บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

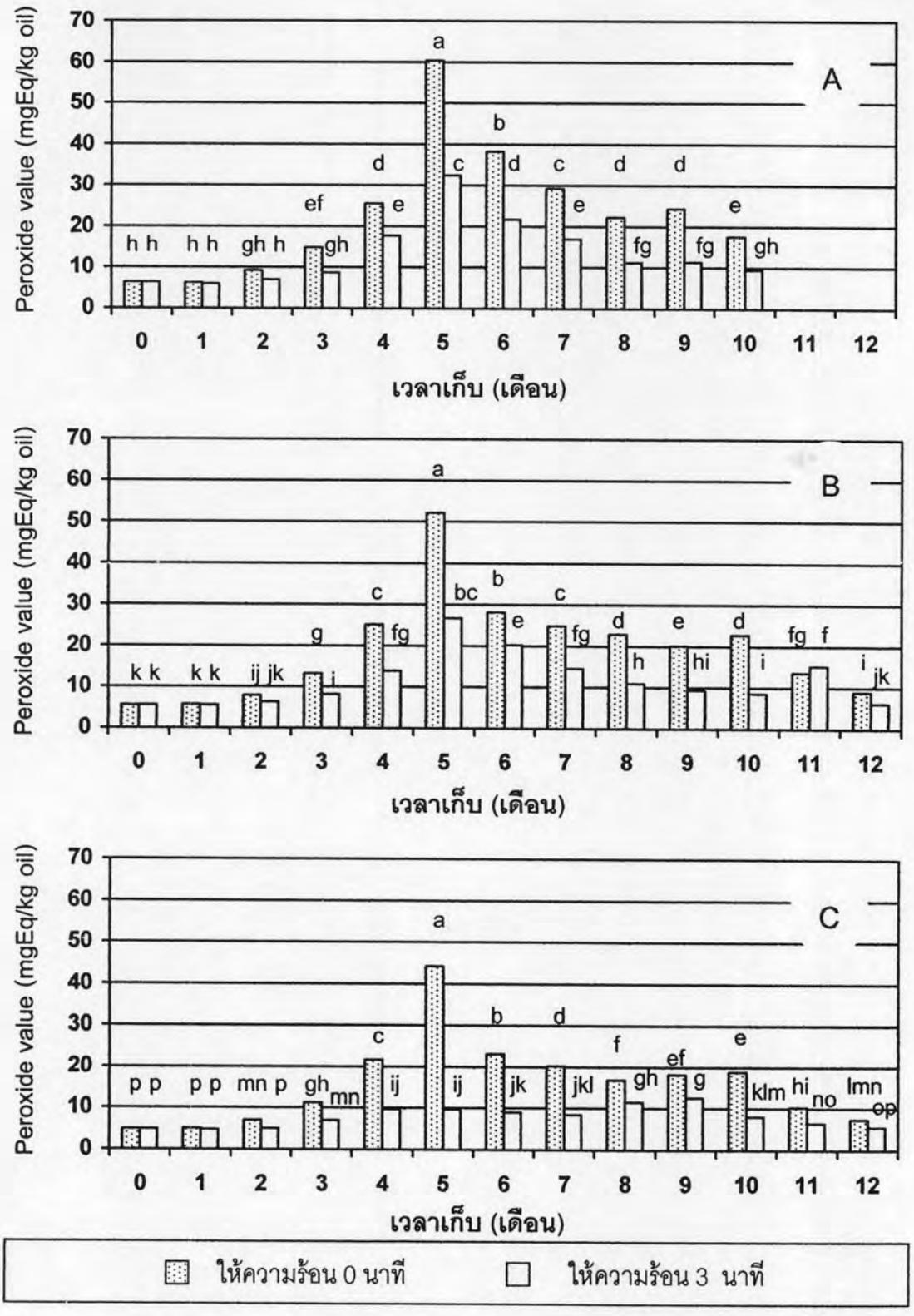
4.1 กะทิ

ตัวอย่างกะทิจากข้อ 3.1.1 แปรเวลาให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 0 และ 3 นาที เก็บที่ภาวะเร่ง 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 0±3, -5±0.5 และ –15±2°C ระหว่างเก็บสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทุกเดือน โดยนำมาละลายน้ำแข็งที่ 4-5°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

4.1.1 คุณภาพทางเคมี

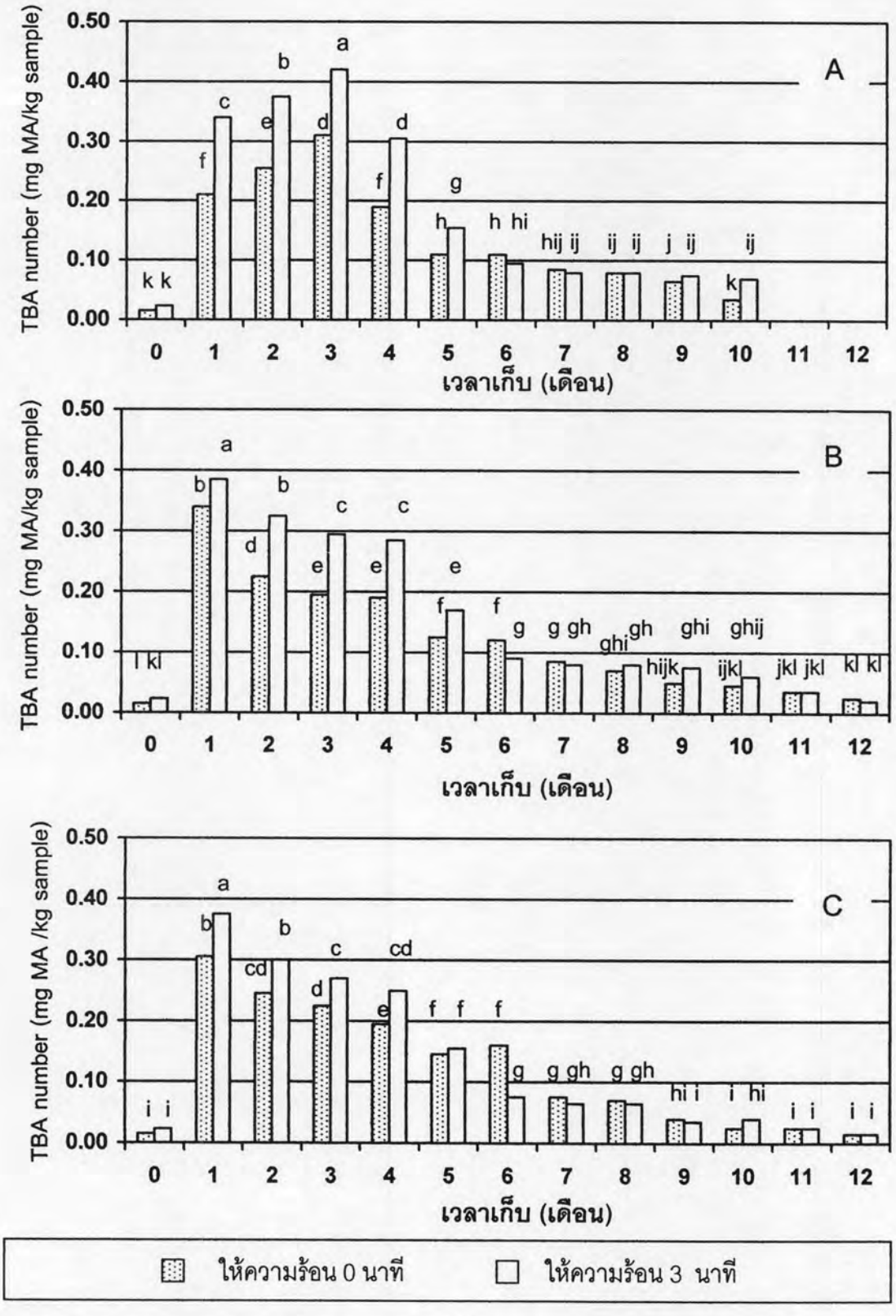
กะทิที่ได้ในข้อ 3.1.2 นำมาวิเคราะห์ค่า PV, TBA และ FFA ร่วมกับวัดค่า pH จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า PV ในทุกอุณหภูมิเก็บรักษา พบอิทธิพลของเวลาเก็บ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และ อิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อค่า PV ของกะทิ ($p \leq 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1) จากภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาที่เวลาให้ความร้อนระดับเดียวกัน พบว่า กะทิมีค่า PV เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 5 เดือนแรกแล้วค่อยลดลง ($p \leq 0.05$) สาเหตุที่ทำให้ค่า PV สูงขึ้นอาจเนื่องมาจาก การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมันในกะทิ โดยสารประกอบ hydroperoxides จะเกิดขึ้นในระยะแรกของปฏิกิริยา oxidation แล้วสามารถสลายตัวเป็นสารประกอบชนิดอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น aldehydes, ketones, hydrocarbons และ alcohols เนื่องจากสารประกอบ hydroperoxides เป็นสาร intermediate ของปฏิกิริยา oxidation (Hamilton,1994) ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ค่า PV ของกะทิลดลง เมื่อพิจารณาที่เวลาเก็บระดับเดียวกัน พบว่า ปริมาณ hydroperoxides ของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเกิดขึ้นสูงกว่ากะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนมีผลทำให้ออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา oxidation ละลายในไขมันและน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Nawar,1996) ดังนั้นจึงทำให้การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมันลดลง เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเก็บรักษา พบว่า ที่อุณหภูมิ 0±3°C กะทิไม่ผ่านการให้ความร้อนมี hydroperoxides เกิดขึ้นสูงสุด (60.29 mg Eq/kg oil) ขณะที่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำลงมาการเกิด hydroperoxides ลดลงตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะ อัตราการเกิด oxidation จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเก็บที่เพิ่มขึ้น (Nawar, 1996)

I25207453



ภาพที่ 4.1 ค่า PV ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) หรือให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที และเก็บที่ 0±3°C (A) , -5±0.5°C (B) และ -15±2°C (C) ตัวอักษรกำกับ a,b,...,p ที่แตกต่างกันในแต่ละอุณหภูมิเก็บ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สารประกอบ hydroperoxides เป็นสาร intermediate ของปฏิกิริยา oxidation จึงไม่คงตัวและสามารถสลายตัวไปเป็นสารอื่นได้ดังที่กล่าวมาแล้ว อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยา oxidation คือ ค่า TBA ซึ่งเป็นการตรวจวัดสาร malonaldehyde ซึ่งเป็นสารประกอบประเภท aldehydes ที่เกิดจากปฏิกิริยา oxidation ดังนั้นค่า TBA จึงเป็นการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการสลายตัวของสาร hydroperoxides โดยจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า TBA ในทุกอุณหภูมิเก็บรักษา พบอิทธิพลของเวลาเก็บ และ อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาเก็บและเวลาให้ความร้อนต่อค่า TBA ($p \leq 0.05$) พบอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนต่อค่า TBA ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 0 ± 3 และ $-5 \pm 0.5^{\circ}C$ แต่ไม่พบอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนต่อค่า TBA ($p > 0.05$) ที่อุณหภูมิเก็บรักษา $-15 \pm 2^{\circ}C$ (ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1) แสดงผลได้ดังภาพที่ 4.2 โดยเมื่อพิจารณาที่เวลาให้ความร้อนระดับเดียวกัน พบว่า ค่า TBA เพิ่มขึ้นในระยะแรก (5 เดือนแรก) หลังจากนั้นลดลง ($p \leq 0.05$) โดยค่า TBA เพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก การสลายตัวของสาร hydroperoxides ไปเป็นสารประกอบชนิดอื่นๆ เช่น aldehydes (Hamilton, 1994) malonaldehyde ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงแรกสามารถการสลายตัวไปเป็นสารประกอบชนิดต่างๆ เช่น acids, hydrocarbons และ epoxides เป็นต้น (Nawar, 1996) ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ค่า TBA ลดลง ($p \leq 0.05$) โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ในตัวอย่างกะทิเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ยกเว้น กะทิที่เก็บรักษาที่ $0 \pm 3^{\circ}C$ อัตราการเกิด malonaldehyde ช้ากว่ากะทิที่เก็บรักษาที่ -5 ± 0.5 และ $-15 \pm 2^{\circ}C$ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ อุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษามีความแปรปรวนมาก จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยา oxidation แตกต่างจากที่อุณหภูมิเก็บอื่น และเมื่อพิจารณาที่เวลาเก็บระดับเดียวกัน พบว่า ค่า TBA ของกะทิที่ผ่านการให้ความร้อนมีแนวโน้มสูงกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก การให้ความร้อนมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมันเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ในขั้นต่อเนื่องเพิ่มขึ้น และยังเร่งให้เกิดการสลายตัวของสาร hydroperoxides ไปเป็นอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยา oxidation เพิ่มขึ้น (Lundberg ,1962)

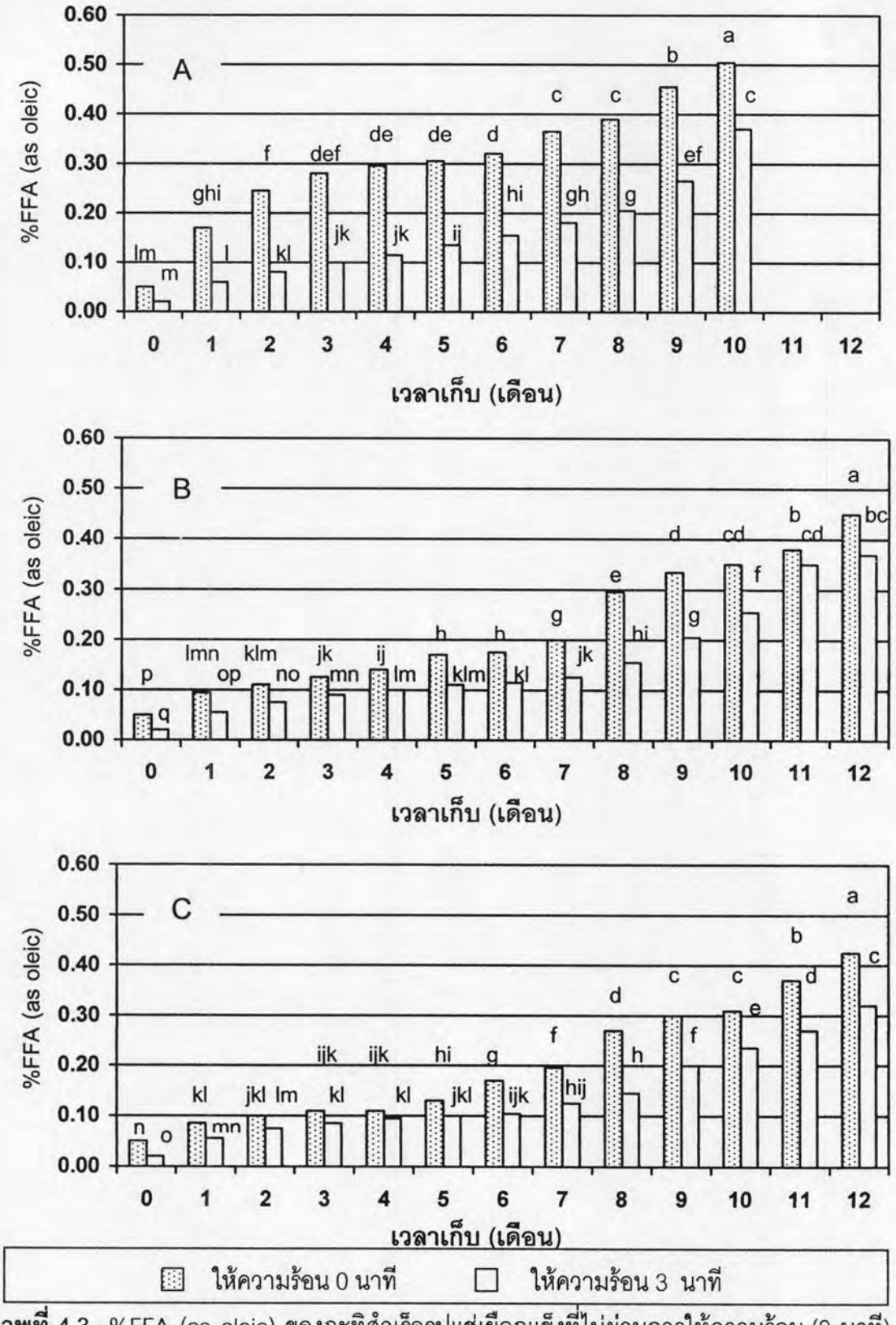


ภาพที่ 4.2 ค่า TBA ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที)หรือให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที และเก็บที่ 0±3°C (A) , -5±0.5°C (B) และ -15±2°C (C) ตัวอักษรกำกับ a,b,...,l ที่แตกต่างกันในแต่ละอุณหภูมิเก็บ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ค่า TBA นั้นไม่เป็นไปตามทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน เนื่องจาก ค่า PV และ TBA ควรมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เมื่อค่า PV เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วมีแนวโน้มลดลง ค่า TBA จึงค่อยเพิ่มสูงขึ้น เพราะ TBA เป็นค่าที่ใช้วัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา oxidation ในระยะหลังจากที่สารประกอบ hydroperoxides ซึ่งเกิดขึ้นในระยะแรกของปฏิกิริยา oxidation เกิดการสลายตัวแล้ว (Shahidi and Wanasundara, 2002) จากผลดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่า ค่า TBA อาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่เหมาะสมในการติดตามการเกิดปฏิกิริยา oxidation ในกะทิ เนื่องจาก Young (1983) รายงานว่าน้ำมันมะพร้าวซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของกะทิประกอบด้วย triacylglycerols (TG) ซึ่งประกอบด้วย trisaturated TG 84%, disaturate-monounsaturated TG 14% และ monosaturate-diunsaturated TG 4% กรดไขมันที่พบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่า 90% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ arachidonic และ linolenic มีอยู่น้อย (Gopalakrishnan *et al.*, 1987) ขณะที่ malonaldehyde ซึ่งเป็นดัชนีของค่า TBA ต้องเกิดจากกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 3 พันธะขึ้นไปที่มีพันธะคู่ β-γ กับ carbon ที่มีหมู่ peroxy เช่นที่พบในกรด arachidonic และ linolenic

การเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยา hydrolytic rancidity เกิดได้จาก 2 สาเหตุ คือ จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ lipase ที่มีตามธรรมชาติในกะทิ กับ lipase ที่ผลิตจากจุลินทรีย์จำพวก lipolytic microorganisms เช่น *Pseudomonas fragi, Pseudomonas fluorescences, Candida lipolyticum, Geotrichum candidum, Achromobacter lipolyticum* และ *Penicillium roqueforti* เป็นต้น ที่อาจปนเปื้อนหลังการให้ความร้อน ระหว่างการบรรจุและปิดผนึกผลิตภัณฑ์ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ยังเจริญและผลิตเอนไซม์ lipase ได้แม้ที่อุณหภูมิเยือกแข็ง (Alford and Pierce, 1961; Andersson *et al.*, 1979)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า FFA ในทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา พบอิทธิพลของเวลาเก็บ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่า FFA ($p \leq 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1) จากภาพที่ 4.3 เมื่อพิจารณาที่เวลาให้ความร้อนระดับเดียวกัน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก ปฏิกิริยาการย่อยสลายของไขมันหรือน้ำมันในระบบที่มีเอนไซม์ lipase อยู่ด้วย ส่งผลทำให้เกิดการปลดปล่อยกรดไขมันอิสระออกมา (Nawar, 1996) และเมื่อพิจารณาที่เวลาเก็บระดับเดียวกัน พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนสูงกว่ากะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 %FFA (as oleic) ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) หรือให้ความร้อนที่ 96-97 °C เป็นเวลา 3 นาที และเก็บที่ 0±3 °C (A) , -5±0.5 °C (B) และ -15±2 °C (C)... ตัวอักษรกำกับ a,b,...,q ที่แตกต่างกันในแต่ละอุณหภูมิเก็บ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ การให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที มีผลทั้งการยับยั้งเอนไซม์ lipase ที่มีตามธรรมชาติในกะทิ และมีผลทั้งทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และ %FFA (as oleic) ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บที่ 0±3°C เป็นเวลา 10 และ 11 เดือน

ตัวอย่างกะทิ	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (cfu/ml)		%FFA (as oleic)
	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ	หลังเก็บ
ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที)	3.55×10^3	5.50×10^3	0.65
ให้ความร้อนที่ 96-97 °C เป็นเวลา 3 นาที	60	410	0.46

จากตารางที่ 4.1 พบว่า กะทิไม่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งมีจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้นสูง (3.55×10^3 cfu/ml) มีปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นมากกว่ากะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งมีจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้นน้อยกว่า (60 cfu/ml) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มของกรดไขมันอิสระขึ้นอยู่กับจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้น โดยการให้ความร้อนแก่กะทิที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที นั้นช่วยลดจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้นและชะลอการเกิดกรดไขมันอิสระได้ ซึ่งจากผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของศิริวรรณ เนติวรานนท์ (2531) ที่รายงานว่า น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการให้ความร้อนไม่เพียงพอในการทำลายเอนไซม์ lipase และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ มีโอกาสจะเกิดการเหม็นหืนแบบ hydrolytic ได้มากกว่าแบบ oxidative และปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเกิดการเหม็นหืนแบบ hydrolytic คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน นอกจากนี้ยังพบว่า แม้ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้ว ปริมาณกรดไขมันอิสระยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจาก เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์หลังการให้ความร้อน และจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ lipase เหล่านี้ยังอาจเพิ่มจำนวนและผลิตเอนไซม์ lipase ได้ช้าๆ ที่ภาวะเยือกแข็ง ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น

สำหรับตัวอย่างกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนในการทดลอง แต่ผ่านการให้ความร้อนในระดับ UHT (ที่อุณหภูมิ 135-150°C นาน 1-4 วินาที) มาแล้วนั้น พบว่า เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก อาจเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ลงในผลิตภัณฑ์ในช่วงระหว่างหรือหลังการแปรรูป หรืออาจเกิดจากการปนเปื้อนจากเอนไซม์ที่ทนความร้อน (heat-resistant enzyme) ได้แก่ เอนไซม์ lipase ที่ผลิตจากแบคทีเรียพวก psychrotropes ซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ว่าตัวแบคทีเรียเองจะโดนทำลายไปโดยการพาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที (LTLT) และที่อุณหภูมิ 72°C นาน 15 วินาที (HTST) หรือที่อุณหภูมิ 135-150°C นาน 1-4 วินาที (UHT) แล้วแต่เอนไซม์ lipase ที่ผลิตขึ้นแล้วนั้นทนต่อความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์และระดับ UHT ได้ (Allen, 1994; Antonelli *et. al.*, 2002) ดังนั้นการให้ความร้อนแก่กะทิอีกครั้งที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที จึงช่วยทำลายเอนไซม์ lipase ได้ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Ohlson (1976) ที่รายงานว่า สามารถทำลายเอนไซม์ lipase โดยการให้ความร้อนเริ่มตั้งแต่ 60-70°C และจะทำลายได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิ 90-100°C ผลจากการทดลองจึงชี้ชัดว่า ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าพวกที่ผ่านการให้ความร้อน

นอกจากการตรวจวิเคราะห์ค่า PV, TBA และ FFA ที่ใช้ในการติดตามการเกิดกลิ่นหืนแล้ว การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมันเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมันภายในระบบอาหารได้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าลักษณะของกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดขึ้นในกะทินั้นเกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีใด ในการทดลองจึงได้นำตัวอย่างกะทิซึ่งผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพทางด้านกลิ่นแล้วไปตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมันเปรียบเทียบกับกะทิที่ผลิตมาใหม่ๆ แสดงผลดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบกรดไขมันของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที ก่อนเก็บและหลังเก็บที่ 0±3°C เป็นเวลา 10 และ 11 เดือน

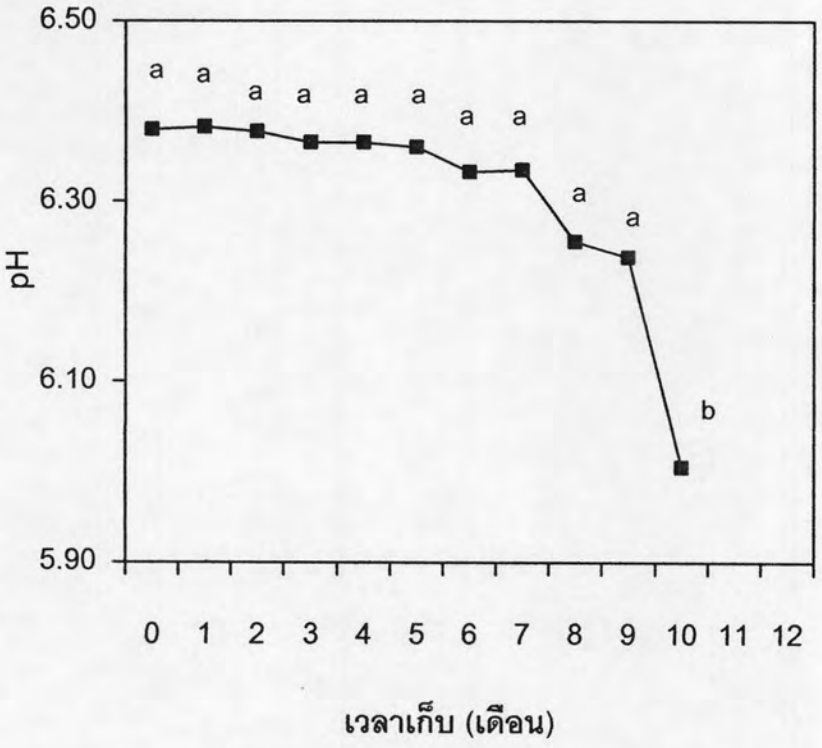
องค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณ (%)	
	ก่อนเก็บ	หลังเก็บ
เวลาในการให้ความร้อน 0 นาที	**0 เดือน**	**10 เดือน**
Lauric acid	55.47	40.16
Myristic acid	18.25	20.33
Palmitic acid	9.98	14.22
Stearic acid	5.75	8.87
Oleic acid	7.43	10.54
Linoleic acid	3.13	5.88
เวลาในการให้ความร้อน 3 นาที	**0 เดือน**	**11 เดือน**
Lauric acid	66.90	59.82
Myristic acid	14.32	18.32
Palmitic acid	7.62	9.40
Stearic acid	4.00	4.48
Oleic acid	5.37	5.87
Linoleic acid	1.78	2.12

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมันในกะทิที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บเป็นเวลา 10 และ 11 เดือน พบว่า oleic และ linoleic acid ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หลังจากที่เก็บรักษาจนพบว่า ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังเก็บกะทิเป็นเวลา 10-11 เดือน กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดอาจไม่เกิดปฏิกิริยา oxidation หรือเกิดในปริมาณน้อยมาก

สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า pH ของกะทิในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0±3°C พบอิทธิพลของเวลาเก็บรักษา และ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อนต่อค่า pH ($p \leq 0.05$) แสดงผลดังภาพที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.3 แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง ($p > 0.05$) ในขณะที่กะทิซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -5±0.5 และ -15±2°C ไม่พบอิทธิพลของเวลาเก็บ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และ อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง ($p > 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1)

จากภาพที่ 4.4 พบว่า pH ของกะทิคงที่ในช่วงต้นและค่อยๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในเดือนที่ 10 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการเจริญของแบคทีเรียที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยพบว่า กะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจาก 3.55×10^3 เป็น 5.50×10^3 cfu/ml ในขณะที่กะทิผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 96-97°C มีจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 410 cfu/ml แม้ว่าอุณหภูมิเก็บรักษาจะเป็นอุณหภูมิต่ำแต่จุลินทรีย์พวก psychrophiles ซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ -5 ถึง 5°C ก็ยังสามารถเจริญได้ ประกอบกับอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษามีความแปรปรวนมาก จึงอาจส่งผลให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้เพิ่มมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ กะทิเป็นแหล่งอาหารที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียซึ่งปนเปื้อนมาจากเครื่องมือเครื่องใช้ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการแปรรูปและอื่นๆ จุลินทรีย์ที่มักปนเปื้อนมาได้แก่ *Bacillus*, *Achromobacter*, *Microbacterium*, *Micrococcus* และ *Brevibacterium* (Mabesa and del Rosario, 1979) โดยเมื่อจุลินทรีย์เจริญขึ้นจะผลิต lactic acid ขึ้นมาเป็นผลทำให้เกิดกลิ่นเปรี้ยวกับกะทิ และค่า pH ของกะทิลดลง

เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาให้ความร้อน พบว่า ค่า pH ของกะทิซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที สูงกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 ทั้งนี้เป็นเพราะ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้กะทิเกิดการเสื่อมเสียโดยการผลิตกรดได้ ดังจะเห็นได้จากผลการตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (ตารางที่ 4.1) พบว่า กะทิที่ผ่านการให้ความร้อนมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด น้อยกว่ากะทิที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน



ภาพที่ 4.4 ค่า pH ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งซึ่งเก็บที่ 0±3°C เป็นเวลา 10 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ... ตัวอักษรกำกับ a, b ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ค่า pH ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บที่ 0±3°C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาให้ความร้อน

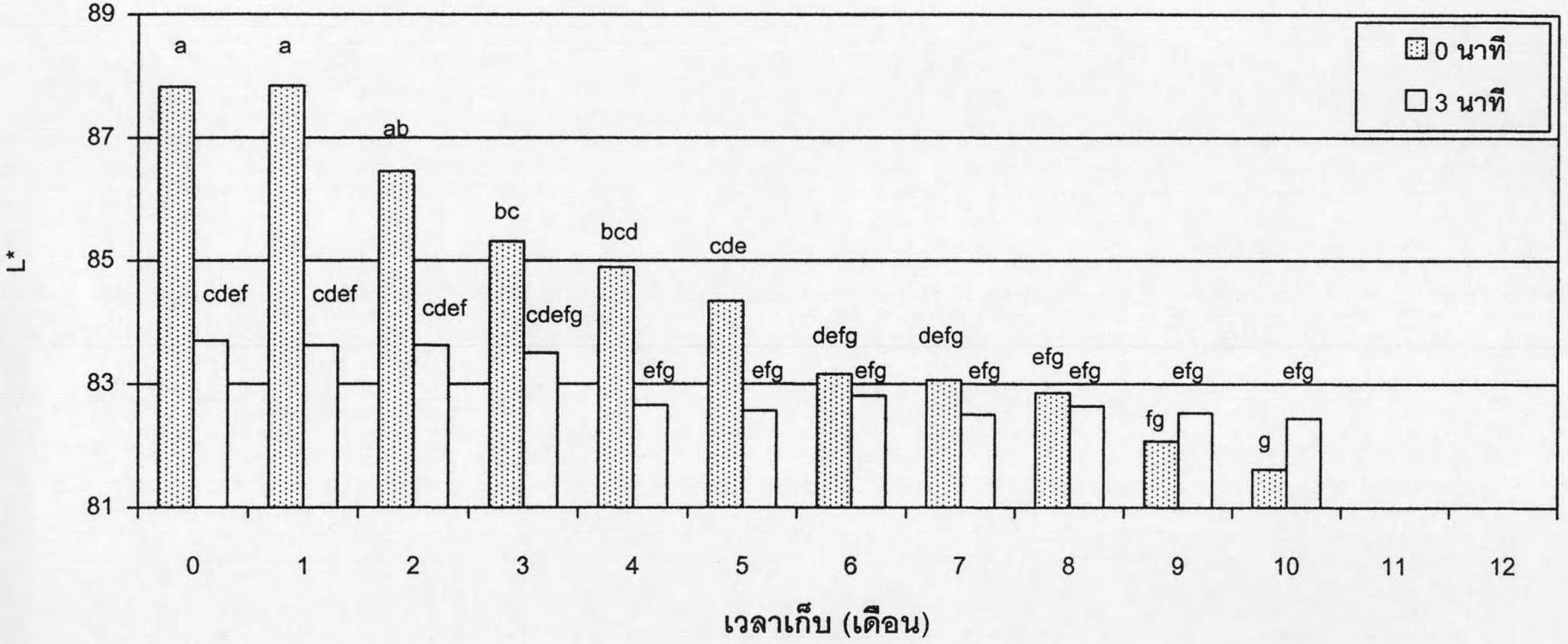
เวลาให้ความร้อน	pH
0 นาที	$6.25^{b} \pm 0.23$
3 นาที	$6.32^{a} \pm 0.14$

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมีทั้งหมด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่า PV, TBA และ FFA ตลอดเวลาการเก็บรักษา พบว่า PV และ TBA ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบ่งชี้คุณภาพของกะทิ เนื่องจาก เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลานาน สาร hydroperoxides และ malonaldehyde มีโอกาสสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่นๆ โดย ค่า PV และ TBA สุดท้าย (เดือนที่ 12) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น (เดือนที่ 0) ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ในข้างต้น และเมื่อพิจารณาปัจจัยองค์ประกอบกรดไขมันของตัวอย่างทุกตัวอย่างก่อนเก็บและหลังการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.2) ซึ่งเป็นการสมเหตุสมผลมากกว่าที่จะสรุปว่า hydrolytic rancidity เป็นสาเหตุหลักของการหมดอายุการเก็บรักษาสำหรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้ ในการกำหนดอายุการเก็บโดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองทางประสาทสัมผัส จึงเลือกค่า FFA สำหรับวัตถุประสงค์นี้

4.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของกะทิสำเร็จรูปตลอดเวลาการเก็บรักษา พบอิทธิพลร่วมของเวลาเก็บและเวลาให้ความร้อนต่อค่า L* ของกะทิ ซึ่งเก็บที่ 0±3°C ($p \leq 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.2) แสดงผลดังในภาพที่ 4.5 เมื่อพิจารณาที่เวลาให้ความร้อนระดับเดียวกัน กะทิเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ค่าความสว่างจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเก็บเป็นเวลานานกะทิมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard โดยกะทิมี reducing sugars ได้แก่ glucose, fructose galactose และมีโปรตีน ซึ่งโปรตีนที่พบมากได้แก่ albumin และ globulin โดยมีปริมาณมากถึง 80% ของโปรตีนทั้งหมดใน endosperm ของมะพร้าว เป็นองค์ประกอบ (Seow and Goh, 1994) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard และได้สารประกอบ melanoidins ซึ่งเป็นสารให้สีน้ำตาล Fisher และ Scott (1997) รายงานว่า ส่วนผสมของน้ำตาลและกรดอะมิโนซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 2-4°C สามารถเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard ได้ ผลของสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงทำให้กะทิมีค่าความสว่างลดลงเมื่อเก็บเป็นเวลานาน และเมื่อพิจารณาที่เวลาเก็บระดับเดียวกัน กะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีค่าความสว่างมากกว่ากะทิที่ผ่านการให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงว่าพลังงานความร้อนมีผลในการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว (Waller and Feather, 1983)



ภาพที่ 4.5 ค่า L* ของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บที่ 0±3°C เป็นเวลา 10 เดือน ตัวอักษรกำกับ a,b,...,g ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าสีแดงและค่าสีเหลือง แสดงว่า ในทุกอุณหภูมิเก็บรักษา มีอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนต่อค่าสีดังกล่าว ($p \leq 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.2) โดยพบว่า กะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมากกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) ที่เป็นเช่นนี้เป็นผลจากเกิดปฏิกิริยา Maillard ดังที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น จึงส่งผลให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 ค่า a* และ b* ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บที่ 0±3, -5±0.5 และ -15±2°C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาให้ความร้อน

เวลาให้ความร้อน	a*	b*
อุณหภูมิเก็บ 0±3°C		
0 นาที	-1.13^{b}±0.05	2.22^{b}±0.10
3 นาที	-0.53^{a}±0.04	4.05^{a}±0.09
อุณหภูมิเก็บ -5±0.5°C		
0 นาที	-1.17^{b}±0.04	2.16^{b}±0.07
3 นาที	'-0.55^{a}±0.02	4.11^{a}±0.06
อุณหภูมิเก็บ -15±2°C		
0 นาที	-1.17^{b}±0.02	2.11^{b}±0.05
3 นาที	-0.54^{a}±0.02	4.12^{a}±0.06

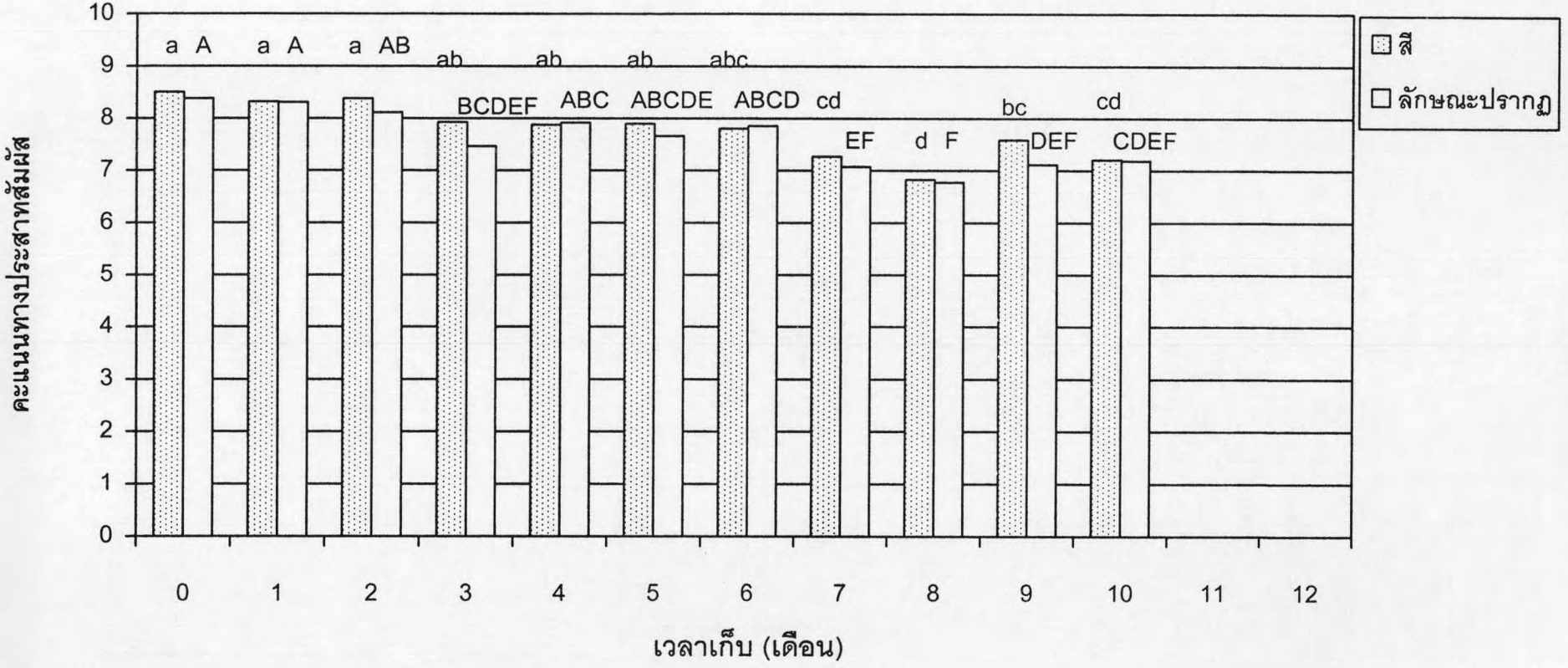
a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกันในแต่ละอุณหภูมิเก็บ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

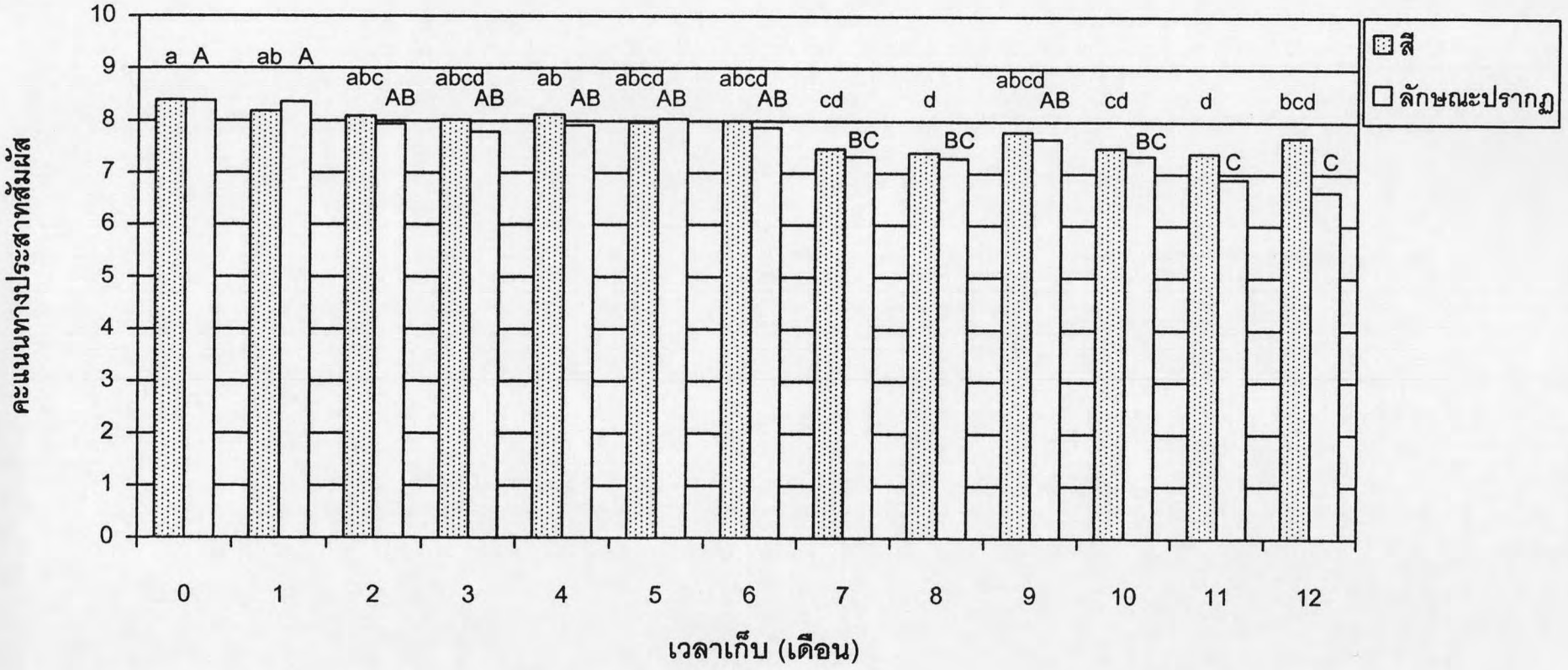
ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสซึ่งใช้วิธีทดสอบชนิด Difference from control test และแบบทดสอบชนิด Quantitative descriptive with scaling ผู้ทดสอบต้องแยกแยะความแตกต่างทางด้าน สี ลักษณะปรากฏ และกลิ่น ระหว่างตัวอย่างที่ผลิตใหม่ๆ กับตัวอย่างที่เก็บไว้จนมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเกิดขึ้น และให้คะแนนในลักษณะที่ถ้าความแตกต่างดังกล่าวนี้มีอยู่มาก คะแนนจะต่ำกว่าตัวอย่างที่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมน้อยกว่า โดยในการทดลองนี้ได้กำหนดคะแนนต่ำกว่า 5 เป็นคะแนนที่ไม่ยอมรับคุณภาพทุกด้านของตัวอย่างกะทิ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสมบัติของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ในทุกอุณหภูมิเก็บรักษา พบอิทธิพลของเวลาเก็บต่อคะแนนสีและลักษณะปรากฏของกะทิสำเร็จรูป ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อคะแนนสีและลักษณะปรากฏของกะทิสำเร็จรูป ($p > 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.3) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.6 ถึง 4.8

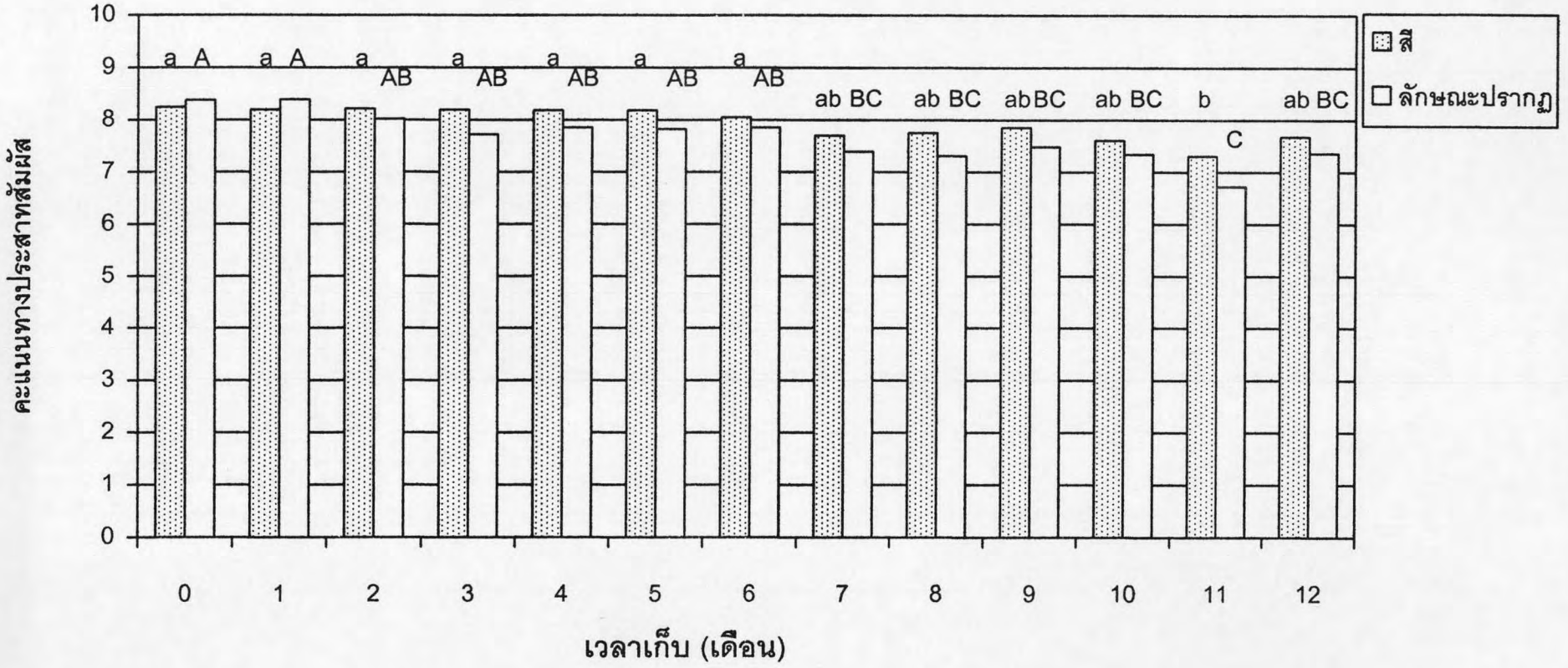
จากภาพที่ 4.6 ถึง 4.8 พบว่า ในทุกอุณหภูมิเก็บรักษา คะแนนสีของกะทิมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น หรือสีของกะทิมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะ เมื่อเก็บเป็นเวลานานกะทิเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ เกิดปฏิกิริยา Maillard ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.1.2 จึงทำให้กะทิมีสีคล้ำขึ้น คะแนนทางด้านสีจึงแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้น สำหรับคะแนนด้านลักษณะปรากฏ พบว่า กะทิมีลักษณะปรากฏแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้นเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโดยธรรมชาติเมื่อตั้งทิ้งไว้ กะทิจะเกิดการแยกตัวเป็นชั้นหัวกะทิด้านบนและชั้นหางกะทิด้านล่างจากแรงโน้มถ่วงโลก โดยเกิดจากสมบัติของไขมันที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำและไม่ละลายน้ำ (Hagenmaier, 1977) นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำลายความคงตัวของอิมัลชันในกะทิได้ เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิของกะทิลดลงจนถึงจุดที่ไขมันในกะทิแข็งตัว จะทำให้ไขมันเกิดผลึก (fat crystallization) ผลึกไขมันที่เกิดขึ้น จะแทงทะลุผิวของอนุภาคน้ำมันและเชื่อมต่อกับผลึกไขมันจากอนุภาคน้ำมันที่อยู่ใกล้กัน แรงตึงผิวระหว่างอนุภาคน้ำมันทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรงและอนุภาคน้ำมันเกิดการรวมตัวกันใหญ่ขึ้น (Van Boekel, 1980) จึงทำให้อิมัลชันเสียสภาพ น้ำมันในกะทิเกิดการแยกชั้นออกมาได้



ภาพที่ 4.6 คะแนนสีและลักษณะปรากฏของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บที่ 0±3°C เป็นเวลา 10 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ ตัวอักษรกำกับ a,b,...,d และ A,B,...,F ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคุณลักษณะ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



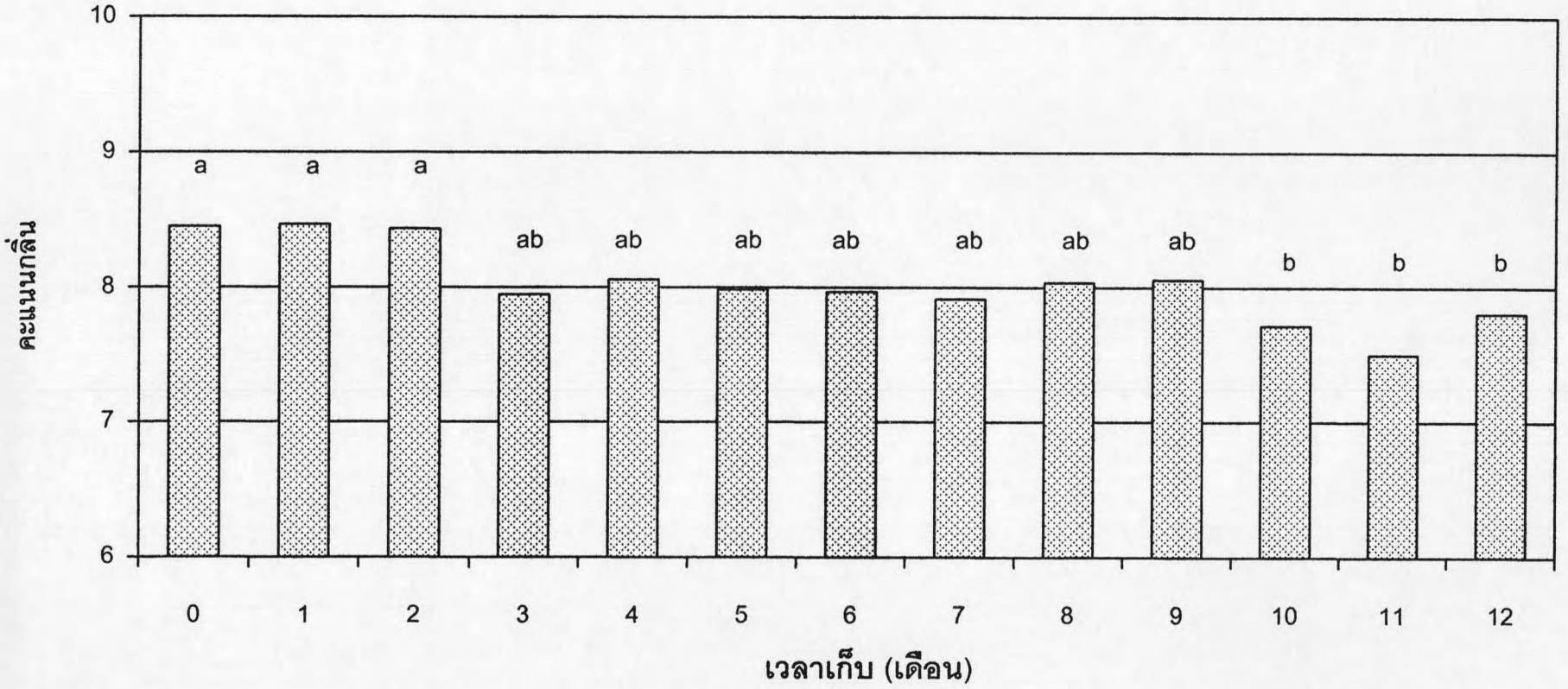
ภาพที่ 4.7 คะแนนสีและลักษณะปรากฏของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บที่ -5±0.5°C เป็นเวลา 12 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ ตัวอักษรกำกับ a,b,...,d และ A,B,C ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคุณลักษณะ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.8 คะแนนสีและลักษณะปรากฏ ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บที่ -15±2°C เป็นเวลา 12 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ ตัวอักษรกำกับ a,b,c และ A,B,C ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคุณลักษณะ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับคะแนนกลิ่น พบอิทธิพลของเวลาเก็บต่อคะแนนกลิ่นของกะทิที่เก็บรักษาที่ -15±2°C และ พบอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนต่อคะแนนกลิ่นของกะทิที่เก็บรักษาที่ -5±0.5 และ -15±2°C ($p \leq 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.3) ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บในกะทิที่เก็บรักษาที่ -15±2°C (ภาพที่ 4.9) พบว่า คะแนนกลิ่นของกะทิมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ($p \leq 0.05$) หรือกล่าวได้ว่า กะทิเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น มีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น จึงทำให้คะแนนกลิ่นลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ ผลของ hydrolytic rancidity ที่เกิดขึ้น ดังจะเห็นได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น (ภาพที่ 4.3) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rossell (1994) ที่รายงานว่า การหืนแบบ hydrolytic เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็น lauric oil เช่น น้ำมันเนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel) หรือ น้ำมันมะพร้าวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกะทิ นอกจากนี้ Duncan และคณะ (1991) รายงานว่า ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในนมมีความสัมพันธ์กับการยอมรับทางด้านกลิ่นของนม โดยถ้ายิ่งมีปริมาณมากก็จะมีกลิ่นหืนมากทำให้การยอมรับลดลง คะแนนกลิ่นจึงลดลง

จากตารางที่ 4.5 พบว่า กะทิที่ผ่านการให้ความร้อนมีคะแนนทางด้านกลิ่นสูงกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การให้ความร้อนมีผลทำให้เกิดกลิ่นหอมเฉพาะในกะทิ โดยในปี 1984 Saittagaroon และคณะ ได้ศึกษาชนิดของสารระเหยในมะ พร้าวคั่ว (roasted coconut) พบว่าสารระเหยในเนื้อมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการคั่ว มี lactones เป็นสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นรสมะพร้าวและสารประกอบ esters ซึ่งให้กลิ่นหอมหวานของมะพร้าว สำหรับสารระเหยในเนื้อมะพร้าวคั่ว นอกจากมี lactones แล้ว ยังมี esters และ pyrroles ซึ่งน่าจะเป็นผลิตผลจากปฏิกิริยา Maillard เช่นเดียวกับ Jayalekshmy และคณะ (1985) ซึ่งได้แยกสารระเหยที่ให้กลิ่นในมะพร้าวคั่ว พบว่า เป็นสารประกอบ alkyl-pyrazines และ alkoxy-pyrazines และ ในปี 1991 Jayalekshmy และคณะ พบว่า ความร้อนทำให้เกิดสารประเภท heterocyclic ในมะพร้าวคั่วเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ pyrazines เป็นสารหลักที่ให้กลิ่นมะพร้าวคั่ว นอกจากนี้พบ δ- lactones, alcohols, esters, ketones และ fatty acids ที่มีส่วนในการให้กลิ่นโดยรวมของมะพร้าวคั่วด้วย ซึ่งอาจสรุปได้ว่าสารประกอบประเภท heterocyclics พบเพิ่มมากขึ้นในมะพร้าวคั่วเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard



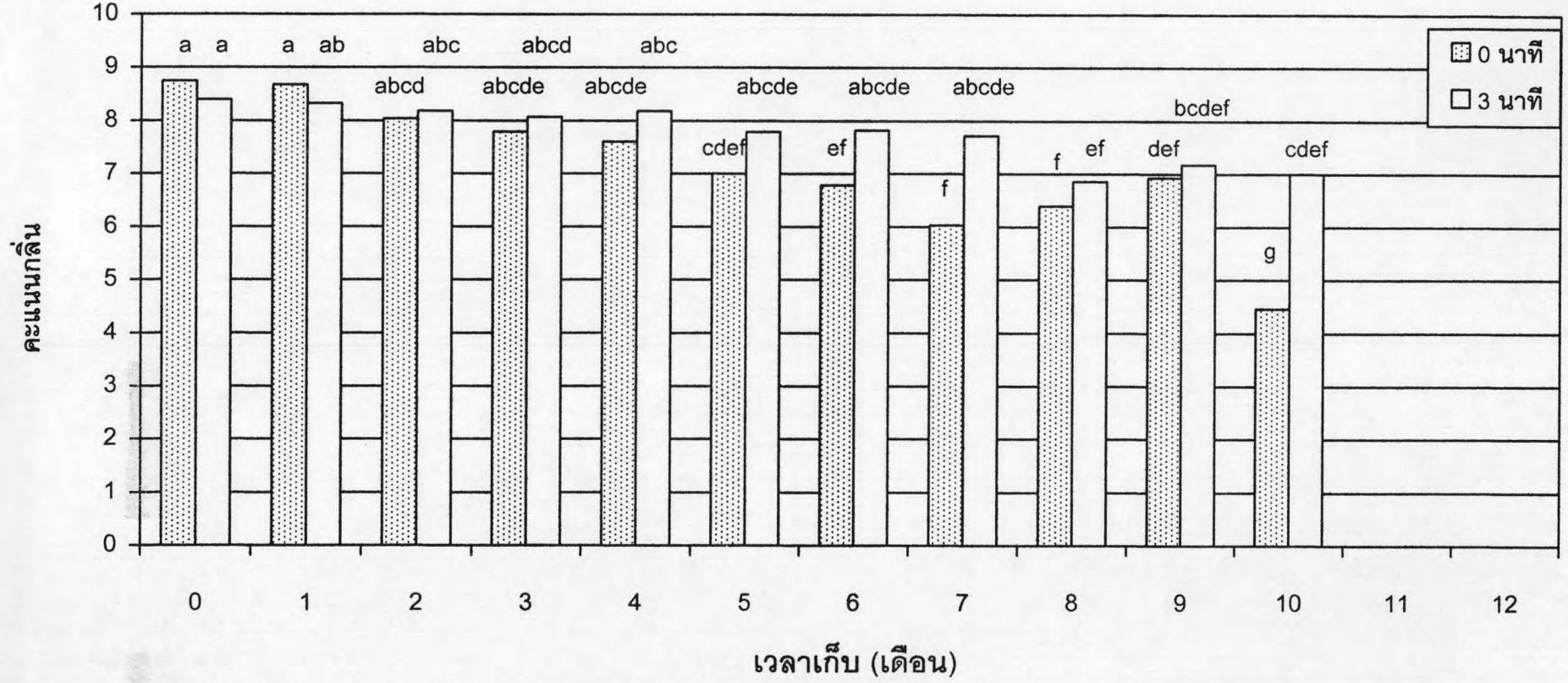
ภาพที่ 4.9 คะแนนกลิ่น ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่ -15±2°C เป็นเวลา 12 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ... ตัวอักษรกำกับ a, b ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 คะแนนกลิ่นของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บที่ -5±0.5 และ -15±2°C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาให้ความร้อน

เวลาให้ความร้อน	คะแนนกลิ่น
อุณหภูมิเก็บ -5±0.5°C	
0 นาที	7.71^{b}±1.31
3 นาที	8.02^{a}±1.03
อุณหภูมิเก็บ -15±2°C	
0 นาที	7.77^{b}±1.16
3 นาที	8.13^{a}±1.86

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกันในแต่ละอุณหภูมิเก็บ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

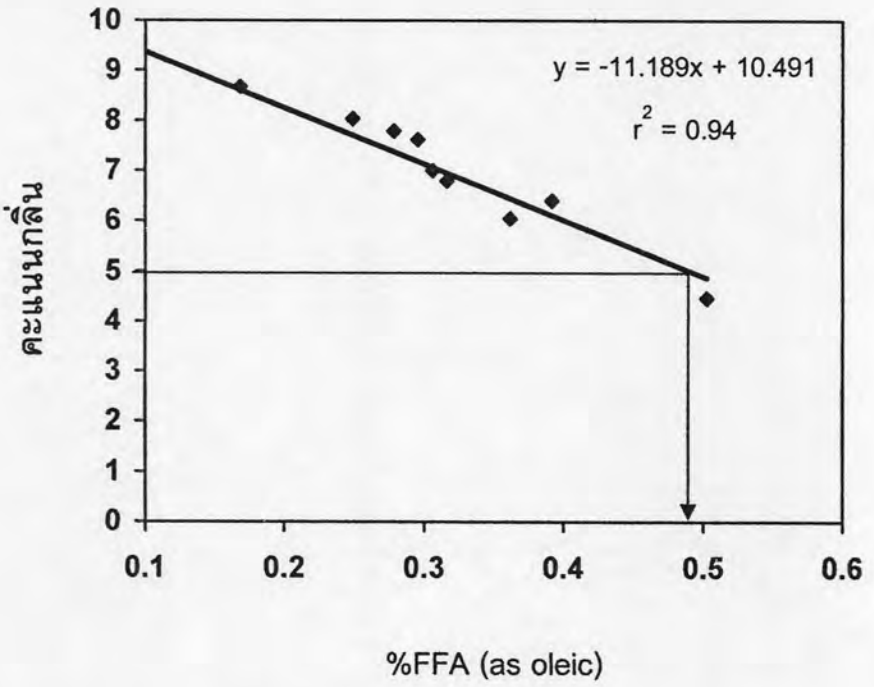
สำหรับที่อุณหภูมิเก็บรักษา 0±3°C พบอิทธิพลของเวลาเก็บ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และ อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อคะแนนด้านกลิ่น ($p \leq 0.05$,ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.3) แสดงผลดังภาพที่ 4.10 โดยเมื่อพิจารณาที่เวลาเก็บระดับเดียวกัน กะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีคะแนนกลิ่นแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากกว่ากะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับคะแนนด้านกลิ่นของกะทิที่เก็บรักษาที่ -5±0.5 และ -15±2°C ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว และเมื่อพิจารณาที่เวลาให้ความร้อนระดับเดียวกันคะแนนกลิ่นมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยพบว่าในเดือนที่ 10 ของการเก็บรักษา กะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีคะแนนกลิ่นแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ มีคะแนนต่ำกว่า 5 ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ โดยลักษณะของกลิ่นที่เกิดขึ้นนั้นเป็นกลิ่นแปลกปลอมที่ผู้ทดสอบไม่สามารถให้คำจำกัดความได้ ซึ่งกลิ่นดังกล่าวอาจเป็นผลของ hydrolytic rancidity ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น นอกจากนี้ยังพบกลิ่นคล้ายกลิ่นเปรี้ยวด้วย ซึ่งกลิ่นเปรี้ยวที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นผลจากการเจริญของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ดังจะเห็นได้จากผลการตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดที่แสดงในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.10 คะแนนกลิ่นของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บรักษาที่ 0±3°C เป็นเวลา 10 เดือน... ตัวอักษร a,b,...,g ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.4 การทำนายอายุการเก็บ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับค่าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ค่า FFA น่าจะมี correlation กับคะแนนกลิ่นของกะทิมากที่สุด จึงได้วิเคราะห์ค่า Pearson's correlation coefficient (r) ของทั้ง 2 parameter พบว่ามีค่าเท่ากับ -0.97 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีและเมื่อเขียนรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนกลิ่นกับ FFA (ภาพที่ 4.11) พบว่า ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะในเชิงสมการเส้นตรงซึ่งมีค่า r^2 เท่ากับ 0.94



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและเก็บที่อุณหภูมิ $0\pm3^{\circ}C$

จากภาพที่ 4.11 พบว่า เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น คะแนนกลิ่นลดลง หรือกล่าวได้ว่า ผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพของกลิ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เกณฑ์การให้คะแนนต่ำกว่า 5 เป็นคะแนนที่ไม่ยอมรับคุณภาพทางด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ จะสรุปได้ว่า กะทิที่ไม่เป็นที่ยอมรับคุณภาพทางด้านกลิ่นของผู้ทดสอบกลุ่มนี้มีค่า FFA (as oleic) เท่ากับ 0.49% (แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ง.1) หรือเท่ากับ 0.35% (แสดงวิธีการคำนวณเป็น lauric acid ในภาคผนวก ง.2) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกะทิสำเร็จรูป, สำนักงาน (2528) ที่กำหนดให้กะทิสำเร็จรูปมีกรดไขมันอิสระ (คำนวณ เป็น lauric acid) ไม่เกิน 0.3%

ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า %FFA (as oleic) เท่ากับ 0.49% นี้เป็นค่ากำหนดอายุการเก็บของกะทิต่อไปได้

Singh (1994) อธิบายว่า อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาจทำนายได้จากการสร้างสมการอายุการเก็บ แต่ก่อนที่จะสร้างสมการได้นั้น ต้องทราบอันดับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก่อน ซึ่งอันดับ (n) ของปฏิกิริยาหาได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลิตผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น กับระยะเวลาในการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา มาหาอันดับ (n) ของปฏิกิริยา โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา จากนั้นสร้างสมการความสัมพันธ์ขึ้นมา 2 สมการ คือ สมการเชิงเส้น และ สมการ exponential จากนั้นตรวจสอบค่า r^2 แล้วเลือกใช้สมการที่มีค่า r^2 ดีที่สุด ร่วมกับการหาค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของการทดลองซึ่งควรมีค่าต่ำสุด เพื่อเป็นการยืนยัน

จากการทดลองได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ (y) กับเวลาในการเก็บรักษา (x) ขึ้นมา 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น ซึ่งมีอันดับปฏิกิริยาเป็นศูนย์ (zero order) และในรูปแบบของสมการ exponential ซึ่งสมการนี้มีอันดับปฏิกิริยาเป็นหนึ่ง (first order) แสดงผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา, ค่า r^2 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (MS_E) ของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่าน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บรักษาที่ 0±3, -5±0.5 และ -15±2°C

อุณหภูมิเก็บ (°C)	เวลาให้ความร้อน (นาที)	สมการความสัมพันธ์	r^2	MS_E
สมการเชิงเส้น (zero order)				
0±3	0	$y = 0.0368x + 0.1224$	0.94	0.0013
	3	$y = 0.0333x - 0.0047$	0.88	0.0017
-5±0.5	0	$y = 0.0318x + 0.0301$	0.95	0.0008
	3	$y = 0.0255x + 0.0008$	0.89	0.0015
-15±2	0	$y = 0.0302x + 0.0203$	0.94	0.0008
	3	$y = 0.0213x + 0.0105$	0.93	0.0007
สมการ exponential (first order)				
0±3	0	$y = 0.1034e^{0.1594x}$	0.69	0.0038
	3	$y = 0.0405e^{0.2212x}$	0.91	0.0003
-5±0.5	0	$y = 0.0694e^{0.1636x}$	0.94	0.0007
	3	$y = 0.0390e^{0.1901x}$	0.91	0.0003
-15±2	0	$y = 0.0614e^{0.1669x}$	0.96	0.0003
	3	$y = 0.0385e^{0.1795x}$	0.91	0.0002

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา ของทั้งสองอันดับปฏิกิริยา มีค่า r^2 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่ใกล้เคียงกัน จึงทดลองนำการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของทั้งสองอันดับปฏิกิริยาไปสร้างสมการอายุการเก็บของกะทิต่อไป เพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายอายุการเก็บ แสดงสมการอายุการเก็บของกะทิที่มีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเป็นแบบ zero order และ first order ดังตารางที่ 4.7 (แสดงวิธีการคำนวณอายุการเก็บที่ภาวะเร่ง ในภาคผนวก ง.3)

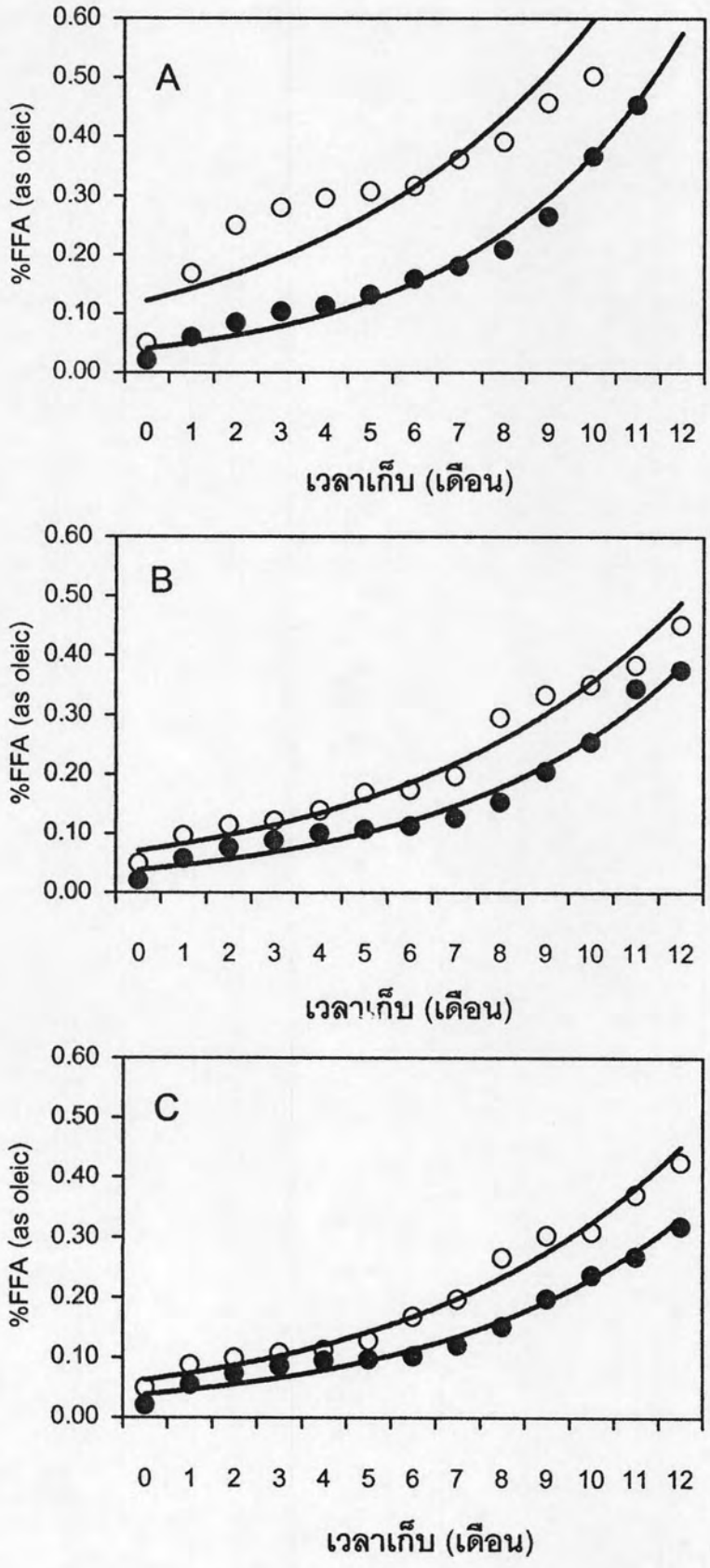
ตารางที่ 4.7 สมการอายุการเก็บของกะทิที่มีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเป็นแบบ zero order และ first order, ค่า r^2 และอายุการเก็บรักษาของกะทิสำเร็จรูปที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บรักษาที่ 0±3, -5±0.5 และ –15±2 °C

เวลาให้ความร้อน (นาที)	สมการอายุการเก็บ (zero order)	r^2	อายุการเก็บ (เดือน)	อายุการเก็บ (วัน)	สมการอายุการเก็บ (first order)	r^2	อายุการเก็บ (เดือน)	อายุการเก็บ (วัน)
เก็บที่ 0±3°C								
0	y = 24.915x – 2.6374	0.92	9.60	288	y = 6.2735Ln(x) + 14.236	0.68	9.76	293
3	y = 26.514x + 0.762	0.88	13.77	413	y = 4.5208Ln(x) + 14.496	0.91	11.27	339
เก็บที่ -5±0.5°C								
0	y = 29.808x – 0.5896	0.95	14.03	421	y = 6.1125Ln(x) + 16.307	0.94	11.95	359
3	y = 33.236x + 0.8234	0.87	17.13	514	y = 5.2604Ln(x) + 17.066	0.91	13.31	400
เก็บที่ -15±2°C								
0	y = 31.271x – 0.2937	0.94	15.07	452	y = 5.9916Ln(x) + 16.719	0.96	12.44	374
3	y = 41.662x + 0.1674	0.91	20.60	618	y = 5.5710Ln(x) + 18.1454	0.91	14.17	426

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ทุกอุณหภูมิเก็บรักษา กะทิที่ผ่านการให้ความร้อนมีอายุการเก็บมากกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยหากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเป็นแบบ zero order อายุการเก็บของกะทิที่ผ่านการให้ความร้อนมากกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนอย่างเห็นได้ชัดเจนกว่ากรณีที่ปฏิกิริยาเป็นแบบ first order และเป็นไปดังทฤษฎีที่ว่า การให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที สามารถช่วยทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ lipase ดังนั้นจึงช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ให้ยาวขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บรักษา จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาเก็บที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาในรูปของสมการ exponential มากกว่าสมการเชิงเส้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาเก็บ แสดงดังภาพที่ 4.12 ซึ่งเส้นกราฟจากภาพทั้ง 3 มีลักษณะเป็นเส้นโค้งมากกว่าเส้นตรง ดังนั้นในการทำนายอายุการเก็บของกะทิ จึงน่าจะเป็นการสมเหตุสมผลมากกว่าที่จะเลือกสมการ exponential แทนสมการเชิงเส้น

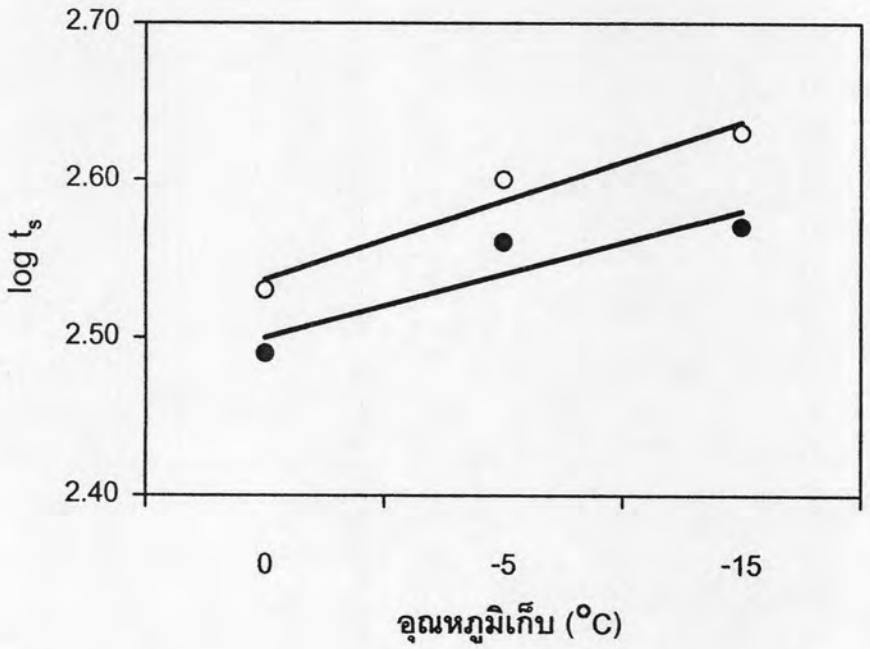
เมื่อเลือกสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาเก็บรักษาและอันดับของปฏิกิริยาแล้ว สามารถนำสมการดังกล่าวไปสร้างสมการอายุการเก็บ และทำนายอายุการเก็บของกะทิแต่ละสภาวะได้ โดยที่อุณหภูมิเก็บ 0±3°C กะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที มีอายุการเก็บที่ได้ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 0.49% คือ 9 เดือน 23 วัน (293 วัน) และ 11 เดือน 9 วัน (339 วัน) ที่อุณหภูมิเก็บ -5±0.5°C คือ 11 เดือน 29 วัน (359 วัน) และ 13 เดือน 10 วัน (400 วัน) และที่อุณหภูมิเก็บ -15± 2°C คือ 12 เดือน 14 วัน (374 วัน) และ 14 เดือน 6 วัน (426 วัน) (ตารางที่ 4.7)

การทำนายอายุการเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (–18°C) ของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที หาจากการคำนวณได้โดยใช้เทคนิค Q_{10} ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษาที่เกิดขึ้น มีอันดับปฏิกิริยาเป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้นค่า Q_{10} สามารถหาได้จาก Arrhenius model แต่เนื่องจาก อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นช่วงที่ค่อนข้างแคบ (น้อยกว่า ±20°C) หากเลือกใช้ Arrhenius model ในการหาค่า Q_{10} จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทำนายอายุการเก็บได้ (Labuza, 1982) ประกอบกับ Arrhenius model เป็น model ที่มีข้อจำกัดคือ มีอุณหภูมิเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ ต้องคงที่ แต่ในความเป็นจริงสำหรับการทดลอง ไม่สามารถควบคุมให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่ได้ ดังนั้นในการหาค่า Q_{10}



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาเก็บของกะทิซึ่งเก็บที่ 0±3 (A), -5±0.5 (B) และ -15±2°C (C) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จึงเลือกใช้วิธีของ Labuza (1982) ซึ่งค่า Q_{10} หาได้จากการเขียนกราฟ shelf life plot ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บที่อุณหภูมิเก็บต่างๆ (อยู่ในรูป log t_s) กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา ($^{\circ}C$) แสดง shelf life plot ได้ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 Shelf life plot ของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97$^{\circ}C$ เป็นเวลา 3 นาที (Slope = ln Q_{10} / 10)

○ กะทิไม่ผ่านการให้ความร้อน

สมการเส้นตรง $y = 0.050x + 2.4888$

$r^2 = 0.95$

● กะทิผ่านการให้ความร้อน ที่ 96-97$^{\circ}C$ เป็นเวลา 3 นาที

สมการเส้นตรง $y = 0.041x + 2.4596$

$r^2 = 0.84$

จากภาพที่ 4.13 สามารถหาค่า Q_{10} ได้จากความชันของกราฟ (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ง.4) และ ทำนายอายุการเก็บของกะทิสำเร็จรูปที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (–18$^{\circ}C$) ของกะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97$^{\circ}C$ เป็นเวลา 3 นาที ได้เท่ากับ 14 เดือน 4 วัน (424 วัน) และ 16 เดือน 16 วัน (496 วัน) แสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า Q_{10} และ อายุการเก็บของกะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที และเก็บรักษาที่ –18°C

กะทิสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง	Q_{10}	อายุการเก็บรักษา (วัน)
ไม่ผ่านการให้ความร้อน	1.51	424
ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที	1.65	496

กะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที สามารถเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (–18°C) ได้นานกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ดังนั้นควรเลือกใช้กะทิที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที เพราะสามารถป้องกันการเกิดกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับได้นานที่สุด

4.2 แกงเขียวหวาน

เตรียมตัวอย่างแกงเขียวหวานตามขั้นตอนในข้อ 3.2.1 กำหนดภาวะการใช้สารกันหืนเป็น control (ไม่เติมสารกันหืน) rosemary 1.5% โดยน้ำหนักของปริมาณน้ำพริกแกง mixed-tocopherol และ ∝-tocopherol แต่ละชนิด 0.05% โดยน้ำหนักของของปริมาณไขมันในกะทิ แปรเวลาให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที แล้วเก็บเป็นเวลา 18 เดือน ระหว่างเก็บสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทุก 1.5 เดือน

4.2.1 อายุการเก็บแกงเขียวหวานที่ภาวะเร่ง

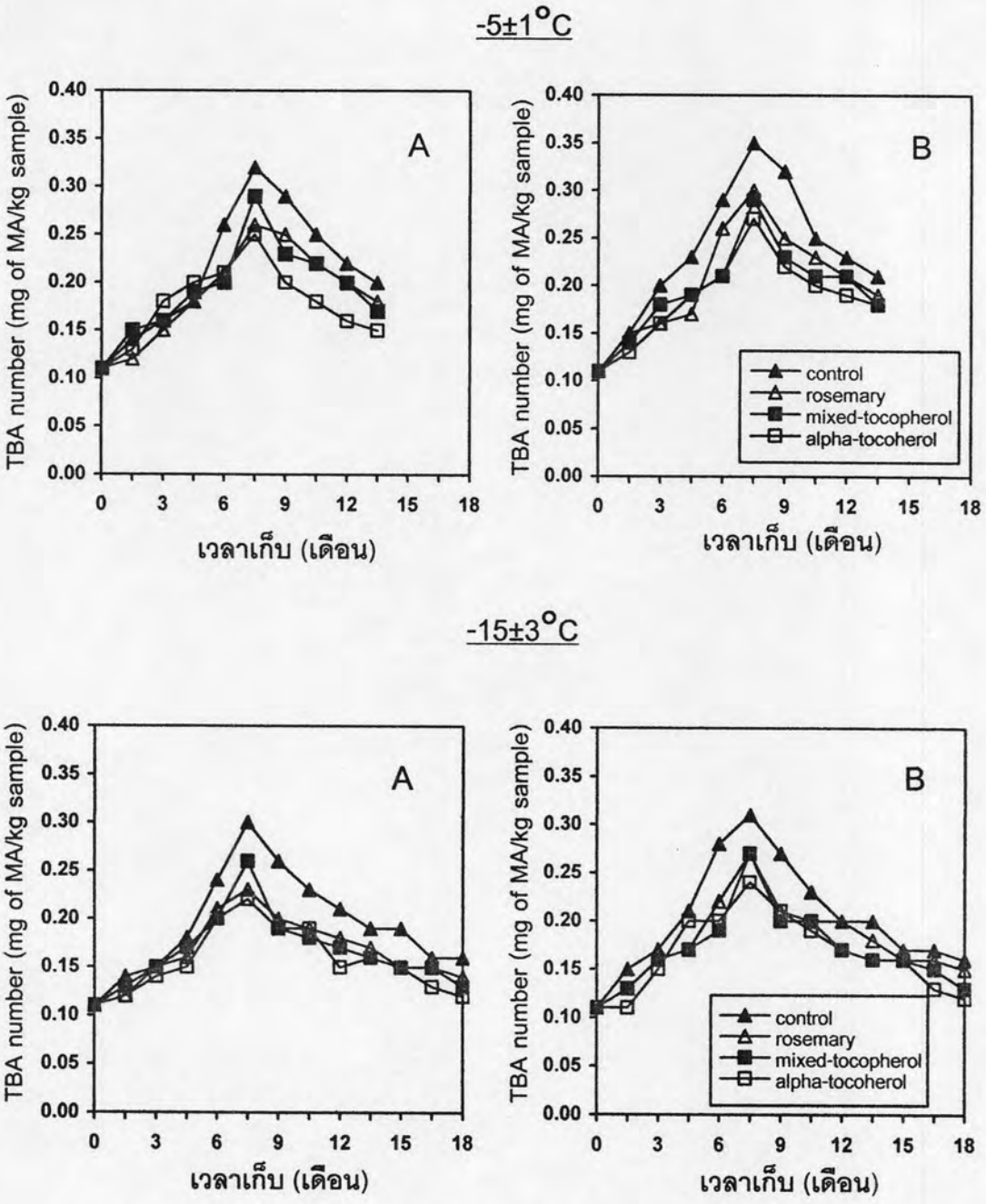
ตัวอย่างแกงเขียวหวานที่ได้ในข้อ 3.2.1 เก็บรักษาที่ภาวะเร่ง 2 อุณหภูมิ ได้แก่ -5±1 และ -15±3°C สุ่มตัวอย่างทุก 1.5 เดือน นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแกงเขียวหวานในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1.1 คุณภาพทางเคมี

ผลิตภัณฑ์แกงเขียวหวานกุ้งทุกตัวอย่างนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยการวิเคราะห์ค่า TBA, FFA และวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ผลจากการวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

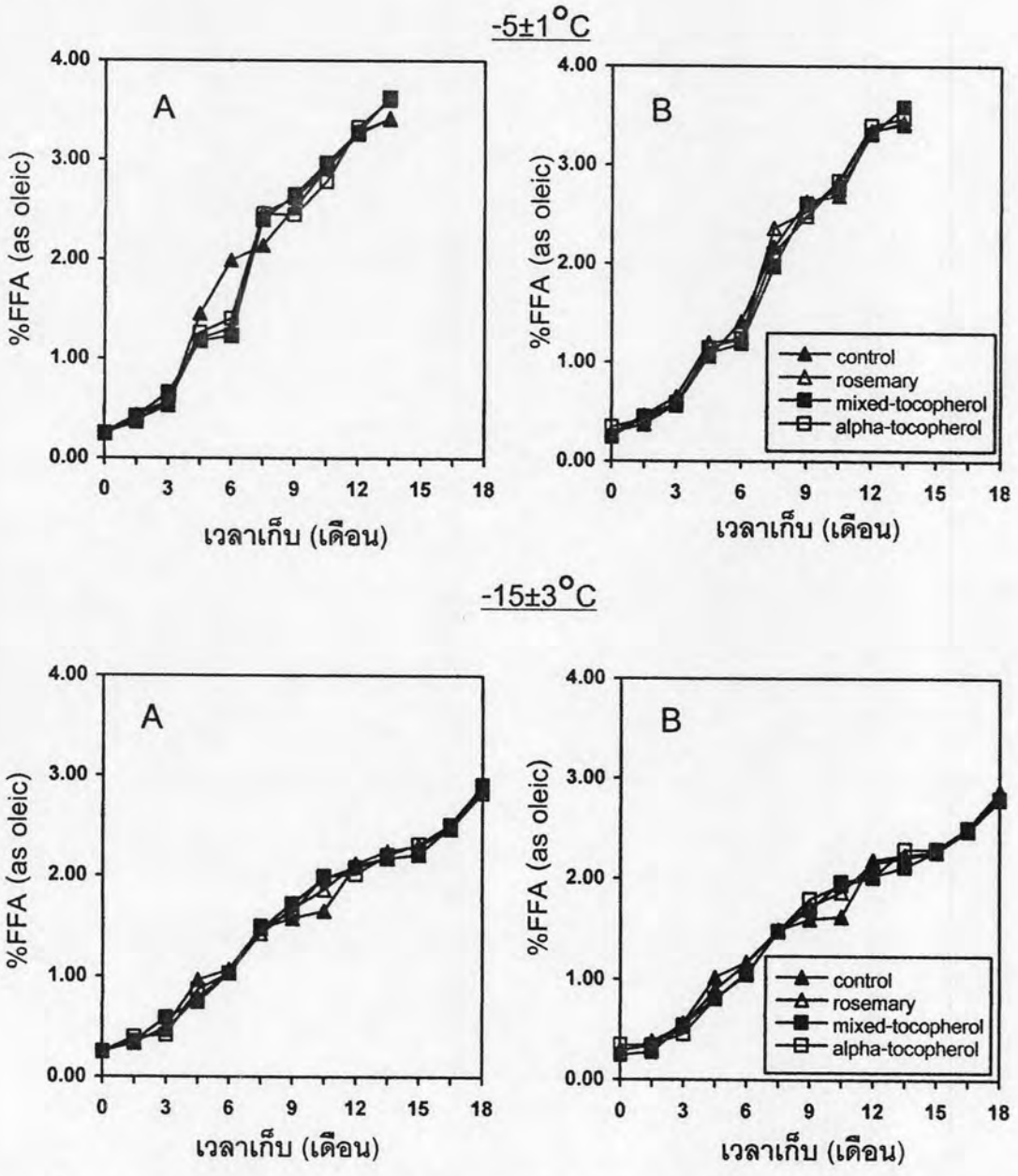
ในส่วนของค่า TBA นั้น แม้ผลการทดลองใช้ค่าดังกล่าวนี้ในการติดตามปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนในกะทิจะแสดงให้เห็นว่า TBA ไม่ใช่ดัชนีที่ดีสำหรับกะทิ เพราะในระบบไม่มีกรดไขมัน linolenic หรือ arachidonic ที่มี active methylene groups คั่นอยู่ระหว่าง 2 พันธะคู่ แต่ในตัวอย่างแกงเขียวหวานมีการบรรจุกุ้งแช่เยือกแข็งรวมอยู่กับส่วนของน้ำแกงเขียวหวานด้วย ซึ่งกุ้งขาวชนิดที่ใช้นี้จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 7.21% (โดยน้ำหนักแห้ง) และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่มีโอกาสเกิด radicals ที่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง β-γ กับ carbon ที่มีหมู่ peroxy เชื่อมอยู่ด้วย คือ linolenic 0.59% (โดยน้ำหนักแห้ง) (Gonzalez-Feiix *et al.*, 2003) จึงน่าจะมีโอกาสที่จะเกิดสาร malonaldehyde (Nawar, 1996) และให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยสำหรับการวัดค่า TBA นอกจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วนั้น TBA ยังเป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุดในการวิเคราะห์ lipid oxidation เพราะทำได้โดยไม่ต้องมีการสกัดน้ำมันและไขมันออกจากเนื้อเยื่อก่อนการทำปฏิกิริยาขั้นต่อไปเหมือนวิธีวิเคราะห์วิธีอื่นๆ

จากภาพที่ 4.14 พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ยังเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับที่ตรวจพบในกะทิ คือ เพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดที่เวลาประมาณ 7.5 เดือน จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงไปตามลำดับ และช่วงการเพิ่มสูงขึ้นเพียงประมาณ 0.3 mg MA/kg sample เท่านั้น ซึ่งแสดงว่าสารที่เป็นผลิตภัณฑ์จาก lipid oxidation ในระบบของแกงเขียวหวานกุ้งมีเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไขมันที่มีอยู่น้อยมากในกุ้ง



ภาพที่ 4.14 ค่า TBA ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1°C และ -15±3°C

ในส่วนของค่า FFA นั้น จากผลการทดลองในการติดตามปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนในกะทิได้แสดงให้เห็นว่า FFA เป็นดัชนีที่ดีสำหรับการติดตามภาวะการเสื่อมคุณภาพของกะทิ เพราะผลจากการวิเคราะห์ค่า PV และ TBA ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน ที่แสดงให้เห็นว่าการเสื่อมเสียของกะทิเกิดจากปฏิกิริยา hydrolysis มากกว่า ดังนั้นในแกงเขียวหวานซึ่งมีกะทิเป็นองค์ประกอบหลัก จึงน่าจะมีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง FFA ขึ้นในแกงเขียวหวานด้วยเช่นกัน ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ FFA ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -5±1 และ -15±3°C แสดงดังในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 %FFA (as oleic) ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่า FFA ที่ตรวจพบ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะ ผลจากปฏิกิริยา hydrolysis ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในข้อ 4.1.1 และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ %FFA ร่วมกับการตรวจวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด พบว่า การเกิด hydrolysis ไม่น่ามีสาเหตุมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดของแกงเขียวหวานกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที ก่อนเก็บ (เดือนที่ 0) และหลังเก็บ (เดือนที่ 13.5) ที่ -5±1°C

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (cfu/g)	
		ก่อนเก็บ (เดือนที่ 0)	หลังเก็บ (เดือนที่ 13.5)
control	3 นาที	92	88
	4 นาที	67	69
rosemary	3 นาที	71	52
	4 นาที	68	34
mixed-tocopherol	3 นาที	92	38
	4 นาที	67	36
∝-tocopherol	3 นาที	92	39
	4 นาที	67	40

โดยผลส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างแกงเขียวหวานกุ้งมีจำนวนแบคทีเรียลดลงหลังจากเก็บที่ -5±1°C เป็นเวลา 13.5 เดือน ผลดังกล่าวนี้แตกต่างจากที่ตรวจพบในกะทิ (ตารางที่ 4.1) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก ในน้ำพริกแกงเขียวหวานมีเครื่องเทศ ได้แก่ ตะไคร้ พริก กระเทียม ข่า และหอมแดง ซึ่งเครื่องเทศเหล่านี้มีสารออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ โดยสารประกอบสำคัญในเครื่องเทศที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ สารประกอบกลุ่ม terpenoids เช่น สาร capsicum ซึ่งพบในพริกชี้ฟ้าและพริกขี้หนู มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย สาร citral, linalool และ eugenol พบในตะไคร้ มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย รา และยีสต์ สาร allicin และ diallyl trisulfide พบในกระเทียม มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย รา และยีสต์ สาร cineol, camphor และ methyl cinnamate พบในข่า มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย รา และยีสต์

สาร methylpropyl disulfide, dipropyl trisulfide และ allyl propyl disulfide มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียและรา (Shelef, 1983; Zaika, 1988; Cowan, 1999; Ozean and Erkmen, 2001) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่แกงเขียวหวานซึ่งเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งเป็นเวลานาน ตรวจไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงของค่า FFA ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากเอนไซม์ lipase ชนิดทนความร้อนที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อกุ้งซึ่งไม่ได้ถูกยับยั้งที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการนึ่งกุ้ง (100°C จนอุณหภูมิกึ่งกลางสูงถึง 70°C) โดยการแช่เยือกแข็งอาจไปทำลาย lysosomal membrane ทำให้เกิดการปลดปล่อย hydrolytic enzymes ออกมา (Sista *et al.*,1997) ดังเช่นที่ Geromel และ Montgomery (1980) รายงานว่า ภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยเอนไซม์ lipase ออกมาจาก lysosome ใน rainbow trout fillets โดยหากอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งอยู่ในระดับเร็วและปานกลาง จะไม่มีผลต่อการปลดปล่อยเอนไซม์ lipase จาก lysosome แต่ถ้าอัตราในการแช่เยือกแข็งช้าและอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งมีความแปรปรวน (-12 ถึง -35°C เป็นเวลา 96 ชม.) จะมีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยเอนไซม์ lipase ออกมาจาก lysosome ในระหว่างการเก็บรักษาเดือนแรก นอกจากนี้ภาวะก่อนและระหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อการปลดปล่อยเอนไซม์ lipase ออกมาในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง (Sista *et al.*, 1997) แม้ว่าในการแปรรูปกุ้งใช้ความร้อนจากไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของกุ้งมีค่า 70°C แต่การให้ความร้อนระดับนี้อาจไม่พอเพียงที่จะทำลายเอนไซม์ lipase ที่ทนความร้อนได้หมด จึงทำให้เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ปริมาณของ FFA เพิ่มขึ้น

นอกจากการตรวจวิเคราะห์ค่า TBA และ FFA ที่ใช้ในการติดตามการเกิดกลิ่นหืนและกลิ่นแปลกปลอมอื่นๆ แล้ว การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบกรดไขมันยังเป็นดัชนีที่ใช้ยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหารเกิดจากปฏิกิริยาเคมีใด ดังนั้นในการทดลองจึงได้นำตัวอย่างแกงเขียวหวานกุ้งซึ่งผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพทางด้านกลิ่นและรสชาติแล้ว ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบกรดไขมันเปรียบเทียบกับแกงเขียวหวานกุ้งที่ผลิตมาใหม่ๆ ผลที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบกรดไขมันก่อนเก็บ (เดือนที่ 0) และหลังเก็บ (เดือนที่ 13.5) ของแกงเขียวหวานกุ้งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที แล้วเก็บที่ -5±1°C เป็นเวลา 13.5 เดือน

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน	องค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณ (%)	
			เดือนที่ 0	เดือนที่ 13.5
control	3 นาที	Lauric acid	54.49	56.44
		Myristic acid	21.70	21.82
		Palmitic acid	10.84	10.28
		Stearic acid	3.74	3.77
		Oleic acid	7.69	6.38
		Linoleic acid	1.53	1.30
	4 นาที	Lauric acid	56.39	56.13
		Myristic acid	21.90	21.94
		Palmitic acid	10.24	10.35
		Stearic acid	3.90	3.81
		Oleic acid	6.43	6.50
		Linoleic acid	1.14	1.27
rosemary	3 นาที	Lauric acid	56.56	56.15
		Myristic acid	21.88	21.95
		Palmitic acid	10.21	10.35
		Stearic acid	3.87	3.79
		Oleic acid	6.38	6.47
		Linoleic acid	1.11	1.29

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน	องค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณ (%)	
			เดือนที่ 0	เดือนที่ 13.5
rosemary	4 นาที	Lauric acid	56.37	55.73
		Myristic acid	21.93	21.97
		Palmitic acid	10.29	10.45
		Stearic acid	3.86	3.85
		Oleic acid	6.41	6.66
		Linoleic acid	1.13	1.34
mixed-tocopherol	3 นาที	Lauric acid	54.49	56.05
		Myristic acid	21.70	21.99
		Palmitic acid	10.84	10.40
		Stearic acid	3.74	3.81
		Oleic acid	7.69	6.49
		Linoleic acid	1.53	1.26
	4 นาที	Lauric acid	56.39	55.67
		Myristic acid	21.90	21.96
		Palmitic acid	10.24	10.49
		Stearic acid	3.90	3.89
		Oleic acid	6.43	6.65
		Linoleic acid	1.14	1.34

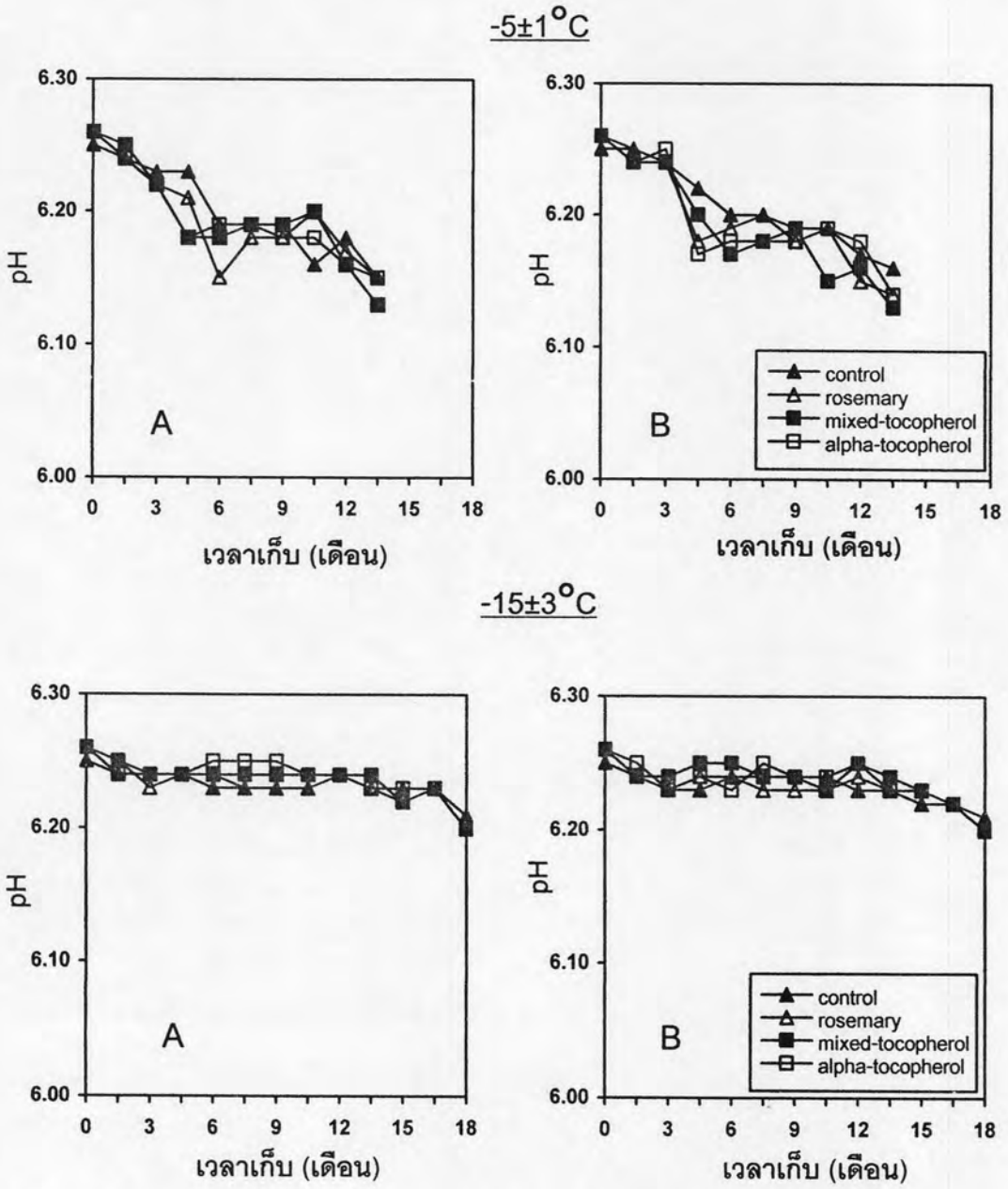
ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน	องค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณ (%)	
			เดือนที่ 0	เดือนที่ 13.5
∝ -	3 นาที	Lauric acid	54.49	55.52
tocopherol		Myristic acid	21.70	22.09
		Palmitic acid	10.84	10.53
		Stearic acid	3.74	3.90
		Oleic acid	7.69	6.63
		Linoleic acid	1.53	1.33
	4 นาที	Lauric acid	56.39	55.76
		Myristic acid	21.90	21.92
		Palmitic acid	10.24	10.48
		Stearic acid	3.90	3.90
		Oleic acid	6.43	6.67
		Linoleic acid	1.14	1.27

จากตารางที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมันในแกงเขียวหวานตัวอย่างต่างๆ ในเดือนที่ 0 และเดือนที่ 13.5 เดือน ซึ่งเก็บรักษาที่ -5±1°C พบว่า oleic และ linoleic acid ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังเก็บแกงเขียวหวานเป็นเวลา 13.5 เดือน ไม่มีการหืนจากปฏิกิริยา oxidation เกิดขึ้น และจากองค์ประกอบกรดไขมันดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่า ไขมันที่น่าจะมีอิทธิพลมากที่สุดกับอายุการเก็บของระบบแกงเขียวหวานยังคงเป็นไขมันจากมะพร้าว

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของแกงเขียวหวานตัวอย่างต่างๆ ซึ่งเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C แสดงดังภาพที่ 4.16 เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่า ค่า pH ของแกงเขียวหวานที่เก็บรักษาที่ -5±1°C มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ในขณะที่แกงเขียวหวานซึ่งเก็บรักษาที่ -15±3°C ค่า pH มีแนวโน้มคงที่ในระยะแรกและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เยือกแข็งให้อยู่ในภาวะควบคุมซึ่งมีอุณหภูมิ

เก็บที่สูงกว่าอุณหภูมิเหมาะสม (-18°C) ปกติ จะทำให้อัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ถูกเร่งให้เร็วขึ้น (Mizrahi, 2000) โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในระหว่างเก็บรักษาที่ -5±1°C ซึ่งลดลงประมาณ 1 pH unit นั้น ไม่ได้เป็นผลจากจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4.9) ดังเหตุผลที่ได้อธิบายข้างต้น แต่อาจมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นในระบบ



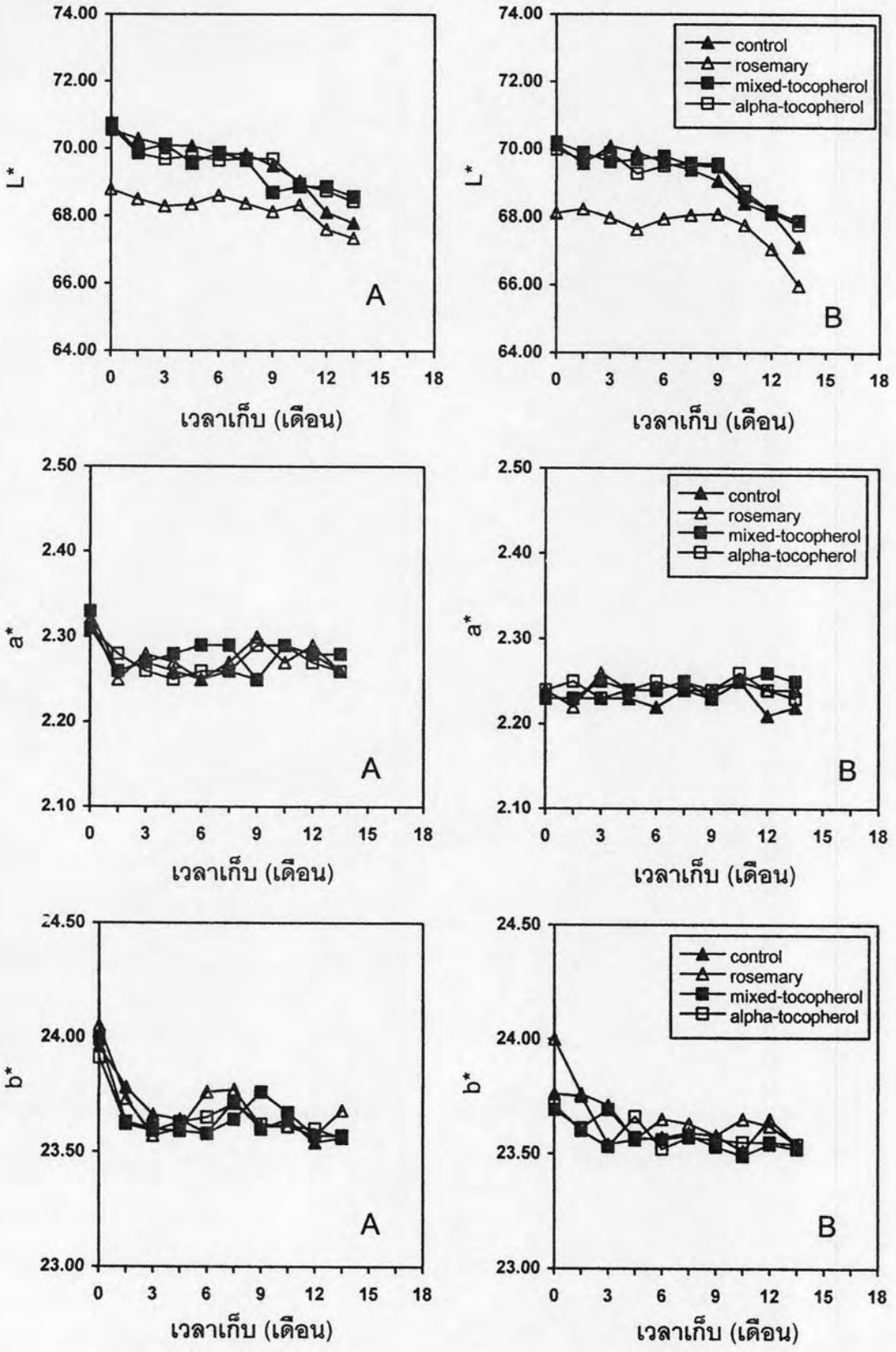
ภาพที่ 4.16 ค่า pH ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C

จากผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมีทั้งหมด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่า TBA และ FFA ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา พบว่า ค่า TBA ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจาก เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลานาน สาร malonaldehyde มีโอกาสสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่นๆ โดย ค่า TBA สุดท้าย (เดือนที่ 18) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น (เดือนที่ 0) ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.1.1 และเมื่อพิจารณาปัจจัยองค์ประกอบกรดไขมันของตัวอย่างทุกตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.10) จึงเป็นการสมเหตุสมผลมากกว่าที่จะสรุปว่า hydrolytic rancidity เป็นสาเหตุหลักของการหมดอายุการเก็บรักษาสำหรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้ ดังนั้นในการกำหนดอายุการเก็บโดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองทางประสาทสัมผัส จึงเลือกค่า FFA สำหรับวัตถุประสงค์นี้

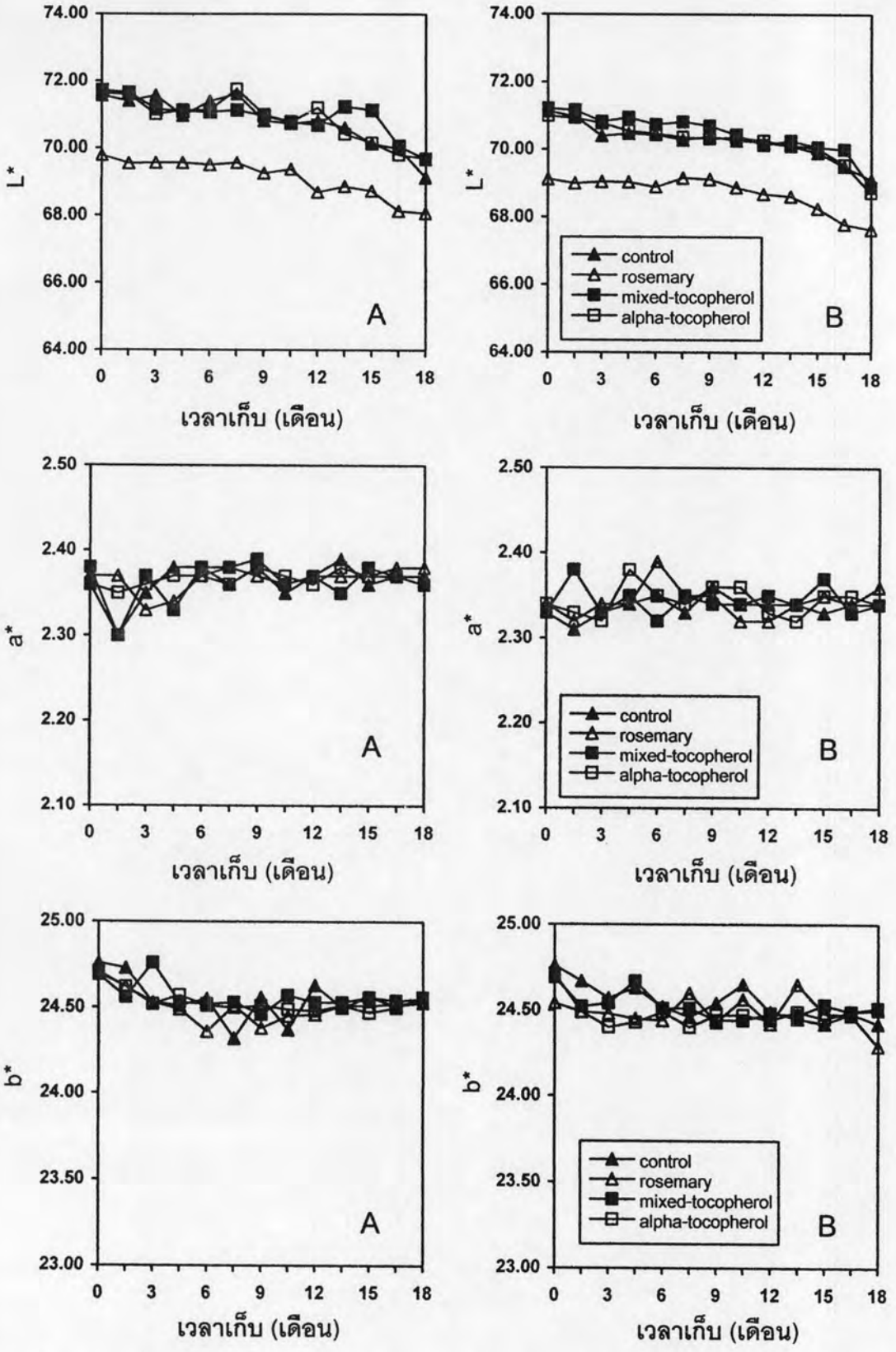
4.2.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ในระหว่างการเก็บรักษาตัวอย่างแกงเขียวหวานแช่เยือกแข็ง แสดงดังภาพที่ 4.17 และ 4.18 จากภาพดังกล่าวจะเห็นว่า ค่า L* ของตัวอย่างแกงเขียวหวานที่เติม rosemary เป็นสารกันหืน มีแนวโน้มต่ำกว่าที่ตรวจพบในตัวอย่างแกงเขียวหวานที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดอื่น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก rosemary ที่ใช้อยู่ในรูปผงบดละเอียดสีน้ำตาลซึ่งไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำแกงเขียวหวานได้ แต่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำแกงเขียวหวาน ในขณะที่สารกันหืนชนิดอื่นซึ่งอยู่ในรูปของของเหลวข้นหนืด ไม่มีสี สามารถละลายในไขมันของกะทิซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำแกงเขียวหวานได้ ทำให้เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดสี แกงเขียวหวานซึ่งใส่ rosemary อาจเกิดการกระเจิงของแสง (scatterring) ได้ ทำให้ค่าความสว่างที่ได้ลดลง

สำหรับค่า a* และ b* พบว่า แกงเขียวหวานแต่ละตัวอย่างมีค่า a* และ b* ใกล้เคียงกัน เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น แนวโน้มของค่า a* และ b* ค่อนข้างคงที่



ภาพที่ 4.17 ค่า L* a* และ b* ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1°C

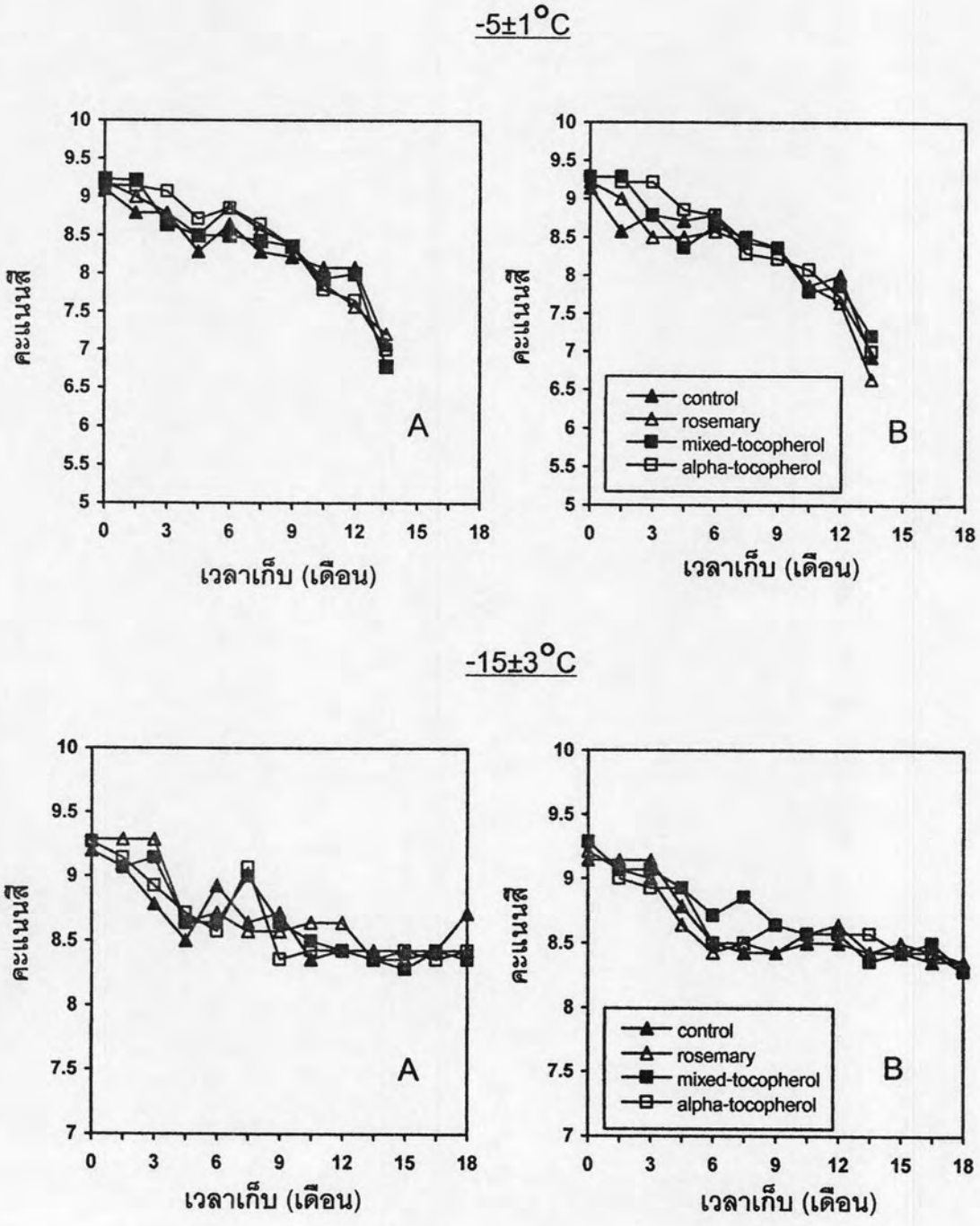


ภาพที่ 4.18 ค่า L* a* และ b* ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97 °C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -15±3°C

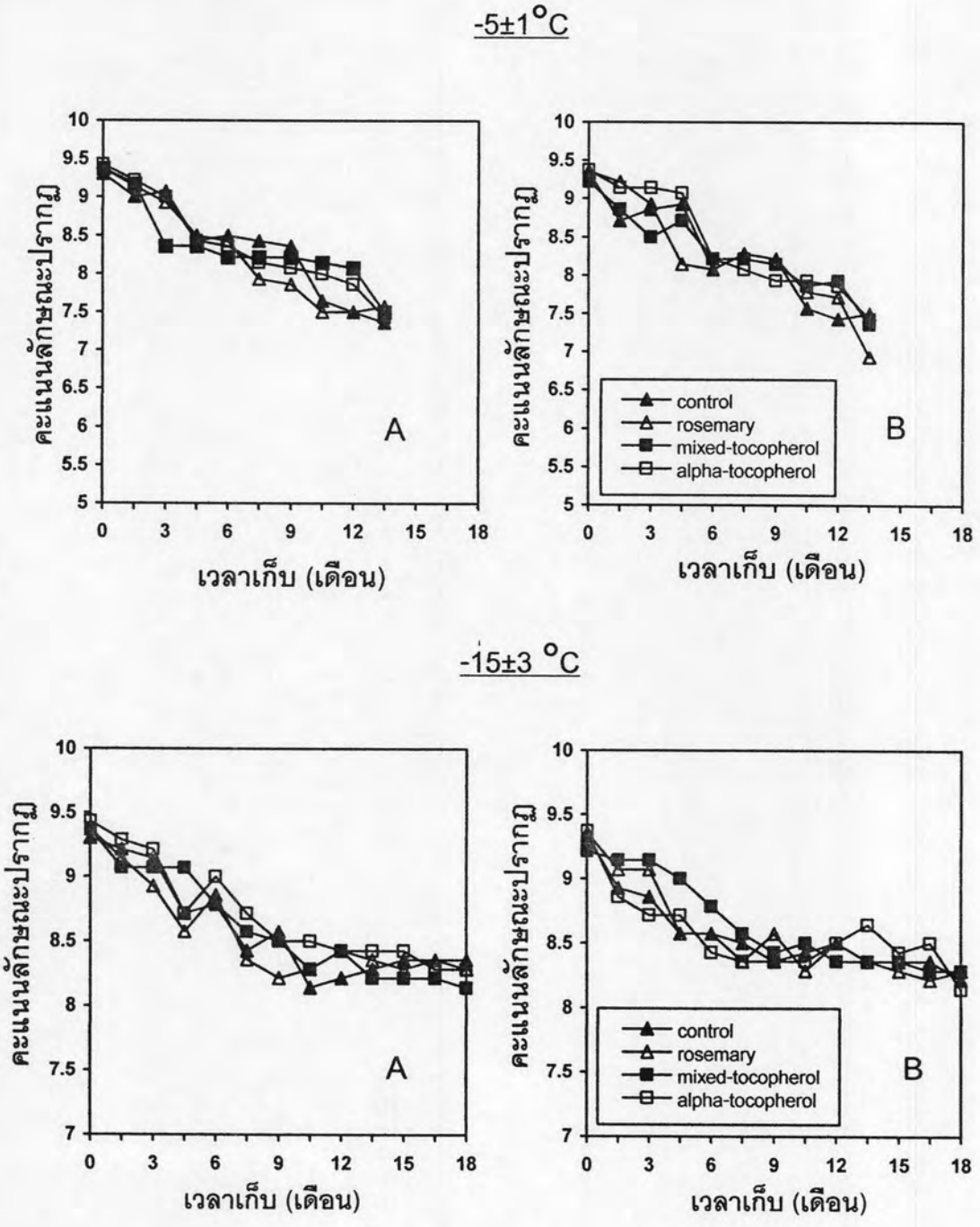
4.2.1.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสซึ่งใช้วิธีทดสอบชนิด Difference from control test และแบบทดสอบชนิด Quantitative descriptive with scaling ผู้ทดสอบต้องแยกแยะความแตกต่างทางด้าน สี ลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติ ระหว่างตัวอย่างที่ผลิตใหม่ๆ กับตัวอย่างที่เก็บไว้จนมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเกิดขึ้น และให้คะแนนในลักษณะที่ถ้าความแตกต่างดังกล่าวนี้มีอยู่มาก คะแนนจะต่ำกว่าตัวอย่างที่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมน้อยกว่า และในการชิม ผู้ทดสอบต้องชิมน้ำแกงและกุ้งไปพร้อมๆ กันโดยอาจใช้ขนมปังสด ช่วยให้สามารถเคี้ยวตัวอย่างแกงเขียวหวานให้อยู่ในปากได้นานพอที่จะสังเกตทั้งกลิ่นและรสชาติของตัวอย่างไปได้พร้อมๆ กันโดยในการทดลองนี้ได้กำหนดคะแนนต่ำกว่า 5 เป็นคะแนนที่ไม่ยอมรับคุณภาพทุกด้านของตัวอย่างแกง

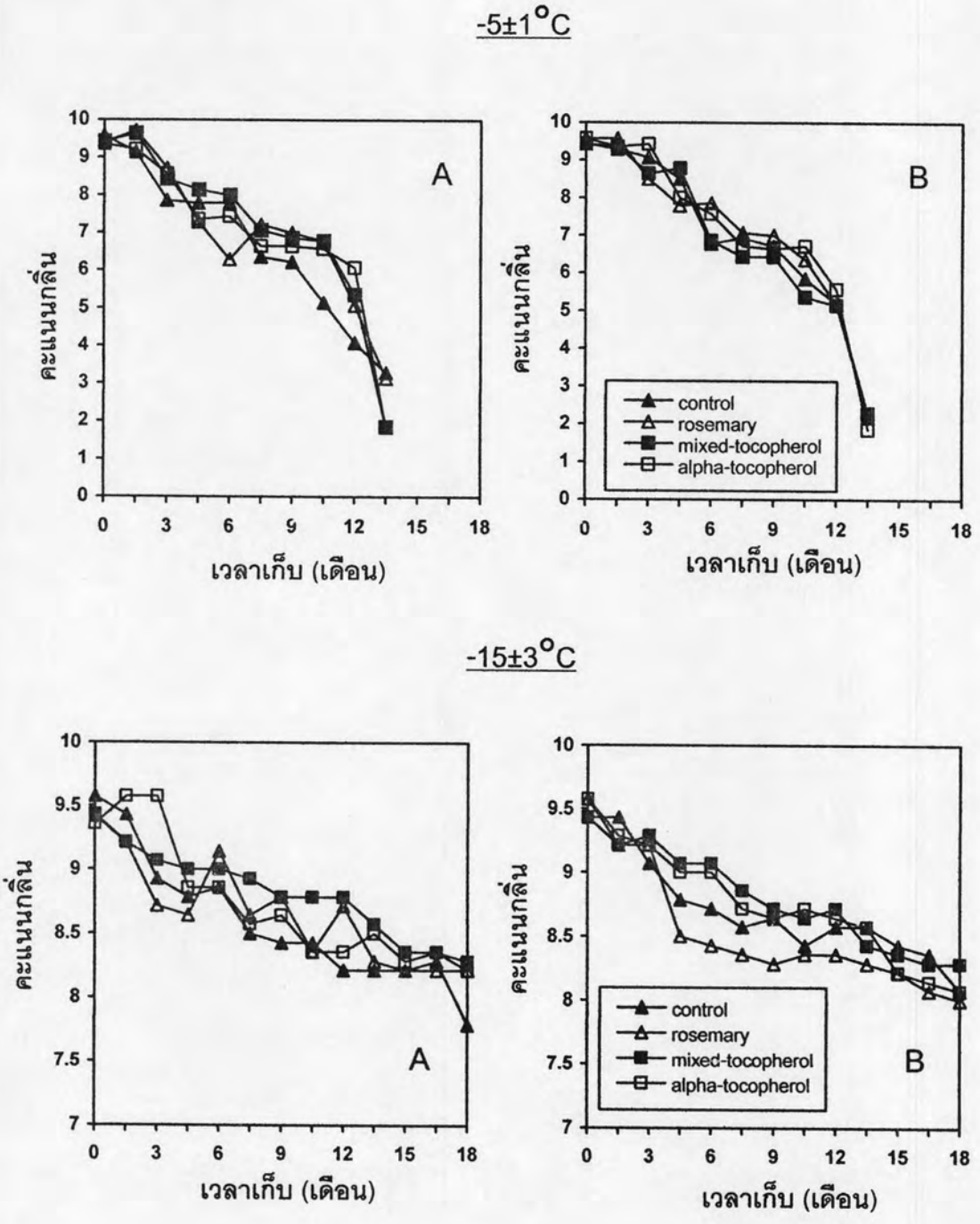
คะแนนทางประสาทสัมผัสของแกงเขียวหวานซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -5±1 และ -15±3°C แสดงดังภาพที่ 4.19 ถึง 4.22 พบว่า เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น คะแนนสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติ มีแนวโน้มลดลง หรือตัวอย่างแกงเขียวหวานมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้น โดยแกงเขียวหวานซึ่งเก็บรักษาที่ -5±1°C มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนกว่าอุณหภูมิเก็บ -15±3°C โดยเฉพาะด้านกลิ่นและรสชาติ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ -5±1°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดในการเก็บรักษาและเป็นระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าภาวะการเก็บที่อุณหภูมิเยือกแข็งปกติ (-18°C) ค่อนข้างมาก จึงทำให้อัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ถูกเร่งให้เกิดเร็วขึ้นและมีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับในช่วงเวลาที่สั้นขึ้น (Mizrahi, 2000) โดยพบว่าเมื่อเก็บเป็นเวลา 13.5 เดือน แกงเขียวหวานกุ้งมีคะแนนกลิ่นที่แตกต่างไปจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด และอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพด้านกลิ่นแล้ว (มีคะแนนต่ำกว่า 5) โดยกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดขึ้นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส ระบุว่า มีกลิ่นคล้ายกลิ่นเปรี้ยวและกลิ่นแปลกปลอมอื่นๆ ที่ให้นิยามไม่ได้ ในขณะที่อุณหภูมิเก็บ -15±3°C แม้ความแตกต่างทางด้านกลิ่นระหว่างตัวอย่างที่เก็บรักษากับตัวอย่างควบคุม มีมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น แต่เมื่อเก็บถึง 18 เดือนแล้ว แกงเขียวหวานกุ้งยังคงมีคะแนนทางด้านกลิ่นสูงอยู่ และอยู่ในเกณฑ์กำหนดคุณภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม (คะแนนประมาณ 8 จาก 10)



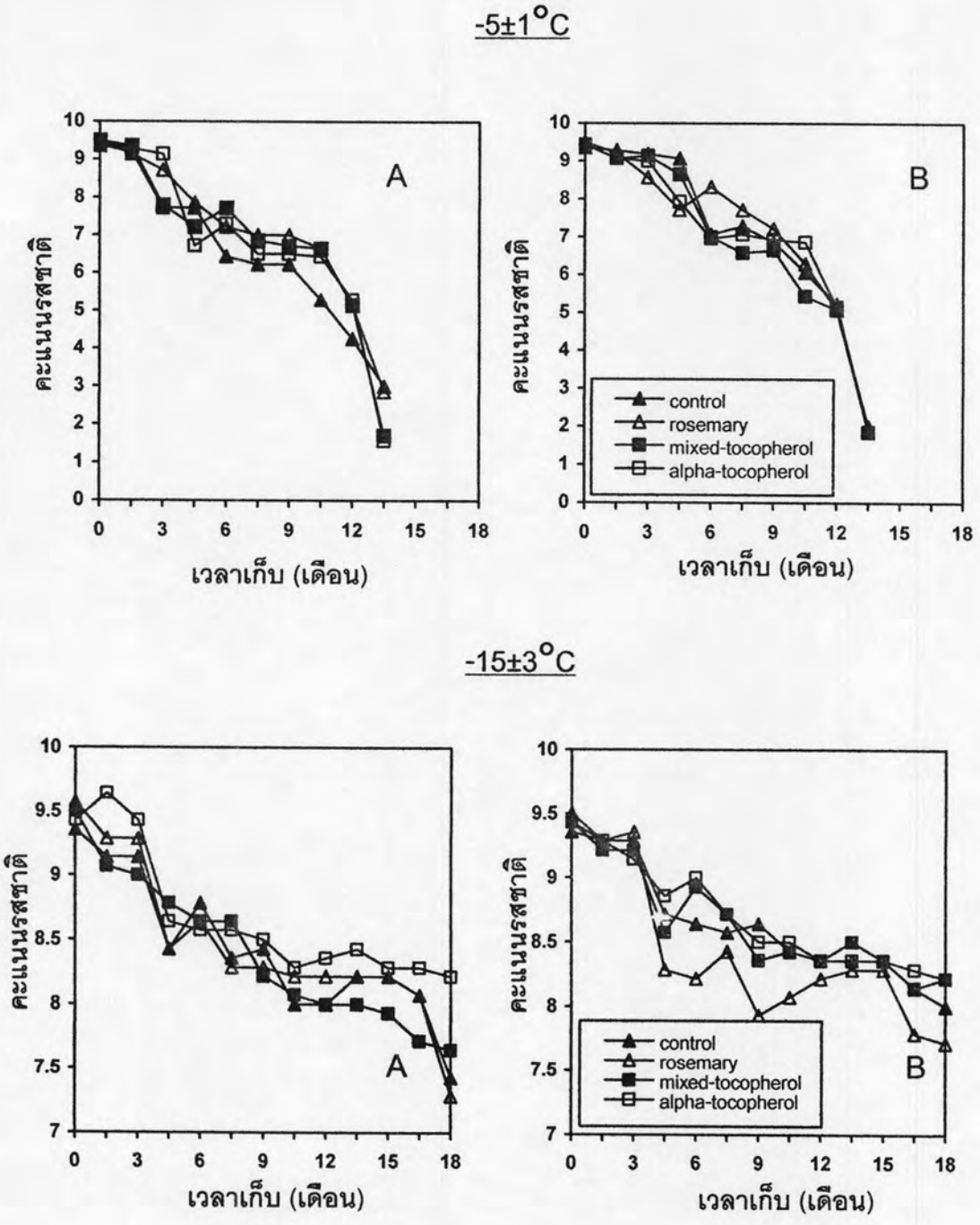
ภาพที่ 4.19 คะแนนสีของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C



ภาพที่ 4.20 คะแนนลักษณะปรากฏของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C



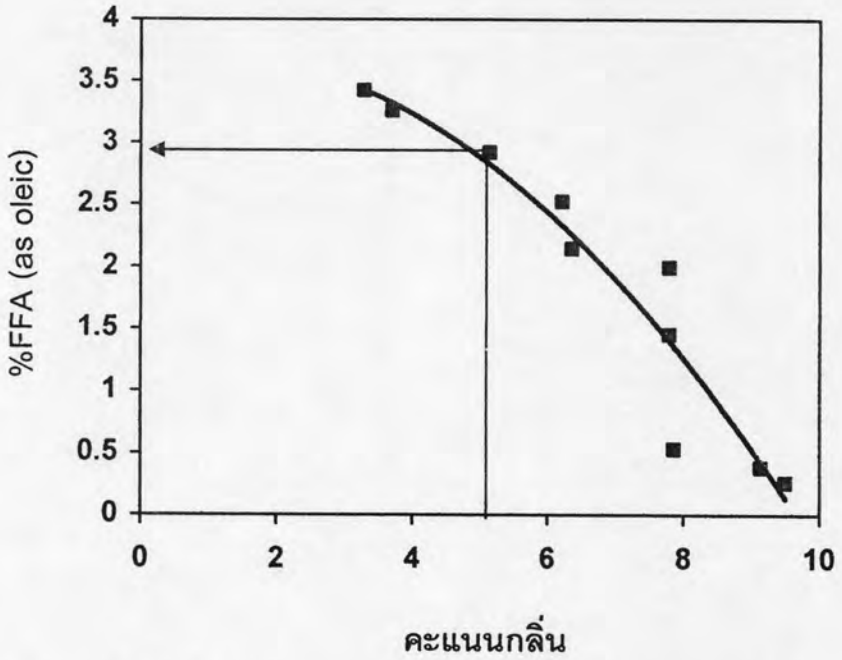
ภาพที่ 4.21 คะแนนกลิ่นของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C



ภาพที่ 4.22 คะแนนรสชาติของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C

4.2.1.4 การทำนายอายุการเก็บแกงเขียวหวาน

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมกับ %FFA ที่เลือกมาใช้เป็นดัชนีกำหนดคุณภาพของแกงเขียวหวานกุ้ง พบว่า คะแนนการทดสอบด้านกลิ่นของแกงเขียวหวานกุ้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ในลักษณะสมการ polynomial ยกกำลังสอง แสดงผลดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนกลิ่นกับปริมาณกรดไขมันอิสระของแกงเขียวหวานกุ้งที่ไม่ใส่สารกันหืน ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บรักษาที่ -5±1°C

จากภาพที่ 4.23 พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับคะแนนกลิ่น ที่มีค่า Pearson's correlation coefficient เท่ากับ -0.94 โดยเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น คะแนนด้านกลิ่นลดลง หรือกล่าวได้ว่าผู้ทดสอบยอมรับคุณภาพด้านกลิ่นของแกงเขียวหวานน้อยลง เมื่อใช้เกณฑ์การให้คะแนนต่ำกว่า 5 เป็นคะแนนที่ไม่ยอมรับคุณภาพทางด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่า แกงเขียวหวานที่ไม่เป็นที่ยอมรับคุณภาพทางด้านกลิ่นของผู้ทดสอบกลุ่มนี้มีค่า %FFA (as oleic) เท่ากับ 3.12% (ตารางที่ 4.11) ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า %FFA (as oleic) เท่ากับ 3.12% นี้เป็นค่ากำหนดอายุการเก็บของแกงเขียวหวานต่อไป

ตารางที่ 4.11 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับคะแนนกลิ่นของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -5±1°C, ค่า Pearson's correlation coefficient (r), %FFA ที่ไม่เป็นที่ยอมรับของแกงเขียวหวานกุ้งตัวอย่างต่างๆ และค่าเฉลี่ย %FFA ที่ใช้เป็นเกณฑ์การไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน	สมการความสัมพันธ์	r	%FFA
control	3 นาที	$y = -0.0585x^2 + 0.1974x + 3.3893$	-0.94	2.91
	4 นาที	$y = -0.0669x^2 + 0.3222x + 3.1178$	-0.92	3.06
rosemary	3 นาที	$y = -0.0486x^2 + 0.1314x + 3.5388$	-0.85	2.98
	4 นาที	$y = -0.0822x^2 + 0.4894x + 2.8296$	-0.89	3.22
mixed- tocopherol	3 นาที	$y = -0.0843x^2 + 0.4875x + 3.0786$	-0.88	3.41
	4 นาที	$y = -0.0375x^2 - 0.04060x + 4.0044$	-0.94	2.86
∝-tocopherol	3 นาที	$y = -0.0949x^2 + 0.5492x + 2.9767$	-0.87	3.35
	4 นาที	$y = -0.0708x^2 + 0.3642x + 3.1307$	-0.89	3.18
	%FFA (as oleic) เฉลี่ยที่เป็นเกณฑ์การไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์			3.12±0.20

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สามารถหาได้จากการสร้างสมการอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยก่อนที่จะสร้างสมการอายุการเก็บได้นั้นต้องทราบอันดับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก่อน ซึ่งอันดับ (n) ของปฏิกิริยา หาได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบที่เกิดขึ้นกับเวลาในการศึกษา เช่นเดียวกับกะทิที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.4 และผลจากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแกงเขียวหวานกุ้งมีแนวโน้มอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นมากกว่าสมการ exponential (ตารางที่ 4.12) ดังนั้นในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แกงเขียวหวานกุ้งจึงเลือกใช้สมการการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา ในรูปแบบสมการเชิงเส้นที่มีอันดับปฏิกิริยาเป็นศูนย์

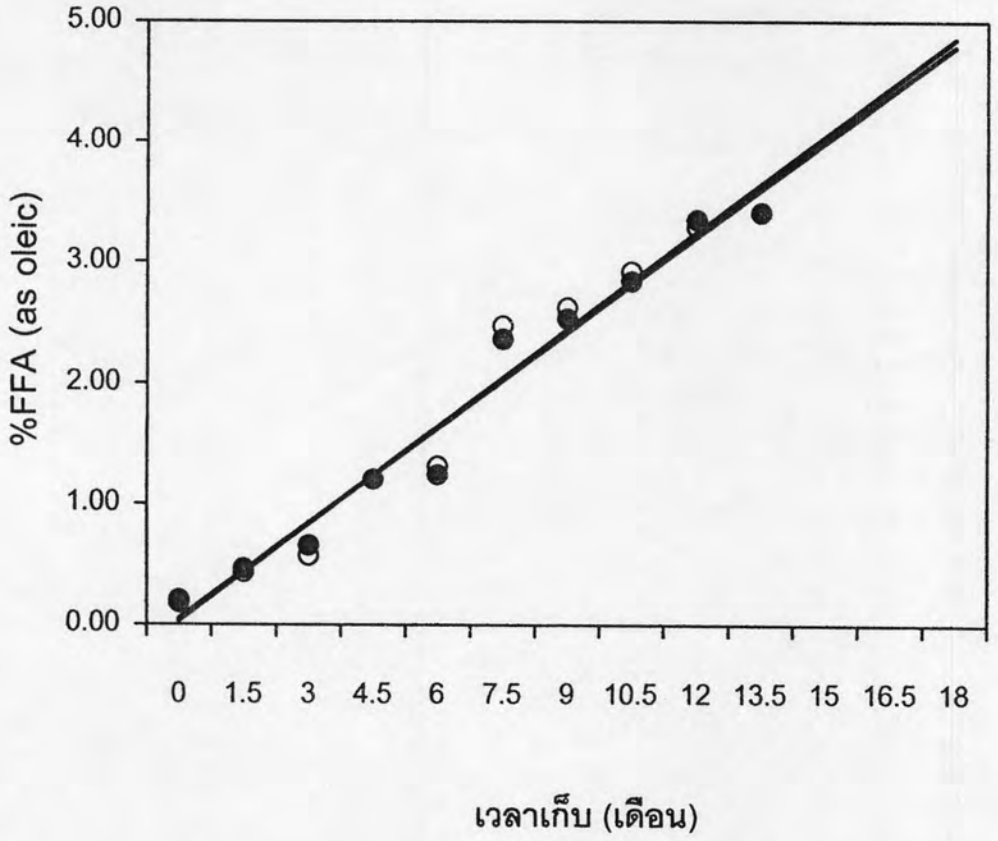
ตารางที่ 4.12 สมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา, ค่า r^2 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (MS_E) ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งตัวอย่างต่างๆ ซึ่งเก็บรักษาที่ -5±1 และ -15±3°C

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน (นาที)	Linear equation (zero order)	r^2	MS_E	Exponential equation (first order)	r^2	MS_E
อุณหภูมิเก็บรักษาที่ -5±1°C							
control	3	y = 0.2647x - 0.0828	0.97	0.0367	$y = 0.4453e^{0.1764x}$	0.83	0.3662
	4	y = 0.2808x - 0.0803	0.97	0.0320	$y = 0.4071e^{0.1838x}$	0.88	0.3044
rosemary	3	y = 0.2759x - 0.0447	0.96	0.0499	$y = 0.4295e^{0.1779x}$	0.89	0.3291
	4	y = 0.2778x - 0.1189	0.98	0.0244	$y = 0.3910e^{0.1849x}$	0.91	0.2877
mixed-tocopherol	3	y = 0.2856x - 0.0950	0.97	0.0387	$y = 0.4330e^{0.1783x}$	0.91	0.2724
	4	y = 0.2829x - 0.1717	0.98	0.0254	$y = 0.4098e^{0.1791x}$	0.94	0.1758
∝-tocopherol	3	y = 0.2778x - 0.1189	0.98	0.0244	$y = 0.3910e^{0.1849x}$	0.91	0.2877
	4	y = 0.2816x - 0.1483	0.98	0.0250	$y = 0.4023e^{0.1818x}$	0.92	0.2289

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน (นาที)	Linear equation (zero order)	r^2	MS_E	Exponential equation (first order)	r^2	MS_E
อุณหภูมิเก็บรักษาที่ -15±3°C							
control	3	y = 0.1498x + 0.1857	0.97	0.0216	$y = 0.4484e^{0.1162x}$	0.87	0.1757
	4	y = 0.1488x + 0.1961	0.97	0.0245	$y = 0.4379e^{0.1181x}$	0.86	0.2108
rosemary	3	y = 0.1496x + 0.1684	0.98	0.0192	$y = 0.4320e^{0.1184x}$	0.88	0.1911
	4	y = 0.1427x + 0.2724	0.97	0.0198	$y = 0.4970e^{0.1087x}$	0.86	0.1584
mixed-tocopherol	3	y = 0.1466x + 0.2118	0.97	0.0233	$y = 0.4638e^{0.1133x}$	0.88	0.1693
	4	y = 0.1454x + 0.2043	0.97	0.0213	$y = 0.4291e^{0.1186x}$	0.84	0.2046
∝-tocopherol	3	y = 0.1442x + 0.2086	0.98	0.0172	$y = 0.4559e^{0.1134x}$	0.86	0.1438
	4	y = 0.1433x + 0.2575	0.97	0.0196	$y = 0.4908e^{0.1093x}$	0.85	0.1405

จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บรักษา สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา ได้ในรูปของสมการเส้นตรง ที่มีอันดับปฏิกิริยาเป็นศูนย์ โดยแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา ดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษาของแกงเขียวหวานกุ้งที่เติม rosemary เป็นสารกันหืน และเก็บที่ -5±1°C

○ แกงเขียวหวานกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อน ที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที

สมการเส้นตรง $y = 0.2759x - 0.0447$

$r^2 = 0.96$

● แกงเขียวหวานกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อน ที่ 96-97°C เป็นเวลา 4 นาที

สมการเส้นตรง $y = 0.2778x - 0.1189$

$r^2 = 0.98$

เมื่อทราบสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษาแล้ว สามารถนำสมการดังกล่าวไปหาสมการอายุการเก็บและทำนายอายุการเก็บของแกงเขียวหวานกุ้งแต่ละตัวอย่างได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สมการอายุการเก็บ, ค่า r^2 และอายุการเก็บรักษาของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งตัวอย่างต่างๆ เมื่อเก็บที่ -5±1 และ -15±3°C

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน (นาที)	สมการอายุการเก็บ	r^2	อายุการเก็บรักษา (เดือน)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิเก็บรักษา -5±1°C					
control	3	y = 3.6508x – 0.0490	0.97	11.34	340
	4	y = 3.4677x + 0.4759	0.97	11.30	339
rosemary	3	y = 3.4729x + 0.4693	0.96	11.30	339
	4	y = 3.5504x + 0.3834	0.98	11.63	349
mixed-tocopherol	3	y = 3.3946x + 0.5525	0.97	11.14	334
	4	y = 3.4617x + 0.7496	0.98	11.55	347
∝-tocopherol	3	y = 3.5258x + 0.5739	0.98	11.57	347
	4	y = 3.4785x + 0.6705	0.98	11.52	346
อุณหภูมิเก็บรักษา -15±3°C					
control	3	y = 6.5039x – 0.9562	0.97	19.34	580
	4	y = 6.5140x – 0.9764	0.97	19.35	580
rosemary	3	y = 6.5422x – 0.8957	0.98	19.52	585
	4	y = 6.8294x – 1.6096	0.97	19.70	591
mixed-tocopherol	3	y = 6.6152x – 1.1081	0.97	19.53	586
	4	y = 6.6850x – 1.0926	0.97	19.76	593
∝-tocopherol	3	y = 6.7758x – 1.1930	0.98	19.95	598
	4	y = 6.7959x – 1.4934	0.97	19.71	591

4.2.2.1 คุณภาพทางเคมี

ผลิตภัณฑ์แกงเขียวหวานกุ้งทุกตัวอย่างนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยการวิเคราะห์ค่า TBA, FFA และวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า pH จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า TBA พบอิทธิพลของสารกันหืน และ อิทธิพลของเวลาเก็บต่อค่า TBA ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และ อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสามต่อค่า TBA ($p>0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.4)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสารกันหืน พบว่า ∝-tocopherol ชะลอการเกิดปฏิกิริยา oxidation ได้ดีที่สุด หรือมีปริมาณ malonaldehyde เกิดขึ้นในตัวอย่างน้อยสุด ส่วนแกงเขียวหวานที่เติม rosemary หรือ mixed-tocopherol เป็นสารกันหืน มีปริมาณ malonaldehyde เกิดขึ้นมากกว่าแกงเขียวหวานที่เติม ∝-tocopherol แต่น้อยกว่าแกงเขียวหวานที่ไม่ใส่สารกันหืน (control) ผลแสดงดังตารางที่ 4.15

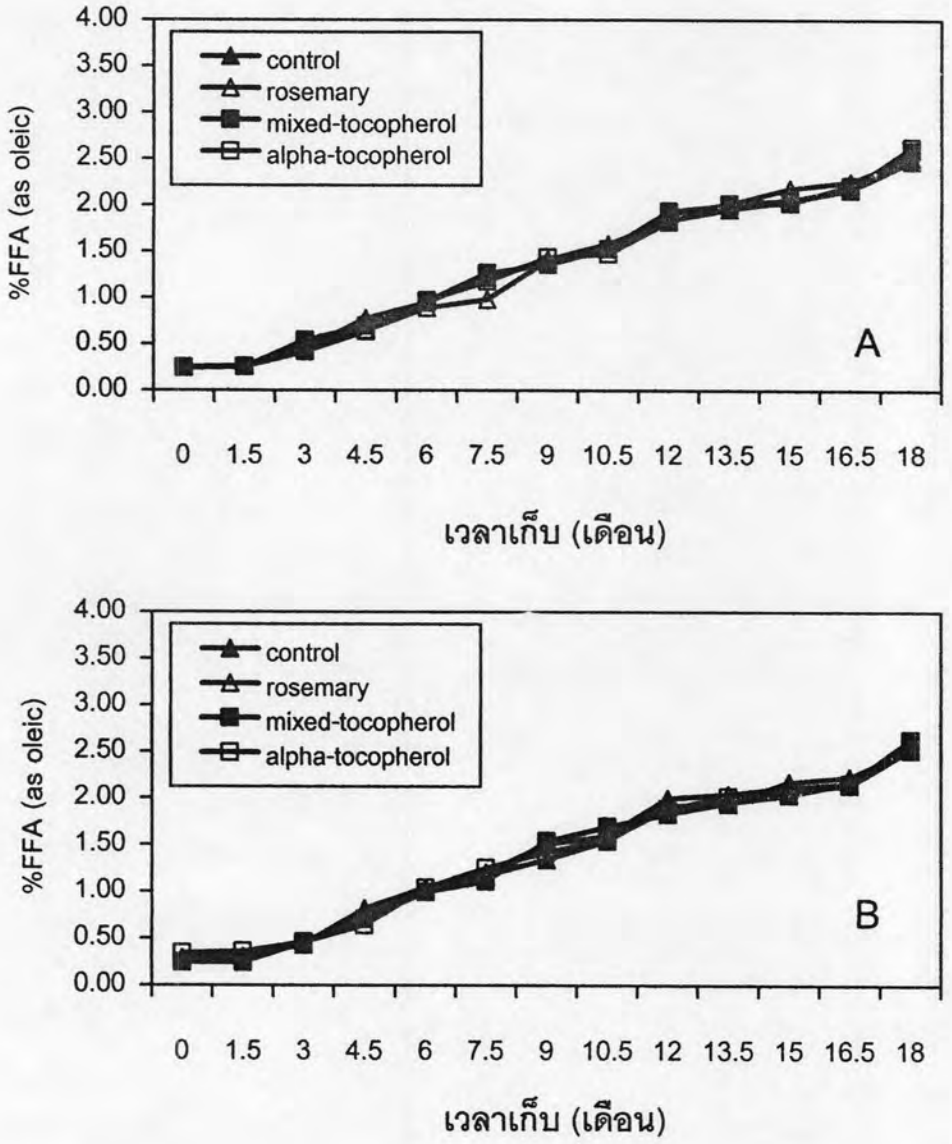
ตารางที่ 4.15 ค่า TBA ของแกงเขียวหวานกุ้งที่ไม่เติมสารกันหืนแล้วให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที หรือเติม rosemary หรือ mixed-tocopherol หรือ ∝-tocopherol เป็นสารกันหืนแล้วให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที ที่อุณหภูมิเก็บรักษา -18±1°C เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสารกันหืน

สารกันหืน	ค่า TBA (mg MA/kg sample)
control (ไม่เติมสารกันหืน)	$0.18^{a} \pm 0.04$
rosemary	$0.16^{b} \pm 0.03$
mixed-tocopherol	$0.16^{b} \pm 0.04$
∝-tocopherol	$0.15^{c} \pm 0.04$

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.15 สรุปลำดับของการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของกรดไขมันในแกงเขียวหวานได้ดังนี้ control> rosemary/mixed-tocopherol> ∝-tocopherol ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สารกันหืนมีผลในการชะลอการเกิดปฏิกิริยา oxidation ได้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก ปฏิกิริยา oxidation ที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในไขมันของกะทิ ชะลอให้เกิดช้าลงได้ด้วยสารกันหืนที่เติมลงไป โดยสารกันหืนทำปฏิกิริยากับ free radicals ที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยา

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ FFA ของตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ -18±1°C พบอิทธิพลของเวลาเก็บ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และ อิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัยต่อปริมาณ FFA ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของสารกันหืน ($p > 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ สารกันหืนไม่สามารถชะลอการเกิดกลิ่นหืนที่มาจากปฏิกิริยา hydrolysis ได้ โดยที่ปฏิกิริยา hydrolysis เกิดได้เร็วเมื่อมีเอนไซม์ lipase ซึ่งอาจมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ จากเนื้อเยื่อของกุ้ง จึงไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สารกันหืน แต่อาจยับยั้งหรือชะลอได้ด้วยการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีและผ่านกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม (Allen, 1994)



ภาพที่ 4.26 %FFA (as oleic) ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดต่างๆ ให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที (A) และ 4 นาที (B) แล้วเก็บรักษาที่ -18±1°C

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ FFA ของแกงเขียวหวานกุ้งในระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 4.26 (ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.7) เมื่อพิจารณาชนิดของสารกันหืนและเวลาให้ความร้อนระดับเดียวกัน พบว่า ปริมาณ FFA เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะ ผลจากปฏิกิริยา hydrolysis ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในข้อ 4.2.1.1 เมื่อพิจารณาที่ชนิดของสารกันหืนและระยะเวลาเก็บระดับเดียวกัน พบว่า การให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที มีแนวโน้มของปริมาณ FFA ที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ การให้ความร้อน 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที พอเพียงที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipase ได้ระดับหนึ่ง ขณะที่การให้ความร้อนในเวลาที่นานขึ้นถึง 4 นาที ก็ยังไม่สามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา hydrolysis แบบที่ไม่ใช้เอนไซม์ได้ เนื่องจากปฏิกิริยา hydrolysis จะเกิดได้เร็วที่อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 160°C (Allen, 1994) และเมื่อพิจารณาเวลาให้ความร้อนและเวลาเก็บระดับเดียวกัน พบว่า สารกันหืนแต่ละชนิดมีผลต่อการเกิด FFA ใกล้เคียงกัน แสดงว่า สารกันหืนไม่มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนที่มาจากปฏิกิริยา hydrolysis ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในอิทธิพลของสารกันหืนต่อปริมาณ FFA

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่า pH ในแกงเขียวหวานซึ่งเก็บรักษาที่ -18±1°C ไม่พบอิทธิพลของสารกันหืน อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน อิทธิพลของเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัยต่อค่า pH ($p > 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.4) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก การแช่เยือกแข็งที่ -18±1°C สามารถชะลอการเจริญและหยุดกระบวนการ metabolism ของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์ โดยการแช่เยือกแข็งมีผลในการเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวให้เป็นน้ำแข็ง จึงทำให้จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนไม่สามารถใช้น้ำในกระบวนการ metabolism และเจริญได้ เมื่อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จึงทำให้ไม่มีการสร้างกรดขึ้นมา และค่า pH ของแกงเขียวหวานไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ ในน้ำพริกแกงเขียวหวานมีเครื่องเทศเป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีสารประกอบที่สำคัญในการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.2.1.1

องค์ประกอบกรดไขมันของตัวอย่างแกงที่เก็บรักษาที่ -18±1°C ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์เนื่องจาก เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 18 เดือนแล้ว ทุกตัวอย่างยังมีคุณภาพในระดับที่ผู้ทดสอบยอมรับได้ ผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±1°C ต่อค่าทางเคมีจึงอาจสรุปได้เพียงว่า ค่า TBA ยังไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นดัชนีที่ดีของระบบแกงที่มีกะทิเป็นส่วนประกอบหลัก ขณะที่ค่า FFA มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดอายุการเก็บ

4.2.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าสี โดยการวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของแกงเขียวหวานซึ่งเก็บรักษาที่ -18±1°C ตลอดเวลาการเก็บรักษา พบอิทธิพลของสารกันหืน อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน และอิทธิพลของเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัยต่อค่า L* ($p > 0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.5) เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสารกันหืนต่อค่า L* พบว่า แกงเขียวหวานที่มี rosemary เป็นสารกันหืน มีความสว่างน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมและเติมสารกันหืนชนิดอื่นๆ ($p \leq 0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4.16 ผลดังกล่าวนี้เหมือนที่ตรวจพบในตัวอย่างซึ่งเก็บที่ -5±1 และ -15±3°C และอาจอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

ตารางที่ 4.16 ค่า L* ของแกงเขียวหวานกุ้งที่ไม่เติมสารกันหืนแล้วให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที หรือเติม rosemary หรือ mixed-tocopherol หรือ ∝-tocopherol เป็นสารกันหืนแล้วให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสารกันหืน

สารกันหืน	L*
control (ไม่เติมสารกันหืน)	$70.58^{a} \pm 1.62$
rosemary	$67.99^{b} \pm 1.54$
mixed-tocopherol	$70.62^{a} \pm 1.59$
∝-tocopherol	$70.58^{a} \pm 1.65$

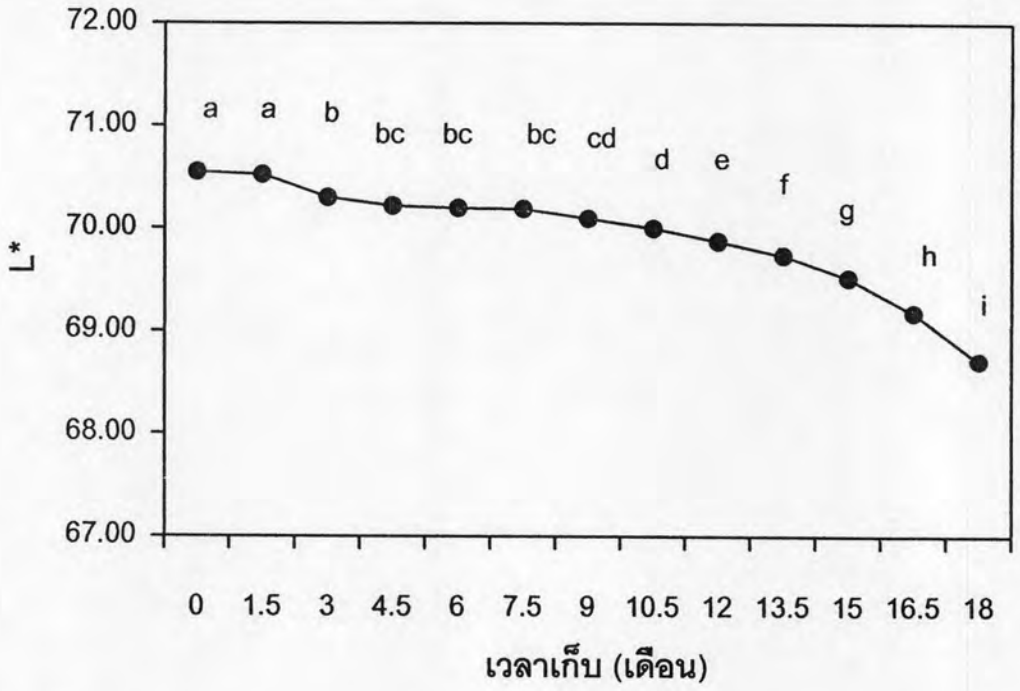
a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนต่อค่า L* พบว่า แกงเขียวหวานที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที มีค่าความสว่างมากกว่าแกงเขียวหวานที่ให้ความร้อน 4 นาที ผลแสดงดังตารางที่ 4.17 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก พลังงานความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในข้อ 4.1.2.2 ประกอบกับเวลาในการให้ความร้อนที่นานขึ้นก็มีผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard) มากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.17 ค่า L* ของแกงเขียวหวานแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 และ 4 นาที แล้วเก็บที่ -18±1°C เป็นเวลา 18 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาให้ความร้อน

เวลาให้ความร้อน	L*
0 นาที	70.10^{a}±1.27
3 นาที	69.66^{b}±1.24

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.27 ค่า L* ของแกงเขียวหวานแช่เยือกแข็งซึ่งเก็บที่ -18±1 °C เป็นเวลา 18 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ... ตัวอักษรกำกับ a,b,...,i ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาเก็บต่อค่า L* พบว่า ตัวอย่างแกงเขียวหวานที่เก็บเป็นเวลานานขึ้น มีค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงผลดังภาพที่ 4.27 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อเก็บเป็นเวลานานแกงเขียวหวานมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard อย่างช้าๆ ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.1.2.2

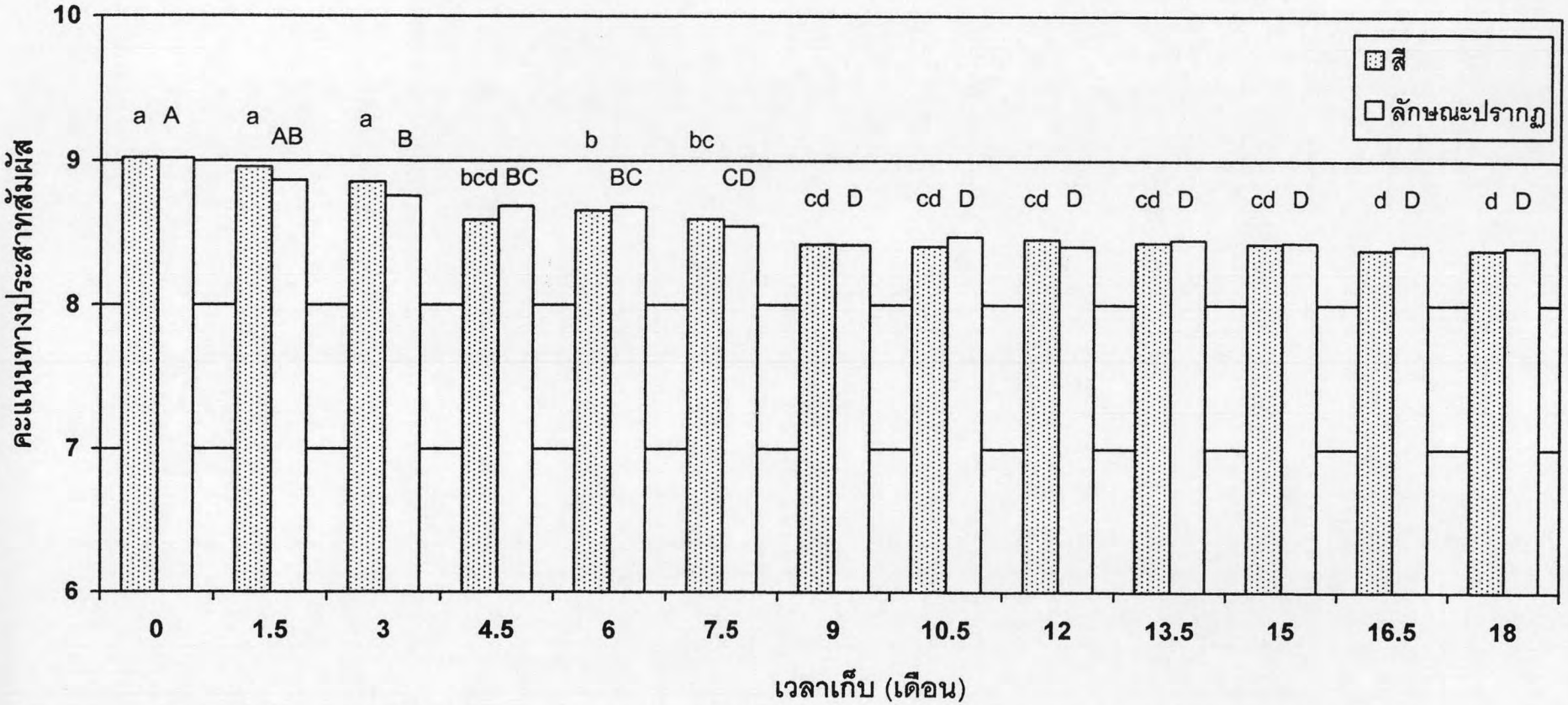
สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ไม่พบอิทธิพลของเวลาเก็บ อิทธิพลของเวลาให้ความร้อน อิทธิพลของสารกันหืน และอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัยต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลือง ($p>0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา (ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.5) แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของแกงเขียวหวานไม่สามารถตรวจพบได้ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สีเขียวอมเหลืองตามธรรมชาติของแกงมีผลในการบดบังการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของสีทั้ง 2 ได้ระดับหนึ่ง

4.2.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

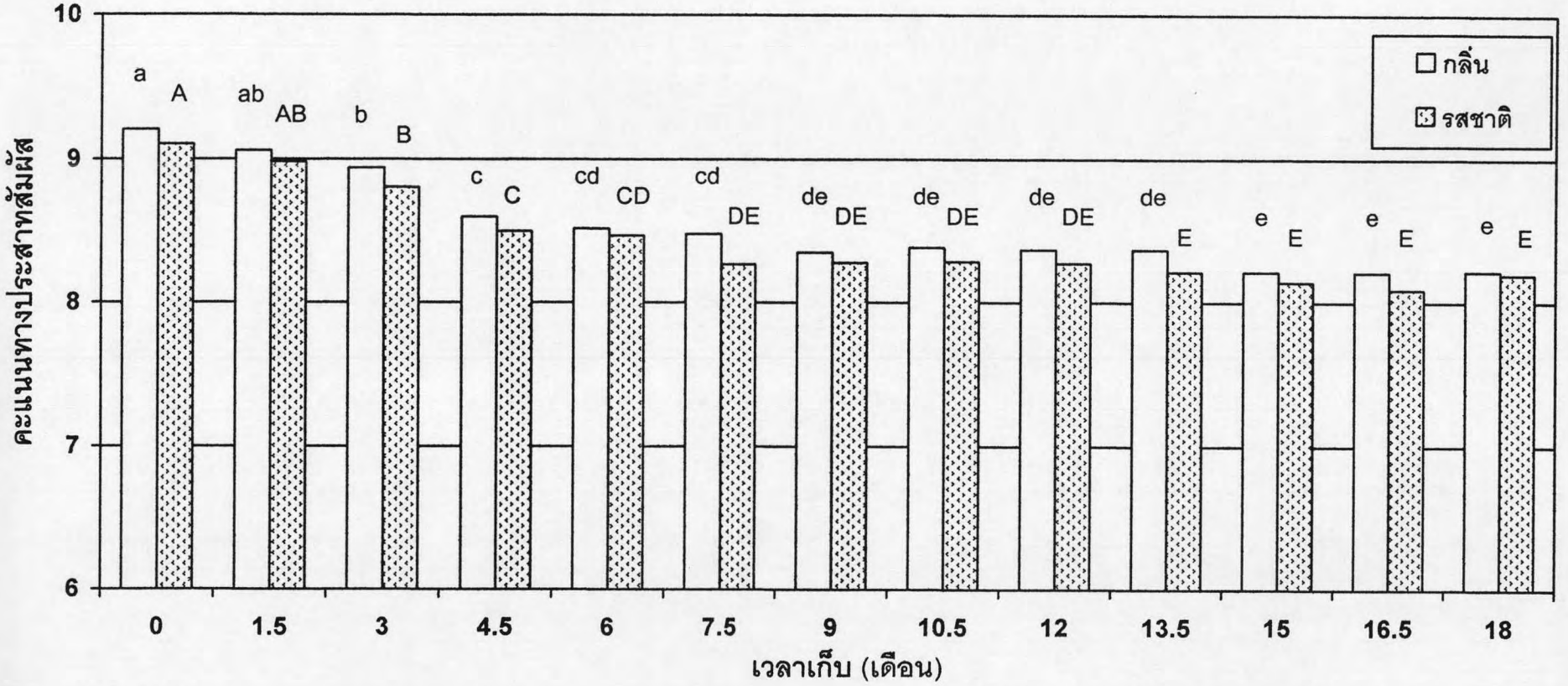
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทางประสาทสัมผัส พบอิทธิพลของเวลาเก็บต่อคะแนนสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติของแกงเขียวหวาน พบอิทธิพลของสารกันหืนต่อคะแนนกลิ่นและรสชาติ ($p\leq0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของเวลาให้ความร้อนและอิทธิพลร่วมของทั้งสามปัจจัยต่อคะแนนสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติของแกงเขียวหวาน ($p>0.05$, ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.6) แสดงผลการทดลองได้ดังภาพที่ 4.28 และ 4.29

จากภาพที่ 4.28 เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ สำหรับคะแนนสี พบว่าแกงเขียวหวานมีสีที่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้น เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ($p\leq0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ ผลของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.1.2.2 เนื่องจากในแกงเขียวหวานมีกะทิเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้การเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามเวลาเก็บ สำหรับคะแนนลักษณะปรากฏ พบว่า แกงเขียวหวานมีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้น เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ความไม่คงตัวของกะทิและการเกิด fat crystallization ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.1.3

เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ (ภาพที่ 4.29) สำหรับคะแนนกลิ่นและรสชาติ พบว่า แกงเขียวหวานมีกลิ่นและรสชาติที่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากขึ้น เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น ($p\leq0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ได้ผลิตผลเป็นกรดไขมันอิสระที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหากลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavor) ในอาหารได้ (Allen, 1994)

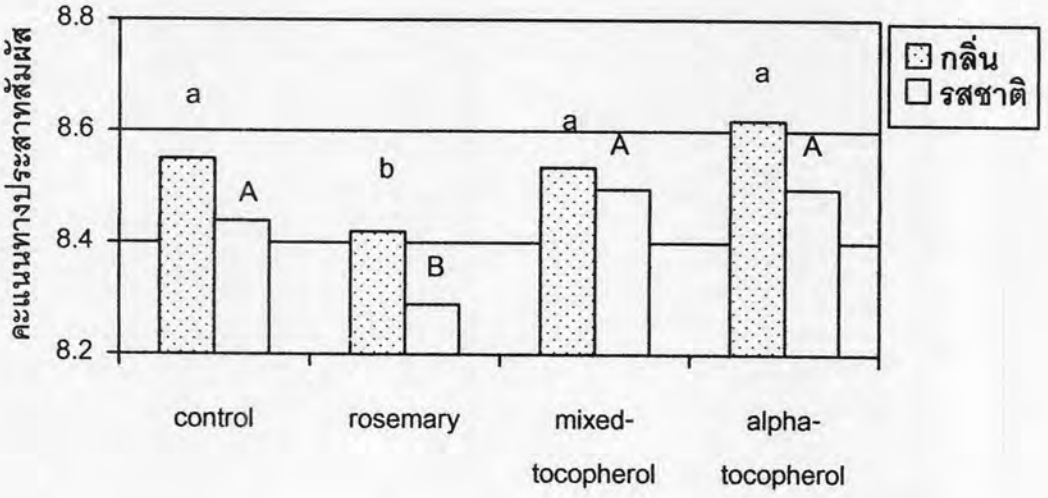


ภาพที่ 4.28 คะแนนสีและลักษณะปรากฏของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่ -18±1°C เป็นเวลา 18 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ ตัวอักษร a,b,...,d และ A,B,...,D ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคุณลักษณะ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.29 คะแนนกลิ่นและรสชาติของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่ -18±1°C เป็นเวลา 18 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเวลาเก็บ ตัวอักษร a,b,...,e และ A,B,...,E ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคุณลักษณะ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสารกันหืน พบว่า แกงเขียวหวานที่เติม rosemary เป็นสารกันหืน มีกลิ่นและรสชาติที่แตกต่างไปจากตัวอย่างที่ไม่เติมหรือเติมสารกันหืนชนิดอื่นหรือ อาจกล่าวได้ว่า แกงเขียวหวานที่เติม rosemary เป็นสารกันหืนมีกลิ่นและรสชาติที่แตกต่างจาก ตัวอย่างควบคุมมากที่สุด แสดงผลดังภาพที่ 4.30



ภาพที่ 4.30 คะแนนกลิ่นและรสชาติของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็ง ซึ่งเก็บรักษาที่ -18±1°C เป็นเวลา 18 เดือน เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของสารกันหืน... ตัวอักษร a, b และ A, B ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคุณลักษณะ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.30 พบว่า แกงเขียวหวานที่เติม rosemary มีคะแนนกลิ่นต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมหรือเติมสารกันหืนชนิดอื่น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ rosemary มีลักษณะของกลิ่นที่เฉพาะตัว โดย Reineccius (1994) รายงานว่า rosemary มีลักษณะเฉพาะทางด้านกลิ่นแบบ sweety aromatic และ cineolic odor ดังนั้นจึงทำให้แกงเขียวหวานที่ใส่ rosemary มีกลิ่นแตกต่างไปจากตัวอย่างอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า แกงเขียวหวานที่เติม rosemary มีคะแนนรสชาติต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมหรือเติมสารกันหืนชนิดอื่น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะสารประกอบ phenolic เช่น thymol, carvacrol และ eugenol ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อลักษณะกลิ่นรส (flavoring properties) ของน้ำมัน rosemary อาจมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในบาง fractions เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (Boelens, 1991) จึงทำให้แกงเขียวหวานที่เติม rosemary เป็นสารกันหืนมีกลิ่นและรสชาติที่แตกต่างไปจากตัวอย่างควบคุมมากกว่าแกงเขียวหวานตัวอย่างอื่น

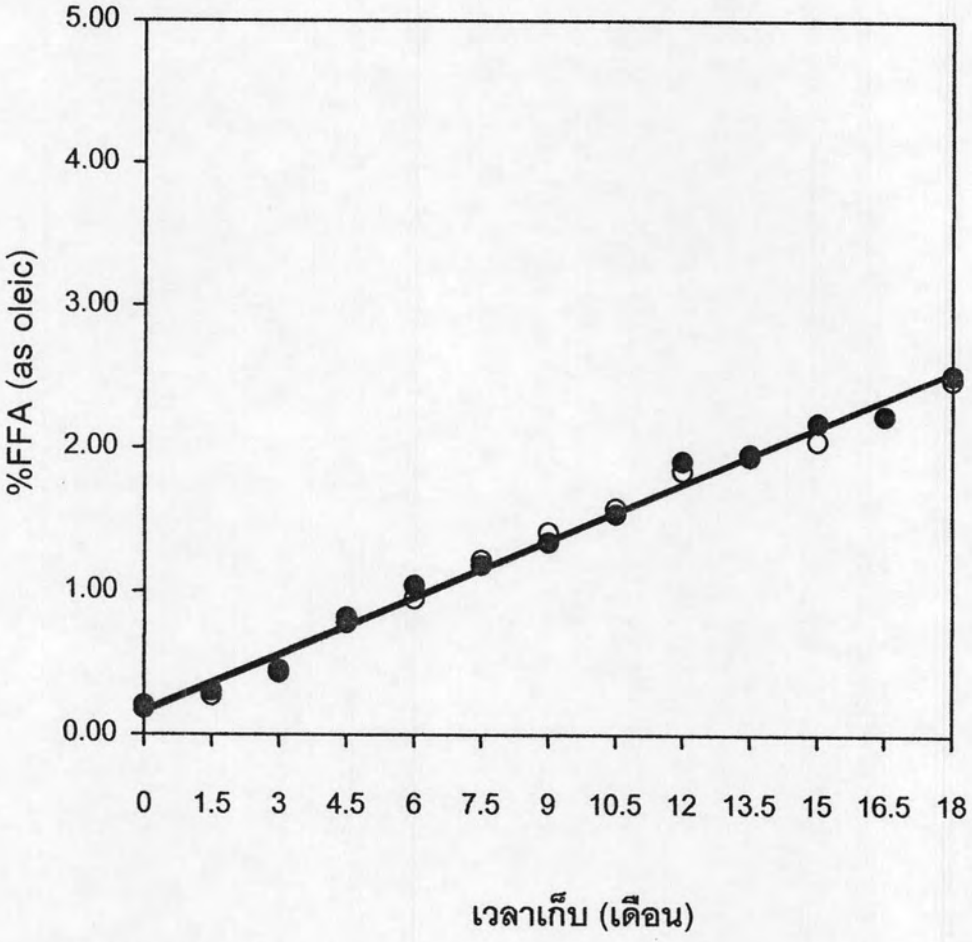
4.2.2.4 การทำนายอายุการเก็บแกงเขียวหวานที่อุณหภูมิ -18±1°C

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สามารถหาได้จากการสร้างสมการอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยก่อนที่จะสร้างสมการอายุการเก็บได้นั้นต้องทราบอันดับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก่อน ซึ่งอันดับ (n) ของปฏิกิริยา หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบที่เกิดขึ้นกับเวลาในการศึกษา เช่นเดียวกับกะทิที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.4 และผลจากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มอยู่ในรูปของสมการสมการเชิงเส้นมากกว่าสมการ exponential (ตารางที่ 4.18) ดังนั้นในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แกงเขียวหวานกุ้งจึงเลือกใช้สมการเชิงเส้นที่มีอันดับปฏิกิริยาเป็นศูนย์ ซึ่งตัวอย่างความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้แสดงได้ดังภาพที่ 4.31

เมื่อทราบสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา แล้ว สามารถนำสมการดังกล่าวไปหาสมการอายุการเก็บและทำนายอายุการเก็บของแกงเขียวหวานกุ้งแต่ละตัวอย่างได้ โดยการแทนค่า %FFA เท่ากับ 3.12 ลงในสมการอายุการเก็บ จะได้อายุการเก็บของแต่ละตัวอย่าง ผลแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 สมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษา, ค่า r^2 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (MS_E) ของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งตัวอย่างต่างๆ ซึ่งเก็บรักษาที่ -18±1°C

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน (นาที)	Linear equation (zero order)	r^2	MS_E	Exponential equation (first order)	r^2	MS_E
control	3	$y = 0.1375x + 0.0826$	0.99	0.0131	$y = 0.3505e^{0.1245x}$	0.88	0.1459
	4	$y = 0.1329x + 0.1571$	0.99	0.0101	$y = 0.3988e^{0.1157x}$	0.88	0.1213
rosemary	3	$y = 0.1396x + 0.0632$	0.99	0.0104	$y = 0.3535e^{0.1239x}$	0.9	0.1383
	4	$y = 0.1343x + 0.1655$	0.97	0.0189	$y = 0.3929e^{0.1181x}$	0.86	0.164
mixed-tocopherol	3	$y = 0.1338x + 0.1433$	0.98	0.0128	$y = 0.3858e^{0.1181x}$	0.87	0.1315
	4	$y = 0.1355x + 0.1220$	0.98	0.0180	$y = 0.3569e^{0.1241x}$	0.85	0.1715
∝-tocopherol	3	$y = 0.1298x + 0.1631$	0.99	0.0108	$y = 0.3838e^{0.1175x}$	0.86	0.1373
	4	$y = 0.1303x + 0.1778$	0.98	0.0150	$y = 0.4156e^{0.1121x}$	0.89	0.1202



ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษาของแกงเขียวหวานกุ้งที่ไม่เติมสารกันหืน และเก็บที่ -18±1°C

○ แกงเขียวหวานกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อน ที่ 96-97°C เป็นเวลา 3 นาที

สมการเส้นตรง $y = 0.1375x + 0.0826$

$r^2 = 0.99$

● แกงเขียวหวานกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อน ที่ 96-97°C เป็นเวลา 4 นาที

สมการเส้นตรง $y = 0.1329x + 0.1571$

$r^2 = 0.99$

ตารางที่ 4.19 สมการอายุการเก็บ, ค่า r^2 และอายุการเก็บรักษาของแกงเขียวหวานกุ้งแช่เยือกแข็งตัวอย่างต่างๆ เมื่อเก็บที่ -18±1°C

สารกันหืน	เวลาให้ความร้อน (นาที)	สมการอายุการเก็บ	r^2	อายุการเก็บรักษา (เดือน)	(วัน)
control	3	y = 7.1661x - 0.4477	0.99	21.91	657
	4	y = 7.4300x - 1.0452	0.99	22.14	664
rosemary	3	y = 7.0802x - 0.3323	0.99	21.76	653
	4	y = 7.2591x - 0.9571	0.97	21.69	651
mixed-tocopherol	3	y = 7.3491x - 0.8879	0.98	22.04	661
	4	y = 7.2025x - 0.6466	0.98	21.83	655
∝-tocopherol	3	y = 7.5964x - 1.1044	0.99	22.60	678
	4	y = 7.5187x - 1.1386	0.98	22.32	670

เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของแกงเขียวหวานกุ้งที่ทำนายมาจากการทดลองเก็บจริงที่ -18±1°C (ตารางที่ 4.19) กับอายุการการเก็บรักษาของแกงเขียวหวานกุ้งที่มาจากทำนายด้วยค่า Q_{10} (ตารางที่ 4.14) พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน (แตกต่างกันประมาณ 3-6%) และแกงเขียวหวานทุกตัวอย่างมีอายุการเก็บใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ ในการคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ได้เลือกใช้ %FFA เป็นตัวกำหนดคุณภาพ ซึ่งสารกันหืนไม่สามารถชะลอหรือยับยั้งการเกิดกลิ่นหืนที่มาจากปฏิกิริยา hydrolysis ได้ ทั้งนี้เนื่องจาก การเสื่อมเสียจากปฏิกิริยา hydrolysis ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สารกันหืน แต่อาจแก้ไขได้ด้วยการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี และผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่เหมาะสมเพียงพอที่จะยับยั้งเอนไซม์ (Allen, 1994) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารกันหืนลงในผลิตภัณฑ์แกงเขียวหวาน ในการช่วยยืดอายุการเก็บ แต่ในกระบวนการผลิต ควรผ่านการให้ความร้อนในระดับที่เพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipase

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอายุการเก็บจากการทำนายที่อุณหภูมิ -18°C ของกะทิและแกงเขียวหวาน จะเห็นว่าแกงเขียวหวานเก็บได้นานกว่ากะทิ โดยกะทิมีอายุการเก็บ 424-496 วัน ขณะที่แกงเขียวหวานเก็บได้ 682-705 วัน ซึ่งผลดังกล่าวนี้ช่วยยืนยันได้อีกสำหรับสาเหตุการเสื่อมคุณภาพของกะทิและผลิตภัณฑ์ที่มีกะทิเป็นองค์ประกอบว่า ไม่ได้เกิดจาก oxidative rancidity เพราะถ้าเป็นปฏิกิริยา oxidation ปัจจัยเร่งที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง คือ พลังงานความร้อน

โดยแกงผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิซึ่งเป็นจุดเดือด (96-97°C) เป็นเวลา 3-4 นาที ขณะที่กะทิมีตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวนี้น่าจะมีผลในการเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในตัวอย่างแกงที่ไม่ได้มีการเติมสารกันหืน จนมีผลทำให้ตัวอย่างดังกล่าวมีอายุการเก็บสั้นกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แต่ผลการทดลองที่ปรากฏออกมาในลักษณะตรงกันข้าม แสดงให้เห็นว่า การเสื่อมคุณภาพเกิดจาก hydrolytic rancidity โดยที่การให้ความร้อนมีส่วนช่วยในการยับยั้งเอนไซม์ lipase และจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ดังกล่าว ตัวอย่างทั้งกะทิและแกงที่ให้ความร้อนจึงมีอายุการเก็บยาวกว่าพวกที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้แกงมีอายุการเก็บยาวกว่ากะทิ ได้แก่ เครื่องเทศและสมุนไพรที่เป็นองค์ประกอบของน้ำพริกแกง ซึ่งแทบทุกชนิดนอกจากจะให้กลิ่นหอมที่สามารถบดบังกลิ่นแปลกปลอมจากปฏิกิริยาต่างๆ ได้ในระดับหนึ่งแล้ว ยังมีหลายชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อีกด้วย อย่างไรก็ตามในการให้ความร้อนเพื่อการแปรรูปหรือยับยั้งเอนไซม์นั้น มีข้อควรระวังว่า ไม่ควรใช้ภาวะรุนแรงถึงระดับที่จะเร่ง hydrolytic rancidity ซึ่งเกิดได้จากการได้รับพลังงานความร้อนขึ้นในระดับอุณหภูมิ 160-190°C ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น