

Research Article

การใช้สมการคิเวนและปฏิกิริยาจลนศาสตร์ในการประเมินอายุการเก็บ ผลิตภัณฑ์: กรณีศึกษาในคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล

Temperature coefficient (Q_{10}) and kinetic reaction for the shelf life evaluation: case study of Homnil rice-cookies

อนันทิตา แสงสุริยวงษ์ นภัสสร เพ็ญสุระ นิชาภา กรศักยา และพรรัตน์ สินชัยพานิช*

Anantita Sangsuriyawong, Napassorn Peasura, Nichapa Kornsakya and Pornrat Sinchaipanit*

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย

Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand

*E-mail: pomrat.sin@mahidol.ac.th

Received: 28/08/2021; Revised: 12/04/2022; Accepted: 18/08/2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุการเก็บของคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล ภายใต้สภาวะเร่งอุณหภูมิและควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 75% โดยใช้สมการคิเวน (Q_{10}) และปฏิกิริยาจลนศาสตร์ (kinetic reaction) และทำการสุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์ นาน 7 สัปดาห์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพเคมีของคุกกี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ได้แก่ ค่าความแข็ง (1.4-1.9 kg) ค่าความหืน (TBARs) (2.0-7.5 mg malonaldehyde/kg) ค่าน้ำอิสระ (0.63-0.65) และความชื้น (7.1-8.8 % dry basis) ยกเว้นค่าสี $L^* a^* b^*$ มีค่าลดลง โดยเฉพาะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50°C พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่ 40°C และ 30°C สอดคล้องกับการลดลงของคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัส ขณะที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (1×10^4 cfu/g) โคลิฟอร์ม (<3 MPN/g) และอีโคไล (<3 MPN/g) มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตลอดอายุการเก็บนาน 7 สัปดาห์ การศึกษานี้ใช้ดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพการหืนของคะแนนการยอมรับด้านประสาทสัมผัส และค่า TBARs เพื่อใช้คำนวณอายุการเก็บคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล พบว่าที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อใช้สมการ Q_{10} ที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 30°C และ 40°C จะมีอายุการเก็บ 60 วัน ขณะที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 40°C และ 50°C จะมีอายุการเก็บ 38 วัน และการใช้ปฏิกิริยาจลนศาสตร์จะมีอายุการเก็บ 22 วัน

คำสำคัญ: การทดสอบอายุเก็บภายใต้สภาวะเร่งอุณหภูมิ, คุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล, สมการ Q_{10} , ปฏิกิริยาจลนศาสตร์

Abstract

This study aimed to determine the shelf life of Homnil rice-cookies under accelerated temperatures and humidity control 75% by using Q_{10} and kinetic reaction. The cookies were random sampling every 1 wk for 7 wks. Changes in physicochemical quality of cookies sample was significantly increased ($p < 0.05$) when increasing storage time; hardness

(1.4-1.9 kg), rancidity (TBARs) (2.0-7.5 mg malonaldehyde/kg), water activity (0.63-0.65) and moisture (7.1-8.8 % dry basis) except for color value L^* a^* b^* was declined. These results were clearly found in high accelerated temperature at 50°C than 40°C and 30°C. Approving to the reduction scores of sensory evaluation was obtained. Whereas the total plate count (1×10^4 cfu/g), Coliform (<3 MPN/g) and *E.coli* (<3 MPN/g) were lower and safety for consumption over storage period for 7 wks. In this study, the rancidity index by using sensory score and TBARs value were chosen for quality deterioration to calculate the shelf-life of Homnil-rice cookies. At storage temperature 25°C, the shelf-life of Homnil-rice cookies was around 60 days and 38 days when calculated by Q_{10} at accelerated temperature at 30°C and 40°C; and 40°C and 50°C, respectively. A shelf-life of cookies was about 22 days when evaluated by kinetic reaction.

Keywords : accelerated shelf-life testing, Homnil rice-cookies, Q_{10} equation, kinetic reaction

บทนำ

ขนมอบเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคที่ได้รับความนิยมสูงในกลุ่มผู้บริโภคทุกวัย เนื่องจากมีรสชาติอร่อย มีความหลากหลายของชนิดผลิตภัณฑ์ และให้คุณค่าสารอาหารที่มีประโยชน์ ปัจจุบันมีการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ขนมอบด้วยการเติมธัญชาติ ผัก ผลไม้ และใยอาหาร เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ รวมทั้งอาจมีการลดปริมาณน้ำตาล ไขมัน และกลูเตนในสูตร สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นโรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคไขมันสูง และแพ้กลูเตน

แป้งข้าวกล้องหอมนิล เป็นแป้งข้าวที่ผลิตได้จากข้าวกล้องหอมนิลที่ผ่านการโม่แห้ง และทำให้เม็ดแป้งมีขนาดเล็กมากกว่า 100 mesh ทำให้แป้งข้าวกล้องหอมนิลมีคุณลักษณะคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงข้าวกล้องหอมนิล คือ มีสีม่วงเข้ม มีกลิ่นหอมข้าว ไม่มีโปรตีนกลูเตน มีใยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากสารแอนโทไซยานิน (Kapcum et al., 2016) และยังมีวิตามินบี วิตามินอี แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาว (Halee et al., 2020) นอกจากนี้ประโยชน์เชิงสุขภาพแล้วยังมีผลดีในเชิงป้องกันความเสี่ยงของกลุ่มโรคเมตาบอลิกด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้แป้งข้าวกล้องหอมนิลนิยมนำมาใช้แทนแป้งสาลีเพื่อเป็นสารเสริมสุขภาพในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น คุกกี้ ขนมปัง มัฟฟิน และเค้ก (Rodmui & Jitwaropas, 2007; Sangkaeo & Chomkhuntod, 2015) เป็นต้น

พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 237 เรื่อง การแสดงฉลากของอาหารพร้อมปรุงและอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที (Ministry of public health, 2001) เพื่อให้ผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้นๆ สามารถเก็บรักษาไว้ตามสภาวะที่กำหนดได้นานเท่าไร โดยยังมีคุณภาพและความปลอดภัยในการบริโภค จึงเป็นความรับผิดชอบของผู้ประกอบการหรือผู้ผลิตอาหารที่จำเป็นต้องระบุนโยบายการเก็บของผลิตภัณฑ์บนฉลากอาหาร ซึ่งทำได้โดยการศึกษาหรือการทดสอบบนพื้นฐานตามหลักการทางวิทยาศาสตร์

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ชนิดอาหาร ส่วนประกอบ กระบวนการแปรรูป ชนิดบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมการเก็บรักษา ทำให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีความจำเพาะของอายุเก็บที่อาจแตกต่างกัน เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์คุกกี้ ความแตกต่างของส่วนประกอบวัตถุดิบ สุนัขลักษณะการผลิต อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ออบ และชนิดบรรจุภัณฑ์ อาจส่งผลให้คุกกี้แต่ละชนิดมีอายุการเก็บรักษาที่จำเพาะขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ตลอดจนมีลักษณะการเสื่อมเสียหรือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือมีการปรับสูตรใหม่ควรมีการทดสอบหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้อง

วิธีทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารตามข้อเสนอแนะในการเก็บรักษาแบบปกติ มักมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่ค่อนข้างนานในการทดสอบ สถานที่หรือพื้นที่ที่ใช้เก็บตัวอย่าง อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ และเจ้าหน้าที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทั่วไปมักผลิตสินค้าหลากหลายชนิดและหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มส่วนแบ่งและมูลค่าทางการตลาด และด้วยข้อบังคับทางกฎหมายเรื่องการระบุอายุเก็บสินค้าบนฉลากผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่งอุณหภูมิจึงเป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร ที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการทดสอบ นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานที่ให้บริการทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อช่วยสนับสนุนภาครัฐและเป็นทางเลือกกรณีที่ผู้ผลิตไม่สามารถทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้

การใช้เทคนิค Q_{10} และหรือปฏิกิริยาจลนศาสตร์ (kinetic reaction) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่ง (accelerated shelf life testing) (Lu & Xu, 2009; Manzocco et al., 2020; Thamee et al., 2018) ซึ่งทั้ง 2 วิธีจะมีการประเมินผลและใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน ปัจจัยสำคัญที่ต้องกำหนดในการทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่ง คือสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการสัมผัสแสง ซึ่งควรสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงที่วางจำหน่ายหรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ตลอดจนช่วงระยะเวลาการสุ่มตัวอย่าง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพเคมี คุณภาพด้านประสาทสัมผัส และการเสื่อมเสียคุณภาพด้านจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์การศึกษานี้ คือ การทดสอบอายุการเก็บรักษาคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลภายใต้สภาวะเร่งอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้สมการ Q_{10} และปฏิกิริยาจลนศาสตร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตคุกกี้และแผนการสุ่มตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล ซึ่งมีส่วนประกอบแป้งข้าวกล้องหอมนิล 41.5 % เนย 25 % น้ำตาล 23 % ไข่ 10% ผงฟู 0.3% และเกลือ 0.2% คัดแปลงจากสูตรของ Gouveia et al. (2007) ขั้นตอนแรกให้ตีเนยและน้ำตาลให้ขึ้นฟู จากนั้นจึงเติมไข่และตีผสมต่อจนเข้ากัน แล้วจึงค่อยๆเติมแป้งข้าวกล้องหอมนิลที่ผสมกับผงฟูและเกลือป่น คนส่วนผสมเบาๆ ให้เข้ากัน ตักส่วนผสมคุกกี้หยอดบนถาดอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 นิ้ว (น้ำหนัก 5 กรัมต่อชิ้น) นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 180°C นาน 25-30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพียู (PP, polypropylene) 1 ชั้น/ถุง และปิดผนึก วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และใยอาหาร (AOAC 2019) รวมทั้งวิตามินเอ (Kangsadalampai & Sungpuag, 1984) วิตามินบี 1 และบี 2 แคลเซียม และเหล็ก (AOAC 2019)

นำตัวอย่างคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลที่บรรจุถุงพลาสติก มาเก็บรักษาไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 75% (constant climate chambers, Binder, KFB-S 270; German) สุ่มตัวอย่างทุกๆ 1 สัปดาห์ เป็นเวลานาน 7 สัปดาห์ หรือกระทั่งตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมเสียไม่เป็นที่ยอมรับ นำตัวอย่างมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพเคมี ดัชนีคุณภาพด้านจุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2. ดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพ

2.1 คุณภาพทางกายภาพเคมี ได้แก่ การวัดเนื้อสัมผัสโดยประเมินความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texturometer (TA.XT-Plus, Stable micro system, UK) คัดแปลงวิธีจาก Hamdani et al. (2020) โดยใช้หัววัด HDP/3PB ความเร็วในการกด 3 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดซ้ำจำนวน 5 ตัวอย่าง การวัดค่าความหืน (TBARs, thiobarbituric acid reactive substances) โดยซั่ง

ตัวอย่าง 1 กรัม แล้วสกัดด้วยสารละลาย TBA (2% thiobarbituric acid ในกรดแอสซิติคเข้มข้น 90%) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 95°C นาน 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 4000 g นาน 20 นาที แยกสารละลายส่วนใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร คำนวณค่า TBARs (mg malonaldehyde/kg) จากกราฟมาตรฐานมาลอนแอลดีไฮด์ (malonaldehyde) การวัดค่าสี CIE L* (lightness), a* (redness) และ b* (yellowness) ด้วยเครื่อง Color spectrophotometer (ColorFlex EZ, USA) ใช้แหล่งแสงมาตรฐาน D65/10° และแสดงค่าสี CIE L* a* b* ค่า L=0 (สีดำ) L=100 (สีขาว) ค่า a เป็น + (สีแดง) a เป็น - (สีเขียว) และ b เป็น + (สีเหลือง) b เป็น - (สีน้ำเงิน) การวัดค่าน้ำอิสระ (water activity) โดยใช้เครื่อง Water activity meter (Novasina, model ms 1, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 25°C และปริมาณความชื้น (AOAC, 2019) โดยการอบแห้ง ตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 6-8 ชั่วโมง หรือกระทั่งน้ำหนักคงที่ ที่ให้เขียนในโถดูดความชื้น (desiccator) ชั่ง และบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังอบ คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% dry basis)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง}} \times 100 \quad (1)$$

2.2 คุณภาพด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC, total plate count) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ standard plate count agar (PCA) ด้วยวิธี pour plate และบ่มที่อุณหภูมิ 35°C นาน 48 ชั่วโมง รายงานผลเป็น cfu/g และตรวจเชื้อ Coliform และ *E.coli* ตามวิธีมาตรฐานของ FDA's Bacteriological Analytical Manual (Food and Drug Administration, 2020) รายงานผลเป็น MPN/g

2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบชิมที่มีความชำนาญทางการประเมินด้านประสาทสัมผัสและชอบรับประทานผลิตภัณฑ์คูกี้ (n=6) ด้วยวิธี 5-point hedonic scale คะแนน 5 = ชอบมาก 4=ชอบ 3=เฉยๆ 2=ไม่ชอบ และ 1=ไม่ชอบมาก ประเมินความชอบในด้านกลิ่นรส กลิ่นหืน เนื้อสัมผัส สี และความชอบรวม โดยคะแนนความชอบของลักษณะคุณภาพใดมีค่าต่ำกว่า 3 หมายถึงไม่ยอมรับ

3. การประเมินอายุเก็บของผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและตัวชี้วัดดัชนีการเสื่อมเสียที่เหมาะสมในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะ ถูกนำมาพิจารณาใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาโดยใช้สมการ Q_{10} และปฏิกิริยาจลนศาสตร์

3.1 สมการ Q_{10}

ค่า Q_{10} หมายถึง อัตราส่วนของค่าคงที่ ณ อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน 10°C ดังสมการที่ (2) (Mizrahi, 2004)

$$Q^{\Delta T} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T+\Delta T)}} \quad (2)$$

โดยที่

$\theta_{s(T)}$ คือ อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T (°C)

$\theta_{s(T+10)}$ คือ อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T + 10 (°C)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่จะทำนายกับอุณหภูมิ T

3.2 ปฏิกิริยาจลนศาสตร์

ให้ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูล การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหรือดัชนีการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการเก็บรักษาแต่ละช่วงระยะเวลาที่มีการแปรอุณหภูมิการเก็บรักษา จากนั้นให้พิจารณาอันดับของปฏิกิริยา (reaction order) ดังสมการที่ (3) ถึง (5) จากความสัมพันธ์ของกราฟเส้นตรงร่วมกับความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนอง (R-Squared, R²) แก่สมการจะได้ค่า k

$$\text{อันดับปฏิกิริยา } n=0; \quad dC_A/dt = k \quad (3)$$

$$\text{อันดับปฏิกิริยา } n=1; \quad dC_A/dt = -k C_A \quad (4)$$

$$\text{อันดับปฏิกิริยา } n=2; \quad 1/C_A = kt + 1/C_{A0} \quad (5)$$

โดยที่

C_{A0} = ความเข้มข้นของส่วนประกอบที่สนใจที่เวลาเริ่มต้น

C_A = ความเข้มข้นของส่วนประกอบที่สนใจที่เวลา t

t = เวลา

k = อัตราเร็วของปฏิกิริยา

พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k$ ของทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา (แกน y) กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์เคลวิน (1/T) (แกน x) เพื่อหาค่า E_a จากความชันของกราฟ (slope = $-E_a/R$) แล้วนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณหาค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ (k) โดยใช้สมการ Arrhenius ดังสมการที่ (6) ในการคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิ (หน่วยเคลวิน) ที่สนใจ ให้แทนค่า k ในสมการของอันดับปฏิกิริยา (อันดับ 0, 1 หรือ 2) ที่เลือก และแก้สมการหาค่า t จะได้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (Taoukis et al., 1997)

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (6)$$

โดยที่

k = ค่าคงที่อัตรา (rate constant) ณ อุณหภูมิที่กำหนด

E_a = พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (J/mol)

R = ค่าคงที่ของแก๊สมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์เคลวิน (K)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การพัฒนาคุกกี้แป้งข้าวกล้องหอมนิลมีจุดประสงค์เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสุขภาพ โดยเฉพาะผู้ที่แพ้งูเดินหรือโปรตีนแป้งสาลี และยังเพิ่มคุณประโยชน์ของใยอาหารรวมทั้งแร่ธาตุและวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายจากข้าวกล้องหอมนิล คุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลมีลักษณะปรากฏทั่วไป คือ มีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อสัมผัสนุ่มและเหนียว และมีกลิ่นหอมคล้ายข้าว คุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล 100 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 54 กรัม ไขมัน 26 กรัม โปรตีน 8.5 กรัม และมีใยอาหารสูงถึง 9 กรัม ขณะที่คุกกี้แป้งสาลี (สูตรควบคุม) มีใยอาหาร 4 กรัม นอกจากนี้คุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลยังมีวิตามินเอ 78 ไมโครกรัม วิตามินบี 1 เท่ากับ 0.11 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม แคลเซียม 74 มิลลิกรัม และเหล็ก 3.1 มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าตัวอย่างคุกกี้สูตรควบคุม 2-3 เท่า (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

1. การเสื่อมเสียคุณภาพของคุกกี้ข้าวหอมนิลระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพเคมี

การวัดค่าความแข็ง (hardness) ของคุกกี้พบว่ามีความนุ่มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น และยังสัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความแข็งของคุกกี้วันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 1.38 kg และเพิ่มขึ้นโดยมีค่าระหว่าง 1.8-1.9 kg เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C และความชื้นสัมพัทธ์ 75% (Table 1) ค่าความแข็งของคุกกี้ที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเก่า (staling) ของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งเป็นผลจากการเกิดผลึกของสตาร์ช (crystallization) ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ และส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อสัมผัสที่ด้อยลง (Cauvain & Young, 2010) อย่างไรก็ตามการเกิดรีโทรเกรเดชันอาจเป็นผลดีในบางผลิตภัณฑ์ เช่น การลดความเหนียวของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว และทำให้สตาร์ชทนต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (resistance starch) การเกิดรีโทรเกรเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถแก้ไขได้โดยนำผลิตภัณฑ์ไปอบให้ความร้อนใหม่ (re-heat) แต่ต้องพิจารณาลักษณะคุณภาพอื่นของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย

ความหืนของไขมัน จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลง TBARs ของคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้น ตัวอย่างคุกกี้ข้าวหอมนิลมีค่า TBARs เริ่มต้นประมาณ 2 mg malonaldehyde/kg และเพิ่มขึ้นเป็น 6.85, 7.34 และ 7.49 mg malonaldehyde/kg เมื่อเก็บรักษาไว้ 7 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ตามลำดับ (Table 1) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Gupta et al. (2011) ได้ศึกษาความหืนของคุกกี้ข้าวบาร์เลย์ที่บรรจุในถุง PEP และถุง Met-polyester ด้วยการใช้ค่า TBARs พบว่าค่า TBARs เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น 6 เดือน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงกว่า (26°C และ 37°C) การเพิ่มขึ้นของค่า TBARs เป็นผลจากปริมาณสารมาลอนแอลดีไฮด์ที่มากขึ้น ซึ่งสารมาลอนแอลดีไฮด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการแตกตัวของสารเพอร์ออกไซด์และแอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นหืนในอาหาร (Gomes et al., 2003; Rattanapanone, 2014; Singh & Cadwallader, 2004) นอกจากนี้ปัจจัยของสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และระยะเวลาการเก็บรักษา ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Márquez-Ruiz & Dobarganes, 2005) การหืนของไขมันในอาหารยังอาจเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity) โดยมีเอนไซม์ไลเปส (lipase enzymes) และอุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปกติการหืนในผลิตภัณฑ์อาหารมักมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการปฏิเสธการยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากกลิ่นที่ผิดปกติหรือแปลกปลอมและยังอนุมานได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นถูกเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานจนไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค ตลอดจนความเสี่ยงอันตรายของสารที่อาจเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีผลต่อสุขภาพ (Kanner, 2007)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าน้ำอิสระของคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิล พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น รวมทั้งที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้น โดยมีความชื้นเริ่มต้น 7.1% และเพิ่มขึ้นเป็น 8.8% 8.6% และ 8.7% เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 7 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ตามลำดับ ส่วนค่าน้ำอิสระของตัวอย่างคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลที่อายุเก็บ 0 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 0.59 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 7 สัปดาห์พบว่าแต่ละอุณหภูมิของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างของค่าน้ำอิสระมากนัก โดยมีค่าน้ำอิสระระหว่าง 0.63-0.65 (Table 1) ความชื้นของคุกกี้ที่สูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นอาจเป็นผลจากการที่ถุงพลาสติก PP มีคุณสมบัติยอมให้ความชื้นจากภายนอกแพร่ผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ได้ (Galb'Ć et al., 2009) โดยสัมพันธ์กับค่าน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นในผลิตภัณฑ์คุกกี้กลับมีผลตรงข้ามกับเนื้อสัมผัสของคุกกี้ที่มีความแข็งและร่วนมากขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น อธิบายได้ว่าผลของการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช อาจเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อสัมผัสของคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลมากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น

การเก็บรักษาคุกกี้เป็นเวลานาน 7 สัปดาห์ ทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา 30°C 40°C และ 50°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% พบว่าคุกกี้มีค่าความสว่าง L^* เริ่มต้น 31.8 และลดลงเป็น 29.6 ค่าสีแดง a^* เริ่มต้น 5.6 และลดลงเป็น 3.9 ส่วนค่าสีเหลือง b^* เริ่มต้น 11.6 และลดลงเป็น 9.1 (Table 1) เนื่องจากธรรมชาติของคุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลมีสีน้ำตาลเข้ม เพราะเม็ดสีแอนโทไซยานินที่มีสีม่วงเข้มในแป้งข้าวหอมนิลที่ใช้เป็นส่วนประกอบวัตถุดิบในการเตรียมคุกกี้ แม้ว่าการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจะส่งผลให้คุกกี้มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าสี L^* a^* b^* (Table 1) แต่การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพเคมีของคุกกี้ข้าวหอมนิล ตลอดอายุการเก็บรักษาที่กำหนดสภาวะควบคุมที่แตกต่างกัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น อย่างไรก็ตามแม้ผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงและมีแนวโน้มการเสื่อมเสียคุณภาพมากขึ้นตามอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยเฉพาะการเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ก็ไม่พบเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพที่ใช้ชี้บ่งถึงค่าคุณภาพดังกล่าวว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับหรือไม่ยอมรับ ทำให้ยากต่อการระบุระยะเวลาเก็บสุดท้ายที่ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย โดยเฉพาะคุกกี้ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีค่าความชื้นและค่าน้ำอิสระค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการเสื่อมเสียได้ช้ากว่ากลุ่มอาหารที่มีค่าความชื้นและค่าน้ำอิสระสูงกว่า เนื่องจากสภาวะดังกล่าวสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

สอดคล้องกับผลวิเคราะห์คุณภาพจุลินทรีย์ โดยใช้ดัชนีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) โคลิฟอร์ม (coliform) และอีโคไล (*E. coli*) แสดงผลใน Table 2 พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาที่กำหนด 7 สัปดาห์ ในสภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ต่างกัน คือ 30°C, 40°C และ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% จุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวน $< 1 \times 10^4$ cfu/g โคลิฟอร์มและอีโคไลมีจำนวน < 3 MPN/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ตามประกาศกระทรวงฉบับที่ 416 พ.ศ. 2563 (Ministry of public health, 2020)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะของคุณภาพที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยสำคัญต่างๆ ได้แก่ วัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต และบรรจุภัณฑ์ ทำให้การพิจารณาการเสื่อมเสียคุณภาพหรืออายุการเก็บรักษาของแต่ละผลิตภัณฑ์จึงต้องเลือกดัชนีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการศึกษานี้ได้มีการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส ผลแสดงดัง Table 3 คุกกี้ข้าวกล้องหอมนิลที่อายุการเก็บ 0 วัน มีคะแนนความชอบในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส สี และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบถึงชอบมาก (คะแนน 4.67-5.00) โดยคุกกี้มีกลิ่นหอมคล้ายข้าว และมีกลิ่นเนยอ่อนๆ มีรสหวานและเค็มพอดี รวมทั้งไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอม แต่ในระหว่างการเก็บรักษาตัวอย่าง

คูกี้ก็เป็นเวลานานขึ้นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับด้านคุณภาพกลิ่นรสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทุกสภาวะอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงกว่า เนื่องจากกลิ่นหอมคล้ายข้าวลดลงและไม่มีกลิ่นเนย จนกระทั่งไม่มีกลิ่นหอมและมีกลิ่นอับแฉะ ที่สำคัญคือการมีกลิ่นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมของคูกี้ที่ข้าวกล้องหอมชนิด ส่วนเนื้อสัมผัสของคูกี้เริ่มมีความร่วนมากขึ้นและการเกาะตัวลดลง ซึ่งถือเป็นอีกดัชนีคุณภาพที่มีผลต่อการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสังเกตว่าตัวอย่างคูกี้จะมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อยที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 50°C ตามด้วยที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40°C และ 30°C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี $L^*a^*b^*$ (Table 1) เกณฑ์ภาพรวมของคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัส ($n=6$) โดยผู้ทดสอบที่เป็นนักวิจัยและเชี่ยวชาญในการทดสอบด้านประสาทสัมผัสและชอบรับประทานคูกี้ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะคุณภาพสำคัญของคูกี้ ได้แก่ กลิ่นรส กลิ่นหืน เนื้อสัมผัส และสี ร่วมกับการใช้เกณฑ์คะแนนยอมรับ

ผลการศึกษาพบว่า การเกิดกลิ่นหืนของคูกี้ที่ข้าวกล้องหอมชนิด มีความไวในการเสื่อมเสียมากกว่าคุณภาพด้านประสาทสัมผัสลักษณะอื่น และยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดลงของคะแนนการยอมรับรวม (Table 3) สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ค่าความหืน TBARs (Table 1) ที่แสดงไว้ข้างต้น โดยทุกสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการบริโภค

Table 1 Physico-chemical quality of Homnil rice-cookie during storage at temperature 30, 40 and 50 °C and a relative humidity of 75% for 7 weeks

Qualities	Temp °C	Storage time, wk							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Hardness (kg)	30	1.380±0.43 ^a	1.560±0.23 ^b	1.591±0.44 ^c	1.610±0.43 ^d	1.617±1.03 ^d	1.722±0.46 ^c	1.784±0.84 ^f	1.792±0.75 ^f
	40	1.380±0.43 ^a	1.564±1.49 ^b	1.589±0.53 ^c	1.623±0.23 ^d	1.618±0.57 ^d	1.732±0.56 ^c	1.791±0.62 ^f	1.890±0.54 ^g
	50	1.380±0.43 ^a	1.613±0.83 ^b	1.635±0.29 ^c	1.642±0.38 ^{cd}	1.653±0.56 ^d	1.759±0.31 ^c	1.804±0.73 ^f	1.870±0.62 ^g
TBARs (mg malonaldehyde/kg)	30	2.04±0.34 ^a	3.99±0.32 ^b	4.20±0.08 ^c	4.46±0.17 ^d	5.03±0.09 ^c	5.38±0.09 ^c	6.27±0.12 ^f	6.85±0.08 ^g
	40	2.04±0.34 ^a	4.83±0.42 ^b	5.90±0.28 ^c	6.32±0.24 ^d	6.69±0.47 ^c	6.92±0.26 ^f	7.12±0.32 ^g	7.34±0.21 ^h
	50	2.04±0.34 ^a	4.94±0.26 ^b	6.76±0.15 ^c	6.90±0.28 ^d	7.15±0.35 ^c	7.32±0.09 ^f	7.43±0.15 ^g	7.49±0.09 ^h
a _w	30	0.593±0.01 ^a	0.603±0.00 ^b	0.617±0.00 ^c	0.611±0.01 ^d	0.620±0.01 ^{cc}	0.623±0.00 ^c	0.631±0.00 ^f	0.643±0.01 ^g
	40	0.593±0.01 ^a	0.608±0.00 ^b	0.606±0.00 ^b	0.601±0.00 ^c	0.617±0.00 ^d	0.638±0.01 ^c	0.635±0.00 ^c	0.645±0.01 ^f
	50	0.593±0.01 ^a	0.618±0.01 ^b	0.613±0.00 ^c	0.624±0.00 ^d	0.630±0.00 ^c	0.642±0.00 ^f	0.647±0.00 ^g	0.651±0.00 ^h
Moisture (%)	30	7.11±0.72 ^a	7.60±0.02 ^b	7.36±0.18 ^c	7.83±0.12 ^d	8.38±0.12 ^c	8.29±0.17 ^f	8.81±0.25 ^g	8.87±0.18 ^h
	40	7.11±0.72 ^a	7.47±0.14 ^b	7.67±0.23 ^c	7.39±0.23 ^d	8.15±0.23 ^c	8.19±0.42 ^f	8.61±0.01 ^g	8.65±0.04 ^h
	50	7.11±0.72 ^a	7.64±0.57 ^b	7.77±0.10 ^c	7.66±0.21 ^b	8.20±0.08 ^d	8.32±0.39 ^c	8.73±0.16 ^f	8.78±0.08 ^g
L* value	30	31.81±0.15 ^a	31.62±0.25 ^b	31.42±0.50 ^c	31.35±0.85 ^d	30.94±0.83 ^c	30.27±0.53 ^f	30.08±0.16 ^g	29.92±0.45 ^h
	40	31.81±0.15 ^a	31.57±0.38 ^b	31.40±1.62 ^c	31.28±0.73 ^d	31.02±1.30 ^c	30.74±0.42 ^f	30.56±1.28 ^g	29.87±0.27 ^h
	50	31.81±0.15 ^a	31.48±0.17 ^b	31.25±0.39 ^c	31.02±0.33 ^d	30.48±1.39 ^c	30.45±0.45 ^c	29.56±1.04 ^f	29.41±0.16 ^g
a* value	30	5.60±0.02 ^a	5.13±0.27 ^b	5.02±0.35 ^c	4.56±0.19 ^d	4.27±0.40 ^c	4.09±0.35 ^f	3.94±0.34 ^g	3.86±0.27 ^h
	40	5.60±0.02 ^a	5.08±0.34 ^b	4.98±0.37 ^c	4.62±0.33 ^d	4.32±0.33 ^c	4.12±0.42 ^f	3.86±1.09 ^g	3.74±0.35 ^h
	50	5.60±0.02 ^a	5.02±0.20 ^b	4.87±0.19 ^c	4.61±0.35 ^d	4.24±0.36 ^c	4.18±0.13 ^f	3.90±0.41 ^g	3.81±0.27 ^h
b* value	30	11.69±0.74 ^a	10.63±0.43 ^b	10.14±0.66 ^c	9.83±0.34 ^d	9.64±0.57 ^c	9.27±0.37 ^f	9.15±0.60 ^g	9.08±0.43 ^h
	40	11.69±0.74 ^a	10.57±0.27 ^b	10.10±1.26 ^c	9.75±0.27 ^d	9.69±1.34 ^c	9.31±0.33 ^f	9.12±1.96 ^g	9.03±0.35 ^h
	50	11.69±0.74 ^a	10.47±0.17 ^b	10.07±0.11 ^c	9.80±0.18 ^d	9.62±0.78 ^c	9.30±0.17 ^f	9.08±1.06 ^g	8.89±0.29 ^h

The different alphabets in the same row mean a significant statistical difference (p<0.05).

Table 2 Microbiological quality of Homnil rice-cookie during storage at temperature 30, 40 and 50 °C and a relative humidity of 75% for 7 weeks

Microbiological	Temp °C	Storage time, wk							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Total plate count (cfu/g)	30	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
	40	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
	50	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Coliform (MPN/g)	30	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	40	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	50	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
<i>E.coli</i> (MPN/g)	30	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	40	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	50	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

Table 3 Sensory evaluation (n=6, 5-point hedonic scale) of Homnil rice-cookie during storage at temperature 30, 40 and 50 °C and a relative humidity of 75% for 7 weeks

Characteristics	Temp °C	Storage time, wk							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Odor	30	5.00±0.00 ^d	4.83±0.41 ^d	4.67±0.52 ^d	4.33±0.82 ^{cd}	3.83±0.41 ^{bc}	3.33±0.52 ^{ab}	3.33±0.52 ^{ab}	2.83±0.75 ^a
	40	5.00±0.00 ^d	4.67±0.52 ^d	4.33±0.82 ^{cd}	3.83±0.41 ^{bc}	3.83±0.41 ^{bc}	3.17±0.75 ^{ab}	3.17±0.75 ^{ab}	2.67±0.82 ^a
	50	5.00±0.00 ^b	4.67±0.52 ^b	4.33±0.52 ^b	2.17±0.41 ^a	2.17±0.41 ^a	2.00±0.00 ^a	1.83±0.41 ^a	1.50±0.55 ^a
Rancid	30	5.00±0.00 ^c	5.00±0.00 ^c	4.67±0.52 ^c	3.83±0.41 ^b	3.83±0.41 ^b	3.83±0.41 ^b	3.33±0.52 ^{ab}	2.67±0.82 ^a
	40	5.00±0.00 ^d	5.00±0.00 ^d	4.33±0.52 ^d	3.50±0.63 ^c	2.83±0.41 ^b	2.67±0.82 ^{ab}	2.50±0.55 ^{ab}	2.00±0.63 ^a
	50	5.00±0.00 ^d	4.33±0.52 ^c	3.17±0.41 ^b	1.83±0.41 ^a	1.83±0.75 ^a	1.83±0.41 ^a	1.67±0.52 ^a	1.33±0.52 ^a
Texture	30	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.33±0.82 ^{bc}	3.83±0.41 ^{ab}	3.33±0.52 ^a	3.33±0.52 ^a	3.00±0.63 ^a
	40	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.33±0.82 ^{bc}	3.83±0.41 ^{bc}	3.33±0.52 ^{ab}	3.33±0.52 ^{ab}	3.00±0.89 ^a
	50	4.83±0.41 ^b	4.67±0.52 ^b	4.67±0.52 ^b	4.17±0.75 ^b	3.50±0.55 ^a	3.17±0.75 ^a	3.17±0.75 ^a	2.83±0.41 ^a
Color	30	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.33±0.82 ^{bc}	4.17±0.75 ^{bc}	3.67±0.52 ^{ab}	3.67±0.52 ^{ab}	3.17±0.75 ^a
	40	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.83±0.41 ^c	4.17±0.75 ^{bc}	4.17±0.75 ^{bc}	3.50±1.05 ^{ab}	3.50±1.05 ^{ab}	3.00±0.63 ^a
	50	4.83±0.41 ^d	4.83±0.41 ^d	4.83±0.41 ^d	4.17±0.75 ^{cd}	3.83±0.41 ^{bc}	3.33±0.82 ^{ab}	3.17±0.41 ^{ab}	3.00±0.63 ^a
Overall acceptability	30	4.67±0.52 ^d	4.67±0.52 ^d	4.33±0.52 ^d	4.17±0.75 ^{cd}	3.83±0.41 ^{cd}	3.33±0.52 ^{bc}	3.33±0.52 ^{bc}	2.17±0.75 ^a
	40	4.67±0.52 ^c	4.67±0.52 ^c	4.17±0.75 ^c	3.33±0.82 ^b	3.33±0.82 ^b	3.33±0.82 ^b	2.83±0.75 ^b	1.83±0.41 ^a
	50	4.67±0.52 ^d	4.67±0.52 ^d	3.00±0.63 ^c	2.00±0.63 ^b	1.83±0.41 ^{ab}	1.67±0.52 ^{ab}	1.67±0.52 ^{ab}	1.33±0.52 ^a

The different alphabets in the same row mean a significant statistical difference (p<0.05).

การทดสอบอายุการเก็บรักษาในสถานะเร่งอุณหภูมิ

1. การคำนวณโดยใช้สมการ Q_{10}

จากผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น (Table 1-3) สามารถสรุปได้ว่าการเกิดกลิ่นหืนในคูกี้ข้าวกลี้อหอมชนิดนี้เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค และสัมพันธ์กับการเสื่อมเสียคุณภาพที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตคูกี้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการหืน TBARs ที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ณ สภาพแวดล้อมการทดสอบที่อุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ในการศึกษาได้กำหนดคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นหืนควรมากกว่าหรือเท่ากับ 3 หมายความว่าผลิตภัณฑ์เริ่มมีกลิ่นแปลกปลอมหรือกลิ่นหืน ร่วมกับการพิจารณาค่า TBARs ดังนั้นระยะเวลาการเก็บคูกี้ข้าวกลี้อหอมชนิดที่เหมาะสม คือ 6 สัปดาห์ หรือ 42 วัน ที่อุณหภูมิ 30°C; 3 สัปดาห์ หรือ 21 วัน ที่อุณหภูมิ 40°C และ 2 สัปดาห์ หรือ 14 วัน ที่อุณหภูมิ 50°C ทำการคำนวณหาค่า Q_{10} และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิการเก็บที่ต้องการทราบ (สมการที่ 2) และแสดงตัวอย่างการคำนวณอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวกลี้อหอมชนิดที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25°C

1.1 กรณีศึกษาเมื่อใช้อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 30°C และ 40°C

$$Q_{10(30^{\circ}\text{C},40^{\circ}\text{C})} = \frac{42}{21} = 2$$

$$Q_{10\left(\frac{30-25}{10}\right)} = \frac{\text{time (prediction)}}{\text{time (accelerated condition at } 30^{\circ}\text{C)}}$$

$$\text{อายุการเก็บรักษาที่ } 25^{\circ}\text{C} = 2.0 \left(\frac{5}{10}\right) \times 42 \cong 60 \text{ วัน}$$

1.2 กรณีศึกษาเมื่อใช้อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 40°C และ 50°C

$$Q_{10(40^{\circ}\text{C},50^{\circ}\text{C})} = \frac{21}{14} = 1.5$$

$$Q_{10\left(\frac{40-25}{10}\right)} = \frac{\text{time (prediction)}}{\text{time (accelerated condition at } 40^{\circ}\text{C)}}$$

$$\text{อายุการเก็บรักษาที่ } 25^{\circ}\text{C} = 1.5 \left(\frac{15}{10}\right) \times 21 \cong 38 \text{ วัน}$$

ผลการศึกษาพบว่าอายุการเก็บรักษาคูกี้ข้าวกลี้อหอมชนิดที่อุณหภูมิ 25°C จากการใช้สมการ Q_{10} จะมีค่าเท่ากับ 60 วัน (ทดสอบที่อุณหภูมิ 30°C และ 40°C) และ 38 วัน (ทดสอบที่อุณหภูมิ 40°C และ 50°C) แสดงให้เห็นว่าการเลือกสถานะเร่งของอุณหภูมิในการทดสอบมีผลต่ออายุเก็บของผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้ต่างกันเมื่อใช้สมการ Q_{10} ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าค่า Q_{10} ของปฏิกิริยาทางเคมีในสิ่งมีชีวิตหรือที่เกิดขึ้นในอาหารมีค่าไม่คงที่ หรือกล่าวได้ว่าค่า Q_{10} จะผันแปรตามอุณหภูมิ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียและอายุการเก็บรักษา (Hamelers, 2004; Taoukis et al., 1997; Wongcharoen, 2010)

ข้อเสนอแนะในการเลือกอุณหภูมิทดสอบควรพิจารณาถึงปฏิริยาการเสื่อมเสียของอาหาร ลักษณะและความจำเพาะ การเสื่อมเสียคุณภาพ และอุณหภูมิที่แนะนำในการเก็บรักษา โดยไม่ควรใช้อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงเกินไปเนื่องจากอาจมีผล ต่อความคลาดเคลื่อนของอายุการเก็บที่คำนวณได้

2. การคำนวณโดยใช้ปฏิริยาจลนศาสตร์

พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเสื่อมเสียคุณภาพของคุกกี้ข้าวกลิ้งหอมนิลกับระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีตัวแปรของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต่างกัน คือ 30°C 40°C และ 50°C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 75% พบว่าค่าดัชนี การเสื่อมเสียหรือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ข้าวกลิ้งหอมนิลที่ทำการวิเคราะห์ในการศึกษานี้ แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟ เส้นตรงและมีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Squared, R²) มากกว่า 0.90 หรือใกล้ 1 หมายความว่า มีความสัมพันธ์ จัดอยู่ในอันดับปฏิริยา n=0 เพื่อให้สอดคล้องกับดัชนีการเสื่อมเสียที่ใช้สมการ Q₁₀ ในการคำนวณอายุการเก็บ และตรงกับ วัตถุประสงค์การศึกษาที่ต้องการเปรียบเทียบการประเมินอายุการเก็บระหว่างการใส่สมการ Q₁₀ และปฏิริยาจลนศาสตร์ จึงใช้ กราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่า TBARs พบว่าที่อุณหภูมิเก็บรักษา 30°C 40°C และ 50°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% มี ค่า R² เท่ากับ 0.9289 0.7498 และ 0.6565 ตามลำดับ (Figure 1 และ Table 4)

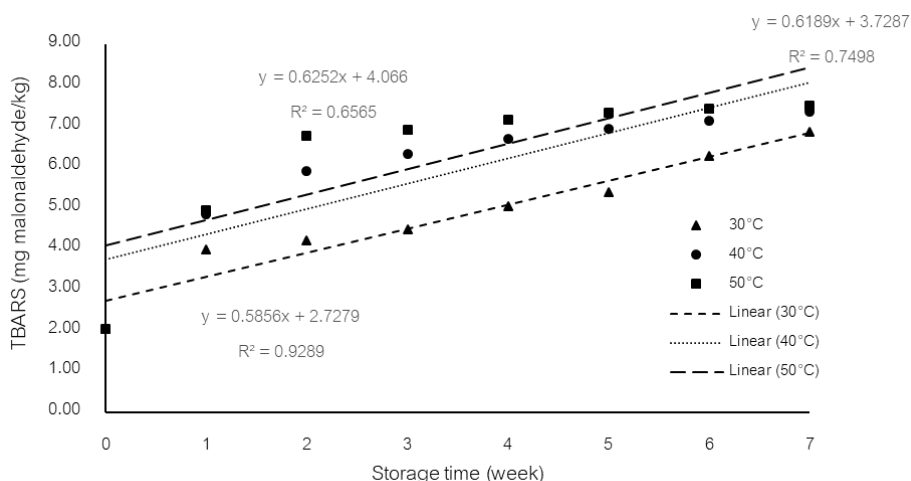


Figure 1 TBARs value of Homnil rice-cookie during storage at temperature 30, 40 and 50°C and a relative humidity of 75% for 7 weeks

Table 4 Reaction order and regression parameter of TBARs in Homnil rice-cookie during storage at temperature 30, 40 and 50 °C and a relative humidity of 75% for 7 weeks

Reaction order	Regression parameter, R ²		
	30°C	40°C	50°C
Zero-order	0.929	0.750	0.657
First-order	0.821	0.615	0.556
Second-order	0.667	0.498	0.465

จากกราฟความสัมพันธ์เส้นตรง (Figure 1) จะทราบค่า slope k_0 = ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับศูนย์หน่วยเป็น (เวลา⁻¹) จากนั้นให้พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ และ $1/T$ (อุณหภูมิเคลวิน) (Figure 2)

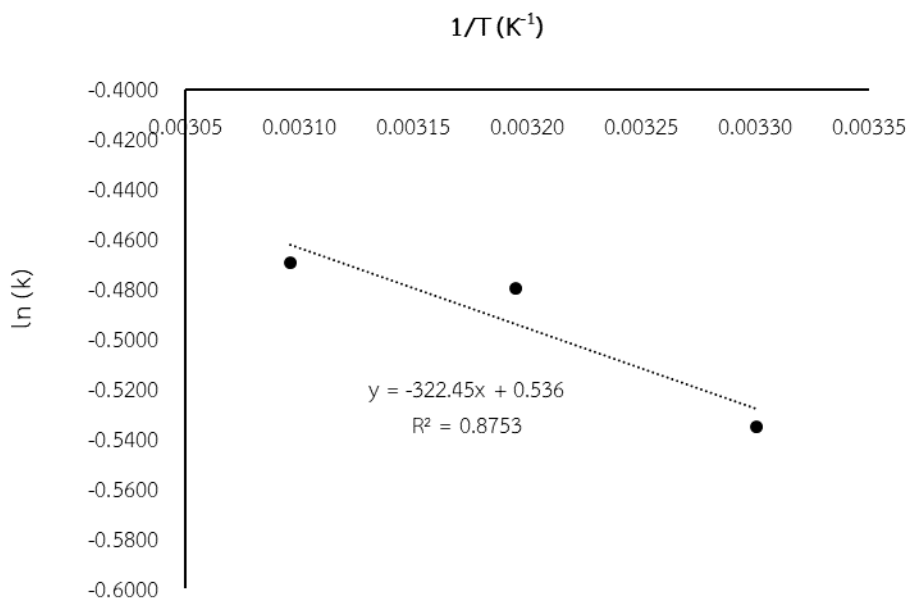


Figure 2 Reaction rate constants of TBARS in Homnil rice -cookie during storage at temperature 30, 40 and 50 °C and a relative humidity of 75% for 7 weeks

จากกราฟที่ 2 จะได้ค่าความชันเท่ากับ 322.45 ให้แก่สมการหาค่า E_a ดังนี้

$$\frac{(\ln k)}{\left(\frac{1}{T}\right)} = \frac{E_a}{R} = 322.45 \quad (R = \text{gas constant} = 8.314 \text{ J/mol K})$$

$$E_a = 322.45 \times 8.314 = 2681 \text{ J/mol}$$

สำหรับค่า k_0 ให้ประมาณค่าโดยลากเส้นกราฟไปตัดแกน $\ln k$ จะได้ค่า k_0 เท่ากับ 0.635

การคำนวณอายุการเก็บรักษาคุกกี้ข้าวกล็องหอมนิลที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25°C (หรือ 298 เคลวิน) ให้แทนค่า E_a และ k_0 ในสมการ Arrhenius (สมการที่ 6) เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา แล้วจึงแทนค่า k ในสมการของอันดับปฏิกิริยาซึ่งในการศึกษานี้ คือ อันดับปฏิกิริยา $n=0$ (สมการที่ 3) แล้วแก้สมการหาค่าอายุการเก็บรักษา (สมการที่ 7)

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (6)$$

$$k = 0.635 e^{-(2681)/(8.314)(298)} = 0.216$$

$$t = (C_A - C_{A0})/k \quad (7)$$
$$t = (6.85-2.04)/0.216 = 22 \text{ วัน}$$

โดยที่

t = อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (วัน)

C_A = ความเข้มข้นของสารที่เป็นจุดยุติของการยอมรับ (mg malonaldehyde/kg)

C_{A0} = ความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (mg malonaldehyde/kg)

การใช้สมการจลนศาสตร์ในการคำนวณอายุเก็บของคุกกี้ข้าวกลีงหอมชนิด เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C จะมีอายุเก็บเท่ากับ 22 วัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สมการ Q_{10} จะมีอายุการเก็บเท่ากับ 60 วัน (1.1) หรือ 38 วัน (1.2) แสดงให้เห็นว่าการพิจารณาเลือกรูปแบบการประเมินอายุเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะเร่งอุณหภูมิ อาจมีผลต่อความแตกต่างของอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิที่สนใจเก็บรักษาที่คำนวณได้ โดยเฉพาะการใช้สมการจลนศาสตร์สังเกตว่าจะได้ค่าอายุการเก็บรักษาคุกกี้ข้าวกลีงหอมชนิดสิ้นสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สมการ Q_{10} ซึ่งอาจเป็นข้อดีในการลดความเสี่ยงและมั่นใจได้ว่าตลอดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพดี(สูง) นอกจากนี้ยังมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดการเสื่อมเสียก่อนหมดอายุเก็บ

ในการศึกษานี้ได้เลือกดัชนีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของการหืนทางด้านประสาทสัมผัส ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการเปลี่ยนแปลงของ TBARs โดยมีค่าเท่ากับ 6.85 mg malonaldehyde/kg ณ อายุเก็บที่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากใช้ ค่า TBARs เป็นเกณฑ์คุณภาพการเสื่อมเสียของคุกกี้ข้าวกลีงหอมชนิดที่ใช้เป็นกรณีศึกษา อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากค่า TBARs เป็นการวัดปริมาณมาลอนัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดกลิ่นแปลกปลอมในอาหารที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ แต่เนื่องจากไม่มีมาตรฐานกำหนดค่า TBARs ที่ชัดเจนในผลิตภัณฑ์อาหาร จึงอ้างอิงการเปลี่ยนแปลงค่า TBARs เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของไขมันแทน โดยเกณฑ์ยอมรับคุณภาพการหืนสำหรับอาหารทั่วไปควรมีค่าต่ำกว่า 20 mg malonaldehyde/kg (Shamberger et al., 1977) จากการศึกษาของ Lohalaksanadech & Kachenpakdee (2011) และ Tanikawa (1985) พบว่าเมื่อค่า TBARs มากกว่า 7 mg malonaldehyde/kg สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อจะสังเกตเห็นว่าไขมันมีกลิ่นผิดปกติและมีกลิ่นเหม็นหืนมากซึ่งผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ นอกจากนี้ Sakac et al. (2016) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาคุกกี้ปราศจากกลูเตนที่อุณหภูมิ 40±1°C เป็นเวลานาน จะทำให้มีปริมาณแอลดีไฮด์เพิ่มขึ้นและเกิดกลิ่นเหม็นมากขึ้น โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนเมื่อเก็บรักษาคุกกี้ไว้นานมากกว่า 2 เดือน

สรุปผลการวิจัย

ในสภาวะการทดสอบภายใต้การเร่งอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 30°C 40°C และ 50°C ของคุกกี้ข้าวกลีง หอมชนิด และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 โดยใช้ดัชนีคุณภาพการเสื่อมเสีย “กลิ่นหืน” เป็นเกณฑ์การยอมรับ โดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับด้านประสาทสัมผัสร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARs ที่เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น เมื่อคำนวณอายุการเก็บรักษาของคุกกี้ข้าวกลีงหอมชนิดที่อุณหภูมิการเก็บ 25°C พบว่ามีค่าเท่ากับ 38-60 วัน เมื่อใช้สมการ Q_{10} และมีค่าเท่ากับ 22 วัน เมื่อใช้ปฏิกิริยาจลนศาสตร์ ความแตกต่างของอายุเก็บที่คำนวณได้อาจเป็นผลมาจากการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิในการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพ และมาตรฐานคุณภาพหรือเกณฑ์พิจารณาที่ใช้ในการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งควรกำหนดให้เหมาะสมกับชนิดผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาคุกกี้ข้าวกลีงหอมชนิดไว้ได้นานขึ้นหรือชะลอกลิ่นหืนให้เกิดขึ้นช้าลง ควรเพิ่มของดูออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ และไม่ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบัน โภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2019). *Official Method of Analysis*. (21st ed.). Virginia, USA. The Association of Official Analysis Chemists.
- Cauvain, S. P., & Young, L.S. (2010). Chemical and physical deterioration of bakery products. In L.H. Skibsted, J. Risbo, & M. L. Andersen, (Eds.), *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages*. 381-412. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- E. Rotstein, & R.P. Singh, (Eds.), *Handbook of Food Engineering Practice*. 361-403. New York: CRC Press.
- Food and Drug Administration. (2020). *Bacteriological analytical manual online*. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>
- Galić, K., Ćurić, D., & Gabrić, D. (2009). Shelf life of packaged bakery goods-A review. *Critical reviews in foodscience and nutrition*, 49(5), 405-426. <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>
- Gomes, H. A., Silva, E. N., Nascimento, M. R. L., & Fukuma, H. T. (2003). Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat. *Food Chemistry*, 80, 433-437. https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2002/ENAN/E08/E08_400.PDF
- Gouveia, L., Batista, A. P., Miranda, A., Empis, J., & Raymundo, A. (2007). *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(3), 433-436. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.026>
- Gupta, M., Bawa, A.S., & Abu-Ghannam, N. (2011). Effect of barley flour and freeze-thaw cycles on textural nutritional and functional properties of cookies. *Food and Bioproducts Processing*, 89(4), 520-27. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.07.005>

- Halee, A., Supavititpatana, P., Ruttarattanamongko, K., Jittrepotch, N., Rojsuntornkitti, K., & Kongbangkerd, T. (2020). Optimisation of the microwave-assisted extraction of natural antioxidants from defatted black rice bran of *oryza sativa* L. CV. Hom Nin. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 8(2), 765-769. <http://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.6.1134-1140>
- Hamdani, A. M., Wani, I. A., & Bhat, N. A. (2020). Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya. *Food Bioscience*, 35, 100541. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100541>
- Hamelers, H. V. M. (2004). Modeling composting kinetics: A review of approaches. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 3(4), 331-342. <http://doi.org/10.1007/s11157-004-2335-0>
- Kangsdalampai, K., & Sungpuang, P. (1984). *Laboratory manual for food analysis*. Bangkok: Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand. (in Thai)
- Kanner, J. (2007). Dietary advanced lipid oxidation endproducts are risk factors to human health. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, 1094-1101. <http://doi.org/10.1002/mnfr.200600303>
- Kapcum, N., Uriyapongson, J., & Alli, I. Phimphilai, S. (2016). Anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant activities in colored corn cob and colored rice bran. *International Food Research Journal*, 23(6) , 2347-2356. [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(06\)%202016/\(6\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(06)%202016/(6).pdf)
- Lohalaksanadech, S., & Kachenpakdee, N. (2011) . Study on shelf life of fried soft shell crab. *Journal of Fisheries Technology Research*, 5(2), 105-110. (in Thai)
- Lu, L. X., & Xu, F. (2009). Effect of light-barrier property of packaging film on the photo-oxidation and shelf life of cookies based on accelerated tests. *Packaging Technology and Science*, 22(2), 107-113. <http://doi.org/10.1002/pts.838>
- Manzocco, L., Romano, G., Calligaris, S., & Nicoli, M. C. (2 0 2 0) . Modeling the effect of the oxidation status of the ingredient oil on stability and shelf life of low-moisture bakery products: The case study of crackers. *Foods*, 9(6), 749. <https://doi.org/10.3390/foods9060749>
- Márquez-Ruiz, G., & Dobarganes, M. C. (2005). *Analysis of non-volatile lipid oxidation compounds by high-performance size-exclusion chromatography*. In A. Kamal-Eldin, & J. Pokorny (Eds.), *Analysis of Lipid Oxidation*. 40–69. Illinois: American Oil Chemists Society Press.
- Ministry of public health. (2001). *Notification of the Ministry of Public Health (No. 237) B.E. 2544: Labelling of ready-to-cook foods and ready-to-eat foods*, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Ministry of public health. (2020). *Notification of the Ministry of Public Health (No. 416) B.E. 2563: Prescribing the quality or standard, principles, conditions and methods of analysis for pathogenic microorganisms in foods*, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Mizrahi, S. (2004). Accelerated shelf-life tests. In R. Steele (Ed.), *Understanding and measuring the shelf-life of food*. pp 317-339. Cambridge, Woodhead Publishing Limited.
- Rattanapanone, N. (2014). *Food Chemistry*. (4th ed.). Bangkok: Odeonstore. (in Thai)

- Rodmui, A., & Jitwaropas, O. (2007). Production of cookies using wheat flour partial substituted with Hom Nin rice flour. *Journal of Food Technology, Siam University*, 3(1), 37-43. (in Thai)
- Sakac, M., Pestoric M., Mandic, A., Misan, A., Nedeljkovic, N., Jambrec, D., Pavle, J., Vera, L., Lato, P., & Ivana, S. (2016). Shelf-life prediction of gluten-free rice-buckwheat cookies. *Journal of Cereal Science*, 69, 336-343. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.008>
- Sangkaeo, W., & Chomkhuntod, J. (2015). Substitution wheat flour with black jasmine rice flour in healthy muffin products. *Agricultural Science Journal*, 46(3) (Suppl.), 705-708. (in Thai)
- Shamberger, R. J., Shamberger, B. A., & Willis, C. E. (1977). Malonaldehyde content of food. *Journal of Nutrition*, 107(8), 1404-1409.
- Singh, T. K., & Cadwallader, K. R. (2004). *Ways of measuring shelf-life and spoilage. In R. Steele (Ed.), Understanding and measuring the shelf-life of food.* 165-183. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Tanikawa, E. (1985). *Marine Products in Japan* (2nd ed.). Tokyo: Kaseisha-Kasukaku Co.
- Taoukis, P. S., Labuza, T. P., & Saguy, I. S. (1997). Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In K.J., Valentas, Thamee, T., Intipunya, P., & Buntam, D. (2018). Shelf life evaluation of mixed tea product from mulberry leaf and fruit using accelerated testing method. *Journal of Agriculture*, 34(1), 157-166. (in Thai)
- Wongcharoen, W. (2010). Shelf life study of food products. *Food*, 40(3), 199-204. (in Thai)