

อิทธิพลของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรและสภาวะการบรรจุต่ออายุการเก็บรักษา ขนมชั้น

The Effect of Essential Oils from Herbs and Packaging Conditions on the Shelf-Life of Steamed Layer Dessert (Kanom Chun)

คำนำ

อุตสาหกรรมขนมไทย เป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงการใช้วัตถุดิบในประเทศเกือบ 100 % (นิรนาม, 2546) การผลิตขนมไทยถึงสำเร็จรูปและสำเร็จรูปเพื่อการบริโภคภายในประเทศ และเพื่อการส่งออก จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์โดยตรง ขนมชั้นเป็นขนมไทยประเภทหนึ่งชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความขึ้นสูง การบรรจุขนมชั้นในปัจจุบันมักจะบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ เมื่อบรรจุขนมชั้นในสภาวะนี้จะทำให้ขนมชั้นเกิดการเน่าเสียได้อย่างรวดเร็วจากเชื้อราที่ปนเปื้อนในระหว่างการผลิต ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาหาวิธีที่จะสามารถทำให้ขนมชั้นมีอายุการเก็บนานขึ้น เช่น การนำสารเคมีมาใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดค่าความชื้น แอคทีวิตี และการบรรจุอาหารในสภาวะสุญญากาศและปรับบรรยากาศ เป็นต้น การนำสารเคมีมาใช้ในอาหารนอกจากจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพื่อเป็นการถนอมอาหารแล้ว ยังอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ถ้าใช้อย่างไม่ระวัง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาของการนำสารเคมีมาใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนสารเคมีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และจากการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรหลายชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น อบเชย ตะไคร้ จึง เป็นต้น มีการศึกษาการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรในอาหาร เช่น การใช้น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเป็นสารป้องกันเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวนของนฤมล (2543) โดยผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย ปริมาณ 0.6%, 0.8% และ 1.0% ลงไปในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวนขนาด 100 กรัม พบว่าทุเรียนกวนมีอายุการเก็บรักษาโดยปราศจากเชื้อราเป็นเวลา 70, 105 และ 120 วัน ตามลำดับ และพบว่าผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวนที่เป็นตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการใช้น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.6% และ 0.8% ของเนื้อทุเรียนกวน ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีคะแนนความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง จึงมีความเป็นไปได้สูงในการนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรมา

ใช้เป็นสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในขนมชั้นซึ่งเป็นตัวแทนของอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่าย การบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ คือ การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ (งามทิพย์, 2538) มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ช่วยประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนในการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับ การแช่เยือกแข็ง (Ooraikul, 1991) การศึกษาที่มีการใช้สภาวะปรับบรรยากาศเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในอาหารที่มีความชื้นสูง เช่น การศึกษาอายุการเก็บรักษาของครัมเปต (crumpet) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ของ Ooraikul (1991) โดยได้ทำการปรับสูตรเพื่อให้มีค่า a_w ไม่เกิน 0.96 ค่า pH ไม่เกิน 6.5 (ปกติ a_w เท่ากับ 0.97 และ pH ประมาณ 7) บรรจุผลิตภัณฑ์ในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 % และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25°C) พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของครัมเปตที่ 25 °C จาก 2-3 วัน ได้เป็นอย่างน้อย 6 สัปดาห์ ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % ผสมไนโตรเจน 40 % ทั้งการใช้สุมนไพร การใช้สารลดค่าออกเตอรแอกติวิตี้ และการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการศึกษาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยเฉพาะขนมไทยหลายชนิดซึ่งมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น ดังนั้นงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลการใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรต่อคุณภาพขนมชั้นและผลของการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับสภาวะการบรรจุต่อคุณภาพขนมชั้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

วัตถุประสงค์

1. สำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคต่อการยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้น
2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรต่อคุณภาพขนมชั้น
3. ศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพขนมชั้นระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. ขนมชั้น

อุตสาหกรรมขนมไทย เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีศักยภาพในการเติบโต สามารถก้าวไปสู่การส่งออกนำเงินเข้าสู่ประเทศได้ นอกเหนือจากรายได้ที่จะเข้าสู่ประเทศแล้วนั้น ขนมไทยยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของความเป็นไทย และเป็นมรดกอันยั่งยืนของชาติไทยอย่างหนึ่ง โดยขนมแต่ละชนิดจะมีลักษณะรูปร่าง สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความมัน และความสวยงาม ที่มีลักษณะเฉพาะตัว ใช้ศิลปะและความประณีตบรรจงในการทำเป็นอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวัฒนธรรมประเพณีของชาติไทยที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษ (มณเฑียร, 2541) และที่สำคัญเป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงการใช้วัตถุดิบในประเทศเกือบ 100 % ทั้ง แป้ง มะพร้าว น้ำตาล และไข่ (นิรนาม, 2546) การผลิตขนมไทยเพื่อการบริโภคภายในประเทศ และเพื่อการส่งออก จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตผลเกษตรโดยตรง เนื่องจากขนมไทยส่วนใหญ่มีอายุการเก็บรักษาสั้น ที่อุณหภูมิห้อง ($33\pm 2^{\circ}\text{C}$) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตและการเก็บรักษา เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาขนมไทย สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิต เช่น การผลิตขนมไทยกึ่งสำเร็จรูป ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยกึ่งสำเร็จรูป เช่น ขนมสังขยาฟักทองของกมลวรรณ และคณะ (2542) ขนมทับทิมของธีรานุช (2543) ขนมถ้วยฟูของรุ่งรัตน์ (2544) และขนมตาลของมนัสนันท์ (2544) เป็นต้น ส่วนการพัฒนาเทคโนโลยีในการเก็บรักษา เช่น การบรรจุแบบแอคทีฟของขนมโมจิ โดยงามทิพย์ (2541) เป็นต้น

ขนมชั้นเป็นขนมหวานที่ทำให้สุกด้วยวิธีการนึ่ง โดยการนำแป้งต่าง ๆ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าวยายม่อม และแป้งถั่วเขียว เป็นต้น และหั่นกะทิมาวนคั่วให้เข้ากันดีแล้วใส่น้ำเชื่อมลงไป ละลายให้ทั่วพอน้ำแป้งข้น จากนั้นตักส่วนผสมแป้งใส่ถาด นำไปนึ่งให้สุก เมื่อสุกแล้วจึงเทชั้นถัดไป จนได้ 7 หรือ 9 ชั้น ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม โดยมากนิยมใส่น้ำใบเตยให้หอมกลิ่นเขียวอ่อนแก่สลับกันไป และได้กลิ่นหอมของใบเตย ส่วนสีแดงโบราณใช้ครั้งปัจจุบันใช้สีผสมอาหารแทน ปัจจุบันนี้ยังทำเป็นสีม่วงโดยใช้ดอกอัญชันและสีน้ำตาลจากกาแฟด้วย บางแห่งทำเป็นรูปดอกกุหลาบ ขนมชั้นเป็นขนมที่มีขายทั่วไป และนิยมใช้ในงานพิธีมงคลต่าง ๆ (บุญมี และประคอง, 2542) โดยรูปแบบขนมไทยที่ทำขายเป็นการค้ามีการพัฒนาลักษณะบรรจุภัณฑ์มากขึ้นจากเดิมซึ่งทำเป็นถาดใหญ่แล้วแบ่งขายโดยการห่อด้วยใบตอง เปลี่ยนเป็นการทำเป็นถาดอลูมิเนียมหรือถาดพลาสติกใสขนาดเล็กที่สามารถรับประทานครั้งเดียวได้หมดในกรอบครัว 3-

4 คน เช่น ขนมนั่น ขนมห่อแคง เป็นต้น หรือบรรจุขนมใส่ถาดโฟมแล้วหุ้มด้วยพลาสติกใส (polyvinyl choride) หรือบรรจุในถุงพลาสติก ปัจจุบันการส่งสินค้าไปยังต่างประเทศของผู้ผลิตหลายรายยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากอายุการเก็บของขนมค่อนข้างสั้น จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าถึงเทคโนโลยีการผลิตและบรรจุภัณฑ์ที่สามารถทำให้ขนมมีอายุการเก็บนานขึ้น เช่น การอบแห้ง การแช่แข็ง การทำ retort pouch เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ (วารุณี, 2546)

2. การเสื่อมเสียของอาหาร

ขนมชั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลัก ประกอบกับมีความชื้นสูง เนื่องจากผ่านกระบวนการทำให้สุกด้วยการนึ่ง ส่งผลให้ขนมชั้นจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นการทราบถึงสาเหตุของการเสื่อมเสีย และลักษณะของการเสื่อมเสียต่าง ๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ จึงเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการหาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้น

การพิจารณาว่าอาหารใดเสื่อมเสียขึ้นอยู่กับการยอมรับของผู้บริโภค โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อยอมรับคุณภาพของอาหาร ได้แก่ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นและรสของอาหาร รวมทั้งการไม่พบสิ่งผิดปกติที่ไม่ใช่ลักษณะของอาหารนั้น ๆ หากอาหารนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น เปลี่ยนสี กลิ่น รส หรือมีเมือกเกิดขึ้น ซึ่งไม่ใช่ลักษณะปกติของอาหารนั้น ๆ จึงพิจารณาได้ว่าอาหารนั้นมีการเสื่อมเสียเกิดขึ้น (บุษกร, 2547) สาเหตุการเสียของอาหารแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ การเสียของอาหารที่เกิดขึ้นภายใน (endogenous food spoilage) ตัวการที่ทำให้เกิดการเสีย ได้แก่ เอนไซม์ (enzymes) และการเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากภายนอก (exogenous food spoilage) โดยลักษณะการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ คุณภาพทางจุลินทรีย์ ทางเคมี และทางกายภาพ (Singh, 1994)

2.1 การเสื่อมเสียคุณภาพทางจุลินทรีย์

อาหารจะเกิดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้นั้น ต้องมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหาร จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารอาจมาจาก ดิน น้ำ อากาศ ผัก ผลไม้ และสัตว์ การผลิตการจำหน่าย โดยจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนเหล่านี้ต้องสามารถเติบโตในอาหารนั้น ๆ ได้ การที่จุลินทรีย์จะ

เติบโตในอาหารได้หรือไม่ขึ้นกับปัจจัยภายในตัวอาหารเอง เช่น สารอาหารในอาหาร pH ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity; a_w) ปริมาณออกซิเจน โครงสร้างทางชีววิทยาของอาหาร และสารยับยั้งในอาหาร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิที่เก็บอาหาร ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณก๊าซ เมื่อจุลินทรีย์สามารถเติบโตในอาหารได้แล้วขั้นต่อไปคือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารไปในทางที่ไม่ต้องการ เช่น อาหารพวกขนมปัง มีการเติบโตของราสีต่าง ๆ เช่น สีดำ เชื้อขาว แดง ผักมีลักษณะเน่าเนิ่นมึนกลิ่นเหม็น ผลไม้มีการเติบโตของราสีดำ เชื้อขาว หรือมีกลิ่นแอลกอฮอล์ (วิลาวัลย์, 2539; Smith, 1993; Seiler, 1999) เนื้อสัตว์มีการเติบโตของแบคทีเรียที่ชอบอากาศ เช่น *Pseudomonas* ทำให้เนื้อมีกลิ่นผิดปกติ (งามทิพย์, 2538) ปลาสดมีการเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่ม microflora หรือ spoilage-microflora ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับในปลา (Huss *et al.*, 1997)

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการความชื้นหรือน้ำมากกว่ายีสต์และรา อาหารแต่ละชนิดจะเสี้ยวหรือซำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า วอเตอร์แอกติวิตี อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจัดอยู่ในประเภทที่มีค่า a_w สูง ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00 ได้แก่ อาหารสดทั้งหลาย เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล และผักสด เป็นต้น ส่วนอาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ได้แก่ อาหารแห้ง ธัญชาติ นมผง และกาแฟ จะเกิดการเน่าเสียได้ยาก สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) จุลินทรีย์แต่ละชนิดที่มีความสำคัญในอาหารสามารถเจริญในอาหารที่มี a_w ต่ำสุดแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

จุลินทรีย์ที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบซึ่งมีการโบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลักเน่าเสีย คือ เชื้อรา การอบขนมปังมีอุณหภูมิสูงเพียงพอในการฆ่าสปอร์ของเชื้อราทุกชนิดที่อยู่ในหรือบนขนมปัง ดังนั้นเชื้อราที่เติบโตบนขนมปังได้นั้น เป็นเชื้อที่ปนเปื้อนภายหลังการอบขนมและทิ้งให้เย็นลง หากห่อขนมปังขณะที่ขนมปังยังมีความร้อนอยู่ จะทำให้เกิดหยดน้ำบริเวณผิวหน้าขนมกับพื้นผิวของวัสดุที่ใช้ห่อบรรจุขนม ทำให้ขนมมีความชื้นเพิ่มขึ้นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนสามารถเติบโต ทำให้ขนมปังเสีย หรืออาจเป็นเชื้อที่มาจากผู้สัมผัสขนมปัง หรือจากวัสดุที่ใช้ทำขนมปัง หรืออาจมาจากการหั่นขนมปังเป็นชิ้น ซึ่งการหั่นขนมปังเป็นชิ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ให้ผิวหน้าขนมสัมผัสกับจุลินทรีย์ในอากาศมากขึ้น และการเก็บขนมปังในที่ที่มีความชื้น ทำให้ขนมปังเสียเร็วกว่าการเก็บในที่แห้ง เชื้อราที่สำคัญซึ่งเติบโตบนขนมปัง เช่น *Rhizopus nigricans* มีเส้นใย

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของ a_w ต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดจุลินทรีย์	a_w ต่ำสุด
แบคทีเรีย	0.91
ยีสต์	0.88
เชื้อรา	0.80
แบคทีเรียชนิดทนเกลือได้ดี	0.75
เชื้อราชนิดทนแห้งได้ดี	0.61
ยีสต์ชนิดทนน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี	0.60
<i>Achromobacter</i>	0.96
<i>Aerobacter aerogenes</i>	0.95
<i>Bacillus subtilis</i>	0.95
<i>Clostridium botulinum</i>	0.95
<i>Escherichia coli</i>	0.96
<i>Pseudomonas</i>	0.97
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86
<i>Saccharomyces rouxii</i>	0.62
<i>Salmonella</i>	0.95

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jay (1991)

สีขาวและมีสปอร์แรงเจีย (sporangia) เป็นจุดดำ ๆ *Aspergillus niger* มีคอนิเดีย (conidia) สีเทา (บุษกร, 2547; Smith, 1993) ขนมปังมีจุดสีขาว (chalky bread) เกิดจากการเติบโตของเชื้อราที่มีเส้นใยสีขาวเป็นเชื้อที่มีลักษณะคล้ายยีสต์ (yeast-like fungi) ชื่อ *Endomycopsis fibuligera* และ *Trichosporon variabile* (บุษกร, 2547) เนื่องจากเชื้อราเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดของการเสื่อมเสียคุณภาพ อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมอบจึงมักกำหนดจากระยะเวลาที่สังเกตไม่พบเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งนิยามเรียกว่า Mould-Free Shelf Life ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ (งามทิพย์, 2538; Oraikul, 1991)

การเสื่อมเสียของเค้กมักไม่ค่อยพบการเสียของขนมเค้กโดยแบคทีเรีย เนื่องจากใน ส่วนผสมของเค้กมีน้ำตาลค่อนข้างสูง ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระในเค้กเหลือน้อย ซึ่งแบคทีเรียไม่ ชอบ ดังนั้นการเสียของเค้กจึงมักพบเชื้อรา ซึ่งได้รับการปนเปื้อนมาจากส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ทำ เค้ก เช่น น้ำตาล ถั่ว เครื่องเทศ อุณหภูมิสำหรับการอบเค้กใช้อุณหภูมิสูงเพียงพอในการทำลาย จุลินทรีย์ แต่จุลินทรีย์อาจปนเปื้อนมาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ทำเค้ก เช่น น้ำตาล ไอซิ่ง และ ทอปปิง เป็นต้น ในที่มีความชื้นสูงจะพบการปนเปื้อนของเชื้อราบริเวณผิวหน้าเค้กมากขึ้น (บุษกร, 2547)

การเจริญของจุลินทรีย์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดอายุการเก็บรักษาของเนื้อ สด การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับจำนวนที่มีเริ่มแรก อุณหภูมิการเก็บรักษา และสภาวะ บรรยากาศที่ใช้เก็บรักษา เช่น การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ หรือการบรรจุภายใต้สุญญากาศ เนื้อสัตว์เริ่มมีกลิ่นผิดปกติ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อมีจุลินทรีย์ตั้งแต่ 10^7 โคโลนีต่อตาราง เซนติเมตร (ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน) (งามทิพย์, 2538)

วัฒนา (2546) และอ้อยทิพย์ (2546) ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมชั้น โดยบรรจุขนมชั้นในถาดพลาสติกแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30-35 °ซ) พบว่าขนมชั้นมีอายุการ เก็บรักษา 2 วัน โดยจะเกิดราขึ้นที่ผิวหน้าขนมชั้น เมื่อราเจริญในอาหารจะมีลักษณะคล้ายฟูฟ้าย บางชนิดก็มีสีซึ่งทำให้อาหารมีลักษณะไม่น่ารับประทาน (รุ่งนภา, 2540)

2.2 การเสื่อมเสียคุณภาพทางเคมี

ในขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษาอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลายอย่าง เกิดขึ้นซึ่งเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบภายในของอาหารและปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก การ เปลี่ยนแปลงนี้เป็นสาเหตุของการเน่าเสียและอายุการเก็บรักษาลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ สำคัญที่สุดจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะลิปิดออกซิเดชัน ซึ่งเปลี่ยนกลิ่นรสของไขมันที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในอาหาร ทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เหมือนหืนใน ระหว่างการเก็บรักษา และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้าน ลักษณะปรากฏและการเสื่อมเสียคุณค่าทางโภชนาการในอาหาร (Singh, 1994)

2.2.1 การหืน (rancidity) การหืนในอาหารเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1) การหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative rancidity) เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนและไขมันในอาหาร ซึ่งก่อให้เกิดการแตกตัวของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เกิดสารประกอบประเภทอัลดีไฮด์ คีโตน หรือกรดไขมันโมเลกุลสั้นซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นหืน นอกจากนั้น อนุมูลอิสระและเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันอาจทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงเนื่องจากเกิดการฟอกสี การเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาทุก 10°C ทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นถึง 600 ถึง 1000 % การบรรจุในสภาวะสุญญากาศ หรือการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในภาชนะบรรจุ จะช่วยลดการเกิดการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Smith, 1993)

2) การหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระโมเลกุลสั้น จะมีกลิ่นเหม็นหืนมาก เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป ความแตกต่างระหว่างการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ การหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีความชื้น อุณหภูมิสูง และเมื่อมีเอนไซม์ไลเปสในอาหาร ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดการเสื่อมเสียทางเคมีเนื่องมาจากการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้แก่ พืชฯแช่เยือกแข็ง เนื่องมาจากเอนไซม์ในธรรมชาติที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยพบเอนไซม์ไลเปสในชีส เปลือกขนมปัง ซอสมะเขือเทศ และผัก และพบเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ในเครื่องเทศ ไข่กรอก แป้งสาลี และผัก โดยเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารระเหย เนื่องจากเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้คงตัวต่อความร้อน ทำให้ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนที่ใช้ในการอบ (Smith, 1993)

2.2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) การเกิดสีน้ำตาลในอาหารพบว่าเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี 2 แบบ คือ

1) ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

เอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล คือ พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO; 1,2-benzenediol: oxygen oxidoreductase; EC 1.10.3.1) เป็น copper-containing enzyme เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสพบมากในพืช เช่น มันฝรั่ง ผักกาดหอม องุ่น มะม่วง สาลี่ โกโก้ (Martinez and Whitaker, 1995) การเกิดสีน้ำตาลมักเกิดขึ้นบริเวณแผลหรือรอยตัดของผลิตผล โดยเฉพาะผลิตผลที่มีสารประกอบฟีนอลในปริมาณสูง (Heimdal *et al.*, 1995) โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ทำการออกซิไดส์สารประกอบจำพวกฟีนอล ในสภาพที่มีออกซิเจน ทำให้เกิดสารออร์โธไดฟีนอล (o-diphenols) ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์ต่อไปเป็นออร์โธควิโนน (o-quinone) สารออร์โธควิโนนที่เกิดขึ้นนี้มีสีเล็กน้อย และเป็นสารอินเตอร์มีเดียที่มีความไวต่อปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลมาก โดยจะทำปฏิกริยาต่อกับกรดอะมิโน สารประกอบฟีนอล และสารอื่น ๆ โดยไม่ใช้เอนไซม์เกิดเป็นสารที่มีสีน้ำตาลที่มีโครงสร้างซับซ้อน (ประสาร, 2538)

2) ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Nonenzymatic browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกริยาแบบไม่ใช้เอนไซม์ นอกจากจะทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการแล้วยังส่งผลให้เกิดการทำลายสารอาหาร เช่น กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) วิตามินซี (ascorbic acid) ทำให้โปรตีนย่อยยาก ยับยั้งเอนไซม์ที่ช่วยย่อย รมกวนเมแทบอลิซึม และยังสามารถเกิดสารพิษสารก่อการกลายพันธุ์ (mutagen) จากปฏิกริยาเมลลาร์ด โดยเฉพาะอาหารจำพวกเนื้อ ที่ผ่านการหุงต้มมาแล้ว (cooked muscle foods) นอกจากนี้การเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลยังอาจเกิดจากการเสื่อมสลายของน้ำตาลเอง หรืออาจเกิดจากปฏิกริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก (ประสาร, 2538; Saper, 1993) ดังนั้นจึงสามารถแบ่งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1) ปฏิกริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) เป็นปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่

มีสารตั้งต้นคือกรดอะมิโน เพปไทด์ หรือโปรตีน ทำปฏิกริยากับหมู่ไกลโคซิดิกไฮดรอกซิลของน้ำตาล ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งมีสีน้ำตาล (Hodge, 1953) ปฏิกริยานี้ส่งผลต่อการสูญเสียคุณสมบัติของโปรตีน การคล้ำลงของสี และการเพิ่มขึ้นของรสขม (Singh, 1994)

2.2) ปฏิกริยาการเกิดคาเมลไลเซชัน (caramelization) เกิดจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่อุณหภูมิสูง โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบดีไฮเดรชัน (dehydration) แฟลคเมนเตชัน (fragmentation) และคอนเดนเซชัน (condensation) (Hodge, 1953)

2.3) ปฏิกริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid oxidation) สาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาลประเภทนี้ คือ การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเฟอร์ฟูรัล (furfural) ซึ่งสามารถเกิดการพอลิเมอไรซ์ต่อไปได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ซึ่งการสลายตัวนี้เกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า (Gregory, 1996)

2.3 การเสื่อมเสียคุณภาพทางกายภาพ

การเสื่อมเสียคุณภาพทางกายภาพของอาหาร เช่น การเปลี่ยนแปลงสี และการเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร (Szczesniak, 1998) สำหรับตัวอย่างการเกิดการเปลี่ยนแปลงสีในอาหาร เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อ ส่วนตัวอย่างการเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น การเสื่อมคุณภาพในขนมปัง (staling) เป็นต้น (งามทิพย์, 2538)

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงสี เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น แฮม เบคอน ไส้กรอก เป็นต้น สาเหตุสำคัญ 2 ประการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อ เกิดการเปลี่ยนแปลงสี คือ การสูญเสียความชื้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์เนื้อทั่วไปมีค่า a_w ประมาณ 0.85-0.98 จึงมีแนวโน้มที่จะสูญเสียความชื้นไปในอากาศ เป็นผลให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิวผลิตภัณฑ์แล้วค่อย ๆ ลึกลงไปในเนื้อตามระดับความรุนแรงของการสูญเสียความชื้น และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนแล้ว ยังทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงด้วย (งามทิพย์, 2538)

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส เช่น การเสื่อมคุณภาพในขนมปัง (staling) ทำให้เปลือกนอกของขนมปังแข็งและเหนียว เนื้อในขนมปังจะแน่นและชุ่มมากขึ้น (งามทิพย์, 2538; Smith, 1993) โดย Smith and Simpson (1996) กล่าวว่า มีงานวิจัยมากมายที่อธิบายถึงกลไกในการเกิด staling ว่าเกิดจากการถ่ายเทความชื้นในผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะจากส่วนแป้งและส่วนไส้ซึ่งมี

ความชื้นแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เช่น ขนมห้างและเค้ก จะเกิด staling ได้เร็วกว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นปานกลางหรือต่ำ เช่น คูกี้และเครกเกอร์ แต่อย่างไรก็ตามในปี 1979 Kulp รายงานว่า staling ไม่ได้เกิดจากการสูญเสียความชื้นหรือเคลื่อนย้ายความชื้น แต่เกิดจากระดับและอัตราการตกผลึก (crystallization) ขององค์ประกอบของแป้ง โดยเฉพาะจากโมเลกุลอะมิโลเพกติน การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์ของแป้งและไขมันหรือโปรตีนจะช่วยยับยั้งปริมาณของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่จะจัดเรียงตัวกันใหม่ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นแบบผลึกได้ ดังนั้น ปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อนนี้จึงมีผลต่ออัตราการเกิด staling โดยถ้าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์ของแป้งและไขมันหรือโปรตีนมากจะทำให้การเกิด staling ช้าลง เช่น คูกี้และบิสกิตมีปริมาณไขมันมากกว่าขนมห้าง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีแนวโน้มในการเกิด staling ช้ากว่า นอกจากนี้ Pomeranz (1991) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของเนื้อในขนมห้างไม่ได้เกิดจากการสูญเสียความชื้น เนื้อในขนมห้างจะแน่นขึ้นถึงแม้ความชื้นจะไม่สูญหายไป การเกิดลักษณะเนื้อขนมห้างที่แน่นมากขึ้นนี้เกิดจากการตกผลึกซ้ำ (recrystallization) หรือการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากโมเลกุลอะมิโลเพกติน โดย Miles *et al.* (1985) กล่าวว่า กระบวนการตกผลึกซ้ำหรือการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลสตาร์ชมี 2 ระยะคือ ระยะสั้นเกิดจากโมเลกุลของอะมิโลสที่จับกันเกิดเป็นโครงสร้างของเจลที่ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible gelation) และระยะยาวเกิดจากโมเลกุลของอะมิโลเพกตินที่จับตัวกันแต่สามารถผันกลับได้ (reversible crystallization) ดังนั้น ขนมห้างที่นำมาอบใหม่อีกครั้งหนึ่งจะมีคุณภาพดีขึ้น ผลึกของอะมิโลเพกตินจะหายไปที่อุณหภูมิ 60 °ซ สำหรับโมเลกุลอะมิโลสจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วหลังจากอบ เป็นสาเหตุที่ทำให้เนื้อขนมห้างแน่นขึ้นในช่วงแรก แต่ไม่มีผลต่อเนื้อขนมห้างที่แน่นขึ้นในช่วงต่อมา แต่อะมิโลเพกตินจะค่อย ๆ รวมตัวกันในระหว่างการเก็บรักษา และมีผลต่อเนื้อขนมห้างที่แน่นขึ้นในช่วงเวลาการเก็บรักษา การเกิดสีขาวขุ่นในเนื้อขนมห้างเนื่องมาจากการขยายตัวของผลึกทำให้ค่าดัชนีหักเหของแป้งเปลี่ยนแปลงไป (Pomeranz, 1991) โดยกระบวนการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชจะเกิดได้ดียิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง (Colwell *et al.*, 1969) และเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่าการเกิดซินเนอริซิส (กลั่นรงค์ และคณะ, 2546; Whistler and BeMiller, 1999)

ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทหนึ่งระหว่างการเก็บรักษา เช่น รุ่งรัตน์ (2544) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของขนมถ้วยฟูที่ผลิตจากแป้งขนมถ้วยฟูสำเร็จรูป โดยใช้แป้งขนมถ้วยฟูสำเร็จรูปที่เก็บรักษาด้วยวิธีเร่งสภาวะ บรรจุแป้งขนมถ้วยฟูในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาดบรรจุ 100 กรัม เก็บที่

อุณหภูมิห้อง, 35 และ 45 °ซ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการวัดค่าทางเนื้อสัมผัสของขนมถั่วฝูที่ผลิตจากแป้งขนมถั่วฝูสำเร็จรูป พบว่า ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของขนมถั่วฝูมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ นกสร (2546) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมน้ำดอกไม้ว โดยบรรจุในกล่องพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน พร้อมฝาปิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิ 7 °ซ เป็นระยะเวลา 10 วัน และอุณหภูมิ -18 °ซ เป็นระยะเวลา 3 เดือน ผลการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพของขนมน้ำดอกไม้วที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 2 สภาวะ พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมน้ำดอกไม้วมีค่าความสว่างของสีลดลง มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น และใช้แรงในการเคี้ยวมากขึ้น และพินัดดา (2548) ศึกษาอายุการเก็บรักษาขนมน้ำมันลำปะหลัง พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมน้ำมันลำปะหลังจะมีค่าความสว่างของสีลดลง ความนุ่มลดลง และความแข็งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลประมาณ 78-97 % หรือมีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี 0.78-0.97 เมื่อเก็บไว้นานขึ้นจะมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำให้เนื้อสัมผัสร่วนและแห้งแข็งเพิ่มขึ้น เพราะเกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์และบรรยากาศรอบ ๆ ทำให้มีเนื้อสัมผัสผิดปกติไป

3. พืชสมุนไพร

สมุนไพร (สุรตน์วดี และคณะ, 2542) หมายถึง พืชที่เกิดจากธรรมชาติและเป็นประโยชน์ต่อชีวิตมนุษย์ในเชิงสุขภาพ ทั้งการส่งเสริมสุขภาพและการรักษาโรค โดยพืชสมุนไพรแต่ละชนิดจะมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน เมื่อสกัดสารจากพืชสมุนไพรเหล่านี้ พบว่าส่วนที่มีประสิทธิภาพที่สุดของพืชสมุนไพรในการยับยั้งจุลินทรีย์ คือ ส่วนของน้ำมันหอมระเหย (Hargreaves *et al.*, 1975) ซึ่งน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดจะมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์แตกต่างกันไปตามชนิดของพืชสมุนไพร เช่น มัสตาร์ดจะมีสารแอลลิลไอโซไธโอไซยาเนต (Allyl isothiocyanate) กระเทียมจะมีสารอัลลิซิน (Allicin) อบเชยจะมีสารซินนามอลดีไฮด์ หรือซินนามัลดีไฮด์ (cinnamaldehyde, cinnamic aldehyde) และยูจีนอล (eugenol) ส่วนกานพลูจะมีสารไทมอล (Thymol) และยูจีนอล (Hirasa and Takemasa, 1998) นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรยังใช้เป็นสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์หลายชนิด ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นเหม็นหืนช้าลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพืชสมุนไพรสามารถใช้เป็นได้ทั้งตัวช่วยให้กลิ่นและรสชาติอาหาร ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และยังช่วยป้องกันหรือยืดอายุการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ได้ด้วย (Hirasa and Takemasa, 1998; Deans and Svoboda, 1990)

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเทศ 27 ชนิด (กานพลู กระชาย ข่า จิงแก่ จิงอ่อน ขมิ้น ขาว ขมิ้นเหลือง ดอกจันทน์ ตะไคร้ ใบกระเพรา ใบมะกรูด ใบแมงลัก ใบโหระพา ผิวมะกรูด พริก ขี้หนูผลยาว ใพล ลูกกระวาน ลูกจันทร์ ลูกผักชี ใบสาระแหน่ พริกไทยขาว หัวหอมแดง อบเชย ยี่หระ และพริกขี้หนูผลสั้น) ที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย 23 ชนิด ยีสต์ 2 ชนิด และรา 8 ชนิด พบว่า น้ำมันหอมระเหยในเครื่องเทศสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้ตัวเครื่องเทศเอง และกานพลูจะเป็นเครื่องเทศที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์ และราได้ดีที่สุด ส่วนขมิ้นขาวจะยับยั้งการเจริญของยีสต์ได้ดีกว่าเครื่องเทศชนิดอื่น ๆ สำหรับแมงลักนั้นจะสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียเท่านั้น และใบสาระแหน่กับพริกไทยจะยับยั้งได้เฉพาะเชื้อราเท่านั้น (บัญญัติ, 2518) ส่วนการศึกษาในปี 1989 Farag และคณะ พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากเสจ (sage) โรสแมรี่ (rosemary) ขมิ้น การาวีย์ (caraway) ลูกกระวาน และไทม์ (thyme) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Escherichia coli* ได้ดีกว่า *Pseudomonas fluorescens* และ *Serratia marcescens* ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากออริกาโน (oregano) และไทม์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Salmonella typhimurium* ได้ดีกว่า *Pseudomonas aeruginosa* (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

การศึกษาผลของเครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดใหม่ที่ทำให้เกิดโรคในอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ *E.coli* O157:H7, *Y. enterocolitica* และ *L. monocytogenes* พบว่า กานพลูมีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดได้ สารสกัดจากใบพลูสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E.coli* O157:H7 ได้สูงสุดในขณะที่สารสกัดจากเปลือกทับทิมสามารถยับยั้งการเจริญของ *Y. enterocolitica* ได้ดี สำหรับประสิทธิภาพของกานพลูในการยับยั้งการเจริญของ *L. monocytogenes* จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พบว่า ที่อุณหภูมิ 35 °ซ ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตดีกว่าที่อุณหภูมิ 4 °ซ และประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้น (สิริพร และคณะ, 2539)

การศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร 50 ชนิด พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ *Nychas* ในปี 1995 ได้สรุปผลการใช้น้ำมันหอมระเหยจากลินเดนฟลาวเวอร์ (linden flower) เสจ โรสแมรี่ ออริกาโน ไทม์ ขมิ้น การาวีย์ ออลสปICES (allspices) อบเชย กระวาน และหอม พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรค เช่น *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila*, *Salmonella*

typhimurium และ *Clostridium botulinum* ได้ (Deans and Ritchie, 1987) นอกจากนี้ Fabian (1993) พบว่า ความต้านทานของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีต่อสารสกัดจากพืชสมุนไพรไม่เท่ากัน โดยได้นำสารสกัดจากกานพลูมาทำการทดลอง พบว่า กานพลูสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ต่างชนิดกัน และเมื่อใช้อบเชยผงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ และ Prasad and Joshi (1949) ได้นำกานพลู อบเชย และขมิ้นมาใช้ในการถนอมอาหารมะม่วงดองพันธุ์ Biju พบว่า กานพลู 2 % ป้องกันการเน่าเสียของมะม่วงดองได้ หรือใช้กานพลู 5 % ผสมอบเชย 2-2.5 % กับพริกไทยป่น 10 % จะสามารถทำให้คุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น

การใช้พืชสมุนไพรและเครื่องเทศในรูปสารสกัดหรือน้ำมันหอมระเหย มักจะพบปัญหาจากการที่มีการระเหยเร็วมาก ทำให้ปริมาณที่เหลืออยู่ในอาหารน้อยมากไม่พอที่จะยืดอายุการเก็บของอาหาร ตัวอย่างเช่น คาร์วอน (carvone) ซึ่งเป็นโมโนเทอร์ปีน (monoterpene) ในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากยี่หระ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดีมาก และได้มีการทดลองใช้เพื่อยับยั้งเชื้อราในการเก็บมันฝรั่ง แต่เนื่องจากคาร์วอนจะมีปริมาณลดลงเร็วมากเนื่องจากการระเหย จึงต้องมีการใส่เพิ่มให้ปริมาณคงเดิมตลอดเวลา (Hartmans *et al.*, 1995)

3.1 ประเภทของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารระเหยที่มีอยู่ในเซลล์พืช ลักษณะเด่น คือ มีกลิ่นแต่ไม่จำเป็นต้องหอมเสมอไป ระเหยได้ง่ายแม้ในอุณหภูมิปกติ ไม่ละลายในน้ำ ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันตนเองของพืช รักษาแผลหรือป้องกันการระเหยของน้ำ รวมทั้งใช้ไล่แมลงที่เป็นศัตรูและไล่แมลงเพื่อช่วยในการผสมพันธุ์ (นิรนาม, 2543) น้ำมันหอมระเหยเป็นของเหลวใสไม่มีสีหรือมีสีอ่อน ๆ กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ตามองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชแต่ละชนิด (พรทิพย์ และคณะ, 2543)

วันดี และคณะ (2536) แบ่งชนิดของน้ำมันหอมระเหยตามองค์ประกอบหลักได้ดังนี้

3.1.1 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก

(hydrocarbon volatile oil) น้ำมันหอมระเหยในกลุ่มนี้พบได้ทั้งในรูปไฮโดรคาร์บอนโมโนไซคลิกเทอร์ปีน (hydrocarbon monocyclic terpene) เช่น ลิโมนีน (limonene) ซึ่งพบได้ในน้ำมัน

มินท์ น้ำมันจากส้ม กระวาน และน้ำมันสน ส่วนพีไซมีน (p-cymene) พบในลูกผักชีและอบเชย และในรูปของไดไซคลิกมอโนเทอร์ปีน (dicyclic monoterpene) พบได้ในน้ำมันยูคาลิปตัส น้ำมันดอกส้ม และน้ำมันลูกผักชี

3.1.2 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบหลัก (alcohol volatile oil) น้ำมันหอมระเหยที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันมินท์ น้ำมันจากลูกผักชี ลูกกระวาน ดอกส้ม ดอกกุหลาบ และน้ำมันสน แอลกอฮอล์ที่พบบ่อย ๆ ได้แก่ เจอรานิออล (geraniol), ซิโตรเนลลอล (citronellol) ซึ่งเป็นอะไซคลิกแอลกอฮอล์ (acyclic alcohol) ส่วนเมนทอล (mentol) และแอลฟาเทอร์ปีโนล (alpha-terpineol) เป็นมอโนไซคลิกแอลกอฮอล์ เป็นต้น

3.1.3 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกอัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลัก (aldehyde volatile oil) น้ำมันหอมระเหยที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันอบเชย น้ำมันจากส้ม มะนาว และตะไคร้หอม ตัวอย่างอัลดีไฮด์ที่พบ ได้แก่ ซิโตรเนลลาล (citronellal), เบนซอลดีไฮด์ (benzaldehyde) ซิตรอล (citral) ชินนามอลดีไฮด์ และวานิลลิน (vanillin)

3.1.4 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกคีโตนเป็นองค์ประกอบหลัก (ketone volatile oil) ได้แก่ การบูรและมินท์ คีโตนที่พบ ได้แก่ เมนโตน (mentone), คาร์วอนไปเปอริโตน (carvone piperitone) และพูลิโกน (pulegone) ซึ่งเป็นมอโนไซคลิกเทอร์ปีนคีโตน นอกจากนี้ยังพบไดไซคลิกคีโตน เช่น แคมเฟอร์ (camphor) เฟนโชน (fenchone) และทูโจน (thujone)

3.1.5 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกฟีนอลเป็นองค์ประกอบหลัก (phenol volatile oil) ฟีนอลที่พบ ได้แก่ ยูจีนอล ไทมอล และลาวาครอล (cavacrol) น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ กานพลู ไทม์ คลีโอโซต (creosote) น้ำมันสน (pine oil) และน้ำมันสนจำพวกจูนิเปอร์รัส (juniper oil)

3.1.6 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกฟีนอลิกอีเทอร์เป็นองค์ประกอบหลัก (phenolic ether volatile oil) น้ำมันหอมระเหยในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันโป๊ยกั๊ก ซึ่งพบอะนิโซล (anethole), น้ำมันจันทน์เทศ และน้ำมันแซสซาฟรัส (sassafras) พบซาโฟล (safrole)

3.1.7 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก (oxide volatile oil) น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันยูคาลิปตัส ซึ่งพบซินีออล (cineole)

3.1.8 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลัก (ester volatile oil) น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันมัสตาร์ด ซึ่งพบแอลิลไอโซไซโอไซยานเนต และน้ำมันจากต้นเช็ดคอบเออรี่ (wintergreen oil) ซึ่งพบเมทิลซาลิไซเลต (methyl salicylate)

3.2 ชนิดของพืชสมุนไพรและประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในพืชสมุนไพร

3.2.1 อบเชย

1) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และประโยชน์ อบเชยเป็นพืชในตระกูลลอราซีอี (Lauraceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่าซินนาโมมัม (*Cinnamomum* sp.) เป็นต้นไม้ยืนต้นสูง 4-10 เมตร เปลือกต้นและใบมีกลิ่นหอม ใบเดี่ยวเรียงตรงข้าม รูปวงรีหรือรูปวงรีแกมขอบขนาน กว้าง 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-13 เซนติเมตร มีเส้นใบหลัก 3 เส้น ดอกช่อออกที่ซอกใบและปลายกิ่ง ดอกย่อยขนาดเล็ก สีเหลืองอ่อน ผลเป็นผลสด (นิรนาม, 2535) ในด้านการปรุงแต่งกลิ่นและรสอาหารนั้นได้นำอบเชยไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทคุกกี้ ขนมปัง เค้ก โดนัท และแคนดี้ ตลอดจนนำสารยูจินอลที่แยกได้จากน้ำมันหอมระเหยของอบเชยไปใช้ทำเครื่องหอม เป็นเครื่องปรุงในการผลิตช็อกโกแลต เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์และผลไม้กวน เช่น เชอร์รี่ พรุณ เป็นต้น (บัญญัติ, 2527ข)

2) ประสิทธิภาพต่อจุลินทรีย์ อบเชยเป็นเครื่องเทศที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี (บัญญัติ, 2527ข; นิจศิริ, 2534; บุญกร, 2547; Cobley and Leslies, 1963; Bullerman *et al.*, 1977; Corner and Beuchat, 1984; Smid *et al.*, 1996; Guynot *et al.*, 2003) จึงได้มีการนำอบเชยไปใช้ในการถนอมอาหารในประเทศแถบทะเลคาริบเบียนมาเป็นเวลานานแล้ว โดยจะยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ดีกว่าแบคทีเรีย และปริมาณที่ใช้ก็ค่อนข้างต่ำ สำหรับประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับส่วนของน้ำมันหอมระเหยเป็นสำคัญ แบคทีเรียที่ถูกยับยั้งการเจริญการเติบโตโดยอบเชย ได้แก่ *Lactobacillus* sp., *B. cereus*, *E. coli*, *B. thermoacidurans*, *S. Jawa*, *S. worthington*, *S. lexington*, *S. enteritidis*, *S. seftenberg*, *S. anatum*, *S. stanley*, *P. glycinea*, *P. striafceiens*, *E. caratovora*, *A. aceti*, *C. botulinum*, *S. epidermilitis*, *L. mesenteroid* และ *L. lycopersici* ยีสต์ที่ถูกยับยั้งการเจริญการเติบโตโดยอบเชย ได้แก่

S. cerevisiae, *S. ellipsoid* และ *Z. globiformis* และเชื้อราที่ถูกยับยั้งการเจริญการเติบโตโดย
 ออบเชย ได้แก่ *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cunninghamella*, *Curvularia*, *Fusarium* sp., *Mucor*
 sp., *Penicillium* sp และ *F. effusum* (บัญญัติ, 2527ข)

การใช้อบเชยที่มีความเข้มข้นสูง ๆ (12 กรัมต่อลิตร) สามารถยับยั้งการผลิต
 กรดของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* และ *Pediococcus cerevisiae* ได้ และยับยั้งการเจริญของ
 ยีสต์ในน้ำมันาวได้เช่นกัน มีรายงานว่าอบเชยยังสามารถลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซิน
 (aflatoxin) ทั้ง 4 ชนิด คือ B₁, B₂, G₁ และ G₂ ได้ หรือใช้อบเชยผสมในขนมปังลูกเกดป้องกันการ
 เจริญและการสร้างอะฟลาทอกซินของ *Aspergillus parasiticus* หรือใช้อบเชยเข้มข้น 20 % จะ
 ยับยั้งการเจริญของเส้นใย และการสร้างอะฟลาทอกซินของ *Aspergillus parasiticus* สายพันธุ์
 NRRL 2999 ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการสร้างอะฟลาทอกซินของ
Aspergillus parasiticus สายพันธุ์ NRRL 3000 ได้ 95 และ 99.9 % ตามลำดับ ส่วนน้ำมันหอม
 ระเหยที่ความเข้มข้น 200-250 ppm จะยับยั้งการเจริญของเส้นใย การสร้างอะฟลาทอกซินของเชื้อ
Aspergillus parasiticus และทำลายสปอร์ของ *Bacillus anthracis* ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถ
 ยับยั้งการเจริญของยีสต์ และแบคทีเรียต่าง ๆ ได้ดี และในที่มีน้ำมันหอมระเหยของอบเชยที่มีความ
 เข้มข้นสูงๆ จะยับยั้งการสร้างสปอร์แบบไม่มีเพศของราได้อีกด้วย (บัญญัติ, 2527ข) Cobley and
 Leslie (1963) รายงานว่า สารสำคัญที่พบในน้ำมันหอมระเหยของอบเชย คือ ซินนามัลดีไฮด์
 สารนี้ที่ความเข้มข้น 37.5 ppm จะยับยั้งการเจริญของ *Aspergillus niger* ได้

น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยที่ความเข้มข้น 200 ppm สามารถยับยั้งการ
 เจริญเติบโตของเชื้อราและยับยั้งการสร้างสารพิษที่สร้างจากเชื้อ *Aspergillus parasiticus* ได้ และ
 ซินนามัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย สามารถยับยั้งการ
 เจริญของเชื้อราและการสร้างสารพิษได้ ที่ระดับความเข้มข้น 150 ppm ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ซินนา
 มัลดีไฮด์ ในน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเป็นองค์ประกอบสำคัญในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ
 ราและการสร้างสารพิษจากเชื้อรา (Bullerman *et al.*, 1977) นอกจากนี้ Chang *et al.* (2001) ศึกษา
 การต้านจุลชีพของน้ำมันหอมระเหยจากใบของอบเชย (*Cinnamomum osmophloeum*) โดยใช้
 อบเชย 2 สิ่งทดลอง ทดสอบกับแบคทีเรีย 9 สายพันธุ์ คือ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis*, *S.*
aureus, *S. epidermis*, MRSA, *K. pneumoniae*, *Salmonella* sp. และ *V. parahemolyticus* ซึ่งพบว่า
 ด้านแบคทีเรียได้ทุกสายพันธุ์ในความเข้มข้นต่ำสุด (MIC) ที่ 500, 1000, 250, 250, 250, 250, 1000,
 500 และ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

การศึกษาการใช้ซินนามอลดีไฮด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย ในการช่วยฆ่าเชื้อที่ผิวมะเชื้อเทศ พบว่าสามารถเก็บมะเชื้อเทศได้ถึง 9 วัน โดยไม่พบว่ามีอาการเจริญของเชื้อรา หรือแบคทีเรียที่ผิวของมะเชื้อเทศเลย ในขณะที่ตัวอย่างมะเชื้อเทศที่ไม่ได้ใช้ซินนามอลดีไฮด์ จะวิเคราะห์พบว่ามีการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียที่ผิว หลังจากการเก็บมะเชื้อเทศไว้เป็นเวลา 4 วัน (Smid *et al.*, 1996) นอกจากนี้ในฤมล (2543) ได้ศึกษาการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเป็นสารป้องกันเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน จากการศึกษาพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.6 % สามารถยับยั้งเชื้อราทั้ง 14 ชนิดได้ทุกความเข้มข้น (10^2 - 10^6 โคโลนีต่อกรัม) และเมื่อนำน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยผสมลงไป ในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวนขนาด 100 กรัม ในปริมาณ 0.6%, 0.8% และ 1.0% พบว่าทุเรียนกวนมีอายุการเก็บรักษาโดยปราศจากเชื้อราเป็น เวลา 70, 105 และ 120 วัน ตามลำดับ หลังจากผสมน้ำมันหอมระเหยลงในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยจางหายไปหมดในเวลา 14 วัน และพบว่าผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวนที่เป็นตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการใช้น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยผสม 0.6% และ 0.8% ของเนื้อทุเรียนกวน ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความชอบรวมในระดับปานกลาง

ด้วยเหตุที่อบเชยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้ จึงมีการนำอบเชยไปใช้ในการถนอมอาหารหลายชนิด เช่น การใช้น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย ปริมาณ 6 มิลลิตรต่อลิตร ไปคลุกเคล้ากับกุ้งจะเก็บรักษาได้ถึงนาน 21 ชั่วโมง ในขณะที่กุ้งที่ไม่ได้ใส่เครื่องเทศเก็บไว้ได้นาน 9 ชั่วโมงเท่านั้น (บุญญิตติ, 2527ข)

3) สารเคมีที่สำคัญ สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของอบเชยมีอยู่ในน้ำมันหอมระเหย โดยทั่วไปแล้วอบเชยจะมีน้ำมันหอมระเหย 0.7-1.8 % สำหรับสารเคมีต่าง ๆ ที่พบในอบเชย ได้แก่ แอลฟาไพนีน (alpha-pinene) แคมฟิน (camphene) เบต้าไพนีน (beta-pinene) ซาไบนีน (sabinene) คารีน (carene) แอลฟาฟิเลนดรีน (alpha-phellandrene) เทอร์ไพนีน (terpinene) ลิโมนีน 1,8-ซินีออล แกมมาเทอร์ไพนีน (gamma-terpinene) ฟิไซมิน แอลฟาแลนยีน (alpha-ylangene) แคมเฟอร์ ลินาลูล (Linalool) เบต้าคีโอฟีลลีน (beta-caryophyllene) แอลฟาฮิวมูเลน (alpha-humulene) ไพเพริโตน (piperitone) คัมมินัลดีไฮด์ (cuminaldehyde) เจอรานิอล ซาโฟล ซินนามัลดีไฮด์ เฟอรัล (furfural) ซินนามิลอะซิเตต (cinnamyl acetate) ยูจีนอล อะซีลยูจีนอล (acetyl eugenol) ซินนามิลแอลกอฮอล์ (cinnamyl alcohol) และเบนซิล

เบนโซเอต (benzyl benzoate) สารดังกล่าวนี้จะพบว่ามีซินนามิคอัลดีไฮด์มากที่สุด ประมาณ 65-70 % แต่อาจมากถึง 74 % รองลงมา ได้แก่ ยูจีนอล 10-12 % สูตรโครงสร้างของซินนามิคอัลดีไฮด์ และยูจีนอล ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก1 สารเคมีที่พบจะแตกต่างกันไปในส่วนต่าง ๆ ของอบเชย กล่าวคือ น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากใบประมาณ 0.9-1.5 % จะมียูจีนอลมากที่สุด โดยไม่น้อยกว่า 80 % ส่วนในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกอบเชยจะมีซินนามิคอัลดีไฮด์ 75-90 % และมียูจีนอลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันหอมระเหยของอบเชยในใบและรากจะแตกต่างกันไปขึ้นกับอายุของพืชอีกด้วย (บัญญัติ, 2527ข) กาญจนนา (2525) ได้กล่าวถึงน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำจากใบและยอดของอบเชยจีนว่า มีปริมาณอัลดีไฮด์ทั้งหมดไม่น้อยกว่า 80% ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยในทางการค้า มีเพียง 2 ชนิด คือ อบเชยลังกา (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) และอบเชยจีน (*Cinnamomum cassia* Nees) ซึ่งชนิดที่มีราคาสูงกว่าคือ อบเชยจีน โดยน้ำมันหอมระเหยที่ได้เมื่อเก็บไว้นาน ๆ หรือสัมผัสกับอากาศจะมีสีเข้มขึ้นและหนืดขึ้น และเมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการพบ ออเมทอกซินซินนามอลดีไฮด์ (O-methoxycinnamaldehyde) จากเปลือกอบเชยซึ่งจะมีฤทธิ์ด้านเชื้อราได้ดีกว่าฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (นิจศิริ, 2534)

4) กลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของอบเชยนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณซินนามิคอัลดีไฮด์ (บัญญัติ, 2527ข; นิจศิริ, 2534; บุญกร, 2547; Cobley and Leslies, 1963; Bullerman *et al.*, 1977; Corner and Beuchat, 1984; Smid *et al.*, 1996; Chang *et al.*, 2001) และยูจีนอลเป็นสำคัญ โดยยูจีนอลจะทำลายโปรตีนในเซลล์และทำให้เกิดการบาดเจ็บที่เซลล์เมมเบรนเป็นผลให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ไหลออกสู่ภายนอก เซลล์จึงตายได้ (บัญญัติ, 2527ข; Guynot *et al.*, 2003) ส่วนเฟอร์ฟูรอล ลินาลูล ฟีลเลนดรีน ก็มีประสิทธิภาพต่อจุลินทรีย์เช่นกัน (บัญญัติ, 2527ข) แต่กลไกในการยับยั้งการเจริญของซินนามิคอัลดีไฮด์และสารอื่น ๆ ดังกล่าวนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด (บัญญัติ, 2527ข; Guynot *et al.*, 2003)

3.2.2 ตะไคร้

1) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และประโยชน์ ตะไคร้เป็นพืชในตระกูลกรามิเนอี (Gramineae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ชิมโบโปกอน ชิตราดัส (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. หรือ แอนโดรโปกอน ชิตราดัส (*Andropogon citratus*) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Lemongrass เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุหลายปี และมีลำต้นใต้ดินเป็นเหง้า เป็นพืชที่มีดอกแยก ตะไคร้เป็นพืชเมือง

ร้อน ส่วนที่นำมาใช้คือเหง้าสด และหรือก้านใบที่เป็นกาบ น้ำมันตะไคร้ได้จากการนำใบและเหง้าสดมากลั่นด้วยไอน้ำ ตะไคร้มีน้ำมันระเหยง่าย (volatile oil) อยู่ 0.2 ถึง 0.4 % สารอื่น ๆ ที่พบมีอัลคาลอยด์ (alkaloid) ซาโปนิน (saponin) เบต้าซิโตสเตอรอล (β -sitosterol) เฮกซาโคซานอล (hexacosanol) ไตรอะคอนทานอล (triacontanol) ซิมโบโปโกแนล (cymbopogonol) เป็นต้น ตะไคร้เป็นเครื่องเทศที่นำไปใช้เป็นเครื่องปรุงแต่งกลิ่นและรสอาหารมากกว่าในทางการแพทย์ กล่าวคือ น้ำมันตะไคร้ใช้แต่งกลิ่นอาหารได้หลายชนิด เครื่องดื่มชนิดที่มีแอลกอฮอล์ และไม่มีแอลกอฮอล์ ขนมหวาน ขนมหึง ขนมนึ่ง และเยลลี่ อาหารพวกเนื้อกระป๋อง ในประเทศไทย ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องแกงและแต่งกลิ่นอาหารได้หลายชนิด นอกจากนี้ น้ำมันตะไคร้ยังนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องหอม สบู่ เครื่องสำอาง ใช้ในการเตรียมซิตรอล สารนี้ได้นำไปใช้เป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม (นิจศิริ, 2534) รวมทั้งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบหรือสารเริ่มต้นในการผลิตไอโอโนน (ionone) และวิตามินเอ ทั้งนี้เพราะซิตรอลที่พบในน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นเบต้าไอโอโนน (β -ionone) ได้ ซึ่งสารนี้จะนำไปใช้เป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอต่อไป (บัญญัติ, 2527ข; นิจศิริ, 2534)

2) ประสิทธิภาพต่อจุลินทรีย์ นิจศิริ (2534) รายงานว่า น้ำมันตะไคร้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยเฉพาะการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์พวกแกรมบวก (Gram-positive) และเชื้อรา บัญญัติ (2527ข) รายงานว่า ตะไคร้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของราได้ดีกว่าแบคทีเรียและยีสต์ โดยส่วนน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนสำคัญในการยับยั้งการเจริญสำหรับแบคทีเรียที่ถูกยับยั้งการเจริญโดยตะไคร้ ได้แก่ *B. megaterium*, *E. coli*, *Lactobacillus* sp., *S. anatum*, *S. typhi*, *S. dysenteriae*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *S. faecalis* และ *S. enteritidis* และเชื้อราที่ถูกยับยั้งการเจริญโดยตะไคร้ ได้แก่ *Trichophyton* spp., *Trichosporon*, *Epidermophyton* sp., *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., *Cunninghamella*, *Curvularia*, *Fusarium* sp., *Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp. นอกจากนั้นยังพบว่าน้ำมันหอมระเหยยังกระตุ้นการสร้างสปอร์ของเพนนิซิลเลียมอีกด้วย

การศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดของพืช 52 ชนิดต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 11 ชนิด ได้แก่ *Acinetobacter baumannii*, *Aeromonas veronii* biogroup *sobria*, *Candida albicans*, *Enterococcus Faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica* subsp. *Enterica* serotype *typhimurium*, *Serratia marcescens* และ *Staphylococcus aureus* พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ออริกาโน

และเบย์ (bay) ที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.0 % (โดยปริมาตร) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ทุกชนิด (Hammer *et al.*, 1999) Guynot *et al.* (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืช 16 ชนิดต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เกิดการเสื่อมเสีย ได้แก่ *Eurotium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. โดยได้ทดลองในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่า a_w ที่ระดับต่างกัน (0.80-0.90) พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย กานพลู เบย์ ตะไคร้ และไทม์ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ทุกชนิดในทุกช่วง a_w (0.80-0.90) ส่วนน้ำมันหอมระเหยจากเปปเปอร์มินท์ (peppermint) และจิง สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้เช่นกัน แต่ได้ที่ระดับ a_w ต่ำ (0.80-0.85) Paranagama *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต่อการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus flavus* และสารอะฟลาทอกซินที่แยกได้จากข้าวที่ผ่านการเก็บรักษา พบว่า สามารถหยุดการเจริญเติบโตและฆ่าเชื้อราได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สามารถยับยั้งการสร้างสารอะฟลาทอกซินได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสามารถยับยั้งการสร้างสปอร์และการเจริญของเส้นใยไมซีเรียล (mycelial) ได้ที่ระดับความเข้มข้น 2.80 และ 3.46 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

3) สารเคมีที่สำคัญ น้ำมันตะไคร้มีซิโตรลเป็นสารหลัก (บัญญัติ, 2527ข; นิจศิริ, 2534; Torres, 1983 และ Kasali *et al.*, 2001) ปริมาณที่พบจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งปลูกอายุของพืช และส่วนของพืชที่นำมาสกัด โดยทั่วไปพบซิโตรลประมาณ 75-85 % สารนี้เป็นอนุพันธ์ของเทอร์ปีนนั้นเอง มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_9H_{15}CHO$ (บัญญัติ, 2527ข) สูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพผนวกที่ ก2 Torres (1993) กล่าวว่า ซิโตรลจากแหล่งธรรมชาติเป็นการรวมตัวกันของ 2 ไอโซเมอร์ (isomer) ได้แก่ เจอรานิแอล (geranial, citral a) และนีแรล (neral, citral b) สารอื่นๆ ที่พบในน้ำมันตะไคร้มีไมร์ซีน (myrcene) อยู่ 12-20 % ไดเพนทีนเมธิลเฮปทีโนน (dipentene methylheptenone) เบต้าไดไฮโดรพseudoionone) แอลกอฮอล์หลายชนิด เช่น ลินาลูล เมธิลเฮปทีนอล (methylheptenol) แอลฟาเทอร์ปีนิออล (α -terpineol) เจอรานิออล นีรอล ฟาลนิซอล (farnesol) ซิโตรนัลโล (citronello) และสารอื่นๆ สารประเภทอัลดีไฮด์หลายชนิด เช่น ซิโตรนัลแอล ดีคานัล (decanal) ฟาลนิแซล (farnesal) เป็นต้น มีกรดระเหยได้ เช่น กรดไอโซวาเลอริก (isovaleric acid) กรดเจอรานิก (geranic acid) กรดคาไพริลิก (caprylic acid) กรดซิโตรนัลลิก (citronellic acid) (นิจศิริ, 2534) นอกจากนี้ Faruq *et al.* (1994) รายงานว่า องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ แบ่งได้ 5 กลุ่ม โดยกลุ่มที่หนึ่ง ได้แก่ อัลดีไฮด์ และคีโตน 73.3 % กลุ่มที่สอง ได้แก่ เทอร์ปีน 7.87 % กลุ่มที่สาม ได้แก่ เอสเทอร์ 2.5 % กลุ่มที่สี่ ได้แก่ แอลกอฮอล์ 9.82 % และกลุ่มที่ห้า ได้แก่ ฟีนอลิก 4.25 %

4) กลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์เป็นหลัก นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณ และเจอรานีโอลอีกด้วย มีรายงานว่า ชนิดของจุลินทรีย์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีและสารนี้ไม่ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิของการสกัดน้ำมันหอมระเหยและน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ที่มีชนิดของจุลินทรีย์ที่ต่างกันก็จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีด้วย สำหรับกลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยสารดังกล่าวยังไม่ทราบแน่ชัด (บัญญัติ, 2527 ข) Guynot *et al.* (2003) กล่าวว่า เจอรานีโอลในน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา แต่กลไกการยับยั้งการเจริญเติบโตต่อเชื้อจุลินทรีย์ยังไม่ทราบแน่ชัด Mahmoud (1994) รายงานว่า เจอรานีโอลที่ระดับความเข้มข้น 1000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

3.2.3 จิง

1) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และประโยชน์ จิงเป็นพืชในตระกูลจิงเบอร์ราซี (Zingiberaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่าจิงเบอร์รา ออฟฟิซินาล (Zingiber officinale Rosc.) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า ginger เป็นพืชที่มีอายุอยู่ได้หลายฤดู ส่วนของลำต้นที่เหนือดินจะมีลักษณะตั้งตรง มีส่วนลำต้นที่แท้จริงอยู่ในดินที่เรียกว่าแง (rhizome) แ่งจะมีสีเหลืองจาง เนื้อจะมีสีเขียวแกมเหลือง ในแงจะพบสารเคมีที่เป็นน้ำมันหอมระเหยและโอเลโอเรซิน (oleoresin) จิงเจริญได้ดีในดินที่มีความชื้นสูงและอากาศค่อนข้างร้อน เนื่องจากจิงสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหารได้ จึงนำจิงไปผสมในอาหารหลายชนิด เช่น ซุป กุ้ง กุ้ง ผักดอง แก้ว แก้วกะหรี่ ฯลฯ เพื่อกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหาร จะได้รับประทานอาหารได้มากขึ้น

2) ประสิทธิภาพต่อจุลินทรีย์ ในปัจจุบันได้มีการนำจิงไปใช้เป็นยาต้านจุลินทรีย์เพื่อการถนอมอาหารอีกด้วย ทั้งนี้เพราะในจิงมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและราได้ดี แต่เนื่องจากจิงมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าจิงอ่อนจึงสามารถยับยั้งการเจริญได้ดีกว่าด้วย บัญญัติ (2527ก) เคยทดลองพบว่าจิงแก่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษหลายชนิดได้ดี เช่น *S. aureus*, *S. seftenberg* และ *S. worthington* นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการเจริญของราที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้อีกหลายชนิด เช่น *Rhizopus* sp., *Alternaria* sp. *Cunninghamella* และ *Fusarium* sp. เป็นต้น Hammer *et al.* (1999)

พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากจิงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ แต่ต้องใช้ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 2.0 % (โดยปริมาตร)

3) สารเคมีที่สำคัญ จิงเป็นพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยอยู่ประมาณ 0.25-3 % น้ำมันหอมระเหยนี้มีสีค่อนข้างเหลือง ละลายได้ดีในอีเทอร์และแอลกอฮอล์แต่ไม่ละลายน้ำ สำหรับสารเคมีสำคัญในน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ ซิงจิเบอริน (zingiberine) มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{24}$ และซิงจิเบอรอล (zingiberol) มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{26}O$ โดยที่จะพบซิงจิเบอรอลมากถึง 17 % นอกจากนี้ยังมีซิงจิรอล (zingirol) อยู่ด้วย สารนี้เป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดรสเผ็ดร้อนของจิง ส่วนสารอื่นๆ ที่พบอีกหลายชนิด ได้แก่ เอ็นเฮปเตน (n-heptane) เอ็นออกเตน (n-octane) เอ็นโนเนน (n-nonane) อะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) โพรปิโอนัลดีไฮด์ (propionaldehyde) เอ็นบิวทิลอัลดีไฮด์ (n-butylaldehyde) ไอโซวาเลอรัลดีไฮด์ (isovaleraldehyde) อะซีโตน (acetone) เอ็นโพรพานอล (n-propanol) เอ็นโนแนนอล (n-nonanol) ไดเอทิลซัลไฟด์ (diethyl sulphide) เอทิลไอโซโพรพิลซัลไฟด์ (ethyl isopropyl sulphide) เมทิลอัลลิลซัลไฟด์ (methyl allyl sulphide) เมทิลและเอทิลอะซีเตต (methyl and ethyl acetate) แอลฟาไปนีน เบต้าไปนีน แคมฟิน ซิตรอล เคอร์คูมิน (curcumene) ซาไบนีน ไมร์ซีน เบต้าฟีเลนดริน ซีนีออล ลินาลูล แอลฟาเทอร์ไพเนนอล ในจำนวนนี้สารดังกล่าวนี้พบว่าซิตรอลมีปริมาณมากถึง 15-25 % (บัญญัติ, 2527ก) Oneenekwe and Hashimoto (1999) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากจิงประกอบด้วยเซสควิเทอร์ปีนไฮโดรคาร์บอน (sesquiterpene hydrocarbons) 64.4 % สารประกอบคาร์บอนิล 6.6 % แอลกอฮอล์ 5.6 % มอโนเทอร์ปีนไฮโดรคาร์บอน 2.4 % และเอสเทอร์ 1.6 % โดยสารประกอบหลัก ได้แก่ ซิงจิเบอริน (29.5 %) และเซสควิฟีลแลนดริน (sesquiphellandrene) (18.4 %)

นอกจากนี้จิงยังมีสารพวกโอลิโอเรซินอยู่ด้วย ตัวที่สำคัญ ได้แก่ ซิงเกอร์อน (zingerone) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นฉุนของจิง สารนี้มีประมาณ 25-30 % ซิงเกอร์อนมีชื่อทางเคมีว่า 3-เมธอกซี-4-ไฮดรอกซี-ฟีนิลเอทิลเมทิลคีโตน (3-methoxy-4-hydroxy-phenylethylmethylketone) มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{11}H_{14}O_3$ และมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพผนวกที่ 3 ในจิงตากแห้งหรือจิงที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง จะทำให้กลิ่นของจิงลดน้อยลง ทั้งนี้เพราะซิงเกอร์อนถูกเปลี่ยนเป็นโชกาอัล (shogaol) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{17}H_{24}O_3$ (บัญญัติ, 2527ก)

4) กลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของจึงขึ้นอยู่กับลิพิด ไคเอซิลซัลไฟด์ เมธิลอัลลิลซัลไฟด์ เอซิลไอโซโพรปิลซัลไฟด์ และแอลฟาเทอร์ปีนอยด์ แต่กลไกในการยับยั้งการเจริญต่อจุลินทรีย์ของสารดังกล่าวนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด (บัญญัติ, 2527 ก)

4. สารลดค่าออกฤทธิ์แอคติวิตี

ค่าออกฤทธิ์แอคติวิตี (a_w) มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร จึงจำเป็นต้องควบคุมค่า a_w ให้อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย ซึ่งโดยทั่วไปนิยมปรับให้ค่า a_w ต่ำลง โดยใช้สารดูดความชื้นที่เรียกว่า ฮิวเมคแตนท์ (humectant) เช่น เกลือ น้ำตาล กลีเซอรอล ซอร์บิทอล โพรพิลีนไกลคอล และกัมต่าง ๆ เป็นต้น เติมน้ำลงในอาหาร สารประเภทนี้จะทำให้ตัวถูกละลายเข้มข้นขึ้น (สุมนทรา, 2541)

ปัญหาในการลด a_w ของผลิตภัณฑ์อาหาร คือ การหาสารดูดความชื้นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตอาหารโดยในการเลือกใช้สารดูดความชื้นดังกล่าวเพื่อเติมน้ำลงในอาหาร ควรคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ได้แก่ กลิ่นรสของสารดูดความชื้นที่ใส่ เช่น การใช้เกลือหรือน้ำตาลซึ่งเป็นที่ยอมรับในอาหาร อาจก่อให้เกิดรสชาติที่เค็มหรือหวานจนเกินไป ความเป็นพิษ (toxicity) โดยสารประกอบนั้นจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ณ ระดับความเข้มข้นที่มีการอนุญาตให้ใช้ในอาหารนอกจากนี้แล้วสารดังกล่าวจะต้องไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารอันได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี ตลอดจนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ (Labuza and Hyman, 1998) นอกจากนี้ Ledward (1981) กล่าวว่า คุณสมบัติของสารดูดความชื้นที่ดีจะต้องละลายน้ำได้ง่าย มีความคงตัว ไม่ระเหย สามารถบริโภคได้ มีคุณค่าทางโภชนาการ ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอาหารที่เติมน้ำลงไป และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

กลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$) เป็นสารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w สูง เนื่องจากละลายน้ำได้ดี มีความคงตัว ไม่ระเหย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่มีรสเล็กน้อย และยังสามารถย่อยสลายให้พลังงานถึง 4.3 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Park *et.al.* 1946) เป็นตัวทำละลายน้ำมันที่มีคุณภาพพอใช้ และมีความสามารถในการดูดความชื้นปานกลางถึงสูง (กล้าณรงค์ และ จันทน์, 2545) นอกจากนี้กลีเซอรอลจัดเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อช่วย

ในการเก็บความชื้นมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและชุ่มชื้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนั้นกลีเซอรอลจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และลดจุดเยือกแข็งในไอศกรีม การใช้กลีเซอรอลในการผลิตเนยขาว (shortenings) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์นมเพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเพื่อช่วยในการเก็บความชื้นและป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล เป็นต้น (Leffingwell and Lesser, 1945)

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยที่มีการนำกลีเซอรอลไปใช้เป็นสารดูดความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่า a_w สูง ได้แก่ การศึกษาการใช้สารลดค่า a_w ชนิดต่าง ๆ ในการลดระดับ a_w ของผลิตภัณฑ์ทอร์ติลล่า (tortillas) ซึ่งเป็นอาหารพื้นเมืองของชาวเม็กซิกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา โดยทดลองผลิตภัณฑ์ทอร์ติลล่าที่มีการใช้สารลดค่า a_w ชนิดต่าง ๆ ร่วมกันในระดับอัตราส่วนต่าง ๆ สารลดค่า a_w ดังกล่าวได้แก่ กลูโคส ซูโครส เกลือ กลีเซอรอล โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCL) คอร์นไซรัป (corn syrup) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) และคอร์นไซรัปโซลิด ดีอี 42 (corn syrup solids D.E. 42) กระบวนการผลิตทอร์ติลล่านั้นทำโดยผสมแป้งข้าวโพดกับน้ำ จากนั้นนวดจนเกิดโด (dough) ทำให้เป็นแผ่นกลมแบน นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400-410 °F สำหรับการใช้สารลดค่า a_w นั้นจะเติมลงไปใต้น้ำก่อนที่จะผสมกับแป้งข้าวโพด ผลการทดลองพบว่าทอร์ติลล่าที่ได้จากการใช้กลีเซอรอล 5.56 % เกลือ 2.20 % และคอร์นไซรัปโซลิด ดีอี 42 3.75 % ร่วมกันจะมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีที่สุด นอกจากนี้ตัวอย่างทอร์ติลล่าดังกล่าวยังมีคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ดีมาก กล่าวคือ มีปริมาณเชื้อทั้งหมดที่ทำการตรวจสอบน้อยกว่าตัวอย่างทอร์ติลล่าที่ไม่ได้ใส่สารลดค่า a_w (ปกติ) ซึ่งคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ที่ทำการตรวจสอบนั้น ได้แก่ ปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ การเจริญของ *Staphylococcus aureus* 196-E, ยีสต์ 72-B และ *Aspergillus niger* M.I.T. ตลอดจนการตรวจสอบสารพิษเอนเทอโรทอกซิน เอ (enterotoxin A) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระดับ a_w ที่ค่อนข้างต่ำของผลิตภัณฑ์ คือ 0.86 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับ a_w 0.97 ในทอร์ติลล่าปกติ ดังนั้นจึงทำให้ตัวอย่างทอร์ติลล่าที่มีการใช้สารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ มีปริมาณเชื้อทั้งหมดที่ทำการตรวจสอบน้อยกว่าทอร์ติลล่าปกติ (Pelaez and Karel, 1980)

Ramanufa and Jayaraman (1980) ได้ศึกษาการเตรียมกล้วยขึ้นบางกึ่งแห้ง (intermediate moisture banana slices) โดยใช้กลีเซอรอลร่วมกับน้ำตาล โดยจะนำกล้วยไปตาก และทิ้งไว้ให้เกิดสมดุลในสารละลายที่มีกลีเซอรอล 42.5 % ซูโครส 42.5 % น้ำ 14.85 % โพแทสเซียมซอร์เบต

(potassium sorbate) 0.45 % โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (potassium metabisulphite) 0.2 % พบว่าการใช้กลีเซอรอลร่วมกับน้ำตาลจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าและลักษณะปรากฏที่ดีกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ใช้กลีเซอรอลร่วมด้วย ซึ่งที่ผิวผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเหนียวและติดกับชั้นอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้กลีเซอรอลร่วมด้วยสามารถเก็บรักษาไว้ได้ถึง 9 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

ปิยะนุช (2545) ได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปียะโดยใช้สารดูดความชื้นที่ช่วยลดค่า a_w พบว่า กลีเซอรอลให้ผลในการลดระดับ a_w ได้สูงที่สุด รองลงมาคือ ซอร์บิทอล และกลูโคส โดยสามารถลดระดับ a_w ของไส้ถั่วกวนได้ต่ำสุดเป็น 0.80 โดยที่คุณภาพทางประสาทสัมผัสยังเป็นที่ยอมรับ ด้วยการแทนที่ชูโครสด้วยกลีเซอรอลในระดับ 16.7 % และพบว่าการลดระดับ a_w ของไส้ถั่วกวนทำให้ปริมาณความชื้นและระดับ a_w ของส่วนแบ่งมีค่าลดลงอีกด้วย นอกจากนี้ พินัดดา (2547) ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารให้ความหวานและดูดความชื้นที่ช่วยลดค่า a_w ต่อคุณภาพของขนมมันสำปะหลัง โดยเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล จากปริมาณสูตรของขนมมันสำปะหลังที่พัฒนาแล้วคือ อัตราส่วนผสมอื่นในขนมมันสำปะหลังต่อกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล เท่ากับ 100:10, 100:20, 100:30, 100:40 และ 100:50 เปรียบเทียบกับผลของน้ำตาลชูโครสในอัตราส่วนเดียวกัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลและซอร์บิทอล เข้าไปในขนมมันสำปะหลังสูตรควบคุมจะทำให้ค่า a_w มีแนวโน้มลดลงมากกว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลชูโครส และอัตราส่วนที่เหมาะสม ได้แก่ ที่อัตราส่วนผสมอื่นของขนมมันสำปะหลังต่อสารกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล เท่ากับ 100:30

5. สถานะการเก็บรักษาอาหาร

5.1 การถนอมอาหารโดยใช้ความเย็น

การลดอุณหภูมิลงให้ต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้จะยับยั้งการเจริญและการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ได้ การเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็น เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลงอยู่ระหว่าง -1 ถึง 8°C หรือสูงกว่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของอาหารนั้น ๆ วัตถุประสงค์ของการแช่เย็น คือ เพื่อลดอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีและจุลินทรีย์ ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารสดและอาหารที่แปรรูปแล้ว (นิธิยา, 2544) โดยการแช่เย็นจะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ประเภทเทอร์โมไฟล์ (thermophile) และมีโซไฟล์ (mesophile) ได้ ในขณะที่เชื้อไซโครไฟล์ (psychrophile) ทำให้อาหารแช่เย็นเกิดการ

เน่าเสียได้ แต่ยังไม่ปรากฏว่ามีเชื้อไฮโครไฟล์ที่ก่อให้เกิดโรค ดังนั้นการแช่เย็นจึงเป็นการยับยั้งการเน่าเสีย และป้องกันการเจริญของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้ (Fellows, 1993) โดย Subramaniam (1993) รายงานว่า การบรรจุพาสต้าในถุงสุญญากาศและเก็บในอุณหภูมิแช่เย็น จะช่วยป้องกันการเติบโตของเชื้อรา รวมทั้งทำให้ยีสต์และแบคทีเรีย (ชนิดที่ไม่ต้องการอากาศและชอบเติบโตในที่มืด) เติบโตได้ช้าลง นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังช่วยชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางชีวเคมีให้ช้าลงด้วย (วิไล, 2543)

สำหรับอาหารที่ผ่านการแปรรูปแล้วนำมาแช่เย็น การแช่เย็นจะมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพราะไขมันจะแข็งตัวทำให้เนื้อสัมผัสอาหารบางชนิดแข็งหรืออยู่ในรูปของแข็ง โดยอายุการเก็บรักษาหรืออายุการวางจำหน่ายของอาหารที่ผ่านการแปรรูปแล้วนำมาแช่เย็นขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ปริมาณจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่ถูกทำลายในกระบวนการแปรรูป การควบคุมสุขอนามัยระหว่างการแปรรูปและการบรรจุใส่ภาชนะ สมบัติของภาชนะบรรจุในการเป็นตัวป้องกัน และอุณหภูมิระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาหรือวางจำหน่าย (วิไล, 2543)

5.2 การบรรจุอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (vacuum packaging) เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สุญญากาศ โดยการดึงเอาอากาศภายในภาชนะและหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และ ไม่มีการพ่นก๊าซใด ๆ เข้าไปแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ สังเกตได้จากการหดตัวของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว (flexible form) หรือการยุบตัวของภาชนะประเภทกึ่งคงรูป (semi-rigid form) (งามทิพย์, 2538; Brody, 1989) โดยทั่วไปความดันภายในภาชนะจะมีค่าประมาณ 0.5-8 ทอร์ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และระบบการบรรจุ การบรรจุในสภาวะสุญญากาศมีจุดประสงค์เพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากผลิตภัณฑ์ให้หมด เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์เช่นเดียวกับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและสุญญากาศ พบว่า การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ ค่อนข้างยุ่งยากกว่าการบรรจุในสภาวะสุญญากาศ เพราะต้องคำนวณอัตราส่วนของก๊าซเริ่มต้นให้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ และระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้น อีกทั้งต้นทุนในการบรรจุจะสูงกว่าการบรรจุแบบสุญญากาศ (งามทิพย์, 2538)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเนื้อชิ้นใหญ่สำหรับขายส่งประมาณ 90 % บรรจุภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก รักษาเม็ดยีนในรูปของไมโอโกลบิน ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นออกซิไมโอโกลบินได้ง่ายเมื่อนำเนื้อไปบรรจุเพื่อการขายปลีกในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนมาก ช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2-4 °C ได้นานอย่างน้อย 3 สัปดาห์ (งามทิพย์, 2538) Akande *et al.* (1991) พบว่าการเก็บรักษาปลาแมคเคอเรลเค็มแห้ง และปลาแมคเคอเรลแห้งรมควันที่บรรจุอยู่ภายใต้สุญญากาศในถุง vacuum pouches สามารถลดความชื้นได้ จากการทดลองของ Ercolini *et al.* (1996) ที่ทำการเก็บรักษาปลาเค็มแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 70 % ผสมกับไนโตรเจน 30 % ที่อุณหภูมิ 2-3 °C เป็นเวลา 40 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ในขณะที่ตัวอย่างที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว และทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว โดยมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 12 วัน อย่างไรก็ตามภายหลังการบรรจุภายใต้สุญญากาศ ยังตรวจพบก๊าซออกซิเจนหลงเหลืออยู่เสมอ ตั้งแต่ 1 ถึง 3 % ขึ้นอยู่กับระบบการบรรจุหรือระยะเวลาที่ใช้ในการไล่อากาศออก (งามทิพย์, 2538)

5.3 การบรรจุอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

การปรับสภาวะบรรยากาศ (modified atmosphere) หมายถึง การปรับองค์ประกอบบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ให้แตกต่างจากสภาพบรรยากาศปกติ (อากาศ) ปรับองค์ประกอบของบรรยากาศเฉพาะตอนเริ่มต้นเท่านั้น (Wolfe, 1980) ส่วนการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ และอัตราส่วนนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา โดยขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อัตราส่วนของก๊าซแรกเริ่ม วัสดุบรรจุที่ใช้ และสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์นั้น ๆ (งามทิพย์, 2538)

วิธีการบรรจุอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และสามารถลดแรงงานลงได้ (Lioustas, 1988) โดย Oraikul (1991) ประเมินไว้ว่าการใช้การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศกับผลิตภัณฑ์นมอบช่วยประหยัดพลังงาน

ได้ถึง 45 % และลดต้นทุนการผลิตลง 14 % เมื่อเปรียบเทียบกับការແຂ່ງຂັນ นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการบรรจุอย่างมากทำให้มีการนำเทคโนโลยีการบรรจุมาใช้ร่วมกับการเก็บรักษาอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในอาหารที่เกิดการเน่าเสียได้ง่าย Hotchkiss (1988) กล่าวว่า การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศสามารถช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ถึงตั้งแต่ 50 ถึง 400 %

5.3.1 ชนิดของก๊าซที่ใช้ในการปรับสภาวะบรรยากาศ

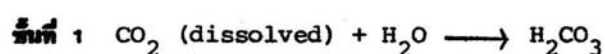
ก๊าซที่นำมาใช้มากที่สุดในการปรับสภาวะบรรยากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) ในบางกรณีจะพบการใช้ก๊าซอื่น ๆ เช่น เอทิลีนออกไซด์ ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซเหล่านี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นพิษ (Kramer *et al.*, 1980) และใช้เฉพาะกับอาหารบางชนิดเท่านั้น แต่บางประเทศไม่อนุญาตให้ใช้ก๊าซอื่นใดนอกเหนือไปจากก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ซึ่งอาจใช้ก๊าซเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดรวมกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ในอาหารที่มีไขมันสูงและเน่าเสียได้ง่าย ก๊าซที่นิยมใช้ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน (Parry, 1993) โดยก๊าซแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและบทบาทต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังนี้

1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบและจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการเจริญ ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญในระยะการแบ่งตัวและระยะเวลาของการเพิ่มจำนวน (generation time) นานขึ้น (King and Nagel, 1967; Daniels *et al.*, 1985) Haines (1933) พบว่า สภาวะปรับบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15-20 % ที่อุณหภูมิ 20 °ซ สามารถเพิ่มระยะการแบ่งตัวและระยะเตรียมพร้อมเพื่อการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ประมาณ 50 % และเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 10 °ซ พบว่า ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นประมาณสองเท่า และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลเฉพาะจุลินทรีย์บางชนิดเท่านั้น คือ *Pseudomonas* และ *Achromobacter* ส่วนกลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ

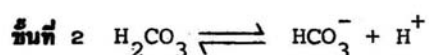
1.1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจน ซึ่งอาจจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนบางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้จุลินทรีย์ขาดออกซิเจน กระบวนการเมแทบอลิซึมหยุดชะงัก และจุลินทรีย์จะยับยั้งการเจริญ แต่อย่างไรก็ตาม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ทุกกรณี (Daniels *et al.*, 1985) และจากการทดลองของ Callow (1932) พบว่าการบรรจุก๊าซไนโตรเจนความเข้มข้น 100 % มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้น้อยกว่าการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงว่ากลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีมากกว่าการเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนเพียงอย่างเดียว King and Nagel (1967) รายงานว่าการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยการแทนที่ก๊าซออกซิเจนนั้น ก๊าซที่นำมาใช้จะต้องเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนมากกว่า 75 % จึงจะมีผลหรือองค์ประกอบของบรรยากาศต้องมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า 5 % ดังนั้นองค์ประกอบของบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของอากาศปกติมากกว่า 30 % หรือมีก๊าซออกซิเจน 6.3 % จะไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

1.2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ค่า pH ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ลดลง ทำให้มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยค่า pH ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์จะมีอิทธิพลต่อการเจริญมากกว่าค่า pH ภายนอกเซลล์ (King and Nagel, 1967; Daniels *et al.*, 1985) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในส่วนผสมของของเหลวในอาหารแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้เกิดกรดและค่า pH ลดลง ที่อุณหภูมิค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายได้ดีขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4 ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในน้ำของอาหารและเกิดการไฮเดรชันกับน้ำเป็นกรดคาร์บอนิก แต่จากค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant: K_{eq}) การเกิดไฮเดรชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำแสดงว่ามีกรดคาร์บอนิกในสารละลายเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่เกิดกรดคาร์บอนิกจะมีกรดคาร์บอนิกส่วนหนึ่งแตกตัวต่อไปเกิดเป็นไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) อย่างรวดเร็ว เนื่องจากกรดคาร์บอนิกเป็นกรดดังแสดงในปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ปฏิกิริยาในขั้นที่ 3 จะมีการแตกตัวของไบคาร์บอเนตไอออนบางส่วนต่อไปอีกเกิดเป็นไฮโดรเจนไอออนกับคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) การแตกตัวของกรดคาร์บอนิกไปเป็นไอออนชนิดต่าง ๆ นั้นขึ้นกับค่า pH ของสารละลาย ที่ค่า pH ต่ำกว่า 7 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ดีเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก และกรดคาร์บอนิกจะเกิดการแตกตัวให้ไบคาร์บอเนตและไฮโดรเจนไอออน ซึ่งการแตกตัวจะเกิดได้ดีเมื่อค่า pH อยู่ระหว่าง 6-11 และที่ค่า pH ระหว่าง 8-14 ไบคาร์บอเนตจะมีการแตกตัวไปเป็นคาร์บอเนตไอออนและไฮโดรเจนไอออน Daniels *et al.* (1985) รายงานว่าเมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการ

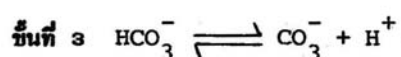
เก็บรักษาเนื้อสัตว์นั้น ในขั้นแรกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในส่วนหนึ่งของเหลวในเนื้อเชื้อ เกิดเป็นกรดคาร์บอนิกแล้วกรดนี้บางส่วนจะซึมผ่านเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ในรูปที่ยังไม่แตกตัว เมื่อเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์แล้วจะเกิดแตกตัวได้เป็นไบคาร์บอเนตไอออนและไฮโดรเจนไอออน จากปฏิกิริยาดังกล่าวนี้นี้ทำให้ค่า pH ภายในเซลล์จุลินทรีย์ลดลง และกรดคาร์บอนิกส่วนที่ไม่ซึมผ่านเข้าไปภายในเซลล์จุลินทรีย์ก็จะแตกตัวอยู่ภายนอกเซลล์ ทำให้ค่า pH ของเนื้อสัตว์ลดลง ประสิทธิภาพในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไบคาร์บอเนตไอออน ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์จะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง เพราะว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wolfe (1980) ที่พบว่าการเก็บรักษาเนื้อในสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีอายุการเก็บนานขึ้นเมื่อเก็บรักษาในตู้เย็น แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้ร่วมกับการเก็บรักษาอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศไม่ควรต่ำกว่า 1 °ซ เพราะถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ไม่เพิ่มขึ้น (Daniels *et al.*, 1985)



$$K_{\text{hyd}} (298^\circ\text{K}, 1 \text{ atm}) = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2]} = 2.6 \times 10^{-3}$$



$$K_a (298^\circ\text{K}, 1 \text{ atm}) = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4.3 \times 10^{-7}$$



$$K_a (298^\circ\text{K}, 1 \text{ atm}) = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 5.61 \times 10^{-11}$$

ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มา: Daniels *et al.* (1985)

1.3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม

Daniels *et al.* (1985) รายงานว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะกระตุ้นให้ไมโทคอนเดรีย เอทีพีเอส (mitochondrial ATPase) ทำงาน ทำให้สร้างเอทีพี (ATP) ได้ต่ำ จุลินทรีย์ขาดพลังงานและถูกยับยั้งการเจริญ

1.4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อความต่างศักย์ของเมมเบรน

(membrane potential) ของจุลินทรีย์ ในสถานะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้เนื้อเยื่อมีค่า pH ภายในลดลง ทำให้สภาวะภายในเซลล์เป็นกรดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ สมบัติการซึมผ่านของเมมเบรน ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณไบคาร์บอเนตในสภาวะนั้น หลังจากนั้นจะพบว่าค่า pH ภายในจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเพื่อกลับสู่ระดับ pH เริ่มต้นซึ่งค่อนข้างเป็นค่ามากกว่า ค่าความต่างศักย์ของเซลล์เมมเบรนขึ้นกับค่า pH ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงระดับ pH ภายในเซลล์จะกระตุ้นระบบการส่งไฮโดรเจนไอออนบวกและโปแตสเซียมไอออนบวก (H^+/K^+) โดยไกลโคไลซิงเซลล์ (glycolyzing cell) จะช่วยให้ระดับ pH ภายในเซลล์ลดลงกลับสู่สภาพเดิมโดยอาศัยพลังงานจากการขนส่งโปรตอนเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของเมมเบรนซึ่งมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์

2) ก๊าซไนโตรเจน เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงมักใช้ในการแทนที่ก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารที่มีไขมัน และความชื้นสูง หรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร นอกจากนี้ยังนิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อรักษาระดับความดันภายในภาชนะบรรจุ ป้องกันการยุบตัวของภาชนะ และการแตกหักเสียรูปทรงของผลิตภัณฑ์ (งามทิพย์, 2538; Blakistone, 1999) เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก ทำให้ไม่มีผลโดยตรงในการยับยั้งจุลินทรีย์ แต่อาจยับยั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญได้ เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนจะเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจน ซึ่งอาจจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนบางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้จุลินทรีย์ขาดออกซิเจน (Smith and simpson, 1996)

5.3.2 การประยุกต์ใช้การบรรจุอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

Ooraikul (1991) ได้รวบรวมผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศกับผลิตภัณฑ์ขนมอบหลากหลายชนิดไว้อย่างละเอียด ผลิตภัณฑ์ที่ประสบ

ความสำเร็จมากและมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างจริงจังคือ ครัมเปต (crumpet) ซึ่งปกติมีอายุการเก็บรักษาเพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อใช้การบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศทำให้สามารถเพิ่มอายุการเก็บได้ถึง 6 สัปดาห์ สามารถจัดจำหน่ายได้ทั่วทวีปอเมริกาเหนือโดยไม่ต้องใช้การแช่เยือกแข็งหรือแช่เย็น

ครัมเปตเป็นอาหารว่างชนิดหนึ่งผลิตจากแป้งสาลี น้ำ เกลือ น้ำส้มสายชู ยีสต์ หรือสารทำให้ขึ้นฟู (leavening agent) และสารยับยั้งเชื้อรา เมื่อผ่านการอบสุกแล้วมีความชื้น 47-52 % ค่า a_w เท่ากับ 0.97 และค่า pH ประมาณ 7 นำมาบรรจุในถุง Nylon/PE หนา 90 ไมครอน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 % พบว่าอายุการเก็บรักษาที่ 25 °ซ เพิ่มเป็น 14 วัน เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป ซึ่งการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ในระยะ 7 วันแรกเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ สาเหตุที่ทำให้เชื้อราเจริญได้นั้นเนื่องจากมีก๊าซออกซิเจนหลงเหลือภายในภาชนะบรรจุ หลังการปิดผนึกแล้ว ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากเครื่องบรรจุไม่สามารถดึงก๊าซนี้ออกไปได้หมดหรือมีรอยรั่วที่รอยปิดผนึก การป้องกันเชื้อราในระยะนี้จึงอาจจำเป็นต้องใช้สารยับยั้งเชื้อราเข้าร่วมด้วยการบรรจุครัมเปตภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน (50% CO₂:50% N₂) โดยมีก๊าซออกซิเจนบ้างเล็กน้อยจะทำให้แบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในสภาพมีหรือไม่มีออกซิเจนสามารถเจริญได้ ที่ตรวจพบมาก คือ *L. mesenteroids* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดที่สามารถสร้างกรดแลคติกได้ (lactic acid bacteria, LAB) และ *B. licheniformis*

Ooraikul (1991) ได้ศึกษาเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหของแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดแลคติก และเพิ่มอายุการเก็บรักษาครัมเปตภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศให้ได้มากกว่า 2 สัปดาห์ พบว่าปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อรา คือค่า a_w , pH ของครัมเปต และอุณหภูมิเก็บรักษา จากผลการทดลองสรุปได้ว่าต้องมีการปรับสูตรครัมเปตเพื่อให้มีค่า a_w ไม่เกิน 0.96 ค่า pH ไม่เกิน 6.5 จะทำให้สามารถเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ได้อย่างน้อย 6 สัปดาห์ และควรใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % ผสมกับไนโตรเจน 40 % ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำเกินไป เนื่องจากก๊าซส่วนหนึ่งอาจจะละลายในผลิตภัณฑ์และส่วนหนึ่งอาจจะซึมผ่านถุงออกไปภายนอก ส่วนการประยุกต์ใช้การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศกับผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ มีการตอบสนองต่อการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่า a_w , pH และความชื้น (%) เป็นต้น

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ ที่นำมาศึกษาอายุการเก็บรักษาภายใต้
สภาวะปรับบรรยากาศ (60% CO₂:40% N₂)

ชนิดของผลิตภัณฑ์	a _w	pH	ความชื้น (%)
โดนัทเค้ก	0.82	6.60	17.85
วาฟเฟิล	0.94	7.20	65.79
มัฟฟินแครอท	0.91	8.70	35.14
เค้กชั้นสตรอเบอร์รี่	0.90	6.66	37.24
เค้กครีมเชอร์รี่เนยแข็ง	0.94	4.51	49.90
แอปเปิ้ลเทรินโอเวอร์	0.94	3.78	40.20
พายแอปเปิ้ลแป้งสุก	0.95	4.21	47.82
พายแอปเปิ้ลแป้งดิบ	0.96	4.26	54.75

ที่มา: ดัดแปลงจาก งามทิพย์ (2538)

ตารางที่ 3 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ ระหว่าง
การเก็บรักษาในบรรยากาศปกติกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ เป็นเวลา
อย่างน้อย 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25°C

ผลิตภัณฑ์	บรรยากาศปกติ		สภาวะปรับบรรยากาศ	
	อายุการเก็บ โดยปราศจาก เชื้อรา, วัน	ปัญหาที่พบ	อายุการเก็บ โดยปราศจาก เชื้อรา, วัน	ปัญหาที่พบ
โดนัทเค้ก	3-5	เชื้อรา	21	เนื้อสัมผัสเหนียว
วาฟเฟิล	2-3	เชื้อรา	> 24	เนื้อสัมผัสแตกง่าย และสีเข้มขึ้น
มัฟฟินแครอท	3	เชื้อรา	> 21	ไม่มี
เค้กชั้นสตรอเบอร์รี่	< 7	เชื้อรา ยีสต์ ภาชนะ บวมพองและแตกออก	14	ยีสต์ แบคทีเรียชนิด ที่สร้างกรดแลกติก
เค้กครีมเชอร์รี่เนยแข็ง	< 7	ยีสต์ ภาชนะบวมพอง เนื้อสัมผัสเหนียว กลิ่น คล้ายผลไม้ เกิดเมือก	14	ยีสต์ เนื้อสัมผัสเหนียว เกิดเมือก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	บรรยากาศปกติ		สภาวะปรับบรรยากาศ	
	อายุการเก็บ โดยปราศจาก เชื้อรา, วัน	ปัญหาที่พบ	อายุการเก็บ โดยปราศจาก เชื้อรา, วัน	ปัญหาที่พบ
แอปเปิ้ลเทรินโอเวอร์	< 7	เชื้อรา กลิ่นคล้ายผลไม้	14	ยีสต์ เนื้อสัมผัส เหนียว สีจางลง กลิ่นคล้ายผลไม้
พายแอปเปิ้ลแป้งสุก	< 7	เชื้อรา ผิวหน้าขึ้นและ กลิ่นคล้ายผลไม้	> 21	ยีสต์ ผิวหน้าขึ้นและ กลิ่นคล้ายผลไม้
พายแอปเปิ้ลแป้งดิบ	< 2	เชื้อรา ยีสต์ ภาชนะ บวมพอง และแตก (วันที่ 7)	< 7	ยีสต์ แบคทีเรียชนิด ที่สร้างกรดแลคติก กลิ่นคล้ายผลไม้ ภาชนะบวมพอง เนื้อสัมผัสเปียกชุ่ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก งามทิพย์ (2538)

สำหรับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศในผลิตภัณฑ์ประมง

Cann (1983) แนะนำการใช้การบรรจุปลาเนื้อขาว scampi กุ้ง และ scallop ควรใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40 % ก๊าซไนโตรเจน 30 % และก๊าซออกซิเจน 30 % จะให้ผลดีที่สุด สำหรับปลาที่มีไขมันสูง เช่น ปลาแซลมอน (salmon) ปลาเทร้าต์ (trout) ปลาแฮร์ริง (herring) และปลาแมกเคอเรล (mackerel) รวมทั้งผลิตภัณฑ์ประมงที่รมควัน ควรใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % ผสมกับก๊าซไนโตรเจน 40 % ปลาแล่ที่มีเนื้อขาวควรบรรจุปลา 3 ส่วนต่อก๊าซ 1 ส่วน จะยืดอายุการเก็บได้มากถึง 50 % ในหอยหรือกุ้งควรเก็บในภาชนะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30 % ที่อุณหภูมิ 0 °ซ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิดจุดดำ (black spot) นอกจากนี้ วราภา (2531) พบว่าการเก็บรักษากุ้งแห้งภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80 % ผสมกับไนโตรเจน 20 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % ผสมกับไนโตรเจน 40 % สามารถชะลอและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกุ้งแห้งโดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งแห้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศจะมีปริมาณน้อยกว่ากุ้งแห้งที่เก็บในสภาพปกติถึง 90 %

นอกจากนี้ยังพบว่า การเก็บกึ่งแห้งภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศดังกล่าวยังสามารถชะลอการเกิดแอมโมเนีย และลดการเกิดออกซิเดชันของแอสตาเซนตินได้

สำหรับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ Luiten *et al.* (1982) ได้ทำการศึกษาถึงการเจริญของ *S. typhimurium* ในสเด็กที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % ผสมกับไนโตรเจน 40 % สภาวะสุญญากาศ และบรรจุสเด็กในฟิล์มพลาสติกที่อากาศซึมผ่านได้มาก พบว่าสเด็กที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกที่อากาศซึมผ่านได้มากมีจำนวน *S. typhimurium* สูงที่สุด

5.3.3 คุณสมบัติของวัสดุบรรจุที่ใช้บรรจุอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

ภาชนะบรรจุจะทำหน้าที่ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ ป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอกและใช้ในการโฆษณาและดึงดูดลูกค้า ในปัจจุบันสามารถใช้ภาชนะบรรจุในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ โดยเฉพาะการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซชนิดต่าง ๆ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศจำเป็นต้องเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมเพื่อทำหน้าที่รักษาสภาวะปรับบรรยากาศที่สัมผัสกับอาหารให้เป็นไปตามที่ต้องการ

วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุสำหรับอาหารที่มีความชื้นสูง ควรจะมีคุณสมบัติสัมผัสกับอาหารได้อย่างปลอดภัย ผ่านการอนุมัติให้ใช้โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา สามารถป้องกันก๊าซออกซิเจนและไอน้ำได้ดีมาก เนื่องจากก๊าซออกซิเจนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในอาหาร เช่น การหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น รวมถึงการเสื่อมเสียเนื่องมาจากจุลินทรีย์ที่ใช้ ออกซิเจนในการเจริญ ดังนั้นถ้าใช้วัสดุบรรจุที่มีการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดีจะทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียทางเคมีและจุลินทรีย์ได้ง่าย งามทิพย์ (2538) รายงานว่า โดยทั่วไปถ้าต้องการอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมอบประมาณ 2-3 เดือน ควรเลือกใช้วัสดุบรรจุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate, OTR) ไม่เกิน 20 ลบ.ซม./ตร.ม./บรรยากาศ/24 ชม. (38 °ซ 75 %RH) อนึ่งการบรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว (100 %) จะต้องพิจารณาเลือกวัสดุที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซต่ำกว่านี้ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถซึมผ่านวัสดุได้เร็วกว่าก๊าซออกซิเจน 3-5 เท่า และเนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยทั่วไปมีค่า a_w ตั้งแต่ปานกลางถึงสูง (0.78-0.97) จึงมีแนวโน้มที่จะสูญเสียความชื้นหากอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์

สมดุลของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นวัสดุที่เลือกใช้ควรป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอายุการเก็บรักษาสูง ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ควรมีค่าประมาณ 4-6 กรัม/ตร.ม./24 ชม. นอกจากป้องกันก๊าซ ออกซิเจนและไอน้ำได้ดีแล้ว ต้องป้องกันไขมัน น้ำมัน และส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาหารซึมผ่านได้ดี ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงทางกายภาพ ไม่แตก ทะลุ หรือฉีกขาดได้ง่าย สามารถใช้เครื่องขึ้นรูป และเครื่องบรรจุอัตโนมัติได้ ซึ่งพลาสติกชนิดเดียวจะมีคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ไม่ครบถ้วน จึงต้องเลือกพลาสติกหลายชนิดร่วมกัน โดยจะใช้วิธีมาเชื่อมประสานกันหรือฉีด ร่วมกัน (lamination หรือ coextrusion) คุณสมบัติของพลาสติกที่นิยมใช้ในการบรรจุอาหารภายใต้ สภาวะสุญญากาศและสภาวะปรับบรรยากาศ มีดังนี้

1) พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) คุณสมบัติเด่นของพอลิโพรพิลีนคือ มีความใส และป้องกันความชื้นได้ดี มากกว่าครึ่งหนึ่งของพอลิโพรพิลีน ที่นิยมใช้กันจะเป็นรูปของ ฟิล์ม อย่างไรก็ตาม การป้องกันอากาศซึมผ่านของพอลิโพรพิลีนยังไม่ดีเท่ากับพลาสติกบางชนิด เนื่องจากช่วงอุณหภูมิในการหลอมละลายมีช่วงอุณหภูมิสั้นทำให้พอลิโพรพิลีนเชื่อมติดได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฟิล์มประเภท OPP (oriented polypropylene) ที่มีการจัดเรียงโมเลกุลในทิศทาง เดียวกันจะไม่สามารถเชื่อมติดได้เลย คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของพอลิโพรพิลีน คือ มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารสำหรับบรรจุอาหารในขณะร้อน (Hot-Fill) (ปุ่น และสมพร, 2541) นอกจากนี้ Greengrass (1999) รายงานว่า พอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติ คล้ายพอลิเอทิลีน ส่วน OPP จะมีคุณสมบัติการป้องกันความชื้นและก๊าซได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน 7-10 เท่า และต้านทานไขมันได้ดี

2) พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ผลิตจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของก๊าซเอทิลีน ภายใต้ความดันสูง โดยอยู่ในสภาวะที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา การจับตัวกันเป็นโซ่สั้นยาวทำให้พอลิเอทิลีนมีความหนาแน่นต่างกัน พอลิเอทิลีนแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามความหนาแน่น โดยประเภทที่หนึ่ง คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลบ.ซม. มักใช้ทำถุงฟิล์มห่อและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุและการฉีกขาด พร้อมทั้ง สามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของพอลิเอทิลีนจะสามารถป้องกันความชื้น ได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ คือ สามารถปล่อยให้ไขมันและอากาศ

ซึมผ่านได้ง่าย ประเภทที่สอง คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene, MDPE) ความหนาแน่น 0.926-0.940 กรัมต่อลบ.ซม. และประเภทที่สาม คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลบ.ซม. ส่วนใหญ่จะเป่าเป็นขวด เนื่องจากความหนาแน่นที่สูง ทำให้มีความเหนียวและทนต่อการซึมผ่านได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ กัน แต่ยังไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีนัก (ปุ่น และสมพร, 2541) จามทิพย์ (2538) รายงานว่า พอลิเอทิลีนมีลักษณะโปร่งแสงหรือโปร่งใส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาและความหนาแน่น ผิวไม่มีขี้ผึ้งใช้ติดกับกาวและหมึกพิมพ์ได้ยาก ยึดตัวได้มาก นิกลายยาก ด้านทานไขมันได้น้อย ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและกลิ่นได้น้อย

3) พอลิเอไมด์ (polyamides) พอลิเอไมด์ถูกสร้างมาจากกระบวนการก่อดัดพอลิเมอร์ไรเซชันของกรดอินทรีย์และเอไมด์ ซึ่งชื่อ ไนลอน (nylon) นั้นเป็นชื่อที่ถูกใช้โดยทั่วไปทางด้านการค้า (Wilmer and James, 1991) คุณสมบัติของไนลอนคือ เมื่อเป็นฟิล์มจะโปร่งใส แต่ทึบเมื่อเป็นภาชนะหล่อ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นอันตราย ปิดผนึกด้วยความร้อนได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากจึงไม่นิยมใช้เป็นชั้นปิดผนึกด้วยตัวเอง ด้านทานแรงดึงและแรงนิกลายได้ดี สามารถยึดตัวและบิดพับงอได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดีมาก ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและกลิ่นต่าง ๆ ได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้น้อย และดูดซับความชื้นได้ ความแข็งแรงและการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น และทนความร้อนได้สูง (จามทิพย์, 2538; Greengrass, 1999; Wilmer and James, 1991; Brown, 1992) นอกจากนี้ Greengrass (1999) กล่าวว่า ในการบรรจุอาหารในสภาวะปรับบรรยากาศ มักใช้ไนลอนเชื่อมกับพอลิเอทิลีนเพื่อใช้พอลิเอทิลีนเป็นชั้นปิดผนึก และ Brown (1992) กล่าวว่า เนื่องจากไนลอนป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้น้อยจึงต้องใช้ร่วมกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

- 1.1 แป้งข้าว (ร้านค้าสามแยกเกษตร)
- 1.2 แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร
- 1.3 แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร
- 1.4 น้ำตาลทราย ตรามิตรผล
- 1.5 กะทิกล่อง ยูเอช ที ตราชาวเกาะ
- 1.6 สีส้มอาหาร (สีเขียว) ตราวินเนอร์
- 1.7 กลิ่นสังเคราะห์ส้มอาหาร (กลิ่นใบเตย) ตราวินเนอร์
- 1.8 น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย ตะไคร้ และขิง จากบริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-

จีน จำกัด ประเทศไทย

- 1.9 กลีเซอรอล (glycerol) ความบริสุทธิ์ 95 % B.P. grade บริษัท สงฮวด จำกัด ประเทศไทย

1.10 อาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA) สำหรับวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด บริษัท Himedia Laboratories Pvt. Ltd. ประเทศอินเดีย และ potato dextrose agar (PDA) สำหรับวิเคราะห์ยีสต์และรา บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

2. อุปกรณ์ในการผลิตขนมชั้น

- 2.1 ถาดพลาสติกพอลิโพรพิลีนแบบมีฝาปิดขนาด 10x10x2 (ก.ขย.ขส.) เซนติเมตร
- 2.2 ถุงพลาสติกชนิดใสที่มีการเคลือบสองชั้น ชนิด K-nylon/linear low density polyethylene (K-nylon/LLDPE) ขนาด 17x20 เซนติเมตร โดยในลอนหนา 16.4 ไมโครเมตร และ linear low density polyethylene หนา 70 ไมโครเมตร มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1.13 กรัม/ตร.ม./24 ชม./1 บรรยากาศ ที่ 23 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 85 % และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 9.4 ลบ.ซม./ตร.ม./24ชม./1 บรรยากาศ ที่ 23 °ซ, RH 0 % บริษัท แพคมาร์ท จำกัด ประเทศไทย

- 2.3 อุปกรณ์เครื่องชั่ง
- 2.4 อุปกรณ์เครื่องครัวต่าง ๆ
- 2.5 เครื่องนวดผสม (kitchen aid)
- 2.6 เครื่องบรรจุแบบตัดแปลงบรรยากาศ ยี่ห้อ Multivac รุ่น D-87787 ห้างหุ้นส่วนจำกัด บี.ดับบลิว.เอส.เทรดดิ้ง ประเทศเยอรมัน
- 2.7 เครื่องวัดปริมาณก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยี่ห้อ Servomex รุ่น 1400 บริษัท Controllogic จำกัด ประเทศอังกฤษ
- 2.8 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ
- 2.9 เตาไมโครเวฟ ยี่ห้อ Sharp รุ่น R-4A68 ความจุ 32 ลิตร กำลังไฟ 900 วัตต์ ประเทศญี่ปุ่น

3. อุปกรณ์ในการตรวจสอบค่าคุณภาพ

- 3.1 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ
 - 3.1.1 เครื่องวัดสี (color meter: spectrophotometer) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d ประเทศญี่ปุ่น
 - 3.1.2 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Lloyd รุ่น TA 500 บริษัท Intro Enterprise จำกัด ประเทศอังกฤษ
 - 3.1.3 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ยี่ห้อ Thermoconstanter รุ่น TH 200 บริษัท Novarsina Ltd. ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
 - 3.1.4 เวอร์เนียคาลิเปอร์
- 3.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี
 - 3.2.1 ตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ (vacuum oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น VD53 ประเทศเยอรมัน
 - 3.2.2 เครื่องวัด pH (pH meter) ยี่ห้อ Jenway รุ่น 3320 ประเทศอังกฤษ

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.1.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

3.1.2 อุปกรณ์การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

3.1.3 ตู้บ่มเชื้อจุลินทรีย์อุณหภูมิต่ำ (35°C) ยี่ห้อ Binder รุ่น BD 115 ประเทศเยอรมัน

3.1.4 ตู้บ่มเชื้อจุลินทรีย์อุณหภูมิต่ำ (25°C) ยี่ห้อ Kottermann รุ่น D-3162 ประเทศ

เยอรมัน

3.1.5 ตู้ฆ่าเชื้อแบบลมร้อน ยี่ห้อ Binder รุ่น FD-115 ประเทศเยอรมัน

3.1.6 เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (autoclave-steam sterilizer) ยี่ห้อ

Tuttnauer รุ่น 3850 M ประเทศเนเธอร์แลนด์

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.2 แบบทดสอบ

3.4.3 ห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส

3.5 อุปกรณ์ในการสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภค

3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.5.2 แบบสอบถาม

3.6 อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.6.2 เครื่องคิดเลข

วิธีการ

1. **สำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคต่อขนมชั้น**

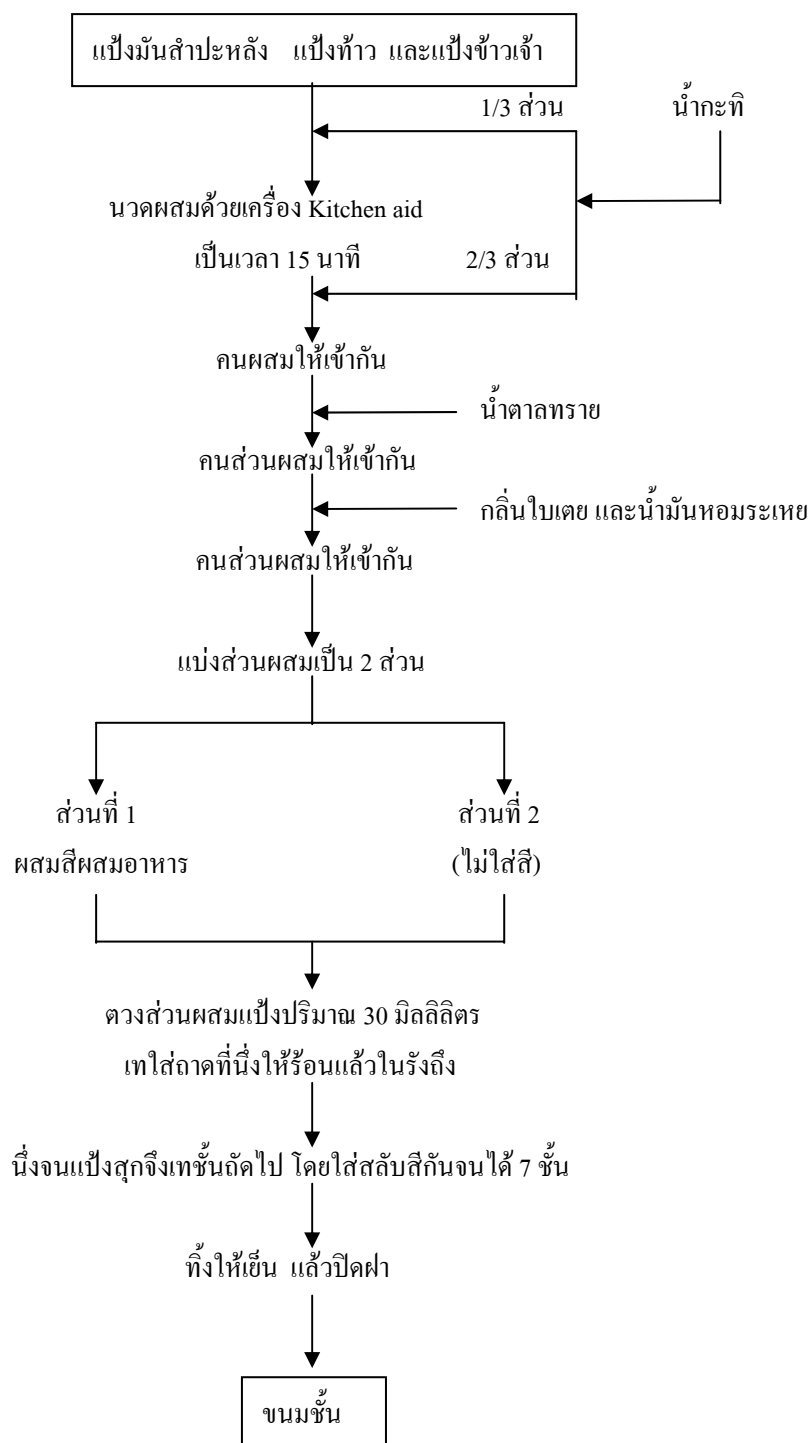
สำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคต่อขนมชั้น สร้างแบบสอบถาม โดยรวบรวมข้อมูล ปัญหา เพื่อมาสร้างเป็นคำถาม คำถามที่สร้างขึ้นมาจะเป็นแบบปิด (close-ended question) ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วย คำตอบที่มีโครงสร้างกำหนดไว้คงที่ คือ เป็นการถามคำถามที่ให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกคำตอบจากกลุ่มของคำที่ให้ไว้ ซึ่งแบบสอบถามที่ใช้สำรวจในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทางประชากรศาสตร์ ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลพฤติกรรมในการบริโภคขนมชั้น และส่วนที่ 3 เป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้น ดังแสดงในภาคผนวก ข ทำการสุ่มตัวอย่างโดยวิธีไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability) แบบสะดวก (convenience sampling) (สุชาติ, 2540; Kotler, 1997) กับผู้บริโภคที่เคยรับประทานขนมชั้นจำนวน 200 คน ในกรุงเทพมหานคร

2. **ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรต่อคุณภาพขนมชั้น**

การเลือกชนิดของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร ได้เลือกจากสมุนไพรชนิดที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี และน่าจะมีความเป็นไปได้ในการนำมาผสมลงในขนมชั้น เช่น น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ โหระพา อบเชย กานพลู จิง และส้ม และทำการกำหนดปริมาณระดับความเข้มข้นสูงและต่ำ จากระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรแต่ละชนิดจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ จากการตรวจสอบเอกสารพบว่า ตะไคร้ 0.5% โหระพา 0.5% อบเชย 0.5% กานพลู 0.5% จิง 2% และส้ม 2% เป็นระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ จึงได้ทำการศึกษาเบื้องต้น โดยการทดลองผลิตขนมชั้นสูตรที่มีการผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ลงไปในส่วนผสม จากนั้นทำการตรวจสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยสังเกตวันที่เชื้อราเจริญบนผิวหน้าขนมชั้น เปรียบเทียบกับขนมชั้นที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหยลงไปในส่วนผสม เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเบื้องต้น เพื่อศึกษาหาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ มาผสมลงในขนมชั้น ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ขนมชั้นสูตรผสมน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู 0.5%

และอบเชย 0.5% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดีที่สุด คือ จาก 2 วัน (ขนมชั้นที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย) เป็น 4 วัน ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.5% โหระพา 0.5% และจิง 2% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้เท่า ๆ กัน คือ 3 วัน และขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้ม 2% ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ แต่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู 0.5% และโหระพา 0.5% ไม่สามารถรับประทานได้ เนื่องจากขนมชั้นมีกลิ่นรสของกานพลูและโหระพามากเกินไป มีรสขม และความรู้สึกชาลิ้นหลังรับประทาน ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากจิง 2% มีกลิ่นรสของจิงมากเกินไป โดยกลิ่นรสของขนมชั้นจะดีขึ้นถ้าใส่น้ำมันหอมระเหยในปริมาณที่น้อยกว่านี้ และขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.5% และอบเชย 0.5% มีรสชาติที่สามารถรับประทานได้ จากผลการศึกษาเบื้องต้นจึงเลือกตะไคร้ อบเชย และจิง มาใช้ในการศึกษาชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรที่มีผลต่อคุณภาพของขนมชั้นระหว่างการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ศึกษา คือ ชนิดของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร 3 ชนิด ที่เติมลงไปในส่วนผสมของขนมชั้น ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ ตะไคร้ 0.4% ตะไคร้ 0.6% อบเชย 0.5% อบเชย 0.7% จิง 0.4% และจิง 0.6%

ทำการทดลองโดยใช้สูตรพื้นฐานและกรรมวิธีการผลิตดัดแปลงจาก อบเชย (2543) ส่วนผสมประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลัง 15 % แป้งข้าว 4 % แป้งข้าวเจ้า 2 % น้ำตาล 28 % กะทิ 50 % สี 0.5 % และกลิ่นใบเตย 0.5 % มีวิธีการผลิตดังแสดงในภาพที่ 2 โดยการแบ่งน้ำกะทิเป็น 2 ส่วน โดยกะทิส่วนที่หนึ่งมีปริมาณ 1/3 ของน้ำกะทิทั้งหมด และส่วนที่ 2 มีปริมาณ 2/3 ของน้ำกะทิทั้งหมด นำแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าว ผสมให้เข้ากัน นวดกับน้ำกะทิส่วนที่ 1 ด้วยเครื่อง Kitchen aid ใช้ความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 15 นาที ปิดเครื่อง เติมน้ำกะทิส่วนที่ 2 คนส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำน้ำตาลทรายใส่ลงไป แล้วคนส่วนผสมให้เข้ากัน เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วให้ใส่กลิ่นใบเตย และน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรลงไป แล้วคนส่วนผสมให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง แบ่งส่วนผสมที่ได้เป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งผสมสีเขียว และอีกส่วนหนึ่งไม่ใส่สี ตวงส่วนผสมปริมาณ 30 มิลลิลิตร เทใส่ถาดพลาสติกขนาด 10x10x2 เซนติเมตร ที่นั่งให้ร้อนแล้วในรังถึง นึ่งจนสุก (5 นาที) จึงเทขึ้นลัดไป โดยใส่สลับสีกัน จนได้ 7 ชั้น ทิ้งให้เย็น แล้วปิดฝา เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °C) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ



ภาพที่ 2 กรรมวิธีการผลิตขนมชั้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก อบเชย (2543)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของขนมชั้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยคุณภาพต่าง ๆ ที่ศึกษา มีดังนี้

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

2.1.1 วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) โดยใช้เครื่องวัด a_w ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าในวันที่ 0 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

2.1.2 วัดค่าโครงสร้างคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Lloyd TA 500) โดยตัดขนมชั้นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 3x3x2 เซนติเมตร วัดเนื้อสัมผัสตัวอย่างโดยใช้ load cell ขนาด 500 นิวตัน หัวทดสอบแบบหัวกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความเร็วของหัวทดสอบเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อวินาที มีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูป 50 % ใช้โปรแกรม texture profile analysis (TPA) ทำการวัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ วิเคราะห์และบันทึกค่าปัจจัยคุณภาพ ได้แก่ hardness (หน่วยนิวตัน, N), cohesiveness, springiness (หน่วยมิลลิเมตร, mm) และ gumminess (หน่วยนิวตัน, N) ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าทุกวัน

2.2 คุณภาพทางเคมี

2.2.1 วัดปริมาณความชื้นตามวิธีการของ A.O.A.C (2000) วิธีการที่ 925.45A ทำให้อย่างมีน้ำหนักคงที่โดยใช้หลักการอบแห้งภายใต้สุญญากาศ ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าในวันที่ 0 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

2.2.2 วัดค่า pH ด้วย pH meter ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ สุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าทุกวัน

2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราของขนมชั้น ตามวิธีการของ A.O.A.C (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าทุก 2 วัน และทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราของขนมชั้นในวันที่มีโคโลนีของจุลินทรีย์ปรากฏให้เห็นบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์

2.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบความชอบที่มีต่อขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) 1 ถึง 9 คะแนน จาก 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) ประเมินโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ง) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา

3. ศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศต่อคุณภาพขนมชั้น

3.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอล ที่มีผลต่อคุณภาพขนมชั้น

โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอล 5 ระดับ (100:0, 100:8, 100:10, 100:12 และ 100:14) ทำการผลิตขนมชั้นตามวิธีการในข้อ 2.4 โดยหลังขั้นตอนการใส่น้ำตาลทรายลงไปในส่วนผสม คนให้เข้ากันแล้ว ให้ใส่กลีเซอรอลลงไป แล้วคนให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง ตรวจสอบคุณภาพของขนมชั้นที่ผลิตได้ด้วยการวัดค่า a_w และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ ตามวิธีในข้อ 2 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3.2 ศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสมร่วมกับสภาวะการบรรจุ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมชั้นจากการเติมกลีเซอรอลลงไปในส่วนผสมที่ได้ผลจากข้อ 3.1 ร่วมกับสภาวะการบรรจุ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัยที่ศึกษา คือ การบรรจุขนมชั้นที่อยู่ในกล่องพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนแบบมีฝาปิดในถุงพลาสติกที่ทำจากพลาสติกชนิด K-nylon/LLDPE ขนาด 17x20 เซนติเมตร ที่มีสภาวะบรรยากาศ 6 สภาวะ (บรรยากาศ, สูญญากาศ, CO₂100%, N₂100%, CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60%) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (33±2 และ 4±1 °ซ) การบรรจุภายใต้สภาวะสูญญากาศจะบรรจุขนมชั้นที่อยู่ในกล่องพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนแบบมีฝาปิดในถุงพลาสติก ชนิด K-nylon/LLDPE แล้วทำการดึงอากาศออกจากถุงพลาสติกด้วยเครื่องบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศพร้อมปิดผนึก ส่วนการเก็บ

ภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100%, N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% บรรจุขนมชั้นที่อยู่ในกล่องพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนแบบมีฝาปิดในถุง K-nylon/LLDPE แล้วทำการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศด้วยเครื่องบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศพร้อมปิดผนึก

เมื่อบรรจุขนมชั้นในสภาวะการบรรจุ 6 สภาวะแล้ว นำขนมชั้นที่บรรจุแต่ละสภาวะมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ) และอุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ) ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส โดยสุ่มตัวอย่างขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพื่อวัดค่าคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ได้แก่ pH จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสทุก 2 วัน ส่วนค่า a_w และปริมาณความชื้น วัดค่าในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา สำหรับขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น การเตรียมตัวอย่างขนมชั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทำโดยนำมาผ่านความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 50 % (450 วัตต์) เป็นเวลา 4 นาที หลังจากพักไว้จนขนมชั้นมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้ว จึงนำไปตรวจสอบคุณภาพ โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดค่าคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ได้แก่ pH จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสทุก 7 วัน ส่วนค่า a_w และปริมาณความชื้น วัดค่าในวันที่ 0 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คุณภาพที่ทำการตรวจสอบ มีดังนี้

3.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

1) วัดค่าสีของขนมชั้นด้วยเครื่องวัดสี โดยวัดชั้นสีเขียวชั้นแรกชั้นเดียว วัดสีในระบบ CIELAB ค่าที่วัด ได้แก่ ค่า L^* (ค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0 ถึง 100 โดย 0 หมายถึง สีดำ, 100 หมายถึง สีขาว) a^* (“+” หมายถึง วัดภูมิสีแดง, “-” หมายถึง วัดภูมิสีเขียว) และ b^* (“+” หมายถึง วัดภูมิสีเหลือง, “-” หมายถึง วัดภูมิสีน้ำเงิน) (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2542) ตัดขนมชั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยม ทำการวัดค่าสีของขนมชั้น 4 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง แต่ละชิ้นวัด โดยแบ่งครึ่งตามแนวแกน x และ y (quadrant)

2) วัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ตามวิธีในข้อ 2.1.1

3) วัดเนื้อสัมผัสของขนมชั้น ตามวิธีในข้อ 2.1.2

4) ทดสอบแรงดึง (tensile test) โดยนำขนมชั้นมาตัดเป็นรูปดัมเบลให้มีความกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร และส่วนคอดกว้าง 10 มิลลิเมตร ทำการวัดตัวอย่างโดยใช้ตัวหนีบชนิด TG33 (lightweight tension grip) ขนาด 5 นิวตัน จับยึดตัวอย่างในแนวตั้งทั้งสองด้าน ยึดให้ปลายด้านล่างอยู่กับที่ โดยเคลื่อนที่เฉพาะตัวหนีบด้านบนที่ยึดตัวอย่างปลายด้านบน อัตราการเคลื่อนที่เท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการดึงเป็นระยะทาง 90 % ของความยาวตัวอย่าง (ตัวอย่างขาด) ทำการวัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ วิเคราะห์และบันทึกค่า stress at maximum load (หน่วยปาสกาล), percentage of extension of maximum load และ work to maximum load (หน่วยมิลลิจูล)

3.2.2 คุณภาพทางเคมี

- 1) วัดปริมาณความชื้น ตามวิธีในข้อ 2.2.1
- 2) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีในข้อ 2.2.2

3.2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราของขนมชั้นตามวิธีในข้อ 2.3

3.2.4 คุณภาพประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการทดสอบเชิงพรรณนาแบบเชิงปริมาณ (quantitative descriptive analysis) โดยการให้คะแนนความเข้ม (intensity) ในคุณลักษณะที่สำคัญ (Meilgaard *et al.*, 1990) เปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน (วันที่ 0 ของการเก็บรักษา) ได้แก่ สีเขียว กลิ่นกะทิ กลิ่นใบเตย รสหวาน ความสามารถในการลอกชั้น ความแข็ง ความเหนียว และความยากง่ายในการเคี้ยว ใช้สเกลเส้นตรงความยาว 15 เซนติเมตร โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ร่วมกับการทดสอบการให้คะแนนโดยใช้วิธี overall quality rating (Lawless and Heymann, 1998) มีระดับคะแนน 1 ถึง 10 โดยระดับคะแนน 10 หมายถึง ตัวอย่างมีคุณภาพเหมือนกับตัวอย่างมาตรฐาน ระดับคะแนน 9 หมายถึง ตัวอย่างมีคุณภาพใกล้เคียงกับ

ตัวอย่างมาตรฐาน ระดับคะแนน 6-8 หมายถึง ตัวอย่างมีคุณภาพแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานแต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ระดับคะแนน 3 ถึง 5 หมายถึง ตัวอย่างมีคุณภาพแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐานในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับแล้ว และระดับคะแนน 1 และ 2 หมายถึง ตัวอย่างมีคุณภาพแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐานอย่างชัดเจนสามารถทิ้งได้ทันที (แบบทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ง)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 การศึกษาพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อขนมชั้น วิเคราะห์ผลโดยใช้การกระจายจำนวนในแต่ละกลุ่มความถี่ และอัตราส่วนร้อยละ

4.2 การศึกษาผลของชนิดของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร และการศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศต่อคุณภาพขนมชั้น วิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test: (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

5. สถานที่ทำการทดลอง

5.1 ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาในการวิจัย

ระยะเวลาในการทำวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึง เดือนพฤษภาคม 2549

ผลและวิจารณ์

1. สำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคต่อขนมชั้น

1.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ และพฤติกรรมศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภค

ผลการสำรวจลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคจำนวน 200 คน ในเขตกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า กลุ่มผู้บริโภคเป็นเพศหญิง 66.5 % เพศชาย 33.5 % ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 21-25 ปี คิดเป็น 26.0 % รองลงมาคือ อายุ 15-20, 26-30, 41-50 และมากกว่า 50 ปี ซึ่งมีจำนวนเท่า ๆ กัน คือ คิดเป็น 14, 14, 13 และ 13 % ตามลำดับ จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็น 55.0 % รองลงมาคือ มัธยมศึกษา/ปวช. และสูงกว่าปริญญาตรี 14.0 และ 13.0 % ตามลำดับ มีอาชีพส่วนใหญ่เป็นนิสิต/นักศึกษา 39.0 % รองลงมาคือข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ และพนักงานบริษัทเอกชน 20.0 และ 14.5 % ตามลำดับ มีรายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5,001-10,000 บาท คิดเป็น 34.5 % รองลงมาคือ มีรายได้ในช่วงมากกว่า 15,000 บาท และต่ำกว่า 5,000 บาท 25.0 และ 23.5 % ตามลำดับ

ผลการสำรวจพฤติกรรมของกลุ่มผู้บริโภสดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า กลุ่มผู้บริโภค 85.5 % มีความถี่ในการรับประทานขนมชั้นโดยเฉลี่ยแต่โอกาส รองลงมาคือ รับประทานขนมชั้น 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็น 6.5 % ส่วนใหญ่มีวิธีการบริโภคขนมชั้น โดยการลอกเป็นชั้น ๆ แล้วค่อยรับประทาน คิดเป็น 68.0 % และ 32.0 % รับประทานโดยการกัดทั้งชิ้น ขนมชั้นที่กลุ่มผู้บริโภคซื้อ ส่วนใหญ่จะบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกและถาดพลาสติกแบบมีฟิล์มปิดหน้าขนมชั้นมีจำนวนเท่ากัน คิดเป็น 46.5 % รองลงมาคือ ถาดพลาสติกแบบมีฝาปิด 41.5 % กลุ่มผู้บริโภคที่ทำการสำรวจมีพฤติกรรมในด้านการซื้อขนมชั้นรับประทานเองถึง 67.0 % โดยสถานที่ซื้อส่วนใหญ่ได้แก่ ตลาดสด/แม่ค้าหาบเร่ และร้านขายขนมไทย ซึ่งมีจำนวนเท่า ๆ กัน คือคิดเป็น 47.5 และ 46.5 % ตามลำดับ โดยเมื่อซื้อขนมชั้นมาแล้ว กลุ่มผู้บริโภค 50.5 % จะรับประทานหมดในครั้งเดียว แต่ในกรณีที่รับประทานไม่หมดในครั้งเดียว กลุ่มผู้บริโภคจะเก็บรักษาขนมชั้นไว้ในตู้เย็นถึง 88.9 % และพบว่ากลุ่มผู้บริโภค 53.4 % เมื่อนำขนมชั้นออกจากตู้เย็นแล้วจะไม่นำขนมชั้นมาอุ่นก่อนรับประทาน ส่วนผู้บริโภค 46.6 % จะนำขนมชั้นมาอุ่นก่อนรับประทาน โดยส่วนใหญ่มีวิธีการอุ่นโดยใช้หม้อหุงข้าว และไมโครเวฟ คิดเป็น 75.6 และ 63.4 % ตามลำดับ จากประสบการณ์ของ

ตารางที่ 4 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภค

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ความถี่ (%)
เพศ	หญิง	66.5
	ชาย	33.5
อายุ	น้อยกว่า 15 ปี	2.5
	15-20 ปี	14.0
	21-25 ปี	26.0
	26-30 ปี	14.0
	31-35 ปี	10.5
	36-40 ปี	7.0
	41-45 ปี	13.0
	มากกว่า 50 ปี	13.0
การศึกษาสูงสุด	ประถมศึกษา	9.0
	มัธยมศึกษา/ปวช.	14.0
	อนุปริญญา/ปวส.	9.0
	ปริญญาตรี	55.0
	สูงกว่าปริญญาตรี	13.0
อาชีพ	นักเรียน	5.5
	นิสิต/นักศึกษา	39.0
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	20.0
	พนักงานบริษัทเอกชน	14.5
	รับจ้าง	9.5
	แม่บ้าน	4.0
	ธุรกิจส่วนตัว	5.0
	อื่น ๆ	2.5
รายได้ต่อเดือน	ต่ำกว่า 5,000 บาท	23.5
	5,001-10,000 บาท	34.5
	10,001-15,000 บาท	17.0
	มากกว่า 15,000 บาท	25.0

ตารางที่ 5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภค

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์		ความถี่ (%)
ความถี่ในการรับประทาน	มากกว่า 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์	4.0
	3-4 ครั้ง/สัปดาห์	4.0
	1-2 ครั้ง/สัปดาห์	6.5
	แล้วแต่โอกาส	85.5
วิธีการบริโภค	ลอกเป็นชั้น ๆ แล้วค่อยรับประทาน	68.0
	รับประทานโดยการกัดทั้งชิ้น	32.0
ภาชนะบรรจุ	ถุงพลาสติก	46.5
	กล่องพลาสติกแบบมีฝาปิด	41.5
	ถาดพลาสติกแบบมีฟิล์มปิดหน้าขนมชั้น	46.5
	ใบตอง	18.5
	อื่น ๆ	5.5
การซื้อ	ซื้อเอง	67.0
	ไม่ได้ซื้อเอง	33.0
สถานที่ซื้อ	ร้านขายขนมไทย	46.5
	ตลาดสด/แม่ค้าหาบเร่	47.5
	ร้านสะดวกซื้อ	11.0
	ร้านไฮเปอร์มาร์เก็ต	10.5
	ซูเปอร์มาร์เก็ต	8.0
	อื่น ๆ	3.0
รับประทานหมดในครั้งเดียว	ใช่	50.5
	ไม่ใช่	49.5
วิธีการเก็บรักษา	เก็บที่อุณหภูมิห้อง (33°C)	11.1
	เก็บไว้ในตู้เย็น (-1-8°C)	88.9
อุ่นก่อนรับประทาน	ใช่	46.6
	ไม่ใช่	53.4

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์		ความถี่ (%)
วิธีการอุ่น	อุ่นด้วยไมโครเวฟ	63.4
	อุ่นด้วยรังถึง	9.8
	อุ่นด้วยหม้อหุงข้าว	75.6
	อุ่นด้วยเตาอบ	4.9
	อุ่นด้วยหม้อนึ่งไฟฟ้า	7.3
	อื่น ๆ	0.0
อายุการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (33°C)	น้อยกว่า 1 วัน	5.5
	1 วัน	42.0
	2 วัน	40.5
	3 วัน	12.0
	อื่น ๆ	0.0
อายุการเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (-1-8°C)	น้อยกว่า 1 สัปดาห์	68.2
	1-2 สัปดาห์	27.3
	3-4 สัปดาห์	3.4
	1 เดือน	0.0
	มากกว่า 1 เดือน	1.1
	อื่น ๆ	0.0
ลักษณะการเสื่อมเสียที่พบ	มีน้ำเยิ้มเหนียวคล้ายเมือกบน	
	ผิวหนังขนม้วน/เป็นยางยืด	50.0
	มีกลิ่นเหม็นบูด	63.0
	แป็งเป็นรู	6.0
	พบยีสต์และรา	66.5
	อื่น ๆ	3.5

กลุ่มผู้บริโภค พบว่า ขนมชั้นมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 °ซ) เท่ากับ 1 วัน และ 2 วัน คิดเป็น 42.0 และ 40.5 % ตามลำดับ และขนมชั้น มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (-1 ถึง 8 °ซ) น้อยกว่า 1 สัปดาห์ และ 1-2 สัปดาห์ คิดเป็น 68.2 และ 27.3 % ตามลำดับ โดยลักษณะการเสื่อมเสียของขนมชั้นที่กลุ่มผู้บริโภคเคยพบ ได้แก่ มีน้ำเยิ้มเหนียวคล้ายเมือกบนผิวหนังขนม้วน/เป็นยางยืด มีกลิ่นเหม็นบูด และพบยีสต์และรา คิดเป็น 66.5, 63.0 และ 50.0 % ตามลำดับ

จากผลการสำรวจพฤติกรรมของกลุ่มผู้บริโภคจะสังเกตได้ว่า ขนมนั้นมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 °ซ) เพียง 1-2 วันเท่านั้น โดยมีจุลินทรีย์ ได้แก่ เชื้อราเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้ขนมนั้นเสื่อมเสีย ทั้งนี้เนื่องจากขนมนั้นที่กลุ่มผู้บริโภคซื้อส่วนใหญ่จะบรรจุอยู่ในถุงพลาสติก ถาดพลาสติกแบบมีฟิล์มปิดหน้าขนมนั้น และกล่องพลาสติกแบบมีฝาปิด ซึ่งเป็นภาชนะที่ทำจากพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านความชื้นได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้น้อย (ปุ่น และสมพร, 2541) จึงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างบรรยากาศและภายในภาชนะบรรจุได้ดี ซึ่งก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่จุลินทรีย์ที่ชอบอากาศเจริญได้ดี รวมถึงเชื้อยีสต์และราด้วย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อเหล่านี้ได้เร็วเมื่อบรรจุในภาชนะที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี อายุการเก็บรักษาของขนมนั้นจึงมักกำหนดจากระยะเวลาที่สังเกตไม่พบเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมนั้นที่อุณหภูมิห้อง จึงใช้การตรวจพบปริมาณยีสต์และราเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ร่วมกับเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานทางจุลชีววิทยาของอาหารพร้อมบริโภคที่กำหนดโดยกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

1.2 ผลการศึกษาทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อคุณลักษณะที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจซื้อขนมนั้นด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์ทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภคที่ให้คะแนนความสำคัญกับคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของขนมนั้นที่ใช้พิจารณาในการซื้อด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก โดยให้คะแนนความสำคัญจาก 1 ถึง 5 (1 คือ สำคัญน้อยที่สุด และ 5 คือ สำคัญมากที่สุด) ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า คะแนนความสำคัญที่กลุ่มผู้บริโภคให้ในแต่ละคุณลักษณะมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยคุณลักษณะที่มีคะแนนความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ รสชาติ เนื้อสัมผัส และการใส่สารกันเสีย/สีสังเคราะห์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของคะแนนความสำคัญอยู่ในช่วง 4.57-4.18 แสดงว่า รสชาติและเนื้อสัมผัสของขนมนั้นเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมาก รวมถึงความปลอดภัยในการบริโภค ได้แก่ การไม่ใส่สารกันเสีย/สีสังเคราะห์ เป็นต้น ส่วนคุณลักษณะที่มีคะแนนความสำคัญน้อยที่สุด ได้แก่ ยี่ห้อ/ตราของขนมนั้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของคะแนนความสำคัญเท่ากับ 2.97

ตารางที่ 6 คะแนนความสำคัญเฉลี่ยของคุณลักษณะที่ผู้บริโภควิเคราะห์พิจารณาซื้อขนมชั้น

คุณลักษณะ	คะแนนความสำคัญเฉลี่ย
รสชาติ	4.57 ± 0.67
เนื้อสัมผัส (ความเหนียว, ความนุ่ม)	4.30 ± 0.74
กลิ่น	3.94 ± 0.77
สี	3.56 ± 0.88
รูปร่าง	3.27 ± 0.84
ราคา	3.35 ± 0.75
ชื้อห่อ/ตรา	2.97 ± 0.99
บรรจุภัณฑ์	3.35 ± 0.85
มีอายุการเก็บรักษานาน	3.24 ± 0.91
ไม่ใส่สารกันเสีย/ไม่ใส่สีสังเคราะห์	4.18 ± 1.00

จากการสำรวจข้อมูล ทศนคติ และความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค พบว่า กลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่เห็นด้วยในการนำสมุนไพรมาผสมในขนมชั้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแทนสารเคมีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คิดเป็น 83.5 % รองลงมาคือ ไม่แน่ใจ และไม่เห็นด้วย 12.5 และ 4.0 % ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคที่เห็นด้วย ให้เหตุผลว่า การใช้สมุนไพรในการยืดอายุการเก็บรักษาปลอดภัยกว่าการใช้สารเคมี เนื่องจากไม่มีสารพิษตกค้าง และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ส่วนผู้บริโภคที่ไม่แน่ใจและไม่เห็นด้วย ให้เหตุผลว่า ต้องดูสมุนไพรที่ใส่ลงไปว่าจะทำให้รสชาติของขนมชั้นเสียไปหรือไม่ และขนมควรทำใหม่สดถึงจะอร่อย ตามลำดับ และจากการสำรวจการยอมรับของกลุ่มผู้บริโภคถึงการเติมสารหรือก๊าซบางชนิด เช่น ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งไม่เป็นอันตราย (การดัดแปลงบรรยากาศ) เพื่อให้ขนมชั้นมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับ คิดเป็น 80 % และอีก 20 % ไม่ยอมรับ โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคที่เห็นด้วย ให้เหตุผลว่า ไม่ทำอันตรายกับร่างกายและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขนมชั้นให้นานขึ้นได้ และผู้บริโภคที่ไม่ยอมรับส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่า ยังไม่แน่ใจว่าการเติมสารหรือก๊าซไม่เป็นอันตราย เนื่องจากยังไม่มีความรู้ในด้านนี้ ขนมชั้นเป็นขนมที่ไม่ควรเก็บได้นาน และอาจทำให้รสชาติและเนื้อสัมผัสไม่คงเดิมเมื่อเก็บได้นานเกินไป ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ทักษะ และความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อขนมชั้น

ข้อมูลสำรวจ	ทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภค	ความถี่ (%)
ความคิดเห็นในการนำสมุนไพรมาผสมในขนมชั้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแทนสารเคมี	เห็นด้วย ไม่เห็นด้วย	83.5 12.5 4.0
การยอมรับเมื่อมีการเติมสารหรือก๊าซบางชนิดซึ่งไม่เป็นอันตราย (การดัดแปลงบรรยากาศ) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา	ยอมรับ ไม่ยอมรับ	80.0 20.0

จากการสำรวจข้อมูล ทักษะ และความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคจะสังเกตได้ว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับถ้ามีการทำให้อายุการเก็บรักษาขนมชั้นนานขึ้น โดยใช้วิธีที่ทำให้ผู้บริโภคมีความปลอดภัยในการบริโภค เช่น การนำสมุนไพรมาผสมลงในส่วนผสม เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา หรือการเติมสารหรือก๊าซบางชนิดซึ่งไม่เป็นอันตราย (การดัดแปลงบรรยากาศ) มาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้น โดยต้องไม่ทำให้รสชาติและเนื้อสัมผัสของขนมชั้นเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมชั้นในขั้นต่อไป นอกจากจะใช้การตรวจพบปริมาณยีสต์และราพร้อมกับเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานทางจุลชีววิทยาของอาหารพร้อมบริโภคที่กำหนดโดยกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย

2. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรต่อคุณภาพขนมชั้น

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร 3 ชนิด ที่เติมลงไปในส่วนผสมของขนมชั้น ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ ตะไคร้ 0.4% ตะไคร้ 0.6% อบเชย 0.5% อบเชย 0.7% จิง 0.4% และจิง 0.6% โดยมีขนมชั้นสูตรที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหยเป็นสิ่งที่ทดลองควบคุม บรรจุขนมชั้นในถาดพลาสติกแบบมีฝาปิด และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($33 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($33 \pm 2^{\circ}\text{C}$) มีดังนี้

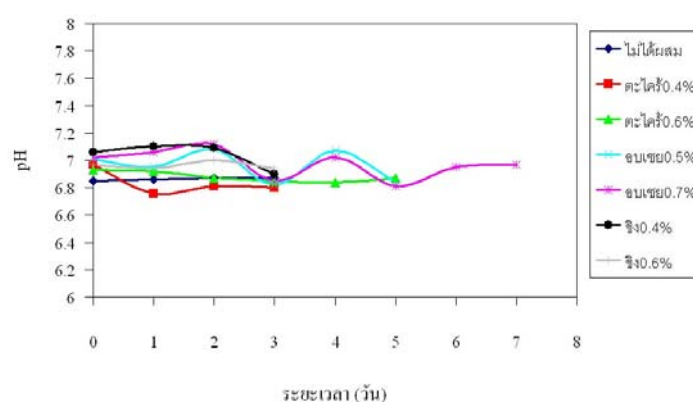
2.1 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี

ค่า a_w , ปริมาณความชื้น และค่า pH ดังแสดงในตารางที่ 8 ภาพที่ 3 และตารางภาคผนวกที่ จ2 พบว่า ขนมหั่นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรต่างชนิดกันและปริมาณต่างกัน มีค่า a_w , ปริมาณความชื้น และค่า pH ใกล้เคียงกันในระหว่างการเก็บรักษา ($p>0.05$) โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.94-0.96 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 38-40 % และค่า pH อยู่ในช่วง 6-7 จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียง่าย เนื่องจากมีค่า a_w และความชื้นสูง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) การที่ปริมาณความชื้นในขนมหั่นทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่ามีการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างขนมหั่นและบรรยากาศน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อใช้ถาดพลาสติกแบบมีฝาปิดชนิดพอลิโพรพิลีนในการบรรจุขนมหั่น ซึ่งพลาสติกชนิดนี้มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี (ปุ่น และสมพร, 2541) สอดคล้องกับผลของบุรินทร์ (2534) และนฤมล (2543) ที่ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน โดยใช้ถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนในการบรรจุทุเรียนกวน และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาจากการใช้ถุงชนิดนี้ ดังนั้นการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ของขนมหั่นในระหว่างการเก็บรักษาจึงไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ค่า a_w , ปริมาณความชื้น และค่า pH ในขนมหั่น แต่น่าจะเกิดจากการที่ขนมหั่นมีค่า a_w สูง ทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดีในระหว่างการเก็บรักษา ประกอบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรในปริมาณต่ำ ทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ต่ำ

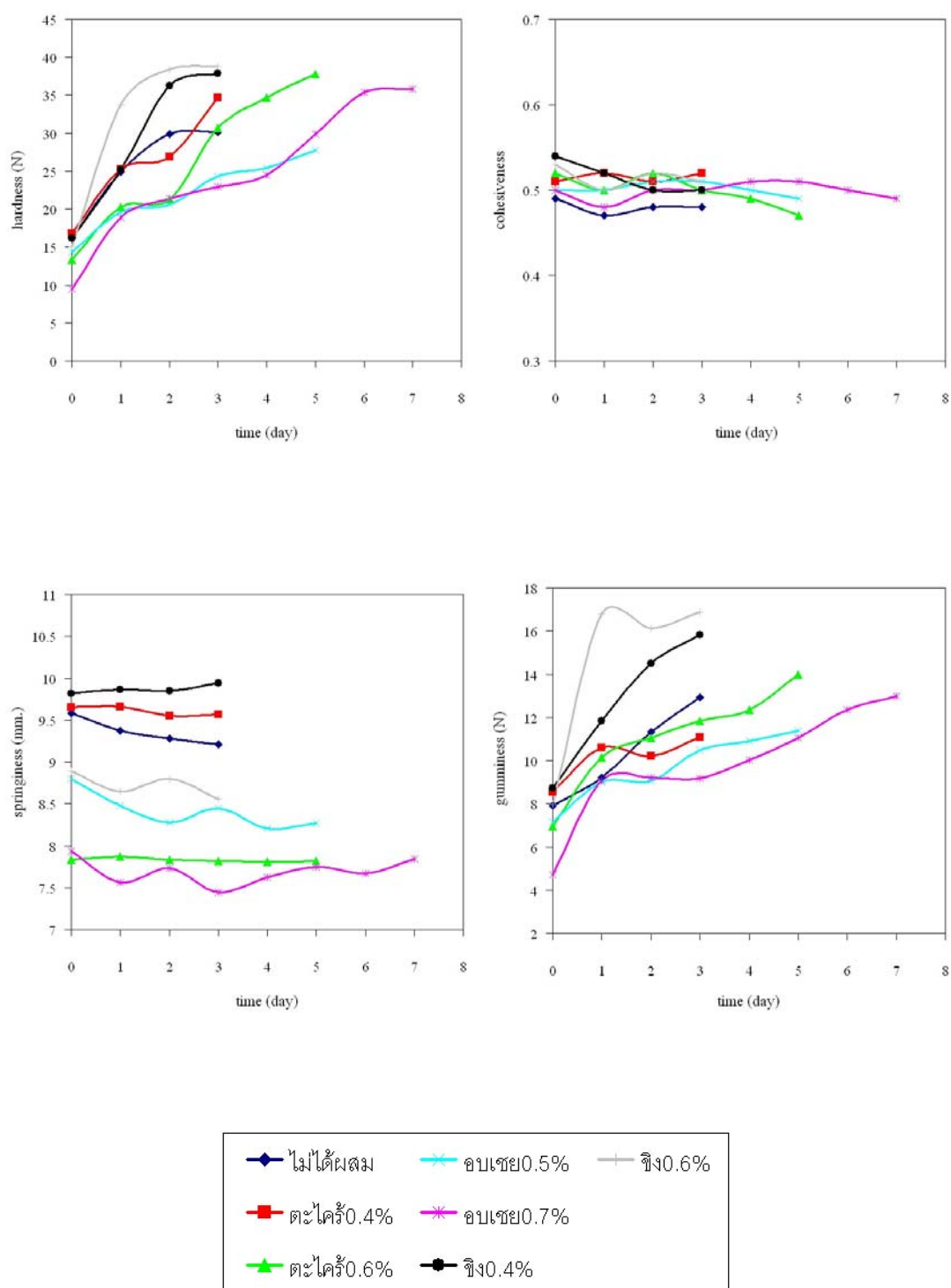
ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมหั่นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ดังแสดงในภาพที่ 4 และตารางภาคผนวกที่ จ1 ตามลำดับ พบว่า ชนิดของน้ำมันหอมระเหยไม่มีอิทธิพลต่อค่า hardness, cohesiveness, gumminess และ springiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรมีอิทธิพลต่อค่า hardness, gumminess และ springiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่า cohesiveness โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่า เมื่อปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ใส่ลงไปขนมหั่นเพิ่มขึ้น จะทำให้ขนมหั่นมีค่า hardness, gumminess และ springiness ลดลง โดยขนมหั่นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.7% มีค่า hardness และ gumminess น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.64 และ 4.73 ตามลำดับ และขนมหั่นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% มีค่า springiness น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 7.83 การที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ผสมลงไปขนมหั่น มี

ตารางที่ 8 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และปริมาณความชื้น (%) ของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ ในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)

สิ่งทดลอง	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	a_w	ความชื้น (%)
ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย	0	0.94 ± 0.00	39.24 ± 0.13
	3	0.94 ± 0.01	39.73 ± 0.08
ตะไคร้ 0.4%	0	0.96 ± 0.02	39.37 ± 0.29
	3	0.96 ± 0.01	39.72 ± 0.72
ตะไคร้ 0.6%	0	0.96 ± 0.02	38.18 ± 0.43
	5	0.96 ± 0.02	39.26 ± 0.73
อบเชย 0.5%	0	0.94 ± 0.01	39.13 ± 0.94
	5	0.94 ± 0.01	39.71 ± 1.52
อบเชย 0.7%	0	0.96 ± 0.00	38.66 ± 0.30
	7	0.95 ± 0.01	39.27 ± 1.10
จิง 0.4%	0	0.94 ± 0.01	38.17 ± 0.25
	3	0.94 ± 0.00	38.97 ± 0.93
จิง 0.6%	0	0.96 ± 0.02	40.29 ± 0.95
	3	0.95 ± 0.01	40.38 ± 0.80



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าเนื้อสัมผัสของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)

ผลต่อเนื้อสัมผัสของขนมชั้น เนื่องจากไขมันหรือน้ำมัน มีคุณสมบัติในการให้ความนุ่มผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มไขมันหรือน้ำมันเข้าไปในสูตรแล้วส่งผลให้เกิดความอ่อนนุ่ม และง่ายในการเคี้ยวมากขึ้น (อรอนงค์ และจิตธนา, 2546; Stauffer, 1998; Wainwright, 1999) ดังนั้นเมื่อผสมน้ำมันหอมระเหย ลงไปในขนมชั้น จึงส่งผลให้ขนมชั้นมีค่า hardness และ gumminess ลดลง และเมื่อระยะเวลาการ เก็บเพิ่มขึ้น พบว่า ขนมชั้นทุกสิ่งทดลองมีค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ค่า cohesiveness และ springiness มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าขนมชั้นมีความ แข็งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของขนมชั้นในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งที่ ผ่านการเจลาติไนซ์แล้ว ขึ้นอยู่กับปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในโมเลกุลสตาร์ช และการ จัดเรียงตัวกันใหม่ของสายโซ่อะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่ทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) (van Soest *et al.*, 1994; Lii *et al.*, 2004) โดย Miles *et al.* (1985) กล่าวว่ากระบวนการตกผลึกซ้ำ (recrystallization) หรือการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลาสตาร์ชมี 2 ระยะคือ ระยะสั้นเกิดจากโมเลกุล ของอะมิโลสที่จับกันเกิดเป็นโครงสร้างของเจลที่ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible gelation) และ ระยะยาวเกิดจากโมเลกุลของอะมิโลเพกตินที่จับตัวกันแต่สามารถผันกลับได้ (reversible crystallization) โมเลกุลอะมิโลเพกตินสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้โดยเกิดจากการรวมตัวกันของ กิ่งที่สั้น และใช้เวลาในการเกิดนานกว่าอะมิโลส (Jane and Royby, 1984) แป้งส่วนใหญ่จะมี ปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ซึ่งจะเกิดรีโทรกราเดชันได้ช้า ๆ จึงมักสร้างปัญหาให้กับผลิตภัณฑ์ อาหารในระหว่างการเก็บ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) นอกจากปริมาณอะมิโลสและ อะมิโลเพกตินแล้ว การเกิดรีโทรกราเดชันยังขึ้นอยู่กับค่า pH ของขนมชั้นด้วย โดย กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546) กล่าวว่า pH มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง โดยแป้งสามารถเกิด รีโทรกราเดชันได้เร็วที่สุดในช่วง pH 5-7 จากผลการตรวจคุณภาพ พบว่า ตลอดอายุการเก็บขนม ชั้นในทุกสิ่งทดลอง มี pH อยู่ในช่วง 6-7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้ดี pH ของ ผลิตภัณฑ์จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ขนมชั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเกิด รีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมชั้นในระหว่างการ เก็บรักษาจึงพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นขนมชั้นมีค่า hardness เพิ่มขึ้น เพราะการเกิด รีโทรกราเดชันที่เพิ่มขึ้นของสตาร์ชมีผลทำให้เจลมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่า gumminess ที่เพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า gumminess สอดคล้องกับค่า hardness และค่า cohesiveness โดยค่า gumminess หาได้จากผลคูณของค่า hardness และค่า cohesiveness (Bourne, 1982) ดังจะ

เห็นได้ว่า hardness มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า cohesiveness มีค่าคงที่ ดังนั้นค่า gumminess จึงมีค่าเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับค่า hardness นั้นเอง

2.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมชั้น แสดงดังตารางที่ 9 พบว่า ชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรมีอิทธิพลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (aerobic plate count) และปริมาณยีสต์และรา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา พบว่า ขนมชั้นสูตรที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย (สูตรควบคุม) สูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.4 % อบเชย 0.5% จิง 0.4% และจิง 0.6% มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3×10^8 , 4.1×10^6 , 1.6×10^6 , 1.6×10^7 และ 1.2×10^7 ตามลำดับ โดยเกณฑ์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของอาหารพร้อมบริโภคกำหนดให้อาหารปรุงสุกทั่วไปที่ปลอดภัยต่อการบริโภคต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม มีปริมาณยีสต์น้อยกว่า 10^4 โคโลนีต่อกรัม และรา น้อยกว่า 500 โคโลนีต่อกรัม (กองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2547) ดังนั้นขนมชั้นสูตรที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหยมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.5% ตะไคร้ 0.4 % และจิง ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้นได้ และในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา พบว่า ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% และอบเชย 0.7% มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% และอบเชย 0.7% จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้นได้ จากไม่เกิน 1 วัน เป็น 2 วัน ผลการตรวจปริมาณเชื้อยีสต์และรา พบว่า ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.7% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้นานที่สุด คือจาก 2 วัน เป็น 6 วัน รองลงมา ได้แก่ ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% และอบเชย 0.5% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้เท่ากัน คือ 4 วัน

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่าขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% อบเชย 0.5% และอบเชย 0.7% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์และราได้ โดยสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.7% จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์และรามากกว่าสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.5% ทั้งนี้เนื่องมาจากประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร นอกจากจะขึ้นอยู่กับ

ชนิดของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ อีกด้วย โดยถ้าใช้ในปริมาณมาก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ตารางที่ 9 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ ตลอดอายุการ เก็บรักษา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($33\pm 2^{\circ}\text{C}$)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
จุลินทรีย์ทั้งหมด								
(โคโลนี/กรัม)								
ไม่ได้ผสม	57	-	1.3×10^8	2.9×10^8 *	-	-	-	-
ตะไคร้ 0.4%	50	-	4.1×10^6	2.0×10^7 *	-	-	-	-
ตะไคร้ 0.6%	23	-	1.9×10^5	-	3.8×10^6	7.5×10^6 *	-	-
อบเชย 0.5%	56	-	1.6×10^6	-	2.5×10^7	4.6×10^8 *	-	-
อบเชย 0.7%	13	-	1.2×10^5	-	2.5×10^6	-	1.1×10^7	7.9×10^7 *
จิง 0.4%	75	-	1.6×10^7	9.4×10^7 *	-	-	-	-
จิง 0.6%	60	-	1.2×10^7	5.5×10^7 *	-	-	-	-
ยีสต์และรา								
(โคโลนี/กรัม)								
ไม่ได้ผสม	ไม่พบ	-	ไม่พบ	8.2×10^5 *	-	-	-	-
ตะไคร้ 0.4%	ไม่พบ	-	ไม่พบ	2.2×10^5 *	-	-	-	-
ตะไคร้ 0.6%	ไม่พบ	-	ไม่พบ	-	ไม่พบ	5.5×10^4 *	-	-
อบเชย 0.5%	ไม่พบ	-	ไม่พบ	-	ไม่พบ	3.6×10^2 *	-	-
อบเชย 0.7%	ไม่พบ	-	ไม่พบ	-	ไม่พบ	-	ไม่พบ	2.4×10^2 *
จิง 0.4%	ไม่พบ	-	ไม่พบ	2.9×10^3 *	-	-	-	-
จิง 0.6%	ไม่พบ	-	ไม่พบ	1.5×10^3 *	-	-	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

* หมายถึง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด หรือปริมาณยีสต์และรา ที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อ มีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขนมชั้น

แต่จะทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนไป (บุษกร, 2547; Hirasu and Takemasa, 1998) ส่วนขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.4% จิง 0.4% และจิง 0.6% ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์และราได้ อาจเนื่องมาจากการใช้น้ำมันหอมระเหยในปริมาณที่น้อยเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hammer *et al.* (1999) ที่พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากจิงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ แต่ต้องใช้ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 2.0% (v/v) และจากการที่น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย ตะไคร้ และจิง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์และราได้ เนื่องจากว่าในน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยมีสารซินนามัลดีไฮด์ หรือซินนามัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลัก (นฤมล, 2543; บุษกร, 2547; Bullerman *et al.*, 1977; Corner and Beuchat, 1984) ซึ่งสารนี้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ จึงทำให้อบเชยมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดี (บุษกร, 2547) นอกจากนี้ในน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยยังมีสารพอลิยูจินอลเป็นองค์ประกอบอีกด้วย (Guynot *et al.*, 2003) โดยยูจินอลเป็นสารอนุพันธ์ของฟีนอล สารนี้จะไปขัดขวางขบวนการละลายไขมันที่เซลล์เมมเบรน เป็นผลให้บทบาททางด้านออสโมติกแบร์ริเออร์ (osmotic barrier) ลดลง ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ โดยทำให้เอนไซม์และโปรตีนอื่นๆ เสียสภาพไป เซลล์จึงถูกทำลาย (ปัญญาธิ, 2527ข; บุษกร, 2547) ส่วนในน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีชีตรอลกับเจอราเนียมอลเป็นองค์ประกอบหลัก เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ แต่กลไกการยับยั้งการเจริญเติบโตต่อเชื้อจุลินทรีย์ยังไม่ทราบแน่ชัด (Guynot *et al.*, 2003) และ Mahmoud (1994) รายงานว่าเจอราเนียมอลที่ระดับความเข้มข้น 1000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ และน้ำมันหอมระเหยจากจิงสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและราได้ดี โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของจิงขึ้นอยู่กับกลินาลู ไซโคลิซัลไฟด์ เมธิลอัลลิลซัลไฟด์ เอธิลไอโซโพรปิลซัลไฟด์ และแอลฟาเทอร์ปีนอีล แต่กลไกการยับยั้งการเจริญเติบโตต่อเชื้อจุลินทรีย์ยังไม่ทราบแน่ชัด (ปัญญาธิ, 2527ก)

2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่า ชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรมีอิทธิพลต่อระดับคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยเพิ่มมากขึ้น ขนมชั้นมีคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยลดลง ขนมชั้นสูตรที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย มีคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยมากที่สุด คือ 7.3 (ชอบปานกลาง) และขนม

ชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.7% มีคะแนนความชอบรวมน้อยที่สุด คือ 1.9 (ไม่ชอบมาก) เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรในปริมาณมาก สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ในขนมชั้น แต่จะทำให้ขนมชั้นมีกลิ่นรสจากสมุนไพรชนิดนั้น ๆ มากเกินไป ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 10 คะแนนความชอบรวมของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา

สิ่งทดลอง	ความชอบรวม
ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย	7.3 ± 0.9^a
ตะไคร้ 0.4%	3.1 ± 1.5^b
ตะไคร้ 0.6%	2.9 ± 1.2^b
อบเชย 0.5%	2.3 ± 1.1^c
อบเชย 0.7%	1.9 ± 1.1^d
จิง 0.4%	2.2 ± 0.7^c
จิง 0.6%	2.2 ± 0.7^c

หมายเหตุ a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษานิคมของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรต่อคุณภาพของขนมชั้น พบว่า ขนมชั้นสูตรที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.4% อบเชย 0.5% และจิง ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้นได้ และขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% และอบเชย 0.7% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้นได้ จากไม่เกิน 1 วัน เป็น 2 วัน แต่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร เนื่องจากขนมชั้นมีกลิ่นรสของสมุนไพรชนิดนั้น ๆ มากเกินไป ซึ่งถ้าใส่น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรในปริมาณน้อย ก็ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

3. การศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศต่อคุณภาพขนมชั้น

เนื่องจากขนมชั้นมีค่า a_w สูง (0.94) เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้ขนมชั้นมีอายุการเก็บรักษาสั้น (ไม่เกิน 1 วัน) ดังนั้นการผลิตขนมชั้น จึงจำเป็นต้องปรับให้ค่า a_w ต่ำลง ให้อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียบางชนิด เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาขนมชั้น ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้สารดูดความชื้น กลิเซอรอลจัดเป็นสารดูดความชื้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w สูง เนื่องจากละลายน้ำได้ดี มีความคงตัว ไม่ระเหย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่มีรสเล็กน้อย สามารถย่อยสลายให้พลังงานถึง 4.3 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Park *et.al.* 1946) และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ (Leffingwell and Lesser, 1945) แต่ปัญหาในการลด a_w ของขนมชั้น คือ การหาปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตขนมชั้น ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลที่มีผลต่อคุณภาพขนมชั้นเพื่อหาอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลที่เหมาะสม

นอกจากนี้การใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดค่า a_w ของขนมชั้นควบคู่กับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ ยังสามารถช่วยยืดอายุขนมชั้นได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศเป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ ทำให้สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญได้ (งามทิพย์, 2538) อย่างไรก็ตามยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสมร่วมกับสภาวะการบรรจุต่อคุณภาพขนมชั้น

3.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอล ที่มีผลต่อคุณภาพขนมชั้น

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอล 5 ระดับ คือ 100:0, 100:8, 100:10, 100:12 และ 100:14 ต่อคุณภาพขนมชั้น เพื่อศึกษาปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ ผลการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของขนมชั้น ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่า อัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลมีอิทธิพลต่อค่า a_w และคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสชาติและความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดยเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ขนมนั้นมีค่า a_w และคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสชาติและความชอบรวมลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การลดลงของค่า a_w เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารประเภทพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ ซึ่งในโมเลกุลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสมได้ดี (Chirfe *et al.*, 1980) ทำให้กลีเซอรอลมีคุณสมบัติที่สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส ส่งผลให้กลีเซอรอลมีประสิทธิภาพในการลดระดับ a_w ของอาหารได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส (Cauvain and Young, 2000) สอดคล้องกับผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่รายงานว่า ประสิทธิภาพในการลดระดับวอเตอร์แอคทีวิตีของน้ำตาลซูโครสมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลูโคส ซอร์บิทอล และ กลีเซอรอล เช่น การศึกษาในขนมเปียะของปิยะนุช (2545) โดยการใช้กลีเซอรอล ซอร์บิทอล กลูโคส แทนที่น้ำตาลซูโครสในสูตรไส้ถั่วกวนที่ระดับต่าง ๆ และในขนมมันสำปะหลังของพินิจดดา (2547) โดยการเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอล หรือซอร์บิทอล เข้าไปในสูตร เปรียบเทียบกับผลของน้ำตาลซูโครสในอัตราส่วนเดียวกัน และจากการที่ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นแล้วทำให้ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านรสชาติและความชอบรวมลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลที่มากขึ้นจะทำให้ขนมชั้นมีรสขมมากขึ้นด้วย เนื่องจากรสขมเป็นคุณสมบัติเฉพาะของกลีเซอรอล (Ledward, 1981)

ตารางที่ 11 คุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของขนมชั้นที่ผลิตจากอัตราปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลต่าง ๆ กัน ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา

ปัจจัยคุณภาพ	อัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอล				
	100:0	100:8	100:10	100:12	100:14
ทางกายภาพ					
a_w	0.94 ± 0.00^a	0.92 ± 0.00^b	0.89 ± 0.00^c	0.89 ± 0.00^c	0.88 ± 0.00^d
ทางประสาทสัมผัส					
รสชาติ	7.5 ± 1.0^a	6.8 ± 1.3^a	6.5 ± 1.3^a	6.6 ± 1.0^a	4.3 ± 1.2^b
ความชอบรวม	7.3 ± 0.9^a	7.0 ± 1.1^a	6.9 ± 1.2^a	6.8 ± 1.2^a	4.6 ± 1.1^b

หมายเหตุ a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการเติมลงไปในส่วนผสมเพื่อลดค่า a_w คือ ที่อัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 100:10 เนื่องจากมีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านรสชาติ และความชอบรวม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) จากคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยที่อัตราส่วน 100:0 ซึ่งเป็นสูตรที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอลลงไปในส่วนผสม และสามารถลดค่า a_w จาก 0.94 (100:0) เป็น 0.89 ดังนั้นอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 100:10 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการศึกษาประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาร่วมกับสภาวะการบรรจุต่อไป

จากการศึกษาเบื้องต้น โดยการบรรจุขนมชั้นที่ไม่ได้ใส่สารดูดความชื้น (a_w เท่ากับ 0.94) ภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน คือ CO₂100%, N₂100%, CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60% บรรจุในถุงพลาสติกชนิด K-nylon/LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ) พบว่า การบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษานมชั้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ เนื่องจากขนมชั้นมีค่า a_w สูง เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ โดย Daniels *et al.* (1985) รายงานว่า ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์จะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง เพราะว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้ร่วมกับการเก็บรักษาอาหารภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศไม่ควรต่ำกว่า 1 °ซ เพราะถึงแม้อุณหภูมิต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ไม่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Eklund and Jarmund (1983) ที่รายงานว่าที่อุณหภูมิ 20 °ซ สภาวะปรับบรรยากาศ (CO₂100%, N₂100% และสุญญากาศ) ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ยกเว้นสภาวะปรับบรรยากาศด้วย CO₂100% แต่ประสิทธิภาพก็จะลดลงเมื่ออายุการเก็บนานขึ้น ดังนั้นการใช้สภาวะปรับบรรยากาศเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษานมชั้นที่อุณหภูมิห้องได้ จึงได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดค่า a_w ของขนมชั้นก่อนนำมาบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และใช้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นร่วมด้วย

3.2 ศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสมร่วมกับสภาวะการบรรจุ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพขนมชั้นที่มีการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสมในอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 100:10 ที่ 6 สภาวะ ได้แก่ บรรยากาศ, สุญญากาศ, CO₂100%, N₂ 100%, CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

(33 ± 2 °ซ) และอุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของขนมชั้นจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งมีระยะเวลา (วัน) ของแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอายุการเก็บรักษา โดยไม่ทำการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส เมื่อมีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขนมชั้น หรือเมื่อคุณภาพของตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังนี้

3.2.1 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

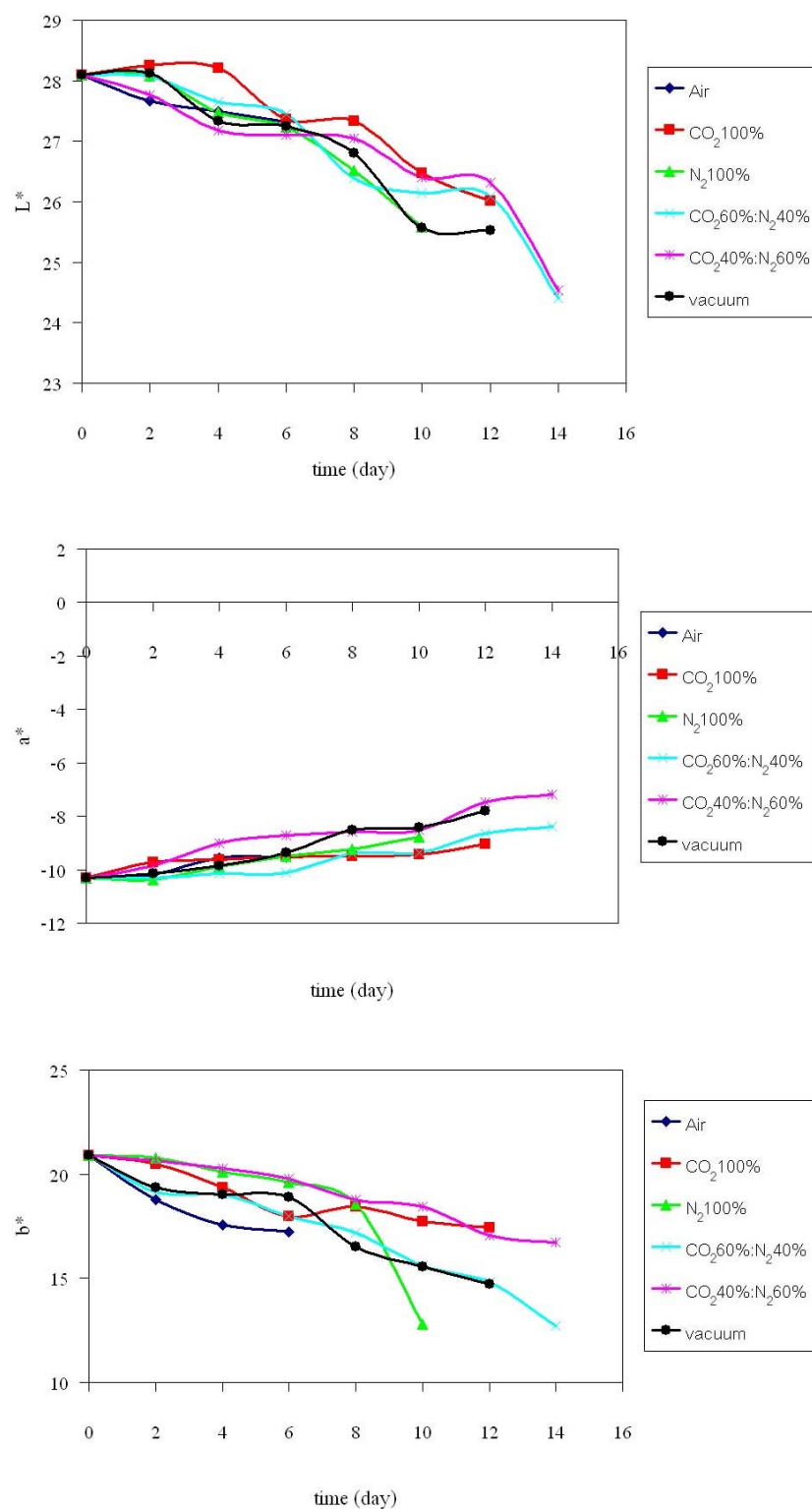
ผลการศึกษาค่า a_w , ปริมาณความชื้น และค่า pH ของขนมชั้นที่เก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ดังแสดงในตารางที่ 12 และตารางภาคผนวกที่ 2 พบว่า ขนมชั้นมีค่า a_w , ปริมาณความชื้น และค่า pH เปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าคุณภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ) และแช่เย็น (4 ± 1 °ซ) โดยขนมชั้นมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.89-0.90 ความชื้นอยู่ในช่วง 34-36 % และ pH อยู่ในช่วง 6.45-6.59 แสดงว่ามีการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างขนมชั้นและบรรยากาศน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อใช้ถาดพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนแบบมีฝาปิดและถาดพลาสติกชนิด K- nylon/LLDPE ในการบรรจุขนมชั้น ซึ่งถาดพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี ส่วนถาดพลาสติกชนิด K- nylon/LLDPE มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี ประกอบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้น้ำระเหยได้น้อย (ปุ่น และสมพร, 2541; Hebeda, 1996; Blakistone, 1999) โดยอนุชิตา (2534) รายงานว่า หนุ่ยจากสองแหล่งผลิต คือ กรุงเทพฯ และเชียงใหม่ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ ($\text{CO}_2 100\%$, $\text{CO}_2 80\%:\text{N}_2 20\%$, $\text{CO}_2 60\%:\text{N}_2 40\%$, $\text{CO}_2 40\%:\text{N}_2 60\%$, $\text{CO}_2 20\%:\text{N}_2 80\%$, $\text{N}_2 100\%$) และสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ± 1 °ซ และ 6 ± 1 °ซ เป็นเวลาต่าง ๆ กัน หนุ่ยทุกตัวอย่างของทั้งสองแหล่งผลิต มีปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยหนุ่ยจากแหล่งผลิตกรุงเทพฯ มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 63-64 % ส่วนหนุ่ยจากแหล่งผลิตเชียงใหม่ มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 54-55 %

ตารางที่ 12 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และปริมาณความชื้น (%) ของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ในวันที่ 0 และวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

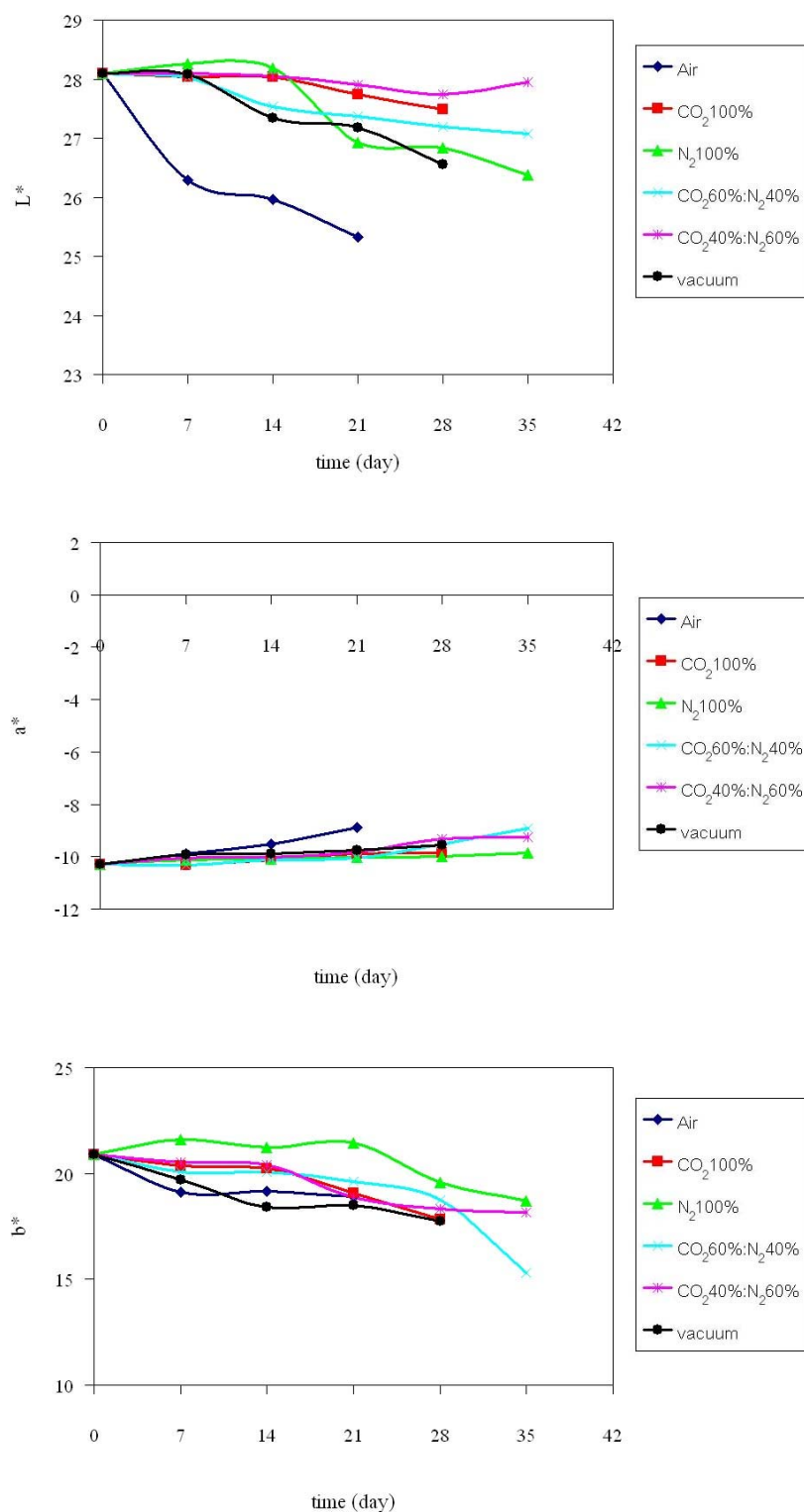
สิ่งทดลอง	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	a_w	ความชื้น (%)
บรรยากาศ, 33 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	6	0.90 ± 0.00	35.06 ± 0.22
บรรยากาศ, 4 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	21	0.89 ± 0.00	35.06 ± 0.29
CO ₂ 100%, 33 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	12	0.90 ± 0.00	35.78 ± 0.23
CO ₂ 100%, 4 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	28	0.89 ± 0.00	36.23 ± 0.26
N ₂ 100%, 33 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	10	0.89 ± 0.00	35.61 ± 0.20
N ₂ 100%, 4 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	35	0.89 ± 0.00	35.13 ± 0.13
CO ₂ 60%:N ₂ 40%, 33 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	14	0.90 ± 0.00	34.77 ± 0.47
CO ₂ 60%:N ₂ 40%, 4 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	35	0.89 ± 0.00	36.03 ± 0.09
CO ₂ 40%:N ₂ 60%, 33 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	14	0.90 ± 0.00	35.61 ± 0.15
CO ₂ 40%:N ₂ 60%, 4 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	35	0.89 ± 0.00	35.36 ± 0.10
สุญญากาศ, 33 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	12	0.89 ± 0.00	34.95 ± 0.33
สุญญากาศ, 4 ^o ซ	0	0.89 ± 0.00	35.77 ± 0.71
	28	0.89 ± 0.00	34.14 ± 0.38

เมื่อพิจารณาค่า pH ของอาหารเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Daniels *et al.* (1985), Ooraikul and Stiles (1991) และ Zagory (1994) กล่าวว่า ค่า pH ของอาหารเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลง เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายเข้าไปในอาหารนั้นมีฤทธิ์เป็นกรด กล่าวคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) โดยการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมนั้นมีค่า pH คงที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น อยู่ในช่วง 6.45-6.59 การที่ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เปลี่ยนแปลง เกิดจากลักษณะที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ และความดันที่ใช้ในการเติมก๊าซ โดย Air (2004) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของแข็งหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์จะซึมผ่านเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ยากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว ประกอบกับถ้าไม่ได้อาศัยความดันสูงในการเติมก๊าซ จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้น้อย จึงส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้น้อย pH จึงไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจเกิดจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดคาร์บอนิกมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะทำให้ค่า pH ลดลง (Guynot *et al.*, 2003) ดังนั้นค่า pH ของขนมนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากขนมนั้นมีลักษณะเป็นของกึ่งแข็งกึ่งเหลว และไม่ได้ใช้ความดันสูงในการเติมก๊าซ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในขนมนั้นได้น้อย ทั้งนี้เนื่องจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์แล้วยังขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ในการเติมก๊าซด้วย โดยถ้าใช้ความดันสูงในการเติมก๊าซ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายได้ดีขึ้น (Air, 2004)

ผลการศึกษาค่าสีของขนมนั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ และตารางภาคผนวกที่ ๑1 ผลการศึกษาค่าสีของขนมนั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ชั้นสีเขียวของขนมนั้นทุกสิ่งทดลองมีค่า L^* หรือค่าความสว่างของสี ค่า a^* หรือค่าความเป็นสีแดงเมื่อมีค่าเป็นลบ และค่า b^* หรือค่าความเป็นสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก ลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลการศึกษาค่าสีของขนมนั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่า ให้ผลในทำนองเดียวกับกับที่อุณหภูมิห้อง คือ ชั้นสีเขียวของขนมนั้นทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่างของสี ความเป็นสีเขียว และ



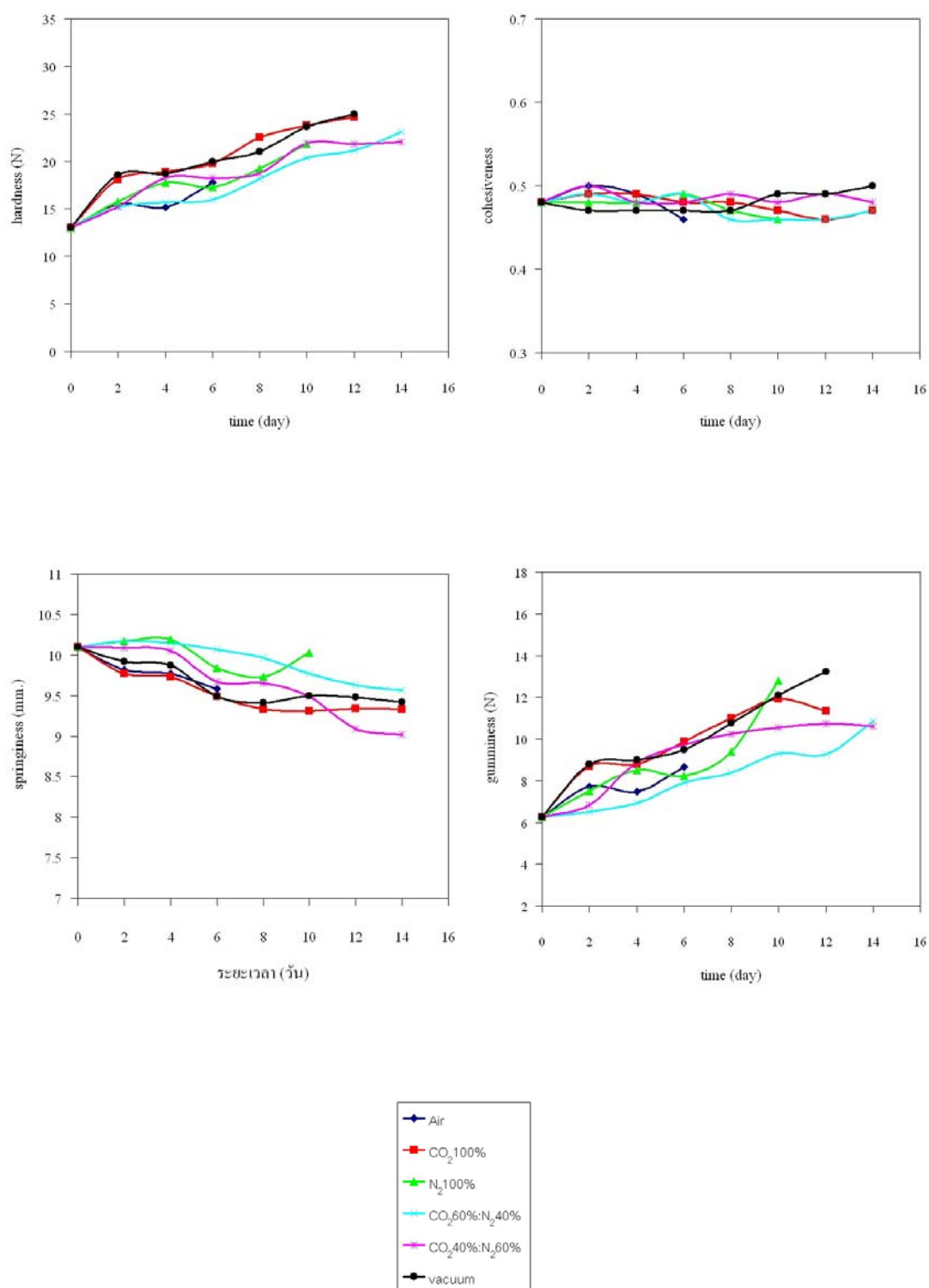
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* , a^* และ b^* ของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)



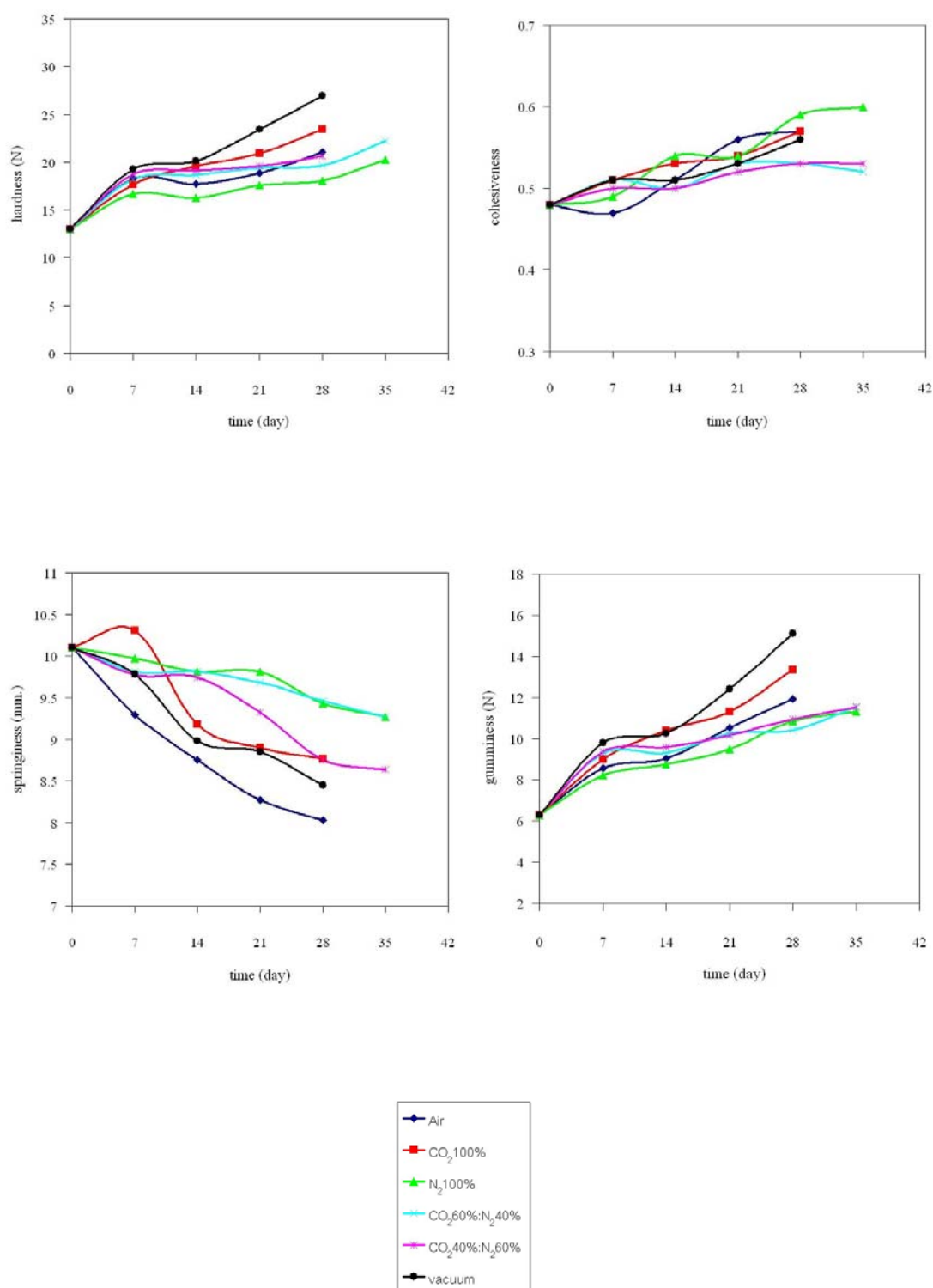
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* , a^* และ b^* ของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ)

ความเป็นสีเหลืองลดลง แต่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าสีมากกว่าขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีของขนมชั้นระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความบวมจากการขยายตัวของฟลักโมเลกุลสตาร์ชทำให้ดัชนีหักเหของเจลเปลี่ยนแปลงไป (Pomeranz, 1991) โดยกระบวนการรีโทรกราเดชันเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง $(-1^{\circ}\text{C}$ ถึง 21°C) การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชจะเกิดได้มากยิ่งขึ้น (Colwell *et al.*, 1969) ดังนั้นค่าสีของขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจึงเกิดความเปลี่ยนแปลงมากกว่าขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อพิจารณาค่าความสว่างของสี และความเป็นสีเขียวของขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (ภาพที่ 6) บรรจุในสภาวะบรรยากาศเปรียบเทียบกับสภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ ที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน พบว่า ขนมชั้นที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ มีค่าความสว่างของสี และความเป็นสีเขียวลดลงต่ำสุด และตลอดอายุการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสี และความเป็นสีเขียวมากที่สุด แสดงว่าการเก็บรักษาขนมชั้นที่อุณหภูมิแช่เย็นในสภาวะบรรยากาศ จะทำให้ค่าสีเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบต่าง ๆ ในอาหาร เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนแล้ว ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน โดยเฉพาะก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นการบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนแทนที่ก๊าซออกซิเจน จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดจางเกิดขึ้นช้าลง (งามทิพย์, 2538; Blakistone, 1999) ดังนั้นการเก็บรักษาขนมชั้นที่อุณหภูมิแช่เย็นในสภาวะบรรยากาศ จึงมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีมากกว่าการบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ

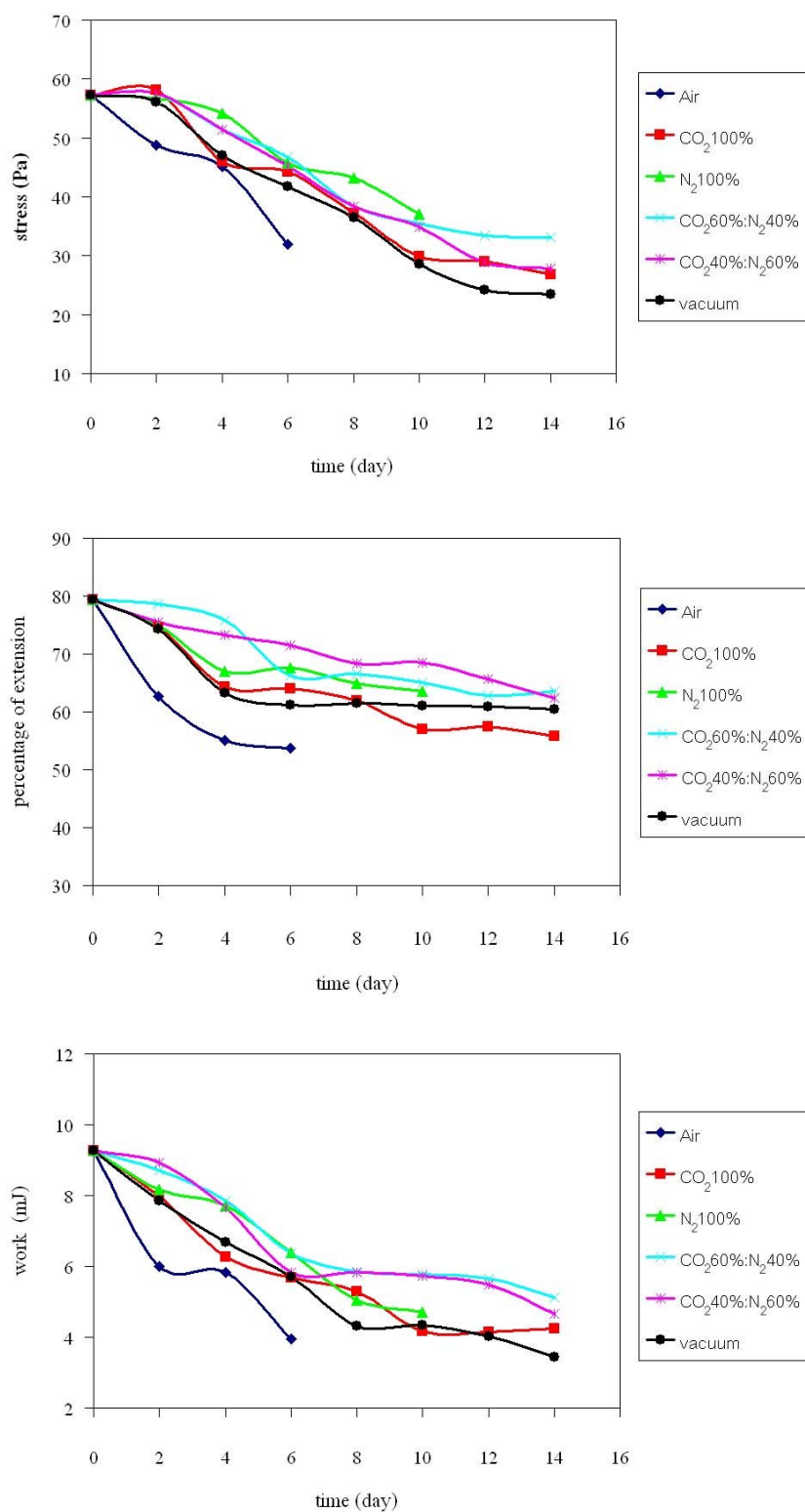
ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมชั้นที่เก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ และตารางภาคผนวกที่ จ1 และผลการทดสอบแรงดึงของขนมชั้นที่เก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10 ตามลำดับ และตารางภาคผนวกที่ จ1 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น มีค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) springiness ลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น แต่ค่า cohesiveness มีการ



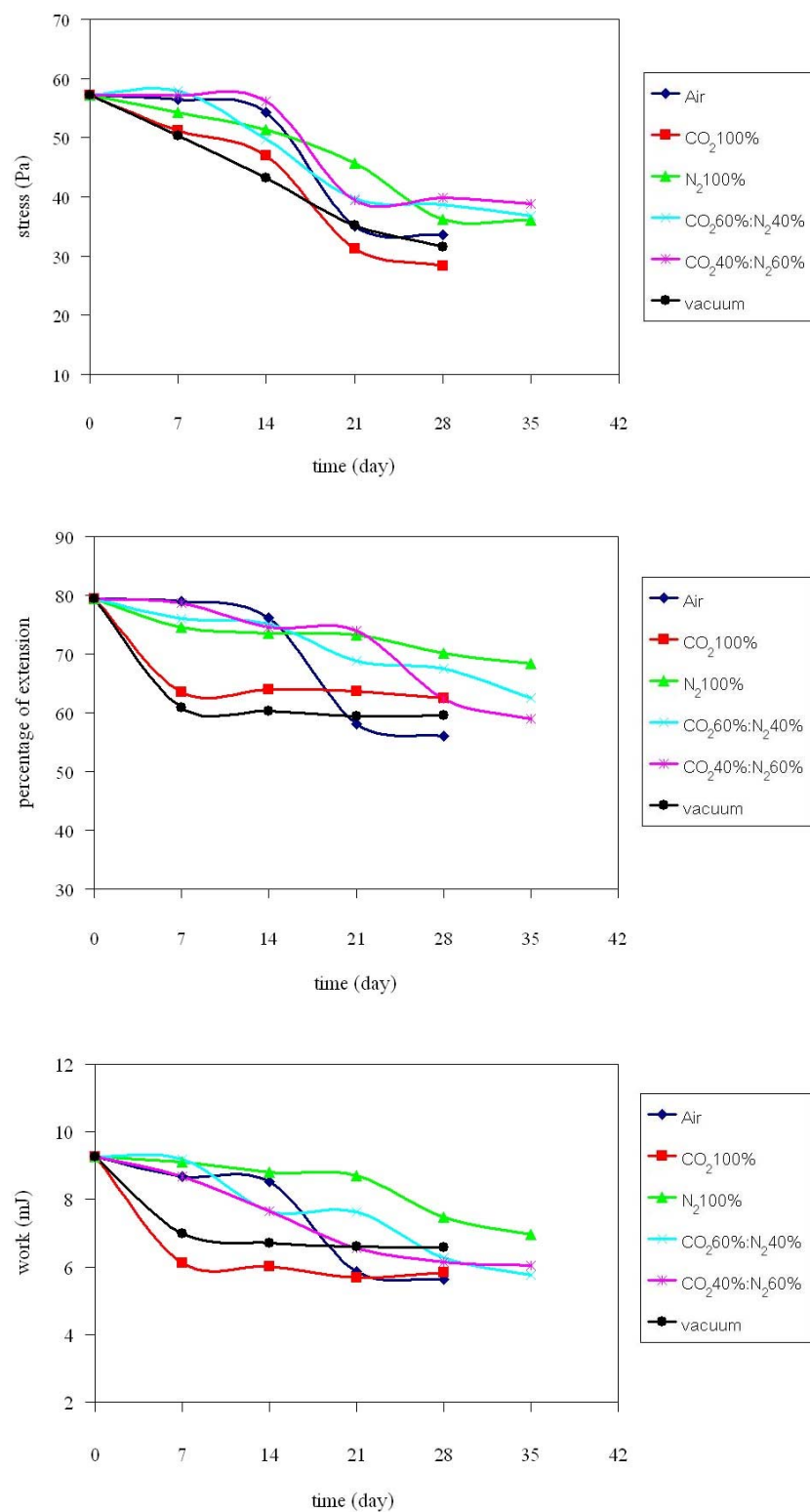
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของค่าเนื้อสัมผัสของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ)



ภาพที่ 9 การทดสอบแรงดึงของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา และที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)



ภาพที่ 10 การทดสอบแรงดึงของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา และที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ)

เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ($p \leq 0.05$) สำหรับค่า stress, percentage of extension และ work พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ขนมหั้วมีค่า stress, percentage of extension และ work ลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น แสดงว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ขนมหั้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีความเหนียวและแรงที่ใช้ในการดึงให้ตัวอย่างขาดลดลง ตลอดอายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของขนมหั้วที่เก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ เป็นผลมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้ว ขึ้นอยู่กับปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในโมเลกุลสตาร์ช และการจัดเรียงตัวกันใหม่ของสายโซ่อะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่ทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) (Van soest *et al.*, 1994; Lii *et al.*, 2004) การเกิดรีโทรกราเดชันของเจลาสตาร์ชมี 2 ระยะคือ ระยะสั้นเกิดจากโมเลกุลของอะมิโลสที่จับกันเกิดเป็นโครงสร้างของเจลที่ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible gelation) และระยะยาวเกิดจากโมเลกุลของอะมิโลเพกตินที่จับตัวกันแต่สามารถผันกลับได้ (reversible crystallization) (Miles *et al.*, 1985) โมเลกุลอะมิโลเพกตินสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้โดยเกิดจากการรวมตัวกันของกิ่งที่สั้น และใช้เวลาในการเกิดนานกว่าอะมิโลส (Jane and Royby, 1984) แป้งส่วนใหญ่จะมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ซึ่งจะเกิดรีโทรกราเดชันได้ช้า ๆ จึงมักสร้างปัญหาให้กับผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) นอกจากนี้การเกิดรีโทรกราเดชันยังขึ้นกับค่า pH กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2546) กล่าวว่า pH มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง โดยแป้งสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วที่สุดในช่วง pH 5-7 จากผลการตรวจคุณภาพพบว่าขนมหั้วทุกสิ่งทดลอง มี pH อยู่ในช่วง 6.45-6.59 ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้ดี ดังนั้นจากการวัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมหั้วในระหว่างการเก็บรักษาจึงพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นขนมหั้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และมีความเหนียวลดลง เพราะการเกิดรีโทรกราเดชันที่เพิ่มขึ้นของสตาร์ชมีผลทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาขนมหั้วที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $\text{CO}_2 100\%$ และสภาวะสุญญากาศ เปรียบเทียบกับขนมหั้วที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $\text{CO}_2 60\%:\text{N}_2 40\%$ และ $\text{CO}_2 40\%:\text{N}_2 60\%$ ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน พบว่า ขนมหั้วที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $\text{CO}_2 100\%$ และสภาวะสุญญากาศ มีค่า hardness มากกว่า และค่า stress น้อยกว่าขนมหั้วที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $\text{CO}_2 60\%:\text{N}_2 40\%$ และ $\text{CO}_2 40\%:\text{N}_2 60\%$ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชที่

เพิ่มขึ้น และการเกิดชินเนอริซีของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂100% และสภาวะสูญญากาศ โดยจากการสังเกต พบว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂100% และสภาวะสูญญากาศ ฤดูกาลจะยุบและหดรัศมี เพราะเนื่องจากเกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายนอกและภายในภาชนะ โดยการบรรจุแบบสูญญากาศ เป็นการดึงเอาอากาศออกจากภายในภาชนะและภายในผลิตภัณฑ์ และไม่มีการพ่นก๊าซใด ๆ เข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายนอกและภายในภาชนะ ส่วนการใช้ CO₂100% ในการบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนละลายในผลิตภัณฑ์ และมีบางส่วนซึมผ่านถุงออกไป ความดันภายในถุงจึงลดลง (งามทิพย์, 2538) ความดันจากภายนอกบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยนิธิยา (2545) กล่าวว่า ความดันมีผลต่อการเกิดชินเนอริซี คือ เมื่อความดันเพิ่มขึ้น จะเกิดชินเนอริซีได้มากขึ้น ดังนั้นขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂100% และสภาวะสูญญากาศ จึงมีค่า hardness มากกว่า และค่า stress น้อยกว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่า ขนมชั้นจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง มีสีเขียวช้ำ และมีน้ำแยกตัวออกมาอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันและการเกิดชินเนอริซีของสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชจะเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง (Colwell *et al.*, 1969) และการเก็บขนมชั้นที่อุณหภูมิต่ำทำให้ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ชแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเกลี้ยง ซึ่งเรียกว่าการเกิดชินเนอริซี (Whistle and BeMiller, 1999) ดังนั้นจึงทำให้ขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีลักษณะแข็งด้าน จับตัวกันเป็นก้อน มีสีเขียวช้ำ และมีน้ำแยกตัวออกมาอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า hardness ของขนมชั้นทุกสิ่งทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบกับขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่า มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากก่อนนำขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมาวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ได้นำขนมชั้นมาผ่านความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ แล้วรอให้ขนมชั้นมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อน แล้วนำมาวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส จึงทำให้ค่าความแข็งของขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ไม่แตกต่างกับขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.2.1 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมชั้นที่เก็บในสภาวะต่าง ๆ ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ โดยการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา ผลการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมชั้นที่เก็บในสภาวะต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.3×10^6 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน ($< 1 \times 10^6$ โคโลนีต่อกรัม) แต่ลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบยังคงยอมรับ และตรวจพบเชื้อยีสต์และราในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เป็นจำนวน 9.1×10^3 โคโลนี/กรัม เนื่องจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ มีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขนมชั้น จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ต่อในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ดังนั้นขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษา 2 วัน ส่วนขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $N_2 100\%$ พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8×10^6 โคโลนีต่อกรัม และตรวจพบเชื้อยีสต์และราในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา เป็นจำนวน 1.7×10^4 โคโลนี/กรัม เนื่องจากวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $N_2 100\%$ มีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขนมชั้น จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ต่อในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ดังนั้นขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $N_2 100\%$ มีอายุการเก็บรักษา 6 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และสำหรับขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะ $CO_2 100\%$, $CO_2 60\%:N_2 40\%$, $CO_2 40\%:N_2 60\%$ และสุญญากาศ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นในอัตราเร็วที่ช้ากว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศและมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานในระหว่างการเก็บรักษา และตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา ตลอดอายุการเก็บรักษา คือ 14 วัน เนื่องจากวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะ $CO_2 100\%$, $CO_2 60\%:N_2 40\%$, $CO_2 40\%:N_2 60\%$ และสุญญากาศ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคแล้ว จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ต่อในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา แสดงว่า การบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $CO_2 100\%$, $CO_2 60\%:N_2 40\%$, $CO_2 40\%:N_2 60\%$ และสภาวะสุญญากาศ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการบรรจุขนมชั้นในสภาวะบรรยากาศ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สำหรับผลการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่า ให้ผลในทำนองเดียวกันกับขนมชั้นในแต่ละสิ่งทดลองที่

เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง คือ การบรรจุขนมนั้นในสภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการบรรจุขนมนั้นในสภาวะบรรยากาศ แต่ที่อุณหภูมิแช่เย็นมีอัตราการเจริญเติบโตของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดช้ากว่าที่อุณหภูมิห้อง และตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และราในขนมนั้นทุกสิ่งทดลองระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 13 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) และปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) ของขนมนั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)								
บรรยากาศ	6.5×10^1	5.1×10^3	3.3×10^6	$1.7 \times 10^7^*$	-	-	-	-
CO ₂ 100%	6.5×10^1	1.5×10^2	8.4×10^2	2.9×10^3	4.1×10^3	6.7×10^3	5.0×10^4	9.8×10^4
N ₂ 100%	6.5×10^1	8.4×10^3	3.6×10^4	9.1×10^5	1.8×10^6	$2.1 \times 10^7^*$	-	-
CO ₂ 60%:N ₂ 40%	6.5×10^1	8.3×10^2	1.7×10^3	7.5×10^3	3.2×10^4	4.5×10^4	1.9×10^5	2.2×10^5
CO ₂ 40%:N ₂ 60%	6.5×10^1	1.3×10^3	8.7×10^3	1.6×10^4	4.9×10^4	2.5×10^5	3.7×10^5	4.9×10^5
สุญญากาศ	6.5×10^1	1.1×10^2	4.7×10^2	1.5×10^3	2.3×10^3	3.9×10^3	3.5×10^4	7.4×10^4
ยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)								
บรรยากาศ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	$9.1 \times 10^3^*$	-	-	-	-
CO ₂ 100%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
N ₂ 100%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	$1.7 \times 10^4^*$	-	-
CO ₂ 60%:N ₂ 40%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
CO ₂ 40%:N ₂ 60%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
สุญญากาศ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากมีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขนมนั้น

* หมายถึง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด หรือปริมาณยีสต์และรา ที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อมีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขนมนั้น

ตารางที่ 14 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) และปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) ของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตลอดอายุการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)						
	0	7	14	21	28	35	42
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)							
บรรยากาศ	6.5×10^1	4.2×10^2	2.5×10^4	8.9×10^4	-	-	-
CO ₂ 100%	6.5×10^1	1.1×10^2	1.6×10^2	2.8×10^3	2.3×10^4	-	-
N ₂ 100%	6.5×10^1	2.5×10^2	2.7×10^2	3.4×10^3	8.4×10^4	1.2×10^5	-
CO ₂ 60%:N ₂ 40%	6.5×10^1	2.2×10^2	2.6×10^2	4.1×10^3	5.8×10^4	9.5×10^4	-
CO ₂ 40%:N ₂ 60%	6.5×10^1	3.2×10^2	4.7×10^2	5.1×10^3	6.9×10^4	2.9×10^5	-
สุญญากาศ	6.5×10^1	1.2×10^2	3.9×10^2	2.7×10^3	1.3×10^4	-	-
ยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)							
บรรยากาศ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
CO ₂ 100%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-
N ₂ 100%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-
CO ₂ 60%:N ₂ 40%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-
CO ₂ 40%:N ₂ 60%	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-
สุญญากาศ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากคุณภาพของตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 14 จะเห็นได้ว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น จะทำการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราถึงวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ส่วนขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂100% และสภาวะสุญญากาศ จะทำการตรวจวัดปริมาณเชื้อถึงวันที่ 28 ของการเก็บรักษา และขนมชั้นที่บรรจุในในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N₂100%, CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60% จะทำการตรวจวัดปริมาณเชื้อถึงวันที่ 35 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากขนมชั้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่

ยอมรับของผู้บริโภคแล้ว จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ, ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ และขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นต่อในวันที่ 28, 35 และ 42 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น พบว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการเจริญเติบโตของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเร็วกว่าที่อุณหภูมิแช่เย็น ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และตรวจพบปริมาณยีสต์และราในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐาน และตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และราระหว่างการเก็บรักษา แสดงว่าการเก็บรักษาขนมชั้นที่อุณหภูมิแช่เย็นสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อลดอุณหภูมิลง กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตจะลดลง โดยปกติระยะเวลาที่เชื้อใช้ในการแบ่งเซลล์ จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทุก ๆ อุณหภูมิที่ลดลง 10°C มีผลทำให้ระยะแบ่งตัวในการเติบโตของเซลล์ลดลง (บุญกร, 2547) และเนื่องจากอุณหภูมิแช่เย็นที่ใช้ในการเก็บรักษามีค่า $4\pm 1^\circ\text{C}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อในกลุ่มมิโซฟายต์เติบโตได้ คือ 10°C จึงทำให้เชื้อเหล่านี้เติบโตช้าลงในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10°C (บุญกร, 2547; Dennis and Stringer, 1992)

เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น พบว่า จุลินทรีย์จะถูกยับยั้งการเจริญเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการลดลงของอุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Gill and Tan (1980) ที่พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการลดอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์มากขึ้น นอกจากนี้ Gill and Tan ยังได้เสนอว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการปรับบรรยากาศนั้นควรมีความเข้มข้นมากกว่า 20% การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ดี และเกิดปฏิกิริยาได้เป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งกรดคาร์บอนิกมีผลโดยตรงต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Zygory, 1994; Blakistone, 1999) ดังนั้นการบรรจุขนมชั้นในสภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ จึงมี

ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าที่บรรยากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guynot *et al.* (2003) พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของผักเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ โดยเมื่อระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณช่องว่างเหนืออาหารเพิ่มขึ้น จาก 0 เป็น 70% จะทำให้ระยะแบ่งตัวของเชื้อราที่เป็นสาเหตุให้ผักเกิดการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า นอกจากนี้ Ooraikul (1991) ยังได้ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของครัมเปต ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ โดยการใส่สารยับยั้งเชื้อราลงไปในผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการอบสุกแล้วมีความชื้น 47-52 % ค่า a_w เท่ากับ 0.9 และ pH ประมาณ 7 นำมาบรรจุในถุง K-nylon/LLDPE หนา 90 ไมครอน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 0 ถึง 100% พบว่าอายุการเก็บรักษาที่ 25 °ซ เพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป นอกจากนี้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง (Wolfe, 1980; Daniels *et al.*, 1985) ดังนั้นนมชั้นที่บรรจุในสถานะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยและเติบโตช้ากว่านมชั้นที่บรรจุในสถานะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Eklund and Jarmund (1983) ที่กล่าวว่าสถานะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 20 °ซ นั้น จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาเท่านั้น หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วเหมือนกับการเจริญของจุลินทรีย์ในสถานะบรรยากาศปกติ แต่เมื่อลดอุณหภูมิการเก็บรักษาจาก 20 °ซ เป็น 6 และ 2 °ซ พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 6 และ 2 °ซ และ Blickstad and Molin (1983) รายงานว่า เนื้อหมูที่เก็บรักษาภายใต้สถานะปรับบรรยากาศที่อุณหภูมิ 0 °ซ สามารถเก็บรักษานานกว่าเนื้อหมูที่เก็บในสถานะบรรยากาศปกติถึง 6 เท่า และ 4 เท่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ

เมื่อพิจารณานมชั้นที่บรรจุในสถานะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% เปรียบเทียบกับนมชั้นที่บรรจุในสถานะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า นมชั้นที่บรรจุในสถานะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณมากและเติบโตเร็วกว่านมชั้นที่บรรจุในสถานะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตรวจพบปริมาณยีสต์และราในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ละลายน้ำได้น้อย จึงไม่มีผลโดยตรงในการยับยั้งการเจริญ

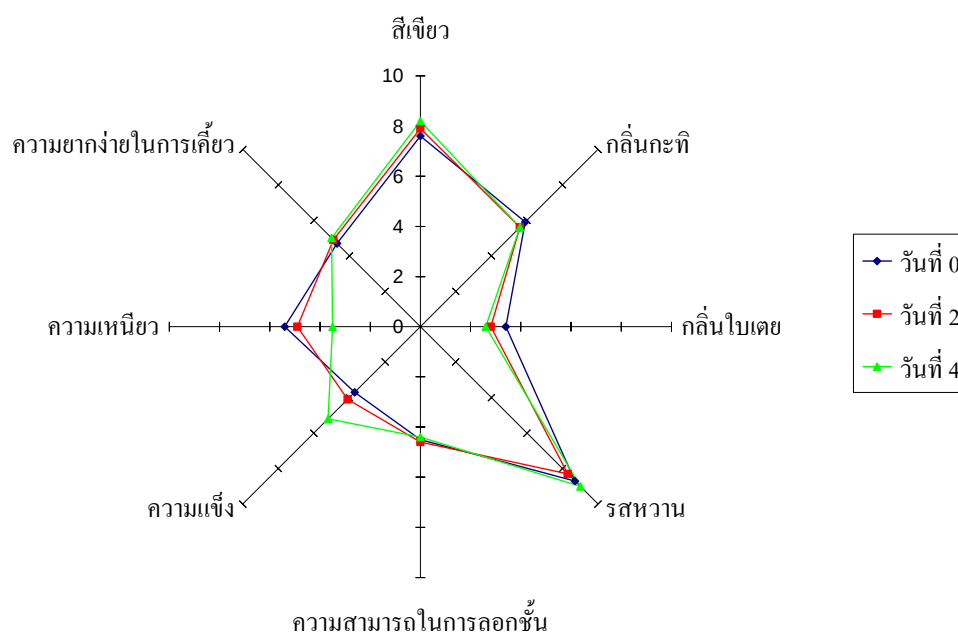
ของจุลินทรีย์เหมือนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถละลายน้ำได้ดี เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งมีผลโดยตรงในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Oraikul, 1991; Blakistone, 1999) แต่การที่ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ในช่วงแรกนั้น เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนในสภาพบรรยากาศ ทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ เช่น แบคทีเรียที่ชอบอากาศและเชื้อราทั่วไป ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (ปราณี, 2544) และการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงหลังของการเก็บรักษา และตรวจพบปริมาณยีสต์และราในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา อาจเนื่องจากการบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% สภาพบรรยากาศในภาชนะบรรจุไม่ได้มีแต่ก๊าซไนโตรเจนเท่านั้น แต่อาจมีปริมาณก๊าซออกซิเจนหลงเหลืออยู่ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากฝาที่ปิดถาดขนมชั้นไม่ได้แนบสนิทกับผิวหน้าขนมชั้นอย่างสมบูรณ์ อาจทำให้มีก๊าซออกซิเจนหลงเหลืออยู่ ซึ่งก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่เชื้อราต้องการในการเจริญ ดังนั้นจึงตรวจพบปริมาณยีสต์และราในช่วงหลังของการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ เปรียบเทียบกับขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ และสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น พบว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราใกล้เคียงกับขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุในสภาวะสุญญากาศเป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สุญญากาศ โดยการดึงเอาอากาศภายในภาชนะและหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีการพ่นก๊าซใด ๆ เข้าไปแทนที่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากผลิตภัณฑ์ให้หมด เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเช่นเดียวกับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ (งามทิพย์, 2538; Brody, 1989) ดังนั้นการบรรจุขนมชั้นในสภาวะสุญญากาศ จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามในสภาพไร้ก๊าซออกซิเจน หรือมีก๊าซออกซิเจนในปริมาณต่ำ ๆ เชื้อจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (anaerobe) และชนิดที่สามารถเติบโตได้ในทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกที่ทำให้อาหารเป็นพิษ เช่น *C. botulinum* และ *S. aureus* เป็นต้น และพวกที่ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ เช่น แลคติกแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) สามารถ

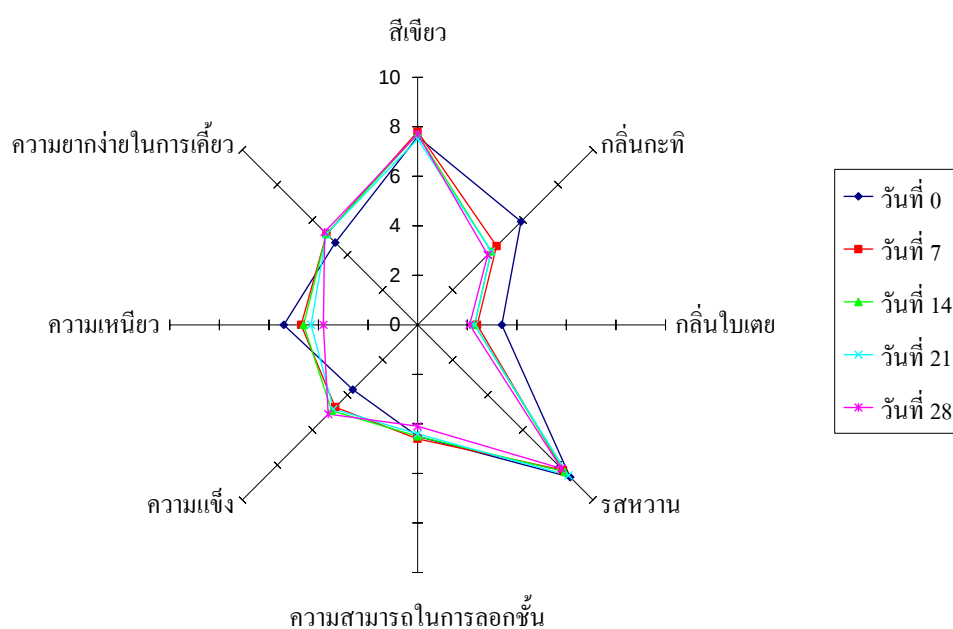
เจริญเติบโตได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของวาลิกา (2548) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมันชั้นที่เก็บในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง (30°C) และมีค่า a_w เท่ากับ 0.95 มีปริมาณแลกติกแอซิดแบคทีเรียเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบปริมาณแลกติกแอซิดแบคทีเรียสูงถึง 5.2×10^7 โคโลนีต่อกรัม ขนมันชั้นมีความผิดปกติคือมีกลิ่นเหม็นบูดและมีน้ำเยิ้มเหนียวคล้ายเมือก แยกออกมาจากผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน และพบว่าขนมันชั้นที่เก็บในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 7°C มีการเจริญของเชื้อแลกติกแอซิดแบคทีเรียช้ากว่าที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจาก a_w ของผลิตภัณฑ์มีค่าค่อนข้างสูง จึงทำให้เชื้อแลกติกแอซิดแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้

3.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

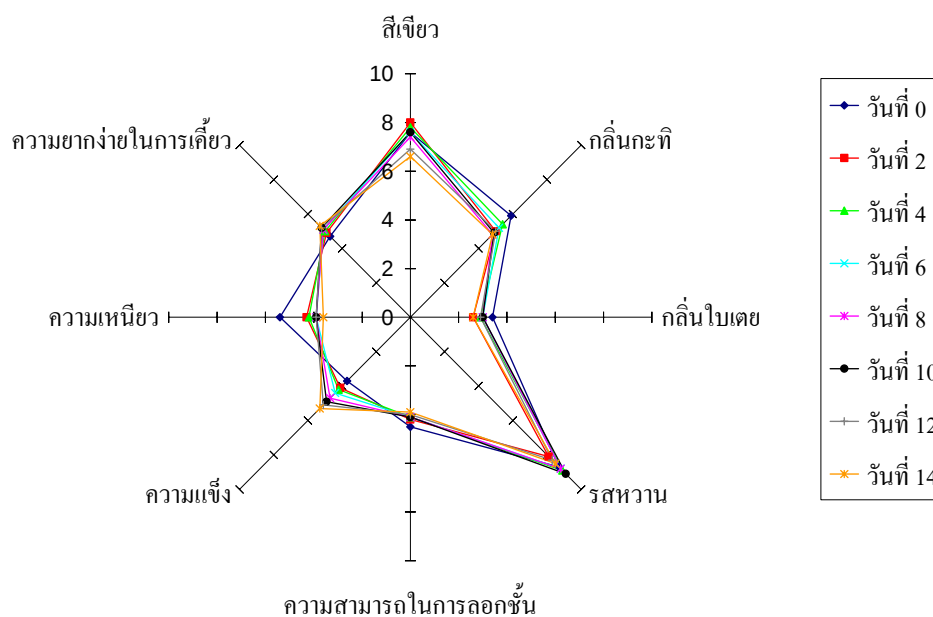
จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมันชั้นที่เก็บรักษาในสภาวะต่างๆ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนาแบบเชิงปริมาณ โดยการให้คะแนนความเข้ม ใช้สเกลเส้นตรงความยาว 15 เซนติเมตร ประเมินโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ซึ่งคุณลักษณะของขนมันชั้นที่ผู้ทดสอบให้ความสำคัญ ได้แก่ สีเขียว กลิ่นกะทิ กลิ่นใบเตย รสหวาน ความสามารถในการลอกชั้น ความแข็ง ความเหนียว และความยากง่ายในการเคี้ยว โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพดังกล่าว ร่วมกับวิธี overall quality rating ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 11-22 และตารางภาคผนวกที่ ๓ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมันชั้นทุกสิ่งทดลองทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น มีค่าคะแนนความเข้มเฉลี่ยในด้านสีเขียวและรสหวานไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าคะแนนความเข้มเฉลี่ยในด้านกลิ่นกะทิลดลงทุกสิ่งทดลอง ยกเว้นขนมันชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีกลิ่นกะทิไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อรา ก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นกะทิ ส่วนกลิ่นใบเตยมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาขนมันชั้นไว้ที่อุณหภูมิห้อง แต่มีค่าลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาขนมันชั้นไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยกลิ่นกะทิ และกลิ่นใบเตยที่ลดลง เนื่องจากอาจมีการระเหยของกลิ่นออกมาในระหว่างการเก็บรักษา และการนำขนมันชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมาผ่านความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ ก่อนการทดสอบทางประสาทสัมผัสอาจทำให้มีการสูญเสียของกลิ่นได้เช่นกัน สำหรับด้านความสามารถในการลอกชั้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ขนมันชั้นที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศ สภาวะปรับบรรยากาศที่มี $\text{N}_2 100\%$, $\text{CO}_2 60\%:\text{N}_2 40\%$ และ $\text{CO}_2 40\%:\text{N}_2 60\%$ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ค่าความสามารถในการลอกชั้นมีแนวโน้มลดลง (ดึงลอกชั้นได้ง่ายขึ้น) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และขนมันชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $\text{CO}_2 100\%$



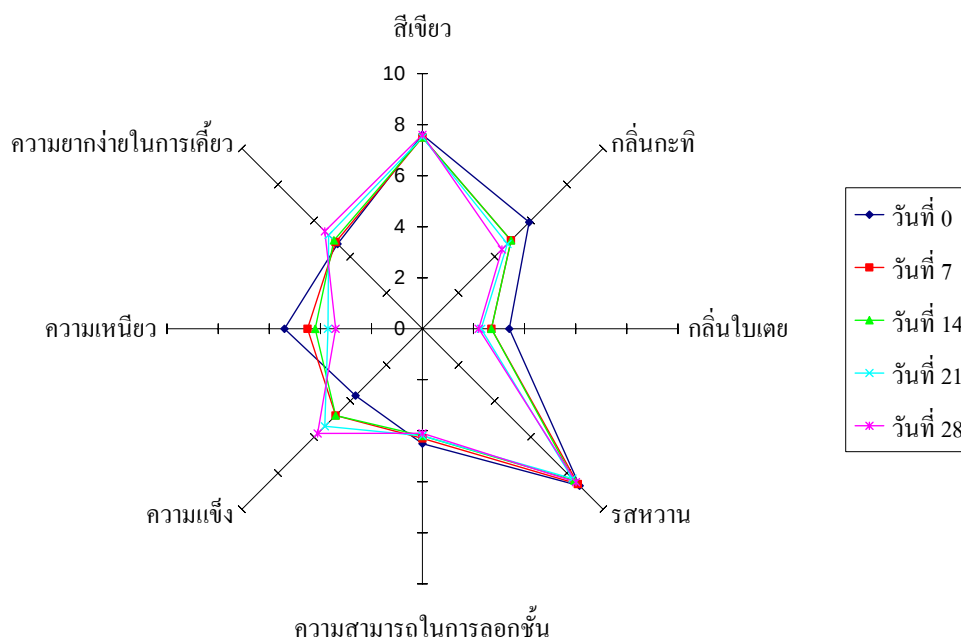
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33±2 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



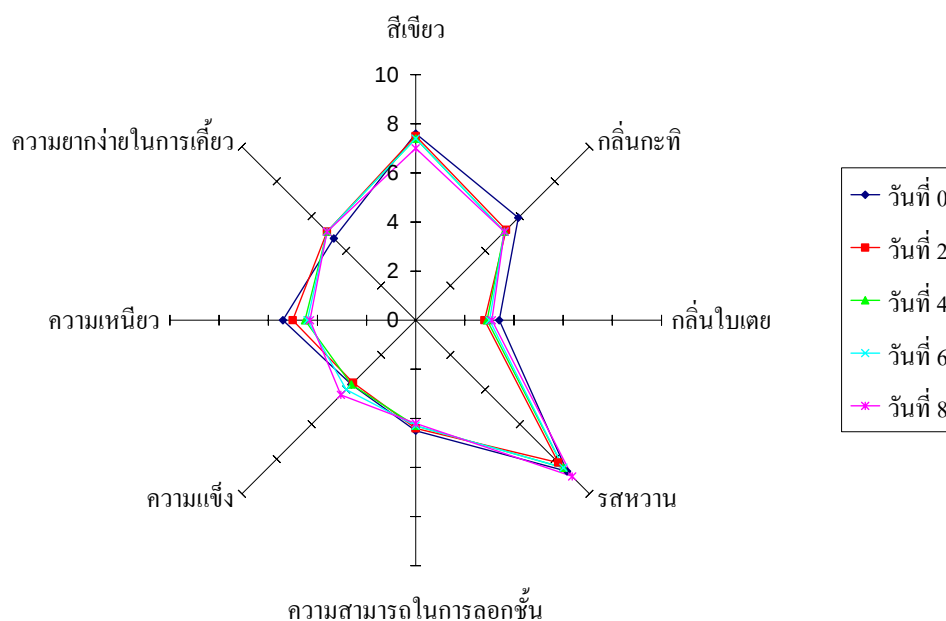
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4±1 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



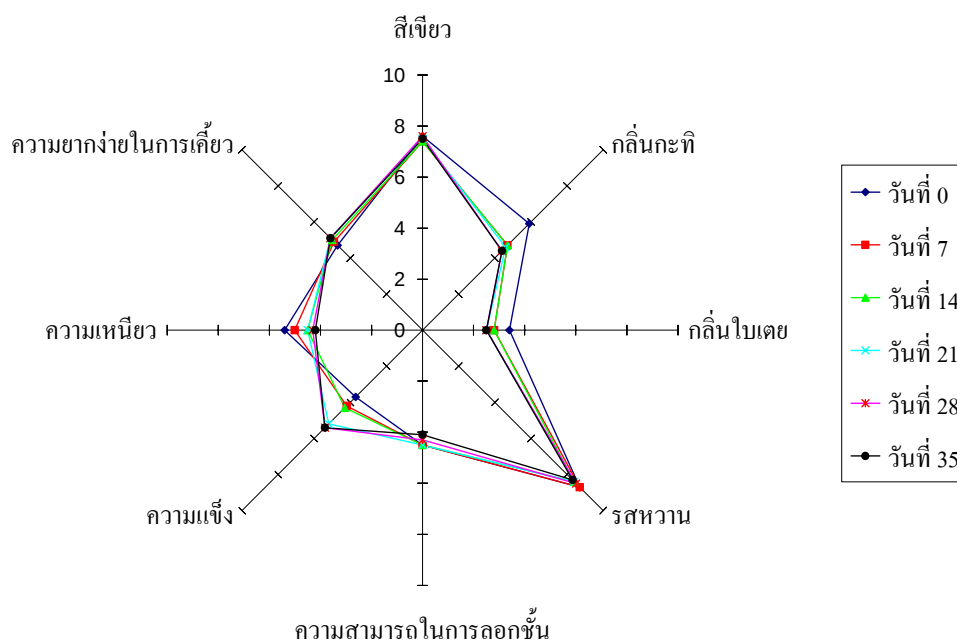
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี CO₂ 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33±2 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



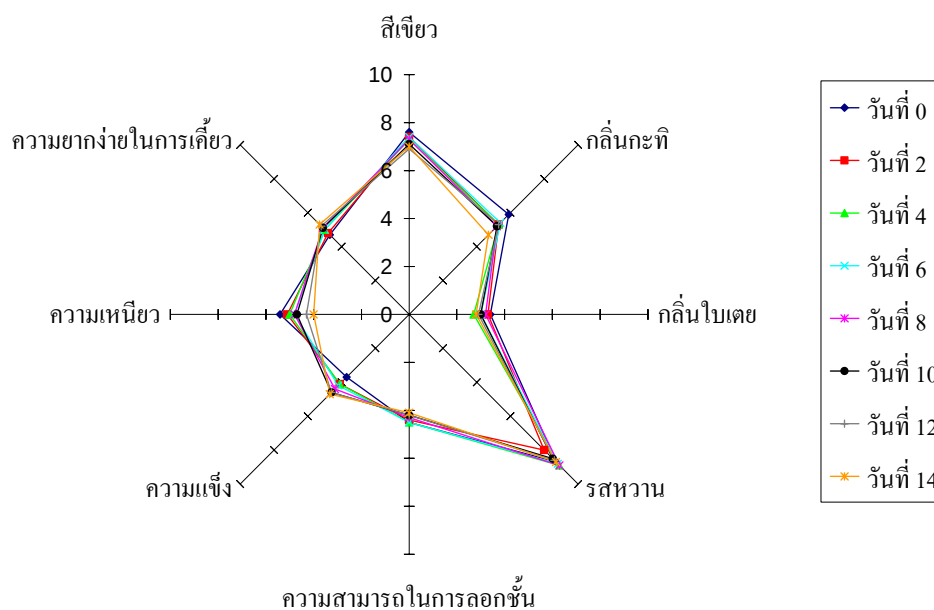
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี CO₂ 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4±1 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



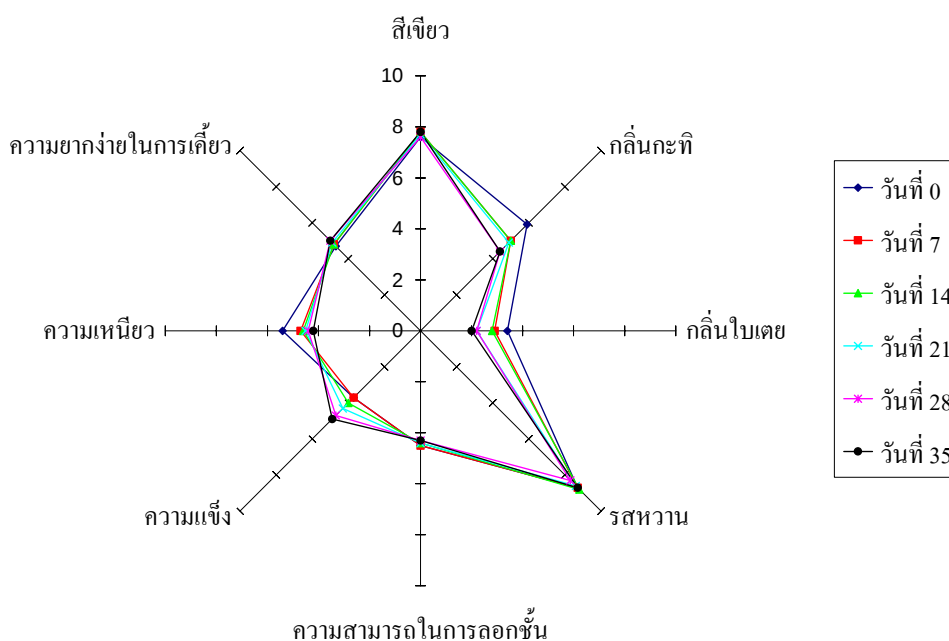
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมหั่นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



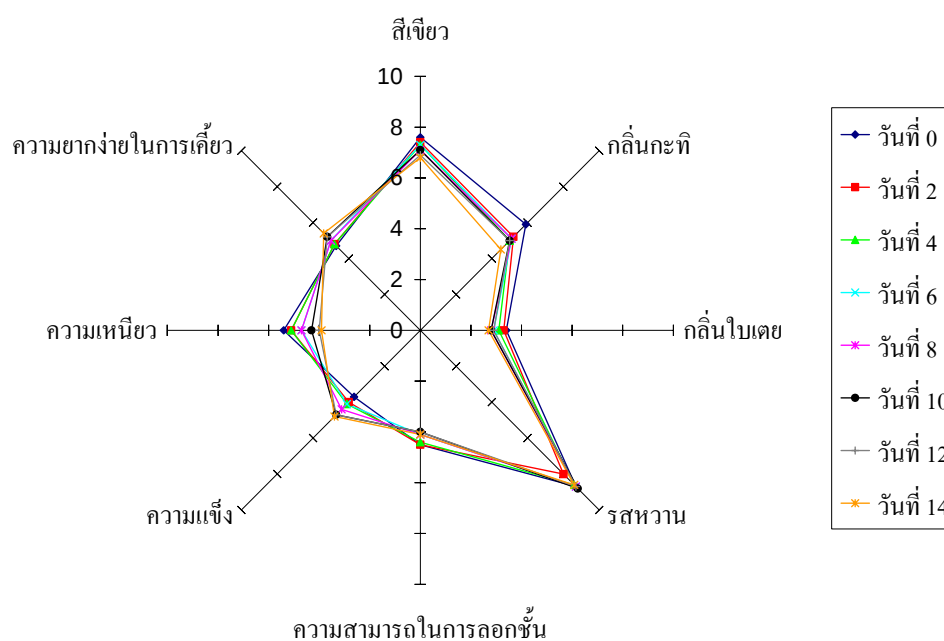
ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมหั่นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



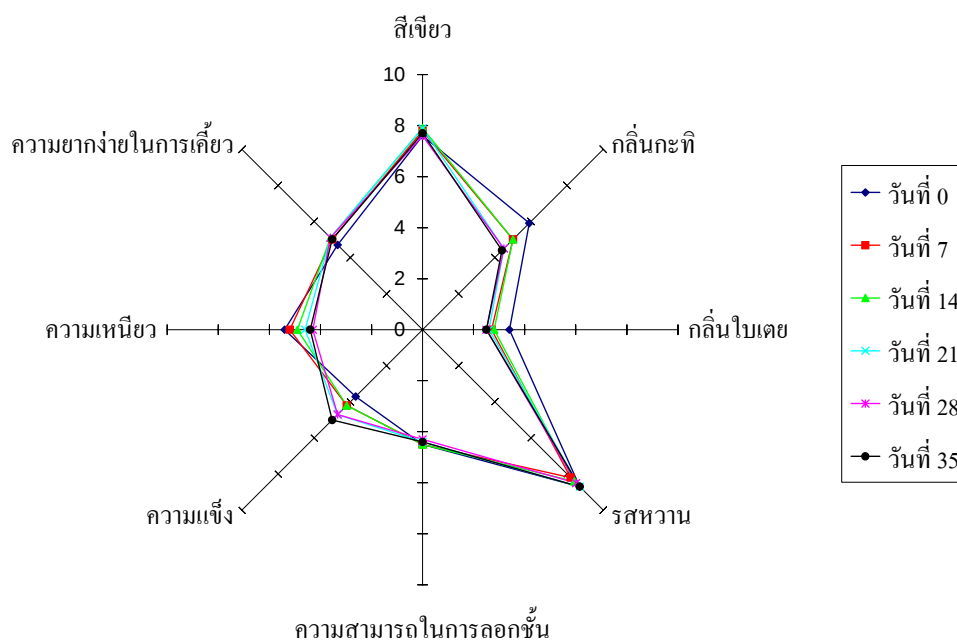
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี CO₂60%:N₂40% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33±2 °ซ) ตลอดอายุการเก็บ
รักษา



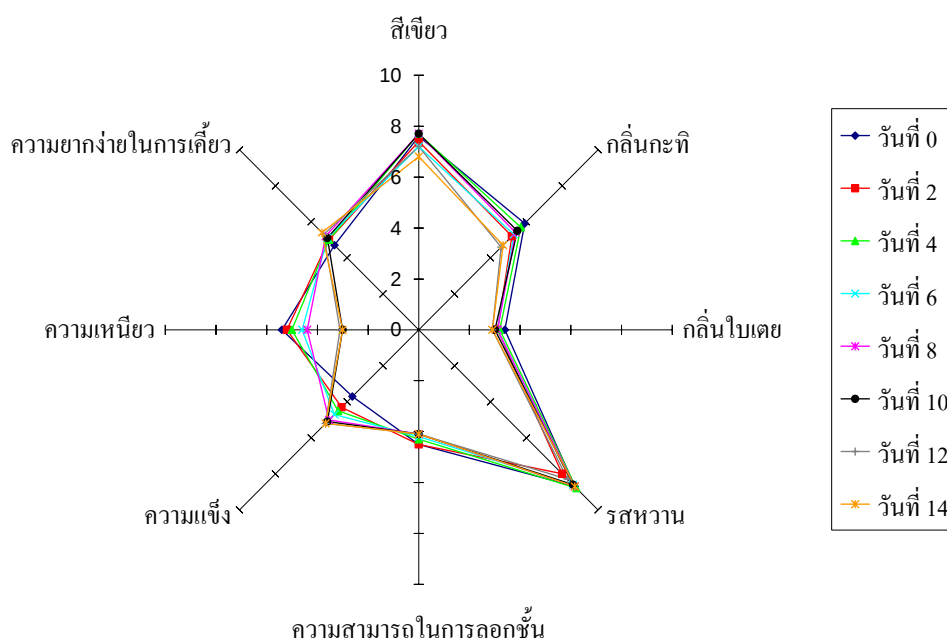
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี CO₂60%:N₂40% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4±1 °ซ) ตลอดอายุการเก็บ
รักษา



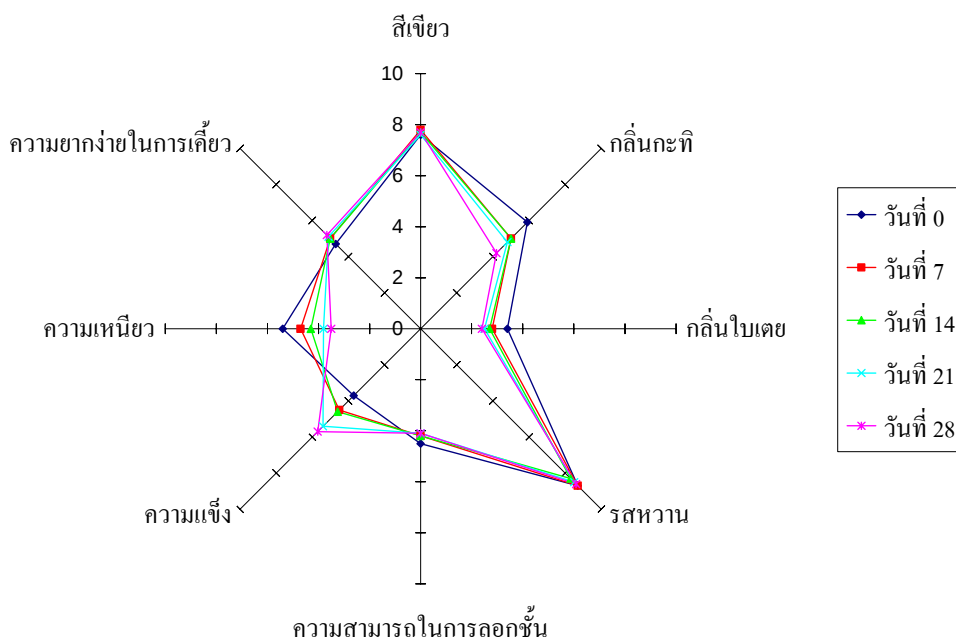
ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมหั่นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี CO₂ 40%:N₂ 60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33±2 °ซ) ตลอดอายุการเก็บ
รักษา



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมหั่นที่บรรจุในสภาวะปรับ
บรรยากาศที่มี CO₂ 40%:N₂ 60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4±1 °ซ) ตลอดอายุการเก็บ
รักษา



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขมชั้นที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขมชั้นที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ) ตลอดอายุการเก็บรักษา

และสภาวะสุญญากาศ มีค่าความสามารถในการลอกชั้นลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลในด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง ความเหนียว และความยากง่ายในการเคี้ยว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมนั้นในทุกสิ่งทดลองมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความเหนียวลดลงทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และความยากง่ายในการเคี้ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส คือ เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นขนมนั้นจะมีความแข็งและความยากง่ายในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น มีความเหนียวลดลง เนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น และการเกิดซินเนอริซีซของผลิตภัณฑ์ ทำให้เจลแป็งมีความแข็งเพิ่มขึ้น (Pomeranz, 1991) โดยความแข็งที่เพิ่มขึ้น และความเหนียวที่ลดลง ทำให้ขนมนั้นจับตัวกันระหว่างชั้นมากขึ้น มีผลให้สามารถดึงลอกชั้นขนมนั้นได้ง่าย เพราะชั้นของขนมไม่เหนียวติดกัน ทำให้ใช้แรงในการลอกชั้นน้อยกว่า

ดังนั้นจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมนั้น พบว่า ขนมนั้นมีคุณลักษณะในด้านรสหวานเค็มชัด และเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ขนมนั้นทุกสิ่งทดลองทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็นมีคุณลักษณะในด้านความแข็ง และความเหนียวเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ขนมนั้นมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่มีความเหนียวลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช และการเกิดซินเนอริซีซของผลิตภัณฑ์

สำหรับผลด้านการทดสอบการยอมรับของขนมนั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3 เมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษาของขนมนั้นโดยกำหนดจากระยะเวลาที่สังเกตไม่พบเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ (mould-free shelf life) พบว่า ขนมนั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศและสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $N_2 100\%$ มีคะแนนเฉลี่ยของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน อยู่ในช่วง 7.8-5.7 และ 7.8-6.0 ตลอดอายุการเก็บรักษา คือ 4 และ 8 วัน ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากขนมนั้นมีการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อรา ก่อน จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ต่อในวันที่ 6 และ 10 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษาของขนมนั้นตามเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารพร้อมบริโภคที่กำหนดโดยกองอาหารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2547) ซึ่งกำหนดให้อาหารปรุงสุกทั่วไปที่ปลอดภัยต่อการบริโภคต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม พบว่า ขนมนั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศและสภาวะปรับบรรยากาศที่มี $N_2 100\%$ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานตั้งแต่วันที่ 4 และ 6 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ ดังนั้นขนมนั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ

และสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% จึงมีอายุการเก็บรักษา 2 และ 4 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ก่อนการไม่ยอมรับทางประสาทสัมผัส ส่วนขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ พบว่า ในช่วง 0-10 วัน ขนมชั้นมีคะแนนเฉลี่ยของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวมอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ แต่ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวมเท่ากับ 4.8 และ 4.7 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง ไม่เหนียว และเคี้ยวยากขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ทำให้เจลแป้งมีความแข็งเพิ่มขึ้น (Pomeranz, 1991) แสดงว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิห้อง สำหรับขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% พบว่า ในช่วง 0-12 วัน ของการเก็บรักษา ขนมชั้นมีค่าคะแนนเฉลี่ยของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวมอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ แต่ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวมเท่ากับ 3.8 และ 3.6 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง ไม่เหนียว และเคี้ยวยากขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ แสดงว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% มีอายุการเก็บรักษา 12 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แต่จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง และความเหนียวมากและเร็วกว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% จนทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เร็วกว่า เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น และการเกิดซินเนอริซีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับการวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส นอกจากนี้จากการทดลองจะสังเกตได้ว่า การเกิดซินเนอริซีของขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเกิดได้ช้ากว่าและไม่ชัดเจนเท่ากับขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น คือ ไม่พบว่ามีน้ำแยกออกมาอย่างชัดเจนจากผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิต่ำเป็นปัจจัยเร่งที่ทำให้เกิดซินเนอริซี โดยเมื่อลดอุณหภูมิในการเก็บให้ต่ำลง จะทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ชแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเกล็ด (Whistle and BeMiller, 1999) ทำให้สังเกตเห็นน้ำแยกออกมาอย่างชัดเจนจากขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศมีปริมาณ

น้ำแยกออกมามากกว่าขนมชั้นที่เก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% และที่มีอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนที่อัตราส่วนเท่ากับ 60:40 และ 40:60

สำหรับผลการทดสอบการยอมรับของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ได้ผลดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ๓ พบว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ส่วนขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา และขนมชั้นบรรจุในสภาวะ N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ในวันที่ 35 ของการเก็บรักษา แสดงว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 14 วัน ส่วนขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 21 วัน และขนมชั้นบรรจุในสภาวะ N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 28 วัน ก่อนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐาน โดยลักษณะที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ คือ ขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง ไม่เหนียว และมีน้ำเชื่อมเหนียวติดมือเวลาจับ เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช และการเกิดซินเนอรีซิสของผลิตภัณฑ์ โดยการเกิดรีโทรกราเดชันจะเกิดได้ดียิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ส่วนการเกิดซินเนอรีซิสจะพบการเปลี่ยนแปลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น คือ มีน้ำแยกตัวออกมา หลังจากนำขนมชั้นผ่านความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ ทำให้น้ำตาลละลายกับน้ำ เกิดน้ำเชื่อมเหนียวบนขนม ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้ขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง ไม่เหนียว และมีน้ำเชื่อมเหนียวติดมือเวลาจับ และจากการทดลองจะเห็นได้ว่า ขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง และความเหนียวมากและเร็วกว่าขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% เป็นผลเนื่องมาจากการบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายนอกและภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดซินเนอรีซิส สังเกตได้จากขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% ถูกลดลงจะยุบและหดรัศภาชนะในช่วงหลังของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพผนวกที่ ๓ (ข) ส่วนในขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ ถูกลดลงจะยุบและหดรัศภาชนะทันทีหลังการบรรจุ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ๓ (ค) เนื่องจากเกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายนอกและภายในภาชนะ โดยการบรรจุแบบสุญญากาศ เป็นการดึงเอาอากาศออกจากภายในภาชนะและภายในผลิตภัณฑ์ และไม่

มีการพ่นก๊าซใด ๆ เข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายนอกและภายใน ภาชนะ ส่วนการใช้ CO_2 100% ในการบรรจุ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนละลายในผลิตภัณฑ์ และมีบางส่วนซึมผ่านถุงออกไป ความดันภายในถุงจึงลดลง ดังนั้น การบรรจุขนมชั้นในสภาวะ ปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ จึงเกิดการชินเนอริซีสในผลิตภัณฑ์เร็วกว่า การบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นกว่า ส่วนขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น บรรจุในสภาวะ บรรยากาศปกติ มีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือ 14 วัน เนื่องจากขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง ไม่นุ่ม เหนียว อันเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันและการเกิดชินเนอริซีสในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ขนมชั้นยังมีกลิ่นกะทิ และกลิ่นใบเตยลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากก๊าซ ออกซิเจนในบรรยากาศทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบต่าง ๆ ในอาหาร ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ส่งผลให้กลิ่นกะทิและกลิ่นใบเตยลดลงมาก ดังนั้นขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดที่อุณหภูมิห้อง คือ 12 วัน และขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดที่อุณหภูมิแช่เย็น คือ 28 วัน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพขนมชั้นที่มีการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสม ในอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 100:10 ที่ 6 สภาวะ ได้แก่ บรรยากาศ, สุญญากาศ, CO_2 100%, N_2 100% , CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% เก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง (33 ± 2 °ซ) และอุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 1 °ซ) ซึ่งมีระยะเวลา (วัน) ของแต่ละสิ่งทดลอง แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีการเสื่อมเสียก่อน ซึ่งบ่งบอกถึงอายุการเก็บรักษา ของผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 15 ดังนั้นจากผลการศึกษาการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสม ร่วมกับสภาวะการบรรจุ พบว่า ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศ และสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษา 2 วัน และ 4 วัน ตามลำดับ ขนมชั้นที่ บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษา 12 วัน ขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะ สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษา 10 วัน สำหรับขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะ บรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีอายุการเก็บรักษา 14 วัน ส่วนขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะ ปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% และสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีอายุการเก็บ รักษา 21 วัน และขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N_2 100%, CO_2 60%: N_2 40% และ CO_2 40%: N_2 60% เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีอายุการเก็บรักษา 28 วัน โดยลักษณะของขนมชั้นที่

ตารางที่ 15 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียคุณภาพของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ซึ่งมีระยะเวลา (วัน) ของแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอายุการเก็บรักษา

สภาวะการบรรจุ	อุณหภูมิที่เก็บรักษา		อายุการเก็บรักษา (วัน)	คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่เสื่อมเสีย
	ห้อง	แช่เย็น		
บรรจุอากาศ	✓		2	จุลินทรีย์
CO ₂ 100%	✓		10	ประสาทสัมผัส
N ₂ 100%	✓		4	จุลินทรีย์
CO ₂ 60%:N ₂ 40%	✓		12	ประสาทสัมผัส
CO ₂ 40%:N ₂ 60%	✓		12	ประสาทสัมผัส
สุญญากาศ	✓		10	ประสาทสัมผัส
บรรจุอากาศ		✓	14	ประสาทสัมผัส
CO ₂ 100%		✓	21	ประสาทสัมผัส
N ₂ 100%		✓	28	ประสาทสัมผัส
CO ₂ 60%:N ₂ 40%		✓	28	ประสาทสัมผัส
CO ₂ 40%:N ₂ 60%		✓	28	ประสาทสัมผัส
สุญญากาศ		✓	21	ประสาทสัมผัส

บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น และสภาวะบรรจุอากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ คือ ขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง และไม่เหนียว และสำหรับลักษณะของขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะบรรจุอากาศ และสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N₂100% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ คือ ขนมชั้นมีเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้า

สรุป

จากการสำรวจข้อมูล ทักษะคติ และความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค พบว่า กลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่เห็นด้วยในการนำสมุนไพรมาสวมในขนมชั้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแทนสารเคมีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คิดเป็น 83.5 % และจากการสำรวจการยอมรับของกลุ่มผู้บริโภคถึงการเติมสารหรือก๊าซบางชนิด เช่น ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งไม่เป็นอันตราย (การดัดแปลงบรรยากาศ) เพื่อให้ขนมชั้นมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับ คิดเป็น 80 %

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร 3 ชนิด ที่เติมลงไปในส่วนผสมของขนมชั้น ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (ตะไคร้ 0.4% ตะไคร้ 0.6% อบเชย 0.5% อบเชย 0.7% จิง 0.4% และจิง 0.6%) โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($33 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมชั้น พบว่า ขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรชนิดและปริมาณต่างกัน มีค่า a_w , ปริมาณความชื้น และค่า pH ใกล้เคียงกันในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.94-0.96 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 38-40 % และค่า pH อยู่ในช่วง 6-7 แต่เมื่อปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ใส่ลงไป ขนมชั้นเพิ่มขึ้น จะทำให้ขนมชั้นมีค่า hardness, gumminess และ springiness ลดลง และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่า ขนมชั้นทุกสิ่งทดลองมีค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้น สำหรับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ พบว่า ขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.6% และอบเชย 0.7% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้นได้ จากไม่เกิน 1 วัน (ขนมชั้นสูตรที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย) เป็น 2 วัน และขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 0.4% จิง 0.4% และจิง 0.6% ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมชั้นได้ และพบว่าขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย 0.7% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้นานที่สุด คือ จาก 2 วัน เป็น 6 วัน แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบไม่ยอมรับขนมชั้นสูตรที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรทุกชนิด เนื่องจากกลิ่นรสของสมุนไพรเป็นกลิ่นรสที่ไม่เข้ากับขนมชั้น

จากการศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารดูดความชื้นที่อัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอล 5 ระดับ (100:0, 100:8, 100:10, 100:12 และ 100:14) ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมชั้น พบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ขนมชั้นมีค่า a_w ลดลง จาก a_w เท่ากับ 0.94 เป็น 0.89 และคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยลดลง จาก 7.3 (ชอบปานกลาง) เป็น 4.6 (ไม่ชอบเล็กน้อย) ซึ่งอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมดต่อกลีเซอรอลที่เหมาะสม คือ 100:10

จากการศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลในส่วนผสมร่วมกับสภาวะการบรรจุ 6 สภาวะ (บรรยากาศ, สุญญากาศ, CO₂100%, N₂ 100%, CO₂60%: N₂40% และ CO₂40%: N₂60%) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (33±2 และ 4±1 °ซ) ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมชั้น พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมชั้นมีค่า a_w, ปริมาณความชื้น และค่า pH เปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าคุณภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (33±2 °ซ) และแช่เย็น (4±1 °ซ) โดยขนมชั้นมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.89-0.90 ความชื้นอยู่ในช่วง 34-36 % และ pH อยู่ในช่วง 6.45-6.59 และพบว่า ขนมชั้นทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่างของสี, ความเป็นสีเขียว และความเป็นสีเหลืองลดลง ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น แต่ที่อุณหภูมิแช่เย็นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าสีมากกว่าที่อุณหภูมิห้อง สำหรับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมชั้นทุกสิ่งทดลองมีค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้น แต่มีค่า springiness, stress, percentage of extension และ work ลดลง ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น ซึ่งขนมชั้นที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂100% และสภาวะสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมชั้นทุกสิ่งทดลองมีความแข็งและความยากง่ายในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น แต่มีความเหนียวลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส สำหรับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ พบว่าการบรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการบรรจุขนมชั้นในสภาวะบรรยากาศ โดยจุลินทรีย์ถูกยับยั้งการเจริญเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งขนมชั้นที่มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดที่อุณหภูมิ 33±2 °ซ คือ ขนมชั้นที่เก็บรักษาโดยบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60% สามารถเก็บได้นาน 12 วัน สำหรับขนมชั้นที่มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดที่อุณหภูมิ 4±1 °ซ คือ ขนมชั้นที่เก็บรักษาโดยบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี N₂100%, CO₂60%:N₂40% และ CO₂40%:N₂60% สามารถเก็บได้นาน 28 วัน โดยลักษณะของขนมชั้นที่เก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิ ที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับก่อนเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ คือ ขนมชั้นมีเนื้อสัมผัสแข็ง และไม่เหนียว

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรและสภาวะการบรรจุต่ออายุการเก็บรักษาขนมชั้น พบว่ามีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ในการศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและสุญญากาศ ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จากการเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ได้ดี แต่เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ขนมชั้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น และมีความเหนียวลดลง เนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช และการเกิดซินเนอริซิส ดังนั้นอาจมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้แป้งดัดแปรประเภทแป้งสตาบิไลซ์ (stabilized starch) เช่น สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) เป็นต้น ผสมในสูตร เพื่อลดปัญหาการเกิดรีโทรกราเดชันและซินเนอริซิสในระหว่างการเก็บรักษา

2. ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างขนมชั้น สำหรับขนมชั้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ในการอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ควรใช้ถาดสำหรับอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟที่มีฝารองน้ำด้านล่างและมีฝาปิดด้านบน วิธีการอุ่นทำได้โดยใส่น้ำที่ฝารองด้านล่าง วางขนมชั้นลงบนถาดแล้วปิดฝา นำมาผ่านความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 50% (450 วัตต์) เป็นเวลา 5 นาที หรืออาจใช้วิธีการอุ่นด้วยรังสีแกมมา เพื่อลดปัญหาขนมชั้นได้รับความร้อนไม่เท่ากันทั้งถาด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลวรรณ แจ่มชัด, อนุวัตร แจ่มชัด, วิชัย หฤทัยธนาสันต์ และขวัญนุช วงศ์มหาสกุล. 2542. การพัฒนาผลิตภัณฑ์สังขยาฟักทองกิ่งสำเร็จรูป. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์)*. 33: 620-629.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. *เทคโนโลยีของแป้ง*. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ และ จันทน์ จิตต์ร่าพึง. 2545. *พจนานุกรม Food additive สำหรับนักอุตสาหกรรมอาหารและเกษตร*. จาร์พา เทคโนโลยีเซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2546. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2538. *ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ลิ้นจี่โรจน์ โปรโมชั่น, กรุงเทพฯ.

_____, วชิร ชิวศรีรุ่งเรือง และ สุทธาทิพย์ ลูกอินทร์. 2541. การบรรจุแบบแอคทีฟเพิมอายุการเก็บของขนมโมจิ. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์)*. 32: 452-460.

ธีรนุช ฉายศิริโชติ. 2543. *กรรมวิธีการผลิตขนมทับทิมกิ่งสำเร็จรูป*. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นฤมล นิติมงคลชัย. 2543. *การใช้น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเป็นสารป้องกันเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นภสร จุ้ยเจริญ. 2546. การพัฒนาขนมน้ำดอกไม้เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานของไทย.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิจศิริ เรืองรังษี. 2534. **เครื่องเทศ**. ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชวิทยา. โรงพิมพ์จุฬาฯ, กรุงเทพฯ.

นรินาม. 2535. **สมุนไพรสวนสิริรุกขชาติ**. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. "ขนมไทย" สื่อวัฒนธรรมจากครัวไทย สู่มหาชนโลก. แหล่งที่มา:

<http://www.nfi.or.th/publication/publication-magazine-thai29.html>, 15 มกราคม 2548.

_____. 2543. น้ำมันหอมระเหย สารจากธรรมชาติเพื่อสุขภาพ. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 9: 11.

นริยา รัตนานนท์. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. **เคมีอาหาร**. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2538. การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. อาหาร. 25(3): 160-169.

ปราณี วิเศษ. 2544. อาหารสดกับการบรรจุภายใต้สภาพปรับแต่งบรรยากาศ. บทความวิทยุกระจายเสียงรายการหน้าต่างวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 15. ประจำเดือนตุลาคม

ปิยะนุช กันโร. 2545. การยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปียะโดยใช้สารลดค่าออกซิเดชัน. แอคติวิตีและบรรจุภัณฑ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. **บรรจุภัณฑ์อาหาร**. โรงพิมพ์หทัยเสง, กรุงเทพฯ.

บุญมี พิบูลย์สมบัติ และประคอง นิมมานเหมินท์. 2542. สารานุกรมวัฒนธรรมไทย ภาคกลาง

เล่ม4. บริษัท สยามเพรส แมเนจเม้นท์ จำกัด, กรุงเทพฯ. น.1804-1805.

บุษกร อุดรภิชาดิ. 2547. จุลชีววิทยาทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.

บุรินทร์ ริมศิริ. 2534. การเสียของทุเรียนกวนจากเชื้อราและการเก็บรักษาภายใต้สภาพ

ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2518. ประสิทธิภาพของเครื่องเทศบางชนิดในการยับยั้งการเจริญของ

จุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2527ก. เครื่องเทศที่ใช้เป็นสมุนไพร. เล่ม 1. ศิลปบรรณาการ, กรุงเทพฯ.

_____. 2527ข. เครื่องเทศที่ใช้เป็นสมุนไพร. เล่ม 2. ศิลปบรรณาการ, กรุงเทพฯ.

พรทิพย์ สุคนธสิงห์, เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, ภาวนา อัสวประภา และวรพจน์ สุวจิตตานนท์.

2543. คู่มือพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ ชุดที่ 3 : พืชสมุนไพรน้ำมันหอมระเหย. กลุ่มพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

พินัดดา เหมทานนท์. 2547. การพัฒนาขนมมันสำปะหลังจากฟลาวม้นสำปะหลังพันธุ์

เกษตรศาสตร์ 50. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนัสนันท์ บุญทราพงษ์. 2544. การพัฒนาแป้งข้าวเจ้าผสมและส่วนผสมสำเร็จรูปในการผลิตขนม

ตาลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา วิสิษฐุการ. 2540. การประเมินอายุการเก็บของอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

กรุงเทพฯ.

รุ่งรัตน์ แจ่มจันทร์. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมด้วยฟูสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล. 2539. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545. จุลชีววิทยาทางอาหาร. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุรัตน์วดี จิระจินดา และคณะ. 2542. การแปรรูปสมุนไพรเพื่อการค้า. เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อสร้างอาชีพ ในโครงการบรรเทาผลกระทบทางสังคมจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ : 2-23

สิริพร สชนเสาวภาคย์, พรทิพย์ เจริญธรรมวัฒน์, มวลัย บุญรัตนกรกิจ และปทุมพร ฉิมเอนก. 2539. ผลของเครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดใหม่ที่ทำให้เกิดโรคในอาหาร. โครงการวิจัย. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วราภา วรพงษ์. 2531. การเก็บรักษาถั่วงอกแห้งภายใต้สภาพปรับบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัฒนา ดำรงรัตน์กุล. 2546. อิทธิพลของฟิล์มย่อยสลายได้ต่ออายุการเก็บรักษาขนมชั้น. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันดี กฤษณพันธ์, อ้อมบุญ ล้วนรัตน์ และนันทวัน บุญยะประสงค์. 2536. เกล็ดขมิ้นจัญ : ยาและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ เล่ม 1. ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิไล รังสาตทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ.

วารุณี ชนะแพสย์, หทัยรัตน์ ริมศิริ, พงษ์ศิริ วินิจฉัย, วุฒินันท์ คงทัด, วิชัย หลุทัยธนาสันต์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, กมลวรรณ แจ่มชัด และ ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2546. การทดสอบตลาดผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมอบและขนมไทยที่มีส่วนผสมจากฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50, น. 134 – 188. ใน รายงานการวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบการผลิตฟลาวที่เป็นอาหารและการใช้ประโยชน์ จากมันสำปะหลังเกษตรศาสตร์ 50 ที่มีการควบคุมสิ่งแวดล้อมเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

วาติกา สอนงคุณ. 2548. การพัฒนาขนมชั้นโดยใช้ประโยชน์จากฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนุชิตา ชาวเหนือ. 2534. การยืดอายุการเก็บรักษาหมุยโดยวิธีการบรรจุภายใต้สภาพปรับบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อบเชย วงศ์ทอง. 2543. เอกสารประกอบการสอนวิชา การผลิตขนมไทย. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล และ จิตธนา แจ่มเมฆ. 2546. พิมพ์ครั้งที่ 7. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อ้อยทิพย์ แซ่โจ้ว. 2546. การศึกษาอายุการเก็บของขนมชั้น. เทคนิควิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Air Liquide. 2004. **Carbonated Water. Applications. Food and Beverage.**

<http://www.airliquide.com/en/business/industry/food/applications/carbonation.asp>

Akande, G.R., M.J. Knowles and K.D.A. Taylor. 1991. Rancidity and changes in fatty acid composition of salted smoked mackerel cakes. **Tropical Science**. 3(1):55-63.

A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. 1018 p.

- Blakistone, B.A. 1999. 2nd ed. **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods.** Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland. 293 p.
- Blickstad, E. and G. Molin. 1983. Carbon dioxide as a controller of the spoilage flora of pork, with special reference to temperature and sodium chloride. **J. Food Prot.** 46(9): 750-763.
- Bourne, M.C. 1982. **Food texture and viscosity: concept and measurement.** 2nd ed. Cornell university. Geneva, New York. 427p.
- Brody, A.L. 1989. **Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods.** Food and Nutrition Press, INC.: 5-10, 143 p.
- Brown, E.W. 1992. **Plastic in Food Packaging.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Bullerman, L.B., Lieu, F.Y. and A.S. Seire. 1977. Inhibition of growth and aflatoxin production by cinnamon and clove oils, cinnamic aldehyde and eugenol. **J. Food Sci.** 42 : 1107-1116.
- Callow, E.H. 1932. Gas storage of pork and bacon. Part I: Preliminary experiments. *Cited J.A. Daniels, J.A., R. Krishnamurthi and S.S.H. Rizvi.* 1985. A review of effect of carbondioxide on microbial growth and food quality. **J. Food Prot.** 48(6): 532-537.
- Cann, D.C., G.L. Smith and N.G. Houston. 1983. Further studied on marine fish store under modified atmosphere packaging. **Technical Report, Torry Research Station, Aberdeen.**
- Cauvain, S.P. and L.S. Young. 2000. **Bakery Food Manufacture and Quality:** Water Control and Effects. Blackwell Science, Ltd., UK. 209 p.

- Chirfe, J. and C. F. Fontan. 1980. Prediction of water activity of aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods: experimental investigation of the a_w lowering behavior of sodium lactate and some related compounds. **J. Food Sci.** 45:802-804.
- Chang, S.T., P.F. Chen and S.C. Chang. 2001. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*. **J. Ethnopharmacol.** 77:123-127.
- Cobley, L.M. and B.F. Leslies. 1963. **An Introduction to the Botany of Tropical Crops.** Longmans Green and Company, Inc., London.
- Colwell, R.H., D.W.E. Axford, N. Chamberlain and G.A.H. Elton. 1969. Effect of storage temperature on the aging of concentration wheat starch gels. **J. Sci. Fd. Agric.** 20:550-555.
- Daniels, J.A., R. Krishnamurthi and S.S.H. Rizvi. 1985. A review of effect of carbondioxide on microbial growth and food quality. **J. Food Prot.** 48(6): 532-537.
- Deans, D.G. and G. Ritchie. 1987. Antibacterial properties of plant essential oils. **Int. J. Food Microbiol.** 5:165-169.
- Deans, S.G. and K.P. Svoboda. 1990. Biotechnology and bioactivity of culinary and medicinal plants, **AgBiotechnol. News Inform.** 2:211-215.
- Dennis, C. and M. Stringer. 1992. **Chilled Foods a Comprehensive Guide.** Ellis Horwood Limited.: 147-158, 166-183 p.

- Eklund, T. and T. Jarmund. 1983. Microculture model studies on the effect of various gas atmospheres on microbial growth at different temperatures. **J. Appl. Bacteriol.** 55: 119-125.
- Ercolini, C., L. Serracca, E. Teneggi and A. Terarolli. 1996. Effects of packing under vacuum or modified atmospheres on microbiological and sensory properties of dehydrated stockfish. **Ingegneria Alimentare le Conserve Animali.** 11(5):36-39.
- Fabian, E.W. and C.F. Little. 1993. The role of spices in pickled food spoilage. **Food Research.** 4(4):629.
- Faruq, M.O., J. Chowdhury, M. Yusuf, S.M. Farooque, M.M. Chowdhury and M.M. Khuda. 1994. TLC technique in the compound characterization and quality determination of Bangladeshi lemongrass oil (*Cymbopogon citratus* Stapf.). **Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research.** 29(2): 27-38.
- Fellows, P.L. 1993. **Food Processing Technology : Principle and Practice.** Ellis Horwood Ltd., New York.
- Gill, C. O. and K. H. Tan. 1980. Effect of carbondioxide on growth of meat spoilage bacteria. **Appl. Environ. Microbiol.** 39(2): 317-319.
- Gregory, J.F. 1996. Vitamins, pp. 531-616. In O.R. Fennema (ed.). **Food Chemistry.** 3rd, Marcel Dekker, Inc., New York. 1069 p.
- Guynot, M.E., A.J. Ramos, L. Seto, P. Purroy, V. Sanchis and S. Marin. 2003. Antifungal activity of volatile compounds generated by essential oils against fungi commonly causing deterioration of bakery products. **J. Applied Microbiology.** 94: 893-899.

- _____, S. Marin, V. Sanchis and A.J. Ramos. 2003. Modified Atmosphere Packaging for Prevention of Mold Spoilage of Bakery Products with Different pH and Water Activity Levels. **J. Food Prot.** 66(10): 1864-1862 p.
- Haines, R.B. 1933. The influence of carbon dioxide on the rate of multiplication of certain bacteria, as judged by viable counts. *Cited* J.A. Daniels, R. Krishnamurthi and S.S.H. Rizvi. 1985. A review of effect of carbondioxide on microbial growth and food quality. **J. Food Prot.** 48(6): 532-537.
- Hammer, K.A., C.F. Carson and T.V. Riley. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. **J. Applied Microbiology.** 86: 985-990.
- Hargreaves, L.L., B. Jarvis, A.P Rawlinson. and J.M. Wood. 1975. **The antimicrobial effects of spices, herbs and extracts from these other food plants.** The British Food Manufacturing Industries Research Association, Scientific and Technical Surveys no.88.
- Hartmans, K.J., P. Diepenhorst, W. Bakker. and L.G.M. Gorris. 1995. The use of carvone in agriculture : sprout suppression of potatoes and antifungal activity against potato tuber and other plant disease. **Ind. Crops Prod.** 4:3-9.
- Heimdal, H., B.F. Kuhn, L. Poll and L.M. Larsen. 1995. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA packaged iceberg lettuce. **J. Food Sci.** 60(6): 1265-1268.
- Hirasa, K. and M. Takemasa. 1998. **Spice science and technology.** Marcel Dekker., New York.
- Hodge, J.E. 1953. Dehydrate foods : Chemistry of browning reaction in model system. **J. Agr. Food Chem.** 1: 928-943.

- Hotchkiss, J.H. 1988. Experimental Approaches to Determining the Safety of Food Packaged in Modified Atmosphere. **Food Technol.** 42(9): 55-64.
- Huss, H.H., P. Dalgaard and L. Gram. 1997. Microbiology of fish and fish product, pp. 413-430. *In* J. B. Luten, T. Borresen and J. Oehlenschläger (eds.). **Seafood from producer to consumer, Intergraded approach to quality.** Elsevier Science, Netherlands.
- Jay, J.M. 1991. **Modern Food Microbiology.** 4th. Ed. Chapman & Hall, Inc., New York.
- Kasali, A.A., A.O. Oyedele and A.O. Ashilokun. 2001. Volatile leaf oil constituents of *Cymbopogon citratus*(DC) Stapf. **Flavor and Fragrance Journal.** 16(5): 377-378.
- King, A.D. and C.W. Nagel. 1967. Growth inhibition of a *Pseudomonas* by carbondioxide. **J. Food Sci.** 32: 575-579.
- Kotler, P. 1997. **Marketing Management : Analysis, Planning, Implementation, and Control.** 9th ed. Prentice-Hall, Inc., New jersey. 789 p.
- Kramer, A., T. Solomos, F. Wheaton, A. Puri, S. Sirivichaya, Y. Lotem, M. Fowke and L. Ehrman. 1980. Gas-Exchange Process for Extending the Shelf Life of Raw Foods. **Food Technol.** 34(7): 65-74.
- Jane, J.L. and J.F. Royby. 1984. Structure studies of amylase-V complexes and retrograded amylose by action of alpha amylose, and a new method for preparing amyloextrins. **Carbohydrate Research.** 132:105-118.
- Lawless, H.T. and H. Heymann. 1988. **Sensory Evaluation of Food : Principles and Practices.** Chapman and Hall, New York.

Ledward, D.A. 1981. Intermediate moisture meats, pp.159-194. *In* R. Lawrie (ed.).

Development in Meat Science-2. Applied Science Publisher, London.

Leffingwell, G. and M. Lesser. 1945. **Glycerin: Its Industrial and Commercial Applications**.

Chemical Publishing Co., Inc., New York.

Lii, C.-y., V. M.-F Lai and M.-C. Shen. 2004. Changes in retrogradation properties of rice starches with amylase content and molecular properties. **Cereal Chemists**. 81(3):392-398.

Liouostas, T.S. 1988. Challenges of controlled and modified atmosphere packaging: a food company's perspective. **Food Technol**. 42: 78.

Luiten, L. S., S .A. Marchello and F. D. Dryden. 1982. Growth of Salmonella typhimurium and mesophilic organisms on beef steaks as influenced by type of packaging. **J. Food Prot**. 35(3): 263-267.

Mahmound, A.-L.E. 1994. Antifungal action and antiaflatoxinigenic properties of some essential oil constituents. **Letters in Applied Microbiology**. 19:110-113.

Martinez, M.V. and J.R. Whitaker. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends Food Sci Tech**. 6: 195-200.

Meiligaard, M., G.V. Civille and B.T. Carr. 1990. **Sensory Evalution Techniques**. CRC Press. Inc., Florida.

Miles, M.J., V.J. Morris, P.D. Orford, and S.G. Ring. 1985. The roles of amylose and amylopectin in gelatinization and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**. 135 : 271-281.

- Onyenekwe, P.C. and S. Hashimoto. 1999. The composition of the essential oil of dried Nigerian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **European Food Research and Technology**. 209(6): 407-410.
- Ooraikul, B. 1991. Modified atmosphere packaging of bakery products, pp. 49-117. *In* B. Ooraikul and M.E. Stiles (eds.). **Modified Atmosphere Packaging of Food**. Chapman and Hall, London.
- Palaez, J. and M. Karel. 1980. Development and stability of intermediate moisture tortillas. **J. Food Proc & Preserv.** 4: 51-65.
- Parry, R.T. 1993. **Principle and Applications of Modified Atmosphere**. Chapman and Hall, London. 305 p.
- Paranagama, P.A., K.H.T. Abeysekera, K. Abeywickrama and L. Nuhaliyadde. 2003. Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. Isolated from stored rice. **Letters in Applied Microbiology**. 37(1): 86-90.
- Parks, G.S., T.J. West, B.F. Naylor, P.S. Fujii and L.A. McClaine. 1946. Thermal data on organic compounds. XXIII. Modern combustion data for fourteen hydrocarbons and five polyhydroxy alcohols. **J. Amer. Chem. Soc.** 68: 2524-2527.
- Pomeranz, Y. 1991. **Functional properties of food components**. 2nd ed. San Diego: Academic Press. 569 p.
- Prasad, H.H. and N.V. Joshi. 1949. **The Preservative Value of Spices Used in Pickling Raw Fruits in India**. Applied Science Publishers Ltd., London.

- Ramanuja, M.N. and J. Lamb. 1991. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. **J. Food Proc. Eng.** 14: 163-171.
- Saper, G.M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants and other means. **Food Tech.** 47(10): 75-84.
- Sears, D.F. and R.M. Eisenberg. 1961. A model representing a physiological role of CO₂ at the all membrane. **J. General Physiology.** 44: 869-887.
- Seiler, D.A.L. 1999. pp. 135-157. In B.A. Blakistone (eds). **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods.** Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland. 293 p.
- Singh, R.P. 1994. Scientific principles of shelf life evaluation. pp. 4-25. In C.M.D. Man and A.A. Jones (eds.). **Shelf Life Evaluation of Foods.** Blackie Academic & professional, New York.
- Smid, E.J., L. Hendriks, H.A.M. Boerrigter and L.G.M. Gorris. 1996. Surface disinfection of tomatoes using the natural plant compound trans-cinnamaldehyde. **Postharvest Biol. Technol.** 9:343-349.
- Smith P.J. and B.K. Simpson. 1996. Modified Atmosphere Packaging, pp. 205-538. In R.E. Hebeda and H.F. Zobel. 1996. **Baked goods freshness : technology, evaluation, and inhibition of staling.** Marcel Dekker, Inc. New York. 282 p.
- Smith, J.P. 1993. Bakery product. pp. 134-169. In R.T. Parry. **Principle and Applications of Modified Atmosphere.** Chapman and Hall, London. 305 p.
- Stauffer, C.E. 1998. Fats and oils in bakery products. **Cereal Foods World.** 43(3): 120-126.

Subramaniam, P.J. 1993. Miscellaneous applications, pp. 170-188. *In* R.T. Parry (ed.).

Principle and Applications of Modified Atmosphere. Chapman and Hall, London.

Szczesniak, A.S. 1998. Effect of storage on texture, pp. 191-238. *In*: I.A. Taub and R.P. Singh (eds.). **Food Storage Stability.** CRC Press LLC. New York.

Torres, R.C. 1993. Citral form *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (lemongrass) oil. **Philippine J. of Sci.** 122(3): 269-287.

Van Soest, J.J.G., D. de Wit, H. Tournois and J.F.G. Vliegenthart. 1994. Retrogradation of potato starch as studied by Fourier transform infrared spectroscopy. **Starch.** 46: 453-457.

Wainwright, B. 1999. Bakery margarines. **Cereal Foods World.** 44(3): SR16-SR19.

Whistle, R.L. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists.** American Association of Cereal Chemist. 241 p.

Wilmer, A.J. and P.H. James. 1991. **Packaging Foods with Plastics.** Technomic Publishing Company. Inc., USA.

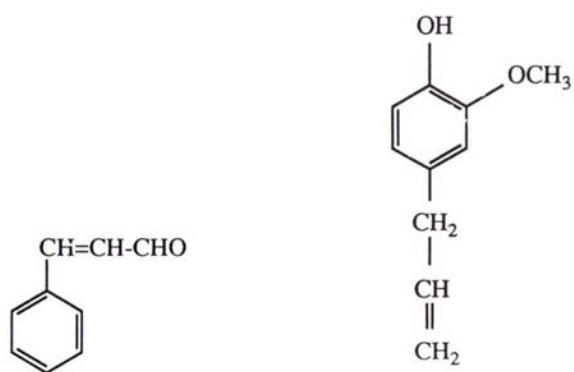
Wolfe, S.K. 1980. Use of CO and CO₂ enriched atmosphere for meats, fish and product. **Food Technol.** 34(3): 55-58.

Zagory, D. 1994. Fundamentals of Reduced-oxygen Packaging, pp. 9-17. *In* A.L. Brody (ed). **Modified Atmosphere Food Packaging.** Herndon, Virginia: Institute of Packaging Professionals.

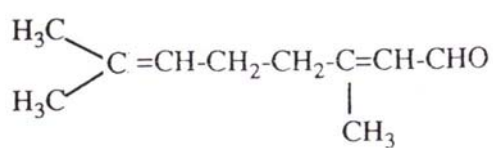
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

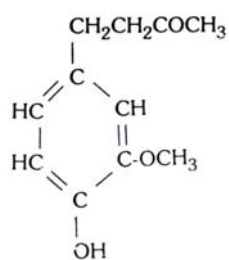
สูตรโครงสร้างของสารเคมี



ภาพผนวก ก1 สูตรโครงสร้างของซินนามัลดีไฮด์ (ด้านซ้าย) และยูจีนอล (ด้านขวา)



ภาพผนวก ก2 สูตรโครงสร้างของซิตรอล



ภาพผนวก ก3 สูตรโครงสร้างของซิงเกอโรน

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามการสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภค

ชุดที่ _____

แบบสอบถาม

การสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคต่อขนมชั้น

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคต่อขนมชั้น

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อขนมชั้น เพื่อใช้ในการประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของ นางสาววราณี ภัทรพิชิต นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้วิจัยขอความกรุณา และความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถาม ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับงานวิจัยดังกล่าว ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

คำแนะนำ กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

() หญิง

() ชาย

2. อายุ

() น้อยกว่า 15 ปี

() 15-20 ปี

() 21-25 ปี

() 26-30 ปี

() 31-35 ปี

() 36-40 ปี

() 41-50 ปี

() มากกว่า 50 ปี

3. การศึกษาสูงสุด

- ☐ ประถมศึกษา ☐ มัธยมศึกษา/ปวช.
☐ ปวส./อนุปริญญา ☐ ปริญญาตรี
☐ สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

- ☐ นักเรียน ☐ นิสิต/นักศึกษา
☐ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ☐ พนักงานบริษัทเอกชน
☐ รับจ้าง ☐ แม่บ้าน
☐ ธุรกิจส่วนตัว ☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

5. รายได้ต่อเดือน

- ☐ ต่ำกว่า 5,000 บาท ☐ 5,001-10,000 บาท
☐ 10,001-15,000 บาท ☐ มากกว่า 15,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อขนมชั้น

6. ท่านรับประทานขนมชั้นโดยเฉลี่ยบ่อยเพียงใด

- ☐ มากกว่า 3-4 ครั้ง/สัปดาห์ ☐ 3-4 ครั้ง/สัปดาห์
☐ 1-2 ครั้ง/สัปดาห์ ☐ แล้วแต่โอกาส

7. ท่านบริโภคขนมชั้นอย่างไร

- ☐ ลอกเป็นชั้น ๆ แล้วค่อยรับประทาน ☐ รับประทานโดยการกัดทั้งชิ้น

8. ขนมชั้นที่ท่านรับประทานบรรจุอยู่ในภาชนะแบบใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- ☐ ถูพลาสติก ☐ กล่องพลาสติกแบบมีฝาปิด
☐ ถาดพลาสติกแบบมีฟิล์มปิดหน้าขนมชั้น ☐ ใบตอง
☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

9. โดยทั่วไปท่านซื้อขนมชั้นด้วยตนเองหรือไม่
- () ซื้อเอง (กรุณาตอบข้อ 10 ต่อ)
- () ไม่ได้ซื้อเอง (กรุณาข้ามไปตอบข้อ 11)
10. สถานที่ที่ท่านซื้อขนมชั้นรับประทาน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- () ร้านขายขนมไทย () ตลาดสดและแม่ค้าหาบเร่
- () ร้านสะดวกซื้อ (7-eleven, แฟมิลีมาร์ท) () ร้านไฮเปอร์มาร์ต (แมคโคร, โลตัส, บิ๊กซี)
- () ซูเปอร์มาร์เกต (ท็อป, โฮมเฟรชมาร์ท) () อื่น ๆ (โปรดระบุ).....
11. ท่านคิดว่า ขนมชั้นมีอายุการเก็บนานเท่าใดที่อุณหภูมิห้อง
- () น้อยกว่า 1 วัน () 1 วัน
- () 2 วัน () 3 วัน
12. ลักษณะใดของขนมชั้นที่บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียที่ท่านเคยพบ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- () มีน้ำเยิ้มเหนียวคล้ายเมือกบนผิวหน้าขนมชั้น / เป็นยางยืด
- () มีกลิ่นเหม็นบูด
- () เป้งเป็นรู
- () พบยีสต์และรา
- () อื่นๆ (โปรดระบุ).....
13. เมื่อซื้อขนมชั้นมาแล้ว ส่วนใหญ่ท่านรับประทานหมดในครั้งเดียวเลยหรือไม่
- () ใช่ (กรุณาข้ามไปตอบข้อ 18)
- () ไม่ใช่ (กรุณาตอบข้อ 14 ต่อ)
14. ถ้าท่านรับประทานขนมชั้นไม่หมดในครั้งเดียว ท่านมีการเก็บรักษาขนมชั้นอย่างไร (ตอบได้เพียงข้อเดียว)
- () วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (กรุณาข้ามไปตอบข้อ 18)
- () เก็บไว้ในตู้เย็น (กรุณาตอบข้อ 15 ต่อ)

15. ท่านคิดว่า ขนมชั้นมีอายุการเก็บนานเท่าใดที่อุณหภูมิตู้เย็น

- () น้อยกว่า 1 สัปดาห์ () 1-2 สัปดาห์
 () 3 -4 สัปดาห์ () 1 เดือน
 () มากกว่า 1 เดือน () อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

16. ท่านเคยอุ่นขนมชั้นที่นำออกมาจากตู้เย็นก่อนรับประทานใช่หรือไม่

- () ใช่ (กรุณาตอบข้อ 17 ต่อ)
 () ไม่ใช่ (กรุณาข้ามไปตอบข้อ 18)

17. ท่านมีวิธีการอุ่นขนมชั้นแบบใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () อุ่นด้วยไมโครเวฟ () อุ่นด้วยรังถึง
 () อุ่นด้วยหม้อหุงข้าว () อุ่นด้วยเตาอบ
 () อุ่นด้วยหม้อนึ่งไฟฟ้า () อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

18. ท่านให้ความสำคัญกับคุณลักษณะต่าง ๆ ของขนมชั้นที่จะซื้ออย่างน้อยเพียงใด

คุณลักษณะ	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส (ความเหนียว, ความนุ่ม)					
กลิ่น					
สี					
รูปร่าง					
ราคา					
ยี่ห้อ/ตรา					
บรรจุภัณฑ์					
มีอายุการเก็บรักษานาน					
ไม่ได้สารกันเสีย/ไม่ได้สีสังเคราะห์					

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อขนมชั้นที่จะพัฒนา

19. ท่านเห็นด้วยหรือไม่ในการนำสมุนไพรมาผสมในขนมชั้น เพื่อยืดอายุการเก็บแทนสารเคมีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

() เห็นด้วย เพราะ.....

() ไม่แน่ใจ เพราะ.....

() ไม่เห็นด้วย เพราะ.....

20. ท่านยอมรับหรือไม่ ถ้ามีการเติมสารหรือก๊าซบางชนิด เช่น ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ซึ่งไม่เป็นอันตราย (การดัดแปลงบรรยากาศ) เพื่อให้ขนมชั้นมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้น

() ยอมรับ เพราะ.....

() ไม่ยอมรับ เพราะ.....

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางจิตินทรีย์

1. การวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. standard plate count agar
2. สารละลายเจือจาง – working solution
3. ปิเปตที่ปราศจากเชื้อ ขนาด 1, 2 และ 10 มิลลิลิตร
4. แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยม (spreader หรือ hockey stick)
5. ถุงพลาสติกที่ปราศจากเชื้อ

วิธีการ

**** วิธีปฏิบัติ ต้องเป็น aseptic technique ในการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน อาหารเลี้ยงเชื้อ สารละลาย บัฟเฟอร์ เครื่องแก้วและเครื่องมือทุกชนิดที่สัมผัสกับตัวอย่าง ต้องผ่านการอบหรือนึ่งฆ่าเชื้อก่อน****

การเตรียมสารละลายเจือจาง

1. Stock solution

ละลาย KH_2PO_4 34 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด่างให้ได้ 7.2 ด้วย 1 N NaOH แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °ซ นาน 15 นาที เก็บในตู้เย็น

2. working solution

ปิเปต stock solution 1.25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ นาน 15 นาที

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ชั่งอาหาร standard plate count agar จำนวน 23.5 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันให้ความร้อนบน hot plate จนอาหารใส นำเข้าตู้อบฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °ซ นาน 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลานำอาหารแช่ใน water bath เพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อมี อุณหภูมิประมาณ 45-50 °ซ เทอาหารลงในจานเพาะเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตรโดยประมาณ ตั้ง อาหารทิ้งไว้ให้แข็ง และผิวน้ำแห้งก่อนนำเข้าเก็บในตู้เย็น (ก่อนใช้อาหารเลี้ยงเชื้อให้นำออกมา จากตู้เย็นผึ่งให้แห้งที่ตู้ลม)

การเจือจางตัวอย่างอาหาร

1. ชั่งตัวอย่างขนมชั้น 10 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติก
2. เท working solution จำนวน 90 มล. เพื่อให้อาหารถูกเจือจางเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 10 (10^{-1}) แล้วนำไปตีให้เข้ากันด้วยเครื่องตีผสมอาหาร Stomacher ความเร็วระดับปานกลางนาน 1 นาที
3. ปิเปตตัวอย่างอาหารจากข้อ 2 จำนวน 1 มล. ใส่ในหลอดที่ใส่ working solution จำนวน 9 มล. ความเข้มข้นของอาหารจะเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 100 (10^{-2})
4. เจือจางตัวอย่างอาหารลงไปครั้งละ 10 เท่าในลักษณะเดียวกันนี้จนได้อัตราส่วนที่ต้องการ

การตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธีการ Spread plate

1. นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ตู้เย็นออกมาผึ่งให้ผิวน้ำแห้งในตู้ลม ประมาณ 30 นาที
2. ปิเปตตัวอย่างจากตัวอย่างที่เจือจางที่ระดับ 10^{-1} จำนวน 0.25 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 8 จาน (ตัวอย่างเจือจางซ้ำละ 4 จาน) ส่วนตัวอย่างที่เจือจางที่ระดับ (dilution)

อื่น ๆ เช่น 10^{-2} , 10^{-3} และ 10^{-4} ปีเปิดจำนวน 0.1 มิลลิลิตร (โดยแต่ละระดับตัวอย่างเจือจางให้ทำอย่างน้อย 2 จาน) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมกระจายตัวอย่างบนผิวอาหารเลี้ยงเชื้อจนทั่ว

3. กลับจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ $35-37^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง

4. นับโคโลนีในจานเพาะเชื้อโดยเลือกจากจานที่มีจำนวนโคโลนีประมาณ 25-250 โคโลนี

การคำนวณ

รายงานเป็นหน่วย โคโลนี/กรัม ให้มีเลขนัยสำคัญเพียง 2 ตัว

โคโลนี/กรัม = ค่าเฉลี่ยของจำนวนแบคทีเรียที่นับได้ $\times$ ค่าผกผันของระดับการเจือจาง

2. การวิเคราะห์ยีสต์และเชื้อรา

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายเจือจาง

1. potato dextrose agar (PDA)
2. สารละลายเจือจาง – working solution
3. สารละลายกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) 10 % - ละลาย Tartaric acid 10 กรัม ในน้ำ 100 มล. แล้วนำไปฆ่าเชื้อ แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น

วิธีการ

การเตรียมสารละลายเจือจาง เตรียมเหมือนขั้นตอนการวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ชั่งอาหาร Potato dextrose agar จำนวน 39 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันให้ความร้อนบน hot plate จนอาหารใส นำเข้าตู้อบฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °ซ นาน 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลานำอาหารแช่ใน water bath เพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อมีอุณหภูมิประมาณ 45-50 °ซ เติมสารละลายกรดทาร์ทาริก 10 % จำนวน 1 % ในอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนเทลงในจานเพาะเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร โดยประมาณ ตั้งอาหารทิ้งไว้ให้แข็ง และผิวน้ำแห้งก่อนนำเข้าเก็บในตู้เย็น

การเจือจางตัวอย่างอาหาร เตรียมเหมือนขั้นตอนการวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด

การตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธีการ Spread plate

1. นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ตู้เย็นออกมาผึ่งให้ผิวน้ำแห้งในตู้ลม ประมาณ 30 นาที
2. ปิเปตตัวอย่างจากตัวอย่างที่เจือจางที่ระดับ 10^{-1} จำนวน 0.25 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 8 จาน (ตัวอย่างเจือจางซ้ำละ 4 จาน) ส่วนตัวอย่างที่เจือจางที่ระดับ (dilution)

อื่น ๆ เช่น 10^{-2} , 10^{-3} และ 10^{-4} ปีเปิดจำนวน 0.1 มิลลิลิตร (โดยแต่ละระดับตัวอย่างเจือจางให้ทำอย่างน้อย 2 จาน) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมกระจายตัวอย่างบนผิวอาหารเลี้ยงเชื้อจนทั่ว

3. นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

4. นับโคโลนีในจานเพาะเชื้อที่มีปริมาณ 10-200 โคโลนี

การคำนวณ

โคโลนี/กรัม = ค่าเฉลี่ยของจำนวนยีสต์และราที่นับได้ x ค่าผกผันของระดับการเจือจาง

หมายเหตุ โคโลนีที่ไม่แน่ใจว่าเป็นยีสต์หรือเชื้อรา ให้ใช้เข็มเย็บโคโลนีที่สงสัยไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ถ้าเป็นเชื้อราจะเห็นเป็นสาย hyphae แต่ถ้าเป็นยีสต์จะมีลักษณะเป็นเซลล์กลม ๆ บางเซลล์จะมีลักษณะการแตกหน่อ

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

1. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale)

ผลิตภัณฑ์ ขนมหั้ว

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่ทำการทดสอบ

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา จากนั้นให้คะแนนที่ตรงกับความรู้สึกของท่านลงในช่อง และกรณাবัวนปาระหว่างตัวอย่าง

ความหมายของคะแนน

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

5 = เฉยๆ

8 = ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

9 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง

.....

.....

.....

รสชาติโดยรวม

ความชอบรวม

ข้อเสนอแนะ

๕.....

.....

..

2. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีพรรณนาเชิงปริมาณ

วิธีประเมินคุณลักษณะของขนมชั้น

คุณลักษณะ	วิธีประเมิน
สีเขียว	คูสีเขียวของเนื้อขนมชั้น
กลิ่นกะทิ	ดมกลิ่นกะทิที่ผิวของขนมชั้น โดยให้ขนมชั้นห่างจากจมูกประมาณ 2-3 เซนติเมตร
กลิ่นใบเตย	ดมกลิ่นใบเตยที่ผิวของขนมชั้น โดยให้ขนมชั้นห่างจากจมูกประมาณ 2-3 เซนติเมตร
รสหวาน	รสหวานที่ได้รับระหว่างเคี้ยวขนมชั้นในปาก
การลอกเป็นชั้น	ทำการลอกชั้นของขนมชั้น 3 ครั้ง แล้วประเมินแรงที่ใช้ในการลอกชั้น
ความนุ่ม	วางตัวอย่างระหว่างฟันกรามแล้วกดตัวอย่าง ประเมินแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่าง
ความเหนียว	ประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวตัวอย่างให้มีขนาดสม่ำเสมอจนสามารถกลืนได้ โดยให้อัตราในการเคี้ยวแต่ละตัวอย่างเท่ากัน (1 ครั้ง/วินาที)
ความยากง่ายในการเคี้ยว	นับจำนวนครั้งที่ใช้เคี้ยวตัวอย่างให้มีขนาดสม่ำเสมอจนสามารถกลืนได้ โดยให้อัตราในการเคี้ยวแต่ละตัวอย่างเท่ากัน (1 ครั้ง/วินาที) (จำนวนครั้งมาก แสดงว่าตัวอย่างเคี้ยวยาก)

ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของขนมชั้น

คุณลักษณะ	ตัวอย่างอ้างอิง
กลิ่นกะทิ	มาก : กะทิล่องตราขาวเกาะ=15
กลิ่นใบเตย	มาก : กลิ่นใบเตยสังเคราะห์ = 15
รสหวาน	สารละลายซูโครส (2.0% = 2, 5.0% = 5, 10.0% = 10, 15.0% = 15)
ความนุ่ม	ชีส = 4.5 / ไส้กรอก = 7.0 / ถั่ว = 10
ความเหนียว	วุ้นเส้น = 1 / แผ่นก๊วย = 3/ ไมล์ดี = 7
ความยากง่ายในการเคี้ยว	ไส้กรอก = 5.0 / ไมล์ดี = 9.5

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีพรรณนาเชิงปริมาณ

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....

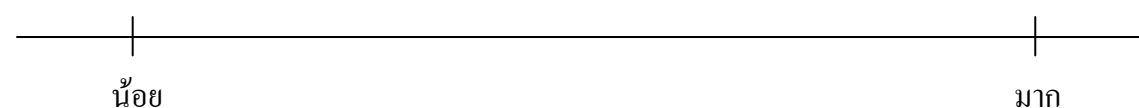
คำแนะนำ : กรุณาให้คะแนนความเข้มในแต่ละคุณลักษณะของขนมชั้น โดยขีดเครื่องหมาย I ลงบน
ที่ซึ่งตรงกับความรู้สึกของท่าน โดยบ้วนปากทุกครั้งก่อนการประเมินตัวอย่างถัดไป

ผลิตภัณฑ์ : ขนมชั้น

สีเขียว



กลิ่นกะทิ



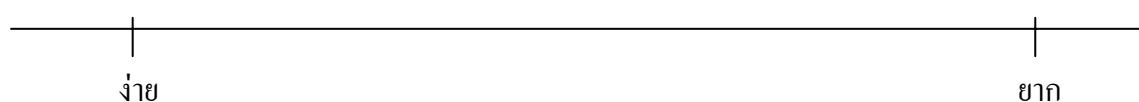
กลิ่นใบเตย



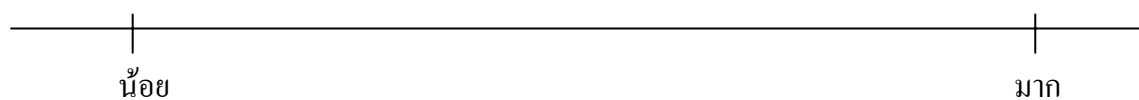
รสหวาน



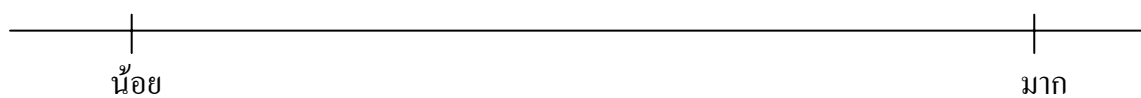
การลอกเป็นชั้น



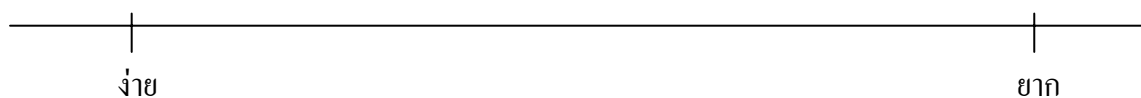
ความนุ่ม



ความเหนียว



ความยากง่ายในการเคี้ยว



การยอมรับเมื่อเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reject		Unacceptable			Acceptable			Match	

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหย
จากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางผนวกที่ ๑1 คุณภาพทางกายภาพของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
ค่าโครมกลักษณะเนื้อสัมผัส								
hardness (N)								
ไม่ได้ผสม	16.19c (2.24)	24.88b (1.41)	29.85a (1.15)	30.12a (1.78)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.4%	16.75c (0.56)	25.26b (0.70)	26.87b (0.86)	34.67a (2.00)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.6%	13.34e (1.39)	20.27d (1.70)	21.27d (1.79)	30.70c (1.60)	34.68b (1.72)	37.75a (1.56)	NA	NA
อบเชย 0.5%	14.31a (0.60)	19.58b (0.79)	20.62b (2.29)	24.34c (0.15)	25.40c (1.22)	27.78d (0.77)	NA	NA
อบเชย 0.7%	9.46f (0.68)	18.87e (1.28)	21.42d (0.20)	22.95d (0.48)	24.49c (1.74)	29.90b (0.65)	35.41a (0.64)	35.78a (1.15)
ขิง 0.4%	16.18c (2.68)	25.17b (1.73)	36.25a (2.02)	37.85a (1.56)	NA	NA	NA	NA
ขิง 0.6%	15.06c (2.13)	33.79b (1.80)	38.42a (0.62)	38.78a (1.78)	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
cohesiveness								
ไม่ได้ผสม	0.49a (0.01)	0.47a (0.04)	0.48a (0.03)	0.48a (0.04)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.4%	0.51a (0.01)	0.52a (0.01)	0.51a (0.05)	0.52a (0.01)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.6%	0.52a (0.02)	0.50a (0.05)	0.52a (0.02)	0.50a (0.06)	0.49a (0.02)	0.47a (0.03)	NA	NA
อบเชย 0.5%	0.50a (0.03)	0.50a (0.01)	0.51a (0.01)	0.51a (0.01)	0.50a (0.02)	0.49a (0.02)	NA	NA
อบเชย 0.7%	0.50a (0.01)	0.48a (0.02)	0.50a (0.02)	0.50a (0.01)	0.51a (0.01)	0.50a (0.00)	0.49a (0.01)	NA
ขิง 0.4%	0.54a (0.02)	0.52a (0.05)	0.50a (0.03)	0.50a (0.04)	NA	NA	NA	NA
ขิง 0.6%	0.53a (0.03)	0.50a (0.03)	0.52a (0.01)	0.51a (0.02)	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Gumminess								
ไม่ได้ผสม	7.93c (0.55)	9.21b (0.37)	11.34a (0.81)	12.94a (0.71)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.4%	8.54c (0.62)	10.61b (0.79)	10.21b (0.37)	11.08a (0.73)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.6%	6.94e (0.84)	10.14d (0.58)	11.06c (0.44)	11.85c (0.61)	12.36b (0.72)	13.97a (0.50)	NA	NA
อบเชย 0.5%	7.16d (0.59)	9.01c (0.59)	9.07c (0.24)	10.47b (1.70)	10.92b (0.47)	11.39a (0.30)	NA	NA
อบเชย 0.7%	4.73e (0.78)	9.06d (0.23)	9.21d (0.24)	9.18d (0.43)	10.04c (0.47)	11.06b (0.50)	12.36a (0.29)	12.98a (0.41)
ขิง 0.4%	8.74d (0.53)	11.83c (0.41)	14.50b (0.46)	15.83a (0.41)	NA	NA	NA	NA
ขิง 0.6%	7.98b (0.67)	16.80a (0.72)	16.14a (0.76)	16.87a (0.70)	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
springiness								
ไม่ได้ผสม	9.58a (0.10)	9.37a (0.55)	9.28a (0.41)	9.21a (0.15)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.4%	9.65a (0.07)	9.66a (0.07)	9.55a (0.05)	9.57a (0.09)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.6%	7.83a (0.54)	7.87a (0.40)	7.83a (0.59)	7.82a (0.29)	7.81a (0.70)	7.82a (0.28)	NA	NA
อบเชย 0.5%	8.8a (0.66)	8.48a (1.01)	8.28a (0.55)	8.45a (1.05)	8.21a (1.77)	8.27a (0.87)	NA	NA
อบเชย 0.7%	7.93a (0.87)	7.56a (1.79)	7.73a (1.42)	7.44a (1.48)	7.62a (1.44)	7.75a (0.62)	7.67a (0.61)	7.84a (0.51)
ขิง 0.4%	9.82a (0.10)	9.86a (0.90)	9.85a (0.30)	9.94a (0.54)	NA	NA	NA	NA
ขิง 0.6%	8.89a (0.34)	8.65a (0.47)	8.8a (0.21)	8.56a (0.38)	NA	NA	NA	NA

หมายเหตุ a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NA หมายถึง ไม่มีตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ (not available)

ตารางผนวกที่ ๒ คุณภาพทางเคมีของขนมชั้นที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
pH								
ไม่ได้ผสม	6.85a (0.01)	6.86a (0.01)	6.87a (0.03)	6.87a (0.01)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.4%	6.97a (0.01)	6.76a (0.12)	6.81a (0.02)	6.80a (0.06)	NA	NA	NA	NA
ตะไคร้ 0.6%	6.93a (0.07)	6.92a (0.08)	6.87a (0.06)	6.85a (0.01)	6.84a (0.03)	6.87a (0.03)	NA	NA
อบเชย 0.5%	7.01a (0.20)	6.95a (0.15)	7.08a (0.18)	6.82a (0.11)	7.07a (0.40)	6.84a (0.14)	NA	NA
อบเชย 0.7%	7.02a (0.01)	7.06a (0.20)	7.12a (0.23)	6.85a (0.19)	7.02a (0.37)	6.81a (0.08)	6.95a (0.22)	NA
ขิง 0.4%	7.06a (0.09)	7.10a (0.09)	7.09a (0.08)	6.90a (0.10)	NA	NA	NA	NA
ขิง 0.6%	6.97a (0.01)	6.94a (0.17)	7.00a (0.08)	6.94a (0.06)	NA	NA	NA	NA

หมายเหตุ a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NA หมายถึง ไม่มีตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ (not available)

ภาคผนวก จ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ
ในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางผนวกที่ ๑1 คุณภาพทางกายภาพของนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
คุณภาพ	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
ค่าสี												
L*												
Air, 33°C	28.10a (0.21)	27.66b (0.16)	27.50bc (0.31)	27.32c (0.15)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	28.10a (0.21)	-	-	-	26.29b (0.13)	-	-	-	25.97c (0.08)	25.32d (0.16)	NA	NA
CO ₂ , 33°C	28.10a (0.21)	28.25a (0.43)	28.21a (0.35)	27.37b (0.53)	-	27.34b (0.02)	26.48c (0.10)	26.02d (0.37)	24.04e (0.46)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	28.10a (0.21)	-	-	-	28.04a (0.14)	-	-	-	28.03a (0.04)	27.74b (0.33)	27.49b (0.35)	NA
N ₂ , 33°C	28.10a (0.21)	28.08a (0.53)	27.48b (0.39)	27.24b (0.15)	-	26.51bc (0.42)	25.59c (0.26)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	28.10a (0.21)	-	-	-	28.26a (0.07)	-	-	-	28.18a (0.19)	26.92b (0.59)	26.84b (0.12)	26.38b (0.19)
60:40, 33°C	28.10a (0.21)	28.07a (0.20)	27.65b (0.14)	27.45b (0.25)	-	26.39c (0.19)	26.15c (0.42)	26.08c (0.20)	24.41d (0.39)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	28.10a (0.21)	-	-	-	28.02a (0.66)	-	-	-	27.53b (0.24)	27.37b (0.15)	27.20b (0.11)	27.07c (0.15)
40:60, 33°C	28.10a (0.21)	27.77a (0.37)	27.18b (0.27)	27.11b (0.38)	-	27.05b (0.15)	26.40c (0.37)	26.31c (0.33)	24.53d (0.34)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	28.10a (0.21)	-	-	-	28.09a (0.34)	-	-	-	28.05a (0.32)	27.91ab (0.18)	27.74b (0.14)	27.95ab (0.40)
VP, 33°C	28.10a (0.21)	28.13a (0.41)	27.33b (0.25)	27.25b (0.25)	-	26.80c (0.27)	25.57d (0.23)	25.25d (0.12)	24.21e (0.32)	NA	NA	NA
VP, 4°C	28.10a (0.21)	-	-	-	28.08a (0.35)	-	-	-	27.34b (0.13)	27.18b (0.42)	26.55c (0.42)	NA
a*												
Air, 33°C	-10.30a (0.12)	-10.19a (0.01)	-9.56b (0.64)	-9.51b (0.44)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	-10.30a (0.12)	-	-	-	-9.89c (0.11)	-	-	-	-9.51b (0.10)	-8.89d (0.23)	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
CO ₂ , 33°C	-10.30a (0.12)	-9.73b (0.13)	-9.62b (0.04)	-9.51b (0.44)	-	-9.50b (0.15)	-9.42bc (0.20)	-9.03c (0.48)	-9.08c (0.01)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	-10.30a (0.12)	-	-	-	-10.31a (0.07)	-	-	-	-10.11b (0.09)	-9.89c (0.26)	-9.86c (0.07)	NA
N ₂ , 33°C	-10.30a (0.12)	-10.38a (0.11)	-9.89b (0.51)	-9.48c (0.06)	-	-9.22c (0.15)	-8.79d (0.08)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	-10.30a (0.12)	-	-	-	-10.12b (0.08)	-	-	-	-10.09b (0.05)	-10.04b (0.18)	-9.99bc (0.19)	-9.86c (0.10)
60:40, 33°C	-10.30a (0.12)	-10.30a (0.30)	-10.16a (0.54)	-10.12a (0.50)	-	-9.40b (0.14)	-9.36b (0.20)	-8.66c (0.11)	-8.37c (0.08)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	-10.30a (0.12)	-	-	-	-10.31a (0.13)	-	-	-	-10.14a (0.15)	-10.06a (0.06)	-9.53b (0.11)	-8.91c (0.14)
40:60, 33°C	-10.30a (0.12)	-9.86b (0.07)	-9.00b (0.10)	-8.72c (0.20)	-	-8.58cd (0.17)	-8.53d (0.07)	-7.47e (0.07)	-7.18f (0.07)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	-10.30a (0.12)	-	-	-	10.06ab (0.42)	-	-	-	10.03ab (0.39)	-9.83b (0.19)	-9.31c (0.25)	-9.25d (0.21)

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
VP, 33°C	-10.30a (0.12)	-10.16a (0.51)	-9.85b (0.06)	-9.35c (0.07)	-	-8.53d (0.14)	-8.41d (0.05)	-7.49e (0.06)	-6.49f (0.28)	NA	NA	NA
VP, 4°C	-10.30a (0.12)	-	-	-	-9.94b (0.11)	-	-	-	-9.90b (0.29)	-9.76bc (0.22)	-9.57c (0.16)	NA
b*												
Air, 33°C	20.89a (0.42)	18.77b (0.25)	17.58c (0.12)	17.22d (0.15)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	20.89a (0.42)	-	-	-	19.12b (0.35)	-	-	-	19.17b (0.38)	18.92b (0.52)	NA	NA
CO ₂ , 33°C	20.89a (0.42)	20.47a (0.83)	19.35b (0.10)	17.99cd (0.22)	-	18.46c (0.19)	17.71d (0.62)	17.45d (0.47)	16.77e (0.15)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	20.89a (0.42)	-	-	-	20.34a (0.14)	-	-	-	20.24a (0.20)	19.08b (0.79)	17.85c (0.17)	NA
N ₂ , 33°C	20.89a (0.42)	20.80a (0.63)	20.11ab (0.22)	19.59b (1.24)	-	18.55c (0.17)	12.78d (0.23)	NA	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
N ₂ , 4°C	20.89a (0.42)	-	-	-	21.59b (0.25)	-	-	-	21.25ab (0.56)	21.43b (0.17)	19.57c (0.30)	18.72d (0.30)
60:40, 33°C	20.89a (0.42)	19.16b (0.19)	19.04b (0.43)	17.99c (0.31)	-	17.18d (0.94)	15.61e (0.36)	14.79f (0.42)	12.70g (0.26)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	20.89a (0.42)	-	-	-	20.08b (0.32)	-	-	-	20.08b (0.48)	19.63b (0.38)	18.76c (0.37)	15.3d (0.21)
40:60, 33°C	20.89a (0.42)	20.66ab (0.22)	20.29b (0.32)	19.78c (0.17)	-	18.79d (0.51)	18.46d (0.31)	17.05e (0.19)	16.73e (0.36)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	20.89a (0.42)	-	-	-	20.52a (0.55)	-	-	-	20.41a (0.52)	18.85b (0.53)	18.33b (0.68)	18.15b (0.67)
VP, 33°C	20.89a (0.42)	19.34b (0.21)	19.01b (0.20)	18.91b (0.23)	-	16.51c (0.60)	15.56d (0.18)	14.73e (0.23)	12.85f (0.74)	NA	NA	NA
VP, 4°C	20.89a (0.42)	-	-	-	19.69b (0.65)	-	-	-	18.43cd (0.52)	18.48c (0.30)	17.73d (0.71)	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
คุณภาพ	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัตว์												
hardness (N)												
Air, 33°C	13.04c (1.20)	15.48b (0.54)	15.18b (1.41)	17.76a (2.00)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	13.04c (1.20)	-	-	-	18.24b (1.27)	-	-	-	17.71b (0.72)	18.85ab (1.87)	21.04a (2.49)	NA
CO ₂ , 33°C	13.04d (1.20)	18.13c (1.19)	18.92c (1.13)	19.75c (2.04)	-	22.50b (1.47)	23.08b (1.69)	24.68ab (1.50)	26.35a (2.52)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	13.04c (1.20)	-	-	-	17.66b (1.89)	-	-	-	19.61ab (0.85)	20.93ab (2.12)	23.43a (3.40)	NA
N ₂ , 33°C	13.04d (1.20)	15.78c (1.35)	17.80bc (1.58)	17.30b (1.11)	-	19.23ab (2.03)	21.81a (2.24)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	13.04c (1.20)	-	-	-	16.65b (0.96)	-	-	-	16.25b (0.84)	17.62b (2.81)	18.06b (1.51)	20.25a (1.33)
60:40, 33°C	13.04e (1.20)	15.18d (0.65)	15.70d (0.60)	15.96d (0.60)	-	18.20c (0.60)	20.38b (0.71)	21.15b (0.79)	23.10a (0.53)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	13.04d (1.20)	-	-	-	18.20c (1.34)	-	-	-	18.63bc (2.32)	19.38b (1.47)	19.65b (1.92)	22.25a (1.65)
40:60, 33°C	13.04d (1.20)	15.26c (1.18)	18.33b (1.58)	18.21b (1.29)	-	18.80b (1.51)	21.88a (1.19)	21.83a (0.76)	22.03a (1.17)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	13.04d (1.20)	-	-	-	18.73c (1.31)	-	-	-	19.15bc (1.10)	19.56bc (0.77)	20.66b (1.12)	21.75a (0.72)
VP, 33°C	13.04e (1.20)	18.60d (1.13)	18.72d (1.72)	19.99cd (0.64)	-	21.02c (0.78)	23.65b (1.35)	25.00b (2.54)	27.83a (1.65)	NA	NA	NA
VP, 4°C	13.04d (1.20)	-	-	-	19.24c (0.81)	-	-	-	20.12c (1.61)	23.45b (1.23)	26.95a (2.09)	NA
cohesiveness												
Air, 33°C	0.48a (0.02)	0.50a (0.02)	0.49a (0.01)	0.46a (0.01)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	0.48b (0.02)	-	-	-	0.47b (0.04)	-	-	-	0.51b (0.03)	0.56a (0.02)	0.57a (0.03)	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
CO ₂ , 33°C	0.48a (0.02)	0.49a (0.03)	0.49a (0.00)	0.48a (0.01)	-	0.48a (0.02)	0.47a (0.02)	0.46a (0.02)	0.47a (0.03)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	0.48c (0.02)	-	-	-	0.51bc (0.03)	-	-	-	0.53b (0.04)	0.54ab (0.03)	0.57a (0.02)	NA
N ₂ , 33°C	0.48a (0.02)	0.48a (0.02)	0.48a (0.02)	0.49a (0.02)	-	0.47a (0.02)	0.46a (0.04)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	0.48c (0.02)	-	-	-	0.49bc (0.03)	-	-	-	0.54b (0.03)	0.54b (0.03)	0.59a (0.06)	0.60a (0.20)
60:40, 33°C	0.48a (0.02)	0.49a (0.01)	0.48a (0.05)	0.49a (0.02)	-	0.46a (0.03)	0.46a (0.02)	0.46a (0.03)	0.47a (0.03)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	0.48b (0.02)	-	-	-	0.51ab (0.03)	-	-	-	0.50ab (0.05)	0.53a (0.05)	0.53a (0.04)	0.52a (0.03)
40:60, 33°C	0.48a (0.02)	0.50a (0.03)	0.48a (0.04)	0.48a (0.02)	-	0.49a (0.09)	0.48a (0.02)	0.49a (0.02)	0.48a (0.04)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	0.48a (0.02)	-	-	-	0.50a (0.04)	-	-	-	0.50a (0.03)	0.52a (0.01)	0.53a (0.05)	0.53a (0.02)

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
VP, 33°C	0.48a (0.02)	0.47a (0.01)	0.47a (0.02)	0.47a (0.01)	-	0.47a (0.02)	0.49a (0.03)	0.49a (0.03)	0.50a (0.04)	NA	NA	NA
VP, 4°C	0.48c (0.02)	-	-	-	0.51bc (0.03)	-	-	-	0.51bc (0.02)	0.53ab (0.05)	0.56a (0.03)	NA
gumminess (N)												
Air, 33°C	6.27c (0.46)	7.72b (0.42)	7.49b (0.58)	8.65a (0.77)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	6.27d (0.46)	-	-	-	8.57c (0.68)	-	-	-	9.02c (0.34)	10.54b (1.50)	11.94a (1.25)	NA
CO ₂ , 33°C	6.27e (0.46)	8.70d (0.74)	8.78d (0.48)	9.87c (0.85)	-	11.01b (0.73)	11.93ab (0.86)	11.35ab (0.84)	12.93a (1.38)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	6.27d (0.46)	-	-	-	9.01c (0.77)	-	-	-	10.39c (0.71)	11.30b (1.04)	13.36a (1.89)	NA
N ₂ , 33°C	6.27e (0.46)	7.52d (0.61)	8.52bc (0.98)	8.23bc (0.70)	-	9.38b (1.13)	12.80a (1.63)	NA	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
N ₂ , 4°C	6.27d (0.46)	-	-	-	8.24c (0.79)	-	-	-	8.74bc (0.91)	9.50b (1.65)	10.86a (1.34)	11.32a (0.87)
60:40, 33°C	6.27de (0.46)	6.50d (0.44)	6.94d (0.41)	7.89cd (0.41)	-	8.39c (0.41)	9.29b (0.48)	9.28b (0.54)	10.85a (0.36)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	6.27c (0.46)	-	-	-	9.28b (1.05)	-	-	-	9.32b (1.27)	10.27ab (2.07)	10.41ab (1.07)	11.57a (1.34)
40:60, 33°C	6.27d (0.46)	6.83cd (0.62)	8.88c (0.75)	9.73b (0.79)	-	10.24ab (0.85)	10.56ab (0.78)	10.73a (0.54)	10.61a (0.95)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	6.27d (0.46)	-	-	-	9.37c (1.18)	-	-	-	9.58c (0.73)	10.17bc (0.54)	10.95ab (0.83)	11.53a (0.62)
VP, 33°C	6.27f (0.46)	8.78de (0.74)	8.99d (0.45)	9.48d (0.61)	-	10.76c (0.78)	12.11b (0.68)	13.23a (1.25)	13.92a (0.85)	NA	NA	NA
VP, 4°C	6.27e (0.46)	-	-	-	9.81cd (1.10)	-	-	-	10.26c (0.91)	12.43b (1.24)	15.09a (1.08)	

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
springiness (mm.)												
Air, 33°C	10.10a	9.82b	9.77b	9.58c	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	(0.13)	(0.10)	(0.07)	(0.19)								
Air, 4°C	10.10a	-	-	-	9.29a	-	-	-	8.57b	8.27b	8.03bc	NA
	(0.13)				(0.21)				(0.08)	(0.04)	(0.26)	
CO ₂ , 33°C	10.10a	9.77a	9.73a	9.49ab	-	9.33b	9.31b	9.34b	9.33b	NA	NA	NA
	(0.13)	(0.25)	(0.17)	(0.40)		(0.33)	(0.12)	(0.21)	(0.47)			
CO ₂ , 4°C	10.10a	-	-	-	10.31a	-	-	-	9.18b	8.90bc	8.77c	NA
	(0.13)				(0.33)				(0.04)	(0.20)	(0.34)	
N ₂ , 33°C	10.10ab	10.17ab	10.19a	9.84b	-	9.73b	10.03ab	NA	NA	NA	NA	NA
	(0.13)	(0.08)	(0.29)	(0.61)		(0.37)	(0.25)					
N ₂ , 4°C	10.10a	-	-	-	9.97a	-	-	-	9.81a	9.81a	9.43b	9.27b
	(0.13)				(0.10)				(0.22)	(0.34)	(0.13)	(0.39)
60:40, 33°C	10.10a	10.17a	10.15a	10.07a	-	9.97b	9.77bc	9.63bc	9.57c	NA	NA	NA
	(0.13)	(0.07)	(0.30)	(0.35)		(0.30)	(0.19)	(0.23)	(0.27)			

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	10.10a (0.13)	-	-	-	9.81a (0.51)	-	-	-	9.81b (0.37)	9.68b (0.72)	9.46b (0.14)	9.27c (0.23)
40:60, 33°C	10.10ab (0.13)	10.09ab (0.04)	10.05a (0.04)	9.67b (0.29)	-	9.65b (0.56)	9.49b (0.16)	9.09c (0.25)	9.02c (0.54)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	10.10a (0.13)	-	-	-	9.77a (0.28)	-	-	-	9.74a (0.18)	9.32b (0.04)	8.75c (0.50)	8.64c (0.05)
VP, 33°C	10.10a (0.13)	9.92ab (0.15)	9.87b (0.10)	9.49c (0.29)	-	9.41c (0.10)	9.50c (0.05)	9.48c (0.20)	9.42c (0.25)	NA	NA	NA
VP, 4°C	10.10a (0.13)	-	-	-	9.78a (0.13)	-	-	-	8.98b (0.28)	8.85b (0.42)	8.45c (0.45)	NA
การทดสอบแรงดึง												
stress (Pa)												
Air, 33°C	57.23a (4.67)	48.85ab (7.85)	45.09b (5.69)	31.93c (1.25)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	57.23a (4.67)	-	-	-	56.41a (5.79)	-	-	-	54.33a (8.38)	35.11b (4.63)	33.57b (6.48)	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
CO ₂ , 33°C	57.23a (4.67)	58.14a (3.08)	46.06b (4.82)	44.25b (5.42)	-	37.25c (5.85)	29.85d (4.23)	29.05d (5.85)	26.80d (6.13)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	57.23a (4.67)	-	-	-	51.24a (5.55)	-	-	-	46.97b (7.18)	31.23bc (7.39)	28.42c (6.42)	NA
N ₂ , 33°C	57.23a (4.67)	56.67a (4.48)	54.21a (4.72)	45.78b (4.14)	43.25b (4.96)	37.06c (4.49)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	57.23a (4.67)	-	-	-	54.25a (6.41)	-	-	-	51.35a (4.73)	45.65b (4.74)	36.19c (8.37)	36.02c (3.76)
60:40, 33°C	57.23a (4.67)	57.62a (9.27)	51.43a (10.73)	46.67b (7.67)	-	38.45c (3.27)	35.48c (2.89)	33.35c (3.87)	33.12c (4.73)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	57.23a (4.67)	-	-	-	57.90a (11.66)	-	-	-	49.75b (3.74)	39.68c (4.81)	38.65c (5.62)	36.82c (4.14)
40:60, 33°C	57.23a (4.67)	57.62a (1.37)	51.43b (7.02)	45.25bc (6.31)	-	38.45c (5.10)	34.94de (3.99)	28.90e (4.11)	27.90e (3.68)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
40:60, 4°C	57.23a (4.67)	-	-	-	57.20a (10.20)	-	-	-	56.16a (3.93)	39.46b (4.21)	39.89b (5.90)	38.84b (3.23)
VP, 33°C	57.23a (4.67)	56.12a (3.25)	47.03b (8.43)	41.78c (2.55)	-	36.52d (3.75)	28.64e (2.38)	24.24e (4.74)	23.51e (3.95)	NA	NA	NA
VP, 4°C	57.23a (4.67)	-	-	-	50.38a (7.35)	-	-	-	43.19a (6.48)	35.15b (3.85)	31.61b (6.90)	NA
percentage of extension												
Air, 33°C	79.38a (4.27)	62.62ab (3.31)	55.10b (8.43)	53.76b (3.89)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	79.38a (4.27)	-	-	-	79.00a (7.23)	-	-	-	76.18a (1.51)	58.15b (3.96)	56.09b (9.10)	NA
CO ₂ , 33°C	79.38a (4.27)	74.57a (3.59)	64.32b (4.53)	64.01b (9.70)	-	61.93b (4.25)	57.08c (5.09)	57.52c (2.04)	55.76c (3.13)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	79.38a (4.27)	-	-	-	63.57b (3.93)	-	-	-	63.90b (5.24)	63.72b (5.32)	62.46b (5.28)	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
N ₂ , 33°C	79.38a (4.27)	74.98a (9.47)	67.01b (3.58)	67.64b (3.55)	-	64.91b (9.75)	63.55b (8.56)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	79.38a (4.27)	-	-	-	74.49a (4.35)	-	-	-	73.59a (2.16)	73.21a (3.41)	70.11a (8.50)	68.45b (7.90)
60:40, 33°C	79.38a (4.27)	78.60a (9.93)	75.85a (4.58)	66.21b (9.97)	-	66.62b (9.50)	65.01b (3.86)	62.83b (4.93)	63.52b (8.49)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	79.38a (4.27)	-	-	-	75.97a (3.29)	-	-	-	75.11a (7.95)	68.88b (5.22)	67.44b (8.31)	62.50c (3.58)
40:60, 33°C	79.38a (4.27)	75.59ab (5.16)	73.27ab (4.87)	71.44b (5.02)	-	68.41b (6.15)	68.48b (6.06)	65.66b (4.28)	62.40c (6.68)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	79.38a (4.27)	-	-	-	78.74a (7.77)	-	-	-	74.63a (9.69)	74.00a (8.36)	62.29bc (4.18)	58.95c (8.23)
VP, 33°C	79.38a (4.27)	74.31ab (4.38)	63.25ab (5.83)	61.22b (4.94)	-	61.45b (6.47)	61.10b (2.99)	60.89b (7.72)	60.52b (5.56)	NA	NA	NA
VP, 4°C	79.38a (4.27)	-	-	-	60.93b (2.26)	-	-	-	60.24b (5.69)	59.39b (1.62)	59.52b (9.24)	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
work to maximum load (mJ)												
Air, 33°C	9.27a (2.95)	5.99ab (0.98)	5.82ab (1.75)	3.95b (0.50)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	9.27a (2.95)	-	-	-	8.68a (1.56)	-	-	-	8.53a (1.38)	5.86b (1.57)	5.63b (0.97)	NA
CO ₂ , 33°C	9.27a (2.95)	7.98ab (1.57)	6.27bc (1.88)	5.68bc (1.26)	-	5.30bc (1.20)	4.17c (0.51)	4.15c (1.75)	4.25c (1.88)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	9.27a (2.95)	-	-	-	6.12b (1.84)	-	-	-	6.02b (2.77)	5.68b (1.43)	5.83b (1.61)	NA
N ₂ , 33°C	9.27a (2.95)	8.17ab (1.57)	7.71ab (1.38)	6.38bc (2.72)	-	5.04c (1.78)	4.70c (1.88)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	9.27a (2.95)	-	-	-	9.10a (3.86)	-	-	-	8.81ab (1.46)	8.70ab (0.98)	7.47bc (1.73)	6.95c (1.42)
60:40, 33°C	9.27a (2.95)	8.70ab (2..07)	7.85ab (2.48)	6.37bc (1.83)	-	5.86bc (1.60)	5.79bc (1.15)	5.65c (0.50)	5.13c (0.75)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	9.27a (2.95)	-	-	-	9.18a (1.17)	-	-	-	7.65b (1.89)	7.63b (1.56)	6.27bc (1.17)	5.76c (1.60)
40:60, 33°C	9.27a (2.95)	8.92ab (2.07)	7.65bc (2.48)	5.82c (1.83)	-	5.84c (1.60)	5.73c (1.15)	5.49c (0.50)	4.65d (0.75)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	9.27a (2.95)	-	-	-	8.67b (1.72)	-	-	-	7.66b (1.50)	6.55bc (0.93)	6.15bc (1.70)	6.05c (1.91)
VP, 33°C	9.27a (2.95)	7.58ab (0.10)	6.69bc (1.22)	5.70bcd (0.12)	-	4.32de (0.23)	4.34de (0.62)	4.02de (0.71)	3.43e (1.25)	NA	NA	NA
VP, 4°C	9.27a (2.95)	-	-	-	6.99b (1.61)	-	-	-	6.71b (1.73)	6.60b (2.10)	6.59b (1.34)	NA

หมายเหตุ a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

NA หมายถึง ไม่มีตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ (not available)

ตารางผนวกที่ ๒ คุณภาพทางเคมีของนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่างๆ

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
คุณภาพ	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
pH												
Air, 33°C	6.52a (0.03)	6.45a (0.08)	6.52a (0.02)	6.53a (0.02)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	6.52a (0.03)	-	-	-	6.45a (0.03)	-	-	-	6.48a (0.07)	6.54a (0.04)	6.53a (0.04)	NA
CO ₂ , 33°C	6.52a (0.03)	6.55a (0.05)	6.51a (0.02)	6.47a (0.04)	-	6.55a (0.07)	6.49a (0.02)	6.55a (0.05)	6.53a (0.05)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	6.52a (0.03)	-	-	-	6.48a (0.06)	-	-	-	6.51a (0.01)	6.49a (0.00)	6.50a (0.01)	NA
N ₂ , 33°C	6.52a (0.03)	6.50a (0.12)	6.50a (0.07)	6.59a (0.00)	-	6.55a (0.03)	6.52a (0.04)	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	6.52a (0.03)	-	-	-	6.49a (0.04)	-	-	-	6.50a (0.03)	6.49a (0.02)	6.52a (0.02)	6.54a (0.05)
60:40, 33°C	6.52a (0.03)	6.58a (0.04)	6.52a (0.02)	6.51a (0.09)	-	6.51a (0.01)	6.49a (0.06)	6.50a (0.08)	6.57a (0.05)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๒ (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	6.52a (0.03)	-	-	-	6.50a (0.03)	-	-	-	6.50a (0.03)	6.50a (0.02)	6.54a (0.04)	6.53a (0.04)
40:60, 33°C	6.52a (0.03)	6.54a (0.04)	6.55a (0.02)	6.53a (0.09)	-	6.58a (0.01)	6.53a (0.06)	6.53a (0.08)	6.56a (0.05)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	6.52a (0.03)	-	-	-	6.45a (0.04)	-	-	-	6.48a (0.07)	6.55a (0.05)	6.53a (0.03)	6.55a (0.04)
VP, 33°C	6.52a (0.03)	6.53a (0.01)	6.58a (0.06)	6.58a (0.01)	-	6.57a (0.01)	6.55a (0.01)	6.58a (0.02)	6.54a (0.05)	NA	NA	NA
VP, 4°C	6.52a (0.03)	-	-	-	6.47a (0.03)	-	-	-	6.47a (0.06)	6.49a (0.01)	6.49a (0.04)	NA

หมายเหตุ a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

NA หมายถึง ไม่มีตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ (not available)

ตารางผนวกที่ ๓3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมชั้นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
คุณภาพ	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
สีเขียว												
Air, 33°C	7.6a (0.6)	7.9a (0.5)	8.2a (0.4)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	7.6a (0.6)	-	-	-	7.8a (0.3)	-	-	-	7.7a (0.1)	7.5a (0.1)	7.7a (0.4)	NA
CO ₂ , 33°C	7.6a (0.6)	8.0ab (1.0)	7.8ab (0.6)	7.6ab (0.6)	-	7.4ab (0.8)	7.6ab (1.1)	6.9b (0.4)	6.6c (0.7)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	7.6a (0.6)	-	-	-	7.5a (0.3)	-	-	-	7.5a (0.4)	7.5a (0.2)	7.6a (0.2)	NA
N ₂ , 33°C	7.6a (0.6)	7.5a (0.5)	7.4a (0.7)	7.4a (0.5)	-	7.0a (0.4)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	7.6a (0.6)	-	-	-	7.4a (0.3)	-	-	-	7.4a (0.3)	7.5a (0.1)	7.6a (0.3)	7.5a (0.2)
60:40, 33°C	7.6a (0.6)	7.4a (0.9)	7.3a (0.7)	7.4a (0.3)	-	7.3a (0.6)	7.1a (0.4)	6.9a (0.6)	7.0a (0.5)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	7.6a (0.6)	-	-	-	7.8a (0.4)	-	-	-	7.8a (0.5)	7.7a (0.4)	7.6a (0.2)	7.8a (0.4)
40:60, 33°C	7.6a (0.6)	7.4ab (0.4)	7.3ab (0.3)	7.3ab (0.3)	-	7.1ab (0.6)	7.1ab (0.4)	6.9b (0.6)	6.8b (0.5)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	7.6a (0.6)	-	-	-	7.8a (0.4)	-	-	-	7.9a (0.5)	7.9a (0.5)	7.6a (0.3)	7.7a (0.3)
VP, 33°C	7.6a (0.6)	7.4ab (0.8)	7.7a (0.2)	7.2ab (0.5)	-	7.7a (0.4)	7.7a (0.1)	7.2ab (0.4)	6.8b (0.4)	NA	NA	NA
VP, 4°C	7.6a (0.6)	-	-	-	7.8a (0.1)	-	-	-	7.7a (0.3)	7.6a (0.2)	7.7a (0.3)	NA
<u>กลิ่นกะทิ</u>												
Air, 33°C	5.9a (0.7)	5.6a (0.9)	5.6a (0.8)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	5.9a (0.7)	-	-	-	4.5b (0.5)	-	-	-	4.2b (0.2)	4.2b (0.1)	4.0b (0.5)	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
CO ₂ , 33°C	5.9a (0.7)	5.0b (0.7)	5.4ab (0.2)	5.2b (0.4)	-	4.8b (0.2)	4.9b (0.6)	5.0b (0.3)	4.8b (0.6)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	5.9a (0.7)	-	-	-	4.9b (0.2)	-	-	-	4.9b (0.2)	4.7b (0.6)	4.4b (0.4)	NA
N ₂ , 33°C	5.9a (0.7)	5.2b (0.8)	5.1b (0.7)	5.1b (0.2)	-	5.1b (0.3)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	5.9a (0.7)	-	-	-	4.7b (0.3)	-	-	-	4.7b (0.2)	4.6b (0.7)	4.4b (0.6)	4.7b (0.6)
60:40, 33°C	5.9a (0.7)	5.3ab (0.5)	5.3ab (0.3)	5.4ab (0.5)	-	5.2ab (0.5)	5.2ab (0.9)	5.3ab (0.8)	4.7b (0.6)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	5.9a (0.7)	-	-	-	5.0b (0.5)	-	-	-	5.0b (0.3)	4.5b (0.6)	4.4c (0.5)	4.4c (0.2)
40:60, 33°C	5.9a (0.7)	5.2b (0.6)	5.0b (0.6)	5.1b (0.2)	-	5.1b (0.3)	5.0b (0.3)	5.0b (0.3)	4.5b (0.5)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	5.9a (0.7)	-	-	-	5.0b (0.3)	-	-	-	5.0b (0.3)	4.5b (0.5)	4.5b (0.4)	4.4b (0.4)

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
VP, 33°C	5.9a (0.7)	5.2ab (0.9)	5.7a (0.6)	5.3ab (0.3)	-	5.4a (0.5)	5.5a (0.4)	4.6b (0.5)	4.7b (0.4)	NA	NA	NA
VP, 4°C	5.9a (0.7)	-	-	-	5.0b (0.3)	-	-	-	5.0b (0.3)	4.8b (0.5)	4.2c (0.5)	NA
กลิ่นใบเตย												
Air, 33°C	3.4a (0.5)	2.8a (0.6)	2.6a (0.6)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	3.4a (0.5)	-	-	-	2.4b (0.4)	-	-	-	2.3b (0.1)	2.3b (0.1)	2.1b (0.4)	NA
CO ₂ , 33°C	3.4a (0.5)	2.6a (1.1)	2.9a (0.7)	3.0a (0.4)	-	3.0a (0.4)	3.0a (0.1)	2.9a (0.4)	2.6a (0.4)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	3.4a (0.5)	-	-	-	2.7b (0.4)	-	-	-	2.7b (0.1)	2.3bc (0.4)	2.2c (0.4)	NA
N ₂ , 33°C	3.4a (0.5)	2.8a (0.7)	2.9a (0.5)	3.0a (0.3)	-	3.1a (0.5)	NA	NA	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
N ₂ , 4°C	3.4a (0.5)	-	-	-	2.8b (0.3)	-	-	-	2.8b (0.3)	2.5b (0.3)	2.5b (0.2)	2.5b (0.3)
60:40, 33°C	3.4a (0.5)	3.3a (1.3)	2.7a (0.2)	3.0a (0.4)	-	3.2a (0.5)	3.0a (0.2)	2.9a (0.3)	2.8a (0.6)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	3.4a (0.5)	-	-	-	2.9b (0.5)	-	-	-	2.8b (0.2)	2.2c (0.4)	2.2c (0.3)	2.0c (0.2)
40:60, 33°C	3.4a (0.5)	3.3a (1.3)	3.1a (0.4)	2.9a (0.4)	-	2.8a (0.2)	2.8a (0.5)	2.9a (0.2)	2.7a (0.5)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	3.4a (0.5)	-	-	-	2.7b (0.4)	-	-	-	2.8b (0.3)	2.6b (0.1)	2.5b (0.3)	2.5b (0.2)
VP, 33°C	3.4a (0.5)	3.1a (0.9)	3.2a (0.3)	3.1a (0.4)	-	3.1a (0.3)	3.0a (0.5)	2.9a (0.4)	2.9a (0.4)	NA	NA	NA
VP, 4°C	3.4a (0.5)	-	-	-	2.8b (0.2)	-	-	-	2.7b (0.2)	2.5b (0.3)	2.4b (0.4)	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
รศหวน												
Air, 33°C	8.7a (0.6)	8.3a (0.8)	9.0a (0.6)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	8.7a (0.6)	-	-	-	8.3a (0.5)	-	-	-	8.4a (0.3)	8.6a (0.5)	8.2a (0.6)	NA
CO ₂ , 33°C	8.7a (0.6)	8.1a (0.3)	8.9a (0.1)	8.8a (0.5)	-	8.8a (0.3)	9.1a (0.3)	8.3a (0.6)	8.5a (0.4)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	8.7a (0.6)	-	-	-	8.6a (0.5)	-	-	-	8.4a (0.2)	8.3a (0.2)	8.5a (0.3)	NA
N ₂ , 33°C	8.7a (0.6)	8.2a (0.5)	8.5a (0.5)	8.5a (0.3)	-	9.0a (0.4)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	8.7a (0.6)	-	-	-	8.7a (0.5)	-	-	-	8.4 (0.3)	8.4 (0.2)	8.5 (0.2)	8.3 (0.2)
60:40, 33°C	8.7a (0.6)	8.0a (0.8)	8.9a (0.3)	8.8a (0.4)	-	8.9a (0.4)	8.5a (0.6)	8.6a (1.0)	8.7a (0.9)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	8.7a (0.6)	-	-	-	8.7a (0.5)	-	-	-	8.8a (0.5)	8.6a (0.4)	8.3a (0.4)	8.7a (0.5)
40:60, 33°C	8.7a (0.6)	8.0a (0.8)	8.6a (0.4)	8.7a (0.3)	-	8.7a (0.4)	8.8a (1.1)	8.7a (0.7)	8.6a (0.5)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	8.7a (0.6)	-	-	-	8.2a (0.4)	-	-	-	8.4a (0.3)	8.7a (0.5)	8.5a (0.6)	8.7a (0.5)
VP, 33°C	8.7a (0.6)	8.0a (0.8)	8.8a (0.2)	8.6a (0.5)	-	8.7a (0.4)	8.6a (0.5)	8.3a (0.6)	8.7a (0.5)	NA	NA	NA
VP, 4°C	8.7a (0.6)	-	-	-	8.7a (0.6)	-	-	-	8.3a (0.3)	8.5a (0.5)	8.6a (0.1)	NA
ความสามารถในการลอกชั้น												
Air, 33°C	4.5a (0.7)	4.6a (0.4)	4.4a (0.6)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	4.5 (0.7)	-	-	-	4.6 (0.7)	-	-	-	4.4 (0.3)	4.5 (0.4)	4.1 (0.5)	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
CO ₂ , 33°C	4.5a (0.7)	4.2ab (0.6)	4.1ab (1.0)	4.1ab (0.4)	-	4.1a (0.6)	4.1ab (0.5)	4.0ab (0.7)	3.9b (0.6)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	4.5a (0.7)	-	-	-	4.3a (0.6)	-	-	-	4.2a (0.5)	4.2a (0.2)	3.9b (0.8)	NA
N ₂ , 33°C	4.5a (0.7)	4.4a (1.3)	4.3a (0.5)	4.3a (0.7)	-	4.2a (0.7)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	4.5a (0.7)	-	-	-	4.5a (0.4)	-	-	-	4.5a (0.5)	4.5a (0.3)	4.3a (0.6)	4.1a (0.6)
60:40, 33°C	4.5a (0.7)	4.4a (1.2)	4.5a (0.6)	4.5a (0.5)	-	4.3a (0.7)	4.2a (0.8)	4.2a (0.7)	4.1a (0.5)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	4.5a (0.7)	-	-	-	4.5a (0.6)	-	-	-	4.4a (0.6)	4.4a (0.5)	4.3a (0.8)	4.3a (0.5)
40:60, 33°C	4.5a (0.7)	4.5a (0.3)	4.4a (0.5)	4.1a (0.9)	-	4.1a (0.6)	4.0a (0.3)	4.0a (0.8)	4.1a (0.7)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	4.5a (0.7)	-	-	-	4.5a (0.6)	-	-	-	4.5a (0.9)	4.4a (0.7)	4.3a (0.5)	4.4a (0.3)

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
VP, 33°C	4.5a (0.2)	4.5a (0.3)	4.3a (0.2)	4.1ab (0.4)	-	4.1ab (0.5)	4.1ab (0.6)	4.0ab (0.3)	3.8b (0.4)	NA	NA	NA
VP, 4°C	4.5a (0.7)	-	-	-	4.2ab (0.5)	-	-	-	4.2ab (0.4)	4.1b (0.2)	4.1b (0.4)	NA
ความแข็ง												
Air, 33°C	3.7b (0.6)	4.1b (0.7)	5.2a (1.1)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	3.7b (0.6)	-	-	-	4.7a (0.6)	-	-	-	4.9a (0.9)	4.8a (0.8)	5.1a (0.6)	NA
CO ₂ , 33°C	3.7c (0.6)	4.1b (0.6)	4.2b (0.5)	4.4b (0.6)	-	4.7ab (0.4)	4.9a (0.3)	5.1a (0.3)	5.3a (0.6)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	3.7c (0.6)	-	-	-	4.8b (0.8)	-	-	-	4.8b (0.5)	5.4a (0.5)	5.8a (0.4)	NA
N ₂ , 33°C	3.7b (0.6)	3.6b (0.7)	3.7b (0.4)	4.0a (0.4)	-	4.3a (0.6)	NA	NA	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
N ₂ , 4°C	3.7b (0.6)	-	-	-	4.2b (0.6)	-	-	-	4.3b (0.4)	5.2a (0.5)	5.4a (0.9)	5.4a (0.3)
60:40, 33°C	3.7b (0.6)	4.1ab (0.8)	4.1ab (0.9)	4.2ab (0.4)	-	4.4a (0.5)	4.6a (0.6)	4.6a (0.4)	4.7a (0.5)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	3.7c (0.6)	-	-	-	3.7b (0.7)	-	-	-	4.0ab (0.6)	4.3a (0.9)	4.7a (0.6)	4.9a (0.5)
40:60, 33°C	3.7c (0.6)	4.0bc (0.4)	4.1bc (0.5)	4.1bc (0.4)	-	4.4ab (0.6)	4.7a (0.3)	4.7a (0.4)	4.8a (0.6)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	3.7b (0.6)	-	-	-	4.2ab (0.3)	-	-	-	4.2ab (0.3)	4.7a (0.2)	4.7a (0.5)	5.0a (0.4)
VP, 33°C	3.7c (0.6)	4.3c (0.3)	4.5ab (0.3)	4.7ab (1.0)	-	5.0a (0.4)	5.1a (0.4)	5.2a (0.5)	5.2a (0.3)	NA	NA	NA
VP, 4°C	3.7c (0.6)	-	-	-	4.5b (0.4)	-	-	-	4.6b (0.3)	5.4a (0.5)	5.7a (0.4)	NA

ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
ความเหนียว												
Air, 33°C	5.4a (0.7)	4.9a (0.7)	3.5b (0.7)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	5.4a (0.7)	-	-	-	4.7ab (0.5)	-	-	-	4.6ab (0.3)	4.3b (0.8)	3.8c (0.6)	NA
CO ₂ , 33°C	5.4a (0.7)	4.3b (1.0)	4.2b (0.2)	3.9b (0.5)	-	3.9b (0.6)	3.9b (1.0)	3.9b (0.5)	3.6b (0.4)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	5.4a (0.7)	-	-	-	4.5ab (0.7)	-	-	-	4.2b (0.5)	3.7bc (0.6)	3.4c (0.2)	NA
N ₂ , 33°C	5.4a (0.7)	5.0ab (0.9)	4.5b (0.6)	4.4b (0.5)	-	4.3b (0.8)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	5.4a (0.7)	-	-	-	5.0ab (0.3)	-	-	-	4.5bc (0.4)	4.5bc (0.3)	4.3c (0.7)	4.2c (0.6)
60:40, 33°C	5.4a (0.7)	5.1a (0.5)	5.0ab (0.6)	4.8abc (0.8)	-	4.8abc (0.8)	4.7abc (0.2)	4.3bc (0.6)	4.0c (1.0)	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
60:40, 4°C	5.4a (0.7)	-	-	-	4.7ab (0.7)	-	-	-	4.6b (0.5)	4.5b (0.6)	4.4b (1.0)	4.2b (0.8)
40:60, 33°C	5.4a (0.7)	5.1a (0.5)	5.1a (0.7)	4.7ab (0.5)	-	4.7ab (0.2)	4.3b (0.2)	4.0b (0.3)	3.9b (0.6)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	5.4a (0.7)	-	-	-	5.2a (0.3)	-	-	-	4.9ab (0.2)	4.6bc (0.4)	4.3c (0.5)	4.4c (0.7)
VP, 33°C	5.4a (0.7)	5.2a (1.0)	5.0a (0.3)	4.6a (0.7)	-	4.4a (0.8)	3.0b (0.6)	3.1b (1.0)	3.0b (0.6)	NA	NA	NA
VP, 4°C	5.4a (0.7)	-	-	-	4.7ab (0.7)	-	-	-	4.3b (0.6)	3.8bc (0.8)	3.5c (1.0)	NA
ความยากง่ายในการเลี้ยง												
Air, 33°C	4.7a (0.6)	4.9a (0.4)	5.0a (0.5)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	4.7a (0.6)	-	-	-	5.2a (0.6)	-	-	-	5.2a (0.4)	5.2a (0.2)	5.3a (0.4)	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
CO ₂ , 33°C	4.7a (0.6)	4.9a (0.2)	5.0a (0.3)	5.1a (0.5)	-	5.1a (0.4)	5.2a (0.3)	5.2a (0.5)	5.3a (0.6)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	4.7a (0.6)	-	-	-	4.8a (1.0)	-	-	-	4.9a (0.4)	5.2a (0.7)	5.4a (0.5)	NA
N ₂ , 33°C	4.7a (0.6)	5.1a (1.0)	5.1a (0.5)	5.1a (0.5)	-	5.1a (0.6)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N ₂ , 4°C	4.7a (0.6)	-	-	-	4.9a (0.2)	-	-	-	5.0a (0.5)	5.1a (0.7)	5.1a (0.4)	5.1a (0.2)
60:40, 33°C	4.7a (0.6)	4.8a (0.7)	5.0a (0.6)	5.0a (0.4)	-	5.1a (0.4)	5.1a (0.4)	5.2a (0.4)	5.3a (0.3)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	4.7a (0.6)	-	-	-	4.8a (0.6)	-	-	-	4.8a (0.5)	4.9a (0.6)	5.0a (0.6)	5.0a (0.4)
40:60, 33°C	4.7a (0.6)	4.8a (0.7)	4.8a (0.4)	5.0a (0.5)	-	5.0a (0.3)	5.2a (0.2)	5.2a (0.3)	5.4a (0.5)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	4.7a (0.6)	-	-	-	5.0a (0.4)	-	-	-	5.1a (0.4)	5.1a (0.1)	5.1a (0.2)	5.0a (0.2)

ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
คุณภาพ												
VP, 33°C	4.7a (0.6)	5.0a (0.3)	5.0a (0.6)	5.1a (0.5)	-	5.2a (0.6)	5.1a (0.6)	5.3a (0.2)	5.4a (0.3)	NA	NA	NA
VP, 4°C	4.7a (0.6)	-	-	-	5.0a (0.3)	-	-	-	5.0a (0.3)	5.1a (0.3)	5.2a (0.7)	NA
การยอมรับ												
Air, 33°C	7.8a (1.1)	7.3a (0.5)	5.7b (0.8)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Air, 4°C	7.8a (1.1)	-	-	-	6.5b (0.6)	-	-	-	5.7bc (0.8)	4.8cd (1.0)	4.3d (1.0)	NA
CO ₂ , 33°C	7.8a (1.1)	7.3ab (1.3)	6.1bc (0.7)	6.2c (1.4)	-	5.2bc (0.8)	5.3c (1.2)	5.0c (0.6)	3.6d (0.9)	NA	NA	NA
CO ₂ , 4°C	7.8a (1.1)	-	-	-	6.9ab (0.7)	-	-	-	6.1b (0.4)	5.9b (0.1)	4.4c (0.3)	NA
N ₂ , 33°C	7.8a (1.1)	6.6ab (0.5)	6.2b (0.8)	6.2b (1.3)	-	6.0b (0.9)	NA	NA	NA	NA	NA	NA

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย คุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)											
	0	2	4	6	7	8	10	12	14	21	28	35
N ₂ , 4°C	7.8a (1.1)	-	-	-	7.1ab (0.7)	-	-	-	6.4bc (0.6)	5.5c (0.6)	5.5c (0.8)	3.1d (1.0)
60:40, 33°C	7.8a (1.1)	6.5b (1.0)	6.3bc (0.8)	6.2bc (1.0)	-	6.1bc (0.8)	6.0bc (0.0)	5.0c (0.7)	2.9d (1.2)	NA	NA	NA
60:40, 4°C	7.8a (1.1)	-	-	-	7.3a (1.3)	-	-	-	6.0b (0.7)	5.8bc (0.8)	5.3c (1.1)	3.8d (0.7)
40:60, 33°C	7.8a (1.1)	6.5b (1.0)	6.5b (0.5)	6.3b (0.9)	-	6.3b (0.5)	4.7c (0.3)	4.5c (1.4)	2.9d (1.2)	NA	NA	NA
40:60, 4°C	7.8a (1.1)	-	-	-	6.7b (0.8)	-	-	-	6.0bc (0.8)	5.4b (0.8)	4.0c (0.7)	3.6c (0.5)
VP, 33°C	7.8a (1.1)	6.7b (0.6)	6.3bc (0.0)	6.2b (0.7)	-	6.0b (0.5)	5.0cd (1.0)	4.7d (0.8)	2.7e (1.0)	NA	NA	NA
VP, 4°C	7.8a (1.1)	-	-	-	7.3a (1.0)	-	-	-	6.0b (0.6)	5.3bc (1.4)	4.6c (1.1)	NA

หมายเหตุ a-f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

NA หมายถึง ไม่มีตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ (not available)



(ก)



(ข)

ภาพผนวก ๑1 (ก) ผลึกภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน (ถุงไม่หดรัดภาชนะ) และ (ข) ผลึกภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ (ถุงหดรัดภาชนะ)



(ก)



(ข)

ภาพผนวก ๑2 ลักษณะของถุงพลาสติกที่บรรจุขนมชั้นในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี CO_2 100% (ก) คือ ช่วงแรกของการเก็บรักษา (ถุงไม่หดรัดภาชนะ) และ (ข) คือ ช่วงหลังของการเก็บรักษา (ถุงหดรัดภาชนะ ลักษณะเหมือนผลึกภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ)