดปล่อยออกมาจากโมเลกุลของฮีโมโกบิลในเนื้อไก่ เมื่อได้รับความร้อนก็สามารถเป็นคะตะไลส์ที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530)



ภาพที่ 28 ค่า TBARS ของเปลือก (—⇦—) และไส้ (—❁—) กะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

TBARS value of freezing fried curry puff (—⇦—crust, —❁— filling) after kept at 10°C.

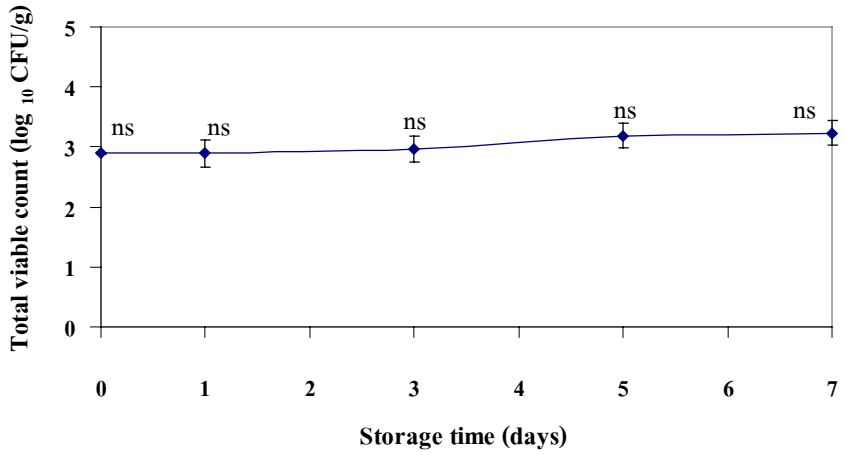
Letters show significant differences of mean among storage times ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

4.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ภายหลังนำกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตลอดระยะเวลาเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างจากจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 29 เนื่องจากกะหรี่ปั๊ปผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส ก่อนแช่เยือกแข็ง จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกทำลายด้วยความร้อน จุลินทรีย์ที่รอดชีวิตอาจเป็นพวกเทอร์โมฟายที่สร้างสปอร์ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) หรือเป็นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนภายหลังการให้ความร้อน และเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จุลินทรีย์พวกเทอร์โมฟายที่สร้างสปอร์ไม่เจริญเติบโต เพราะอุณหภูมิต่ำสุดที่

เจริญเติบโตได้อยู่ในช่วง 40-45 องศาเซลเซียส โดยปกติอุณหภูมิแช่เย็นไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) หรือแบคทีเรียที่ปรับตัวเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophs) (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) นอกจากนี้ยังพบว่ากะหรี่ปั๊ปแช่เยือกแข็งไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ประเภท Psychrotrophic bacteria, Coliforms, *S. aureus, B. cereus*



ภาพที่ 29 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะหรี่ปั๊ปทอดแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Total variable count of freezing fried curry puff after kept at 10°C.

Letters show significant differences of mean among storage times ($P<0.05$).

Bars represent the standard deviation of triplicate determinations.

5. การสำรวจและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊ปแช่เยือกแข็ง

นำกะหรี่ปั๊ปแช่เยือกแข็งที่อุ่นแล้วมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในอำเภอหาดใหญ่ จำนวน 100 คน โดยทำการสอบถามเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับผู้บริโภค พฤติกรรมการซื้อและบริโภค และผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบบสอบถามแสดงในภาคผนวก จ 4.

5.1 ลักษณะทางประชากรของผู้บริโภค

ผู้บริโภคเป็นเพศชาย ร้อยละ 50 เพศหญิง ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป ศาสนาที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นับถือ คือ ศาสนาพุทธ ร้อยละ 60 ศาสนาอิสลาม ร้อยละ 27 ศาสนาคริสต์ ร้อยละ 12 โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษา ร้อยละ 34

เงินเดือนของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2,001-5,000 และ 5,001-10,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 34 และ 35 ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนสมาชิกในครอบครัว 4-6 คน ร้อยละ 67 ผู้บริโภคเสียค่าอาหารต่อวันต่อครอบครัวมากกว่า 120 บาทต่อวัน ร้อยละ 55

5.2 พฤติกรรมการซื้อและบริโภคอาหารแช่เยือกแข็ง

ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อและบริโภคอาหารแช่เยือกแข็งผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 95 รู้จักอาหารแช่เยือกแข็ง ซึ่งอาหารแช่เยือกแข็งที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่รู้จัก คือ เนื้อปลาแปรรูป ขนมจีบ/ซาลาเปา ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ข้าวและแกง และขนมหวาน ตามลำดับ โดยมีเหตุผล 3 อันดับแรก ในการเลือกซื้อ คือ เก็บรักษาได้นาน หาซื้อง่าย และไม่มีเวลาปรุงอาหาร ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ ร้อยละ 28 มีความถี่ในการซื้อมากกว่า 3 ครั้งต่อเดือน สถานที่ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้ออาหารแช่เยือกแข็ง คือห้างสรรพสินค้า

5.3 การยอมรับผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊ปไส้ไก่แช่เยือกแข็ง

เมื่อผู้บริโภคทดสอบกะหรี่ปั๊ปไส้ไก่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการอุ่นแล้ว พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบผลิตภัณฑ์ทางด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวม ร้อยละ 62 61 62 และ 73 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามผู้บริโภค ร้อยละ 99 ยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การจำหน่ายผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊ปไส้ไก่แช่เยือกแข็งในราคา 25 บาท/4 ชิ้น พบว่าจำนวนผู้บริโภคที่คิดว่าจะซื้อ ร้อยละ 74

ตารางที่ 10 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้บริโภคทั่วไปในเขตอำเภอหาดใหญ่

Demographic of cunsumer in Hat yai.

Demographic	**Gender**		**Total**
	Male	**Female**	
Age			
15-20 years	15	11	26
21-25 years	5	10	15
26-30 years	13	7	20
31-40 years	13	7	20
over 40 years	4	15	19
Religion			
IsIam	11	16	27
Buddhism	31	29	60
Christianity	7	5	12
others	1	0	1
Occupation			
commerce	9	12	21
government officers	7	10	17
empolyee	14	10	24
students	18	16	34
others	2	2	4
Income			
<2,000 bahts	0	6	6
2,001-5,000 bahts	21	13	34
5,001-10,000 bahts	16	19	35
>10,000 bahts	13	12	25

Table 10 (continued)

Demographic	Gender		Total
	Male	Female	
Member of family			
1 person	0	3	3
2-3 persons	8	13	21
4-6 persons	37	30	67
>6 persons	5	4	9
Food payment per family per day			
<50 bahts	2	2	4
50-80 bahts	6	11	17
81-120 bahts	11	13	24
>120 bahts	31	24	55

ตารางที่ 11 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อและบริโภค

Data of consumer buying and consuming behavior.

Question	Gender		Total
	Male	Female	
Do you used to eat frozen food?			
yes	48	47	95
no	2	3	5
What type of frozen food do you know?			
Shao-mai/Chinese bun	36	32	68
Dessert	17	14	31
Surimi products	44	44	88
Rice and curry	21	23	44
Bekery products	23	27	50
others	0	2	2
Why do you buy the frozen foods?			
time saving	28	33	61
convenient cooking	9	7	16
new taste	10	18	28
hygienic	8	8	16
delicious	8	3	11
cheap	6	4	10
long shelf life	32	32	64
convenient buying	30	33	63
standing quality	4	4	8
others	2	0	2

Table 11 (continued)

Question	Gender		Total
	Male	Female	
How often you buy product?			
<1 time/month	7	9	16
1 time/month	12	13	25
2 times/month	12	11	23
3 times/month	4	4	8
>3 times/month	15	13	28
Where do you buy product?			
convenient store	32	21	53
flee market	2	7	9
department stores	41	33	74
others	2	4	6

ตารางที่ 12 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊ปของผู้บริโภค

Data about liking on the product.

Characteristics	Liking level					Mean score
	Like very much	Like	Neither like nor unlike	Dislike	Dislike very much	
Appearance	18	62	20	0	0	3.98
Texture	21	61	18	0	0	4.03
Flavor	17	62	16	5	0	3.91
Overall liking	13	73	4	0	0	3.69

ตารางที่ 13 ข้อมูลเกี่ยวกับการยอมรับผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊ปของผู้บริโภค

Data about acceptance on the product.

Question	Percentage
Do you accept the product?	
accept	99
not accept	1
Do you buy the frozen curry chicken filled puff at the price of 25 bahts/4 pieces (1 of 40 grams pieces)?	
buy	74
not buy	26

6. การประเมินต้นทุนวัตถุดิบและการแช่เยือกแข็งของกะหรี่ปั๊ปไส้ไก่แช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 14 ราคาวัตถุดิบสำหรับผลิตไส้

Cost of filling raw materials

Ingredients	**Weigh (g)**	**Price per unit**	**Price (baht)**
Chicken[(1)]	600	65 baht/kg	65
Onion[(1)]	300	30 baht/kg	9
Potato[(1)]	225	30 baht/kg	6.75
Sweet potato[(2)]	225	10 baht/kg	2.25
Butter[(1)]	100	35 baht/227 g	15.42
Sugar[(1)]	90	14 baht/kg	1.26
Soybean sauce[(1)]	55	30 baht/0.7 L	2.36
Curry powder[(1)]	35	40 baht/115 g	11.83
Garlic[(1)]	30	20 baht/kg	0.6
Corn flour[(1)]	25	25 baht/400 g	1.63
Water	25	-	-
Salt[(1)]	12	10 baht/kg	0.12
White pepper powder[(1)]	7	30 baht/100 g	2.03
Total	1,730		118.25
After cooked	1,200		

[(1)]**Source:** Tesco Lotus store

[(2)]**Source:** Local maket in Hat Yai

ตารางที่ 15 ราคาวัตถุดิบสำหรับผลิตเปลือกกะหรี่ปั๊ป

Cost of crust raw materials

Ingredients[1]	**Weigh (g)**	**Price per unit**	**Price (baht)**
Inner layer of puff			
- Wheat flour	500	30 baht/kg	15.5
- Palm oil	220	30 baht/L	6.05
Total	720		21.6
Outer layer of puff			
- Wheat flour	1,000	30 baht/kg	31
- Water	400	-	-
- Palm oil	220	30 baht/L	6.6
- Sugar	50	15 baht/kg	0.7
- Salt	10	10 baht/kg	0.1
Total	1,680		37.45

[1]**Source:** Lotus supermaket

ตารางที่ 16 ราคาวัตถุดิบทั้งหมดในการผลิตกะหรี่ปั๊ปสด

Total raw materials cost for curry chicken filled puff

Parts	**Filling**	**Inner layer**	**Outer layer**	**Total**
Weight per unit	1,200	720	1,680	
Cost (baht/unit)	118.25	21.6	37.45	
Weight per piece	20	25/3 = 8.34	60/3 = 20	
Piece per unit	60	86.33	84	
Price per piece	1.97	0.25	0.45	2.67

- One curry chicken filled puff has weight 40 grams.

So, One kilogram of curry chicken filled puff has 25 pieces

ตารางที่ 17 ราคาวัตถุดิบและต้นทุนการแช่เยือกแข็งของกะหรี่ปั๊ป

Cost of raw material and freezing curry chicken filled puffs.

Materials	**Price**	**Unit**
Product	2.67x25 = 66.75	baht/kg
Freezing cost[(1)]	1.15	baht/kg
Total	67.90	baht/kg
Storage cost[(1)]	1.05	baht/kg/month

[(1)]**Source:** Local freezing plant in Songkhla