วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022 บทความวิชาการ

การทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่งอุณหภูมิ

Testing the Shelf-life of Food Products under Accelerated Temperature

พรรัตน์ สินชัยพานิช*, นภัสสร เพียสุระ, อนันทิตา แสงสุริยวงษ์ และ ศศพินทุ์ ดิษนิล

Pornrat Sinchaipanit*, Napassorn Peasura, Anantita Sangsuriyawong and Sasapin Disnil

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

Institute of Nutrition, Mahidol University

Received : 15 July 2021

Revised : 26 November 2021

Accepted : 23 December 2021

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อระบุวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์บนฉลากอาหาร ซึ่งเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 383 พ.ศ. 2560 และยังเป็นการคุ้มครองสิทธิผู้บริโภคที่จะได้รับความปลอดภัยจากการใช้สินค้าหรือบริการตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่ง ได้แก่ การเร่งอุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์ เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเพราะว่าให้ผลทดสอบเป็นที่น่าเชื่อถือ ที่สำคัญคือระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบอายุการเก็บรักษาอาหารในสภาวะเร่งใช้เวลาสั้นกว่าการศึกษาอายุการเก็บภายใต้สภาวะปกติ อย่างไรก็ตามการวางแผนการศึกษา การสุ่มตัวอย่าง ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ รวมทั้งการกำหนดสภาวะเร่งอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา ควรพิจารณาให้สอดคล้องกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีความจำเพาะต่อลักษณะการเสื่อมเสียที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปการใช้สมการคิวเทน (Q_{10}) และหรือปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ (kinetic reaction) มักใช้ในการคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่งอุณหภูมิ

คำสำคัญ : การทดสอบอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง ; สมการ Q_{10} ; ปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ ; การเสื่อมเสียคุณภาพ

Abstract

A purpose of evaluation the shelf life of food products was indicating the food expiration date on the food label, according to a Notification of the Ministry of Public Health No. 383 B.E. 2560. Besides, it also protected a consumers' right to be safe from goods or services following the Food Act B.E. 2522. Study the shelf life of food products under accelerated conditions (i.e. elevated temperature or humidity) was widely used because of the reliable results. Moreover, the period time for shelf life testing of foods under accelerated condition was less than under normal condition. However, the experimental design, sampling, analysis of changing in quality of the food product samples during storage such as physical quality, chemical quality, sensory quality and microbial safety together with the defining an accelerated temperature and other storage condition should be considered to suitable for food products which significant differed in deterioration characteristics. Generally, the Q_{10} equation and/or kinetic reaction was often used to calculate the shelf life of food products under accelerated temperature conditions.

Keywords: accelerated shelf life testing ; Q_{10} equation ; kinetic reaction ; quality deterioration

*Corresponding author. E-mail : pornrat.sin@mahidol.ac.th

บทนำ

อาหาร คือ สิ่งที่รับประทานเข้าไปแล้วก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโตแข็งแรง ซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ สร้างภูมิต้านทานโรค และทำให้กระบวนการต่างๆ ในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ อย่างไรก็ตามการบริโภคอาหารที่ไม่ปลอดภัยหรือเสื่อมเสียย่อมเป็นโทษกับผู้บริโภคเช่นกัน สาเหตุการเสื่อมเสียของอาหารมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ส่งผลให้อาหารมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการนำมาบริโภค โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่หมดอายุแล้ว ซึ่งอาหารแต่ละชนิดจะมีอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบของอาหาร ขั้นตอนการผลิต และสภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษา ดังนั้นการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารจึงมีความสำคัญและสอดคล้องกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 367 พ.ศ. 2557 เรื่องการระบุวันหมดอายุบนฉลากอาหาร และเพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 (แก้ไขเพิ่มเติม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541) ได้แก่ 1.สิทธิที่จะได้รับข่าวสาร รวมทั้งคำพรรณาคุณภาพที่ถูกต้องและเพียงพอเกี่ยวกับสินค้าหรือบริการนั้นๆ 2.สิทธิที่จะมีอิสระในการเลือกหาสินค้าและบริการ 3.สิทธิที่จะได้รับความปลอดภัยจากการใช้สินค้าหรือบริการ 4.สิทธิที่จะได้รับความเป็นธรรมในการทำสัญญา และ 5.สิทธิที่จะได้รับการพิจารณาและชดเชยความเสียหายเมื่อมีการละเมิดสิทธิของผู้บริโภคตามข้อ 1-4 ผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดดังกล่าวถือว่ามีความผิดตามกฎหมาย การระบุวันหมดอายุของอาหารทำให้ผู้บริโภคทราบว่าอาหารนั้นๆ มีอายุการเก็บรักษาเพื่อบริโภคนานเท่าไหร่ในสภาวะการเก็บที่แนะนำ หรือในทางกลับกันถ้าอาหารนั้นหมดอายุแล้วจะแสดงว่าอาหารนั้นเสื่อมคุณภาพและอาจไม่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ด้วยเหตุผลข้างต้นการระบุอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีความสำคัญและความจำเป็นทั้งต่อผู้ผลิต/ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารรวมทั้งผู้บริโภค เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยของอาหารและเป็นไปตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิธีการทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่สภาวะอุณหภูมิปกติ และการทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันทั้งข้อดี-ข้อเสีย และข้อจำกัด (ต้นทุนค่าใช้จ่าย เวลา และพื้นที่จัดเก็บ) ตลอดจนปัจจัยสำคัญที่ใช้พิจารณาเป็นเกณฑ์ในการทดสอบ ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร ส่วนประกอบ กระบวนการแปรรูป ลักษณะการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารทั้งด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของอาหาร และการวางแผนการทดสอบ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีความจำเพาะของอายุเก็บที่อาจแตกต่างกัน นอกจากนี้วิธีการทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่งอุณหภูมิ ยังมีรายละเอียดของการวางแผนการศึกษาและวิธีการที่ใช้คำนวณแตกต่างกันระหว่างการใช้สมการคิวเทน (Q_{10}) และปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ (kinetic reaction) ดังรายละเอียดที่จะนำเสนอต่อไป

1. <u>การระบุวันหมดอายุของอาหาร</u>

อายุการเก็บรักษาอาหาร หมายถึง ระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหาร ณ สภาวะการเก็บรักษาที่แนะนำ โดยอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารนั้นยังคงมีลักษณะคุณภาพด้านรสชาติ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการตามที่ได้ระบุไว้บนฉลากโภชนาการ และปลอดภัยสำหรับการบริโภค ความสำคัญการระบุวันหมดอายุของอาหาร เพื่อให้ผู้บริโภคทราบถึงอายุที่เหมาะสมในการเก็บรักษาของอาหารนั้นๆ ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่แนะนำ และยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้บริโภคใช้ตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ (Thai trade center The Hague, 2020)

พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 367 พ.ศ. 2557 เรื่อง การแสดงฉลากอาหารในภาชนะบรรจุ ได้ให้นิยามคำว่า"หมดอายุ" หมายความว่า วันที่ซึ่งแสดงการสิ้นสุดของคุณภาพอาหารภายใต้เงื่อนไขการเก็บรักษาที่ระบุไว้ และหลังจากวันที่ระบุไว้นั้นอาหารนั้นวางจำหน่ายไม่ได้ และคำว่า "ควรบริโภคก่อน" หมายความว่าวันที่ซึ่งแสดงการสิ้นสุดของช่วงเวลาที่อาหารนั้นยังคงคุณภาพดีภายใต้เงื่อนไขการเก็บรักษาที่ระบุไว้ และหลังจากวันที่ระบุไว้นั้นอาหารนั้นวางจำหน่ายไม่ได้ (Ministry of public health, 2014)

ปัจจุบันมีอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมากมายหลายชนิดวางจำหน่าย ตัวอย่างเช่น อาหารแช่เย็นพร้อมบริโภค อาหารแช่แข็ง อาหารกระป๋อง อาหารแห้ง อาหารหมักจากจุลินทรีย์ และเครื่องดื่มต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ความสะดวกบริโภค และประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติเฉพาะของคุณภาพอาหารและวันหมดอายุที่แตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบของอาหาร ชนิดวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการแปรรูป และชนิดบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนการนำระบบการควบคุมคุณภาพมาใช้ในการผลิต เช่น สุขลักษณะที่ดีในการผลิตอาหาร (good manufacturing practice, GMP) และการวิเคราะห์อันตรายและจุดควบคุมวิกฤต (hazard analysis critical control point, HACCP) ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 420 พ.ศ. 2563 (Ministry of public health, 2020c)

แม้ว่ากระบวนการแปรรูปจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตามในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าอาหารยังมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเสื่อมเสียเกิดขึ้น ทำให้อาหารมีคุณภาพด้อยลงกระทั่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารมักมีความแตกต่างกันทั้งรูปแบบการเสื่อมเสีย สาเหตุการเสื่อมเสีย และอัตราเร็วในการเสื่อมเสีย ตัวอย่างลักษณะการเสื่อมเสียคุณภาพที่มักเกิดขึ้นในอาหาร เช่น การเกิดกลิ่นหืน การมีเนื้อสัมผัสนิ่มเละหรือแข็งกระด้าง การมีสีผิดปกติ และการตกตะกอน (Speranza *et al*., 2010)

จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 367 พ.ศ. 2557 (Ministry of public health, 2014) ซึ่งมีผลให้ผู้ผลิตทุกรายต้องระบุวันหมดอายุผลิตภัณฑ์หรือระบุข้อความว่าควรบริโภคก่อนวันที่เท่าไร โดยทั่วไปการหาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจะดำเนินการโดยนำผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งผลิตและพร้อมจำหน่าย นำมาเก็บรักษาไว้ในสภาวะปกติที่แนะนำโดยขึ้นกับชนิดผลิตภัณฑ์ เช่น การเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แช่เย็น และแช่แข็ง โดยจำนวนตัวอย่างอาหารที่นำมาเก็บรักษาในการทดลองต้องมีจำนวนมากเพียงพอตลอดอายุที่ทำการศึกษา อาจประมาณระยะเวลาการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงความเป็นจริง กำหนดช่วงระยะเวลาการสุ่มตัวอย่าง ติดตามการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างอาหาร ทั่วไปมักจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและหรือการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพด้วยเครื่องมือ ได้แก่ คุณภาพด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และความผิดปกติที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า นอกจากนี้ยังอาจมีการวัดค่าคุณภาพทางเคมี เช่น ปริมาณเพอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) กรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid reactive substance, TBARS) ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และ สารฮีสตามีน (histamine) ซึ่งบ่งชี้คุณภาพของปลาและผลิตภัณฑ์จากปลา คุณภาพเชิงประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น วิตามินซี (ascorbic acid) สารต้านออกซิเดชัน (antioxidants activity) และเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ เช่น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีชีวิต (total viable plate count) ยีสต์และรา (yeast & mold) อีโคไล (*Escherichia coli*) และโคลิฟอร์ม (coliforms) รวมถึงจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น แบคทีเรียกรดแลกติก (lactic acid bacteria) และ/หรือโพรไบโอติก เนื่องจากธรรมชาติของอาหารมักมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน ทำให้มีความยากในการพิจารณาดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพที่เกิดขึ้นใน

อาหารเพื่อใช้กำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะอุณหภูมิปกติที่แนะนำให้เก็บรักษาอาหาร ยังมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น สถานที่จัดเก็บ ต้นทุนค่าใช้จ่ายในเรื่องเจ้าหน้าที่วิเคราะห์คุณภาพและอุปกรณ์เครื่องมือ ระยะเวลาที่นาน และที่สำคัญคือการใช้ระยะเวลาที่นานกว่าจะทราบวันสิ้นสุดอายุเก็บของอาหาร

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การระบุอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร จึงเป็นความรับผิดชอบและเป็นทั้งต้นทุนของผู้ผลิตด้วย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารผู้ผลิตมักมีการผลิตสินค้ามากกว่าหนึ่งชนิด มีหลายขนาดบรรจุภัณฑ์ และหลายรสชาติ และหรือผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บนานมากกว่า 6 เดือนถึง 2 ปี ทำให้เป็นอุปสรรคในการศึกษาอายุเก็บของทุกผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีปกติดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยเฉพาะข้อจำกัดของเวลาที่ใช้ในการติดตามการเสื่อมเสียคุณภาพที่อาจส่งผลกระทบต่อการตลาดและลดโอกาสการแข่งขันทางธุรกิจ จึงเป็นที่มาของการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่ง

ซึ่งในการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ควรมีความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร จุลชีววิทยาทางอาหาร และ/หรือเคมีทางอาหาร เพื่อสามารถคาดการณ์ถึงสาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่สนใจศึกษา และที่สำคัญคือดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความคุ้มค่า ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย เพื่อใช้ในการวางแผนการทดลอง ระยะเวลาการเก็บรักษา และการสุ่มตัวอย่าง

2. *ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*

2.1 ธรรมชาติของอาหาร

ธรรมชาติของอาหารมักเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย โดยเฉพาะกลุ่มอาหารที่มี ปริมาณความชื้นสูง มีวอเตอร์แอคทีวิตี้ (water activity; a_w) สูง หรือมีค่าความเป็นกรดด่างหรือพีเอช (pH) เป็นกลาง เช่นตัวอย่างอาหารประเภทเนื้อสัตว์ (meat) สัตว์ปีก (poultry) และน้ำนม (milk) มักเสื่อมเสียได้เร็ว เนื่องจากสาเหตุการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหาร และผลจากการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร ตรงข้ามกับอาหารประเภทธัญชาติ ธัญพืช และอาหารแห้ง มักมีค่าความชื้นและน้ำอิสระปานกลางหรือต่ำ ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับอาหารที่มีค่าความเป็นกรดสูงจะมีเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทนกรดสามารถเจริญเติบโตได้ ขณะที่จุลินทรีย์กลุ่มอื่นที่ไม่ทนกรดจะถูกยับยั้งหรือถูกทำลายได้ ความเร็วในการเสื่อมเสียของอาหารนอกจากจะเป็นผลของธรรมชาติอาหารโดยตรงแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิการเก็บรักษา กระบวนการแปรรูป และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เริ่มต้นในอาหาร (Kilcast & Subramaniam, 2011)

2.2 กระบวนการแปรรูปอาหาร

กระบวนการแปรรูปอาหารมีวัตถุประสงค์สำคัญ คือเพื่อยับยั้งและหรือการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุก่อโรค จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร รวมถึงการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีการใส่สารดูดซับออกซิเจน สารที่มีสมบัติปลดปล่อยแอลกอฮอล์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารอื่นที่มีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ (Fellows, 2009) เช่น สารปฏิชีวนะ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปอาหารยังช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้อาหารมีความปลอดภัย สะดวกสำหรับการบริโภค เพิ่มมูลค่าสินค้า และสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

อาหารแต่ละชนิดจะมีวิธีการถนอมอาหารหรือกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมแตกต่างกัน ขึ้นกับความจำเพาะของชนิดอาหาร เนื่องจากวิธีการถนอมอาหารใด ๆ อาจส่งผลกระทบได้ทั้งเชิงบวกหรือลบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอาหารแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ผลไม้ทั่วไปมักไม่นิยมนำมาแปรรูปด้วยการแช่เยือกแข็ง แม้ว่าการแช่เยือกแข็งถือเป็นวิธีการถนอมอาหารที่สามารถรักษาคุณค่าโภชนาการของอาหารไว้ได้ดี รวมทั้งคงรักษาคุณภาพความสดของอาหารไว้ได้ เพราะว่าการแช่เยือกแข็งอาจทำให้ผลไม้มีเนื้อสัมผัสนิ่มเละ ยกเว้นการแช่เยือกแข็งผลไม้บางชนิด เช่น สตรอว์เบอร์รี และมะม่วงสุก ที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่น ได้แก่ แยม น้ำผลไม้ ไอศกรีม และไส้ขนม กระบวนการแปรรูปที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

2.2.1 การใช้ความร้อน สามารถแบ่งเป็นการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ และระดับสเตอริไรซ์ ตัวแปรสำคัญ คือ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ และหรือสปอร์จุลินทรีย์ รวมทั้งการทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร เช่น โปรติเอส (protease) ไลเปส (lipase) เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการเกิดกลิ่นหืนของไขมัน (lipid oxidation) และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (browning reaction) ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการให้ความร้อนกับอาหาร คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ให้กับอาหาร เพื่อให้เพียงพอในการทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหาร นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพอาหาร การสูญเสียคุณค่าอาหารทางโภชนาการ และอายุการเก็บรักษาที่คาดการณ์ไว้ (Boekel *et al.*, 2010)

2.2.2 การทำแห้ง คือ การระเหยน้ำออกจากอาหาร เพื่อให้อาหารมีปริมาณความชื้นและค่าน้ำอิสระในอาหารลดลง เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีอายุเก็บนานขึ้น และบางผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง วิธีการทำแห้งที่นิยมใช้ ได้แก่ การใช้ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) ลูกกลิ้งลมร้อน (drum drying) และการพ่นฝอยแห้ง (spray drying) นอกจากนี้ยังมีวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีต้นทุนค่อนข้างสูงแต่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณค่าสารอาหารทางโภชนาการ โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินที่ไวต่อการสูญเสียด้วยความร้อน (Chen, 2009)

2.2.3 การใช้อุณหภูมิต่ำและการแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยความเย็นเพื่อชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียตามธรรมชาติของอาหาร และยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเสื่อมเสีย (Fernández *et al.*, 2007) โดยที่อาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารนั้นยังคงมีคุณภาพใกล้เคียงกับธรรมชาติของอาหารเริ่มต้น การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาอาหารปกติจะใช้อุณหภูมิระหว่าง 0-10 องศาเซลเซียส ทำให้อาหารยังเกิดการเสื่อมเสียได้เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ ปฏิกิริยาเคมีการเสื่อมเสีย และการเจริญของจุลินทรีย์ แต่มีการเสื่อมเสียต่ำกว่าที่เกิดขึ้นในการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปกติการใช้อุณหภูมิต่ำมักนำมาใช้ร่วมกับวิธีการแปรรูปที่ไม่รุนแรง เช่น การพาสเจอร์ไรซ์ การแช่อิ่ม และการใช้สารกันเสีย

การเก็บรักษาอาหารด้วยการแช่เยือกแข็งหรืออุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส พบว่ามีผลต่อการยับยั้ง/ชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาอาหารไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่ต่ำมากและผลกระทบจากค่าวอเตอร์แอคติวิตีในอาหารที่ลดลง นอกจากนี้กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญและอยู่รอดได้ในระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำมีจำกัด อย่างไรก็ตามการกำหนดค่าอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาอาหารเพื่อช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ควรต้องพิจารณาถึงระยะเวลาของอาหารที่ต้องการเก็บรักษา และผลกระทบของ

อุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของอาหาร เพราะว่าอาหารบางชนิดอาจเกิดความเสียหายหรือได้รับบาดเจ็บเนื่องจากผลของอุณหภูมิต่ำ เช่น การเก็บรักษากล้วยหอมอุณหภูมิต่ำ 5-10 องศาเซลเซียส หรือการเก็บรักษาน้ำสลัดที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง

2.2.4 การใช้สารกันเสีย เพื่อชะลอหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย เกณฑ์พิจารณาในการเลือกใช้สารกันเสีย ได้แก่ คุณสมบัติการละลาย ความสามารถในการแตกตัว ประสิทธิภาพในการยับยั้งและการทำลายจุลินทรีย์ เป้าหมายการทำลายจุลินทรีย์ ค่าพีเอชเหมาะสมในการทำงาน (Msagati, 2012) และปริมาณสารกันเสียที่อนุญาตให้ใช้ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 418 พ.ศ. 2563 (Ministry of public health, 2020b) นอกจากนี้ควรศึกษาความปลอดภัยของสารกันเสียที่เลือกใช้ โดยพิจารณาจากค่าความปลอดภัยในการบริโภคสารดังกล่าวต่อวันหรือตลอดชีวิต โดยไม่ก่อให้เกิดอาการผิดปกติกับผู้บริโภค หรือเรียกว่า ค่าเอดีไอ (acceptable daily intake, ADI) ตัวอย่างเช่น กรดเบนโซอิกมีค่า ADI เท่ากับ 0 - 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน (Joint FAO/WHO expert committee on food additives, 2002) และควรทราบข้อมูลอื่นๆ ที่มีความสำคัญหรือเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของสารกันเสียที่เลือกใช้ เช่น การทดสอบความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง

นอกจากนี้ยังมีวิธีการถนอมอาหารอื่นๆ ได้แก่ การหมัก (fermentation) การฉายรังสี (radiation) กระบวนการแปรรูปไม่ใช้ความร้อน (non-thermal process) และการปรับค่าความเป็นกรด รวมทั้งการใช้วิธีการแปรรูปร่วมกันมากกว่าหนึ่งวิธีหรือเรียกว่าเทคโนโลยีเฮอเดิล (hurdle technology)

2.3 บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์มีหน้าที่หลักในการปกป้องอาหารหรือผลิตภัณฑ์จากความเสียหายในการขนส่ง และลดการปนเปื้อนของอาหารจากสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ยังทำให้สะดวกในการใช้งาน แสดงข้อมูลของฉลากอาหาร และเพิ่มความสวยงามของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง น้ำหนัก ลักษณะการเสื่อมเสียของอาหาร รวมทั้งต้องพิจารณาถึงความปลอดภัย ค่าใช้จ่าย และความต้องการทางการตลาด บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีอยู่หลายชนิด โดยจำแนกตามวัสดุที่ใช้ ได้แก่ กระดาษ พลาสติก แก้ว กระป๋องโลหะ/อลูมิเนียม บรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับอาหารและวิธีที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปแตกต่างกัน ปัจจัยที่ต้องพิจารณาเลือกบรรจุภัณฑ์ เช่น การทนความร้อน ทนสภาวะกรดด่าง การป้องกันอากาศ/ความชื้น/แสง การทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร ป้องกันการสูญเสียกลิ่น ความยืดหยุ่น และต้นทุน (Robertson, 2009) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ โดยการใช้ร่วมกับสารดูดซับแก๊สออกซิเจน (O_2-scavengers) สารดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2-scavengers) และสารดูดซับความชื้น ตลอดจนการดัดแปรสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ (modified atmosphere packaging, MAP) โดยการปรับสัดส่วนของแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไนโตรเจนให้มีสัดส่วนเหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น

2.4 สภาวะในการเก็บรักษา

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ แสง และความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากอุณหภูมิสูง การสัมผัสแสงยูวี และสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทางเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารให้เกิดได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามผู้ผลิตควรระบุสภาวะที่แนะนำให้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพื่อให้สอดคล้องกับอายุการเก็บรักษาที่ระบุไว้บนฉลากอาหาร

นอกจากนี้ยังอาจมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอาจปนเปื้อนมาจากบรรจุภัณฑ์ หรือมีในธรรมชาติของวัตถุดิบอาหารบางชนิด ได้แก่ ธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี และปริมาณออกซิเจน โดยแต่ละปัจจัยที่ได้กล่าวข้างต้นยังมีความเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน และมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งแต่ละปัจจัยอาจมีปฏิกิริยาต่อกันทั้งในด้านการยับยั้งและหรือกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และจุลินทรีย์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการยอมรับของผู้บริโภคและอายุการเก็บรักษา (Shahid *et al.*, 2021)

3. <u>สาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร</u>

การเสื่อมเสียของอาหาร หมายถึง การที่อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะคุณภาพด้านสี กลิ่นรส รูปร่าง เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และหรือมีปริมาณจุลินทรีย์เกินมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์นั้นๆ ทำให้ไม่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค การเสื่อมเสียของอาหารสามารถเกิดขึ้นได้ทันทีหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร รวมทั้งในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารไว้เป็นเวลานาน สาเหตุสำคัญในการเสื่อมเสียของอาหาร คือ การเจริญของจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทางชีวเคมี และการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของอาหารที่ผิดปกติไปจากเดิม

3.1 ทางจุลินทรีย์

การปนเปื้อนกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร มักเป็นสาเหตุสำคัญให้ผู้บริโภคได้รับอันตรายจากการเจ็บป่วยและอาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Singh & Anderson, 2004) เนื่องจากการได้รับสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เรียกว่า โรคอาหารเป็นพิษ (foodborne intoxication) หรือการเจ็บป่วยจากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนเซลล์จุลินทรีย์ก่อโรคที่ยังคงมีชีวิต หรือการบริโภคเซลล์จุลินทรีย์เพียงเล็กน้อย โดยสามารถเพิ่มจำนวนในลำไส้ของมนุษย์จนถึงระดับที่ก่อให้เกิดโรค เรียกว่า โรคติดเชื้อจากอาหาร (foodborne infection) ซึ่งกลุ่มอาหารที่มีการปนเปื้อนกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรคโดยเฉพาะสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น มักมีลักษณะปรากฏคล้ายกับอาหารทั่วไปและไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า การตรวจสอบต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ขั้นสูงในห้องปฏิบัติการ ส่วนการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียจะสังเกตได้ว่าอาหารจะมีลักษณะปรากฏผิดปกติอย่างชัดเจน เช่น อาหารมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีฟองแก๊สปุดขึ้น มีการจับตัวเป็นก้อนของโปรตีน และอาจมีกลิ่นบูดหรือเน่าเหม็น ซึ่งเป็นผลจากผลิตผลที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นขณะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนในอาหาร (Singh & Anderson, 2004)

แบคทีเรีย (bacteria) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มักเป็นสาเหตุสำคัญในการเสื่อมเสียของอาหาร เนื่องจากมีความหลากหลายของสายพันธุ์ทำให้มีความแตกต่างของสภาพแวดล้อมและปัจจัยที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยเฉพาะแบคทีเรียบางสายพันธุ์สามารถสร้างสปอร์เพื่อให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และบางสายพันธุ์สามารถสร้างสารพิษได้ จำนวนจุลินทรีย์ในอาหารมักเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต การขนส่ง และการปนเปื้อนข้ามจากผู้สัมผัสอาหารและ/หรืออุปกรณ์เครื่องมือที่สัมผัสอาหาร ขณะที่การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากยีสต์ (yeast) มักพบในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ความเป็นกรดสูง ชอบเจริญที่ a_w ในช่วง 0.90-0.94 แต่สามารถเจริญได้ที่ a_w น้อยกว่า 0.90 แม้ว่ายีสต์ส่วนมากจะทำให้อาหารเน่าเสีย แต่ไม่ได้เป็นสาเหตุสำคัญในการก่อโรคอาหารเป็นพิษ การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากรา (mold) จะสังเกตเห็นเส้นใยราที่มักมีสีสันชัดเจน เช่น สีส้ม สีเขียว และสีดำ นอกจากนี้ราบางชนิดยังสามารถสร้างสารพิษ เช่น อะฟลาทอกซิน (aflatoxins) และพาทูลิน (patulin) ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (Garbutt, 1997)

ความปลอดภัยของปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 พ.ศ. 2563 (Ministry of Public Health, 2020a) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

3.2 ทางเคมี

การเสื่อมเสียทางเคมีเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและการทำงานของเอนไซม์ในอาหารที่ไม่ต้องการ ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้อาหารมีลักษณะคุณภาพด้อยลง หรืออาจเกิดสารเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ปฏิกิริยาชีวเคมีเสื่อมเสียที่สำคัญ ตัวอย่างเช่น

การเหม็นหืนของอาหารมักเกิดขึ้นในอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมัน สาเหตุการเหม็นหืนอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดสารเพอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งสามารถสลายตัวเป็นสารระเหยได้ง่ายและมีกลิ่นเหม็นหืน (Singh & Anderson, 2004) การป้องกันการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันคือ ไม่ให้อาหารสัมผัสกับอากาศหรือแก๊สออกซิเจนและแสง ควรเก็บรักษาอาหารไว้อุณหภูมิต่ำ หรือเติมสารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) ส่วนการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis rancidity) เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ไลเพส (lipase) และเอนไซม์ไลพอกซิเดส (lipoxidase) ที่มีอยู่ในธรรมชาติอาหารบางชนิด การป้องกันทำได้โดยใช้ความร้อนในการทำลายเอนไซม์ หรือการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อยับยั้งการทำงานเอนไซม์

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร (browning reaction) ทำให้อาหารมีสีเหลืองเข้มจนถึงสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ และมีกลิ่นรสผิดปกติ บางครั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอาจเป็นสิ่งที่ต้องการขึ้นกับชนิดอาหาร เนื่องจากทำให้อาหารมีสี กลิ่น และรสชาติดีเป็นที่ยอมรับ (Arnoldi, 2004) อาจใช้วิธีการให้ความร้อน การใช้สารซัลไฟต์ และจำกัดปริมาณออกซิเจนในอาหาร ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารได้

3.3 ทางกายภาพ

การเสื่อมเสียประเภทนี้ส่วนมากมักไม่เป็นอันตรายร้ายแรงต่อผู้บริโภค โดยไม่รวมถึงลักษณะปรากฏของอาหารที่เสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารมักเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเป็นเวลานานหรือการเก็บรักษาอาหารในสภาพไม่เหมาะสม แต่บางครั้งอาจมีความเกี่ยวข้องกับผลของการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น กลิ่นรสแปลกปลอม กลิ่นหืน และสีที่ผิดปกติ (Kong & Singh, 2011)

ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในอาหารที่มักพบ เช่น การแยกชั้นของน้ำสลัดเมื่อนำไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เพราะว่าการเสียสภาพและคุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน การเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเมื่ออุณหภูมิแช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษาไม่คงที่ นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารในสภาพแวดล้อมหรือการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการสูญเสียความชื้นในอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแห้งหรือแข็งกระด้างมากขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อมก็อาจทำให้อาหารมีความชื้นสูงขึ้นและเนื้อสัมผัสด้อยลงได้เช่นกัน ตลอดจนการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีสมบัติระเหยได้ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลานานขึ้น (Rattanapanone, 2014)

4. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษา

จากที่อธิบายไว้ข้างต้นถึงสาเหตุและปัจจัยการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร ที่มักเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งธรรมชาติของอาหาร กระบวนการแปรรูป ชนิดบรรจุภัณฑ์ และสภาวะในการเก็บรักษา ถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้อาหารแต่ละชนิดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง หรือการเสื่อมเสียของคุณภาพที่เฉพาะและแตกต่างกัน ทำให้การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารต้องมีความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์การอาหาร เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารที่สนใจศึกษา รวมทั้งการวางแผนติดตามผลการวิเคราะห์คุณภาพที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างเหมาะสมต่อการใช้เป็นดัชนีคุณภาพการเสื่อมเสีย ช่วงระยะเวลาการสุ่มตัวอย่าง การกำหนดสภาวะในการเก็บรักษา และที่สำคัญการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมในการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งควรมีความสอดคล้องกับสาเหตุการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นปัจจัยหลัก หรือเป็นต้นเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรือเป็นอันตรายสำหรับการบริโภค วิธีการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้ติดตามคุณภาพหรือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหรือการเสื่อมเสียสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

4.1 คุณภาพทางกายภาพ

เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของอาหารโดยใช้วิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีความสะดวก และส่วนมากจะใช้เวลาไม่นานมาก การวัดค่าคุณภาพทางกายภาพส่วนมากจะใช้เครื่องมือที่ออกแบบมาจำเพาะ โดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือและขั้นตอนการวัดที่น่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งเป็นวิธีมาตรฐานที่ยอมรับ (Singh & Cadwallader, 2004) ตัวอย่างเช่น การวัดค่าสีของอาหาร โดยใช้ครื่อง colorimeter, spectrophotometer และ munsell book การวัดคุณสมบัติเนื้อสัมผัสอาหารด้วยเครื่อง texturometer, puncturometer และ intron การวัดความหนืดของอาหารด้วยเครื่อง brookfield, rapid visco analyser, และ bostwick consistometer การวัดค่าความเป็นกรดด่างโดยใช้ pH meter, pH paper และวิธี titration การวัดปริมาณน้ำในอาหารโดยใช้วิธี hot air oven, moisture balance และ infrared การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร เพราะว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค และยังสัมพันธ์กับการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทางเคมีและทางจุลนทรีย์ อย่างไรก็ตามค่าคุณภาพทางกายภาพของอาหารอาจไม่สามารถยืนยันได้ชัดเจนว่า ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆไม่เหมาะสมต่อการบริโภคหรือมีความเสี่ยงอันตราย เพราะว่าทั่วไปค่าลักษณะคุณภาพของอาหารมักไม่มีเกณฑ์ข้อกำหนดแน่นอนที่ระบุว่าอาหารนั้นๆหมดอายุ

4.2 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพของอาหารทางด้านประสาทสัมผัสแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การทดสอบความพอใจหรือการยอมรับ (preference/acceptance test) เป็นการทดสอบความพอใจของผู้ทดสอบชิม การทดสอบความแตกต่าง (discriminatory tests) เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง และการทดสอบเชิงพรรณนา (descriptive test) เป็นการวัดลักษณะคุณภาพของตัวอย่าง (Wiriyajaree, 2018) การวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัส (hedonic test) ใช้เป็นเกณฑ์การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา

ในการประเมินคุณภาพอาหารตามความชอบของผู้บริโภคหรือผู้ทดสอบ เป็นการใช้การรับรู้ทางประสาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และการสัมผัส การทดสอบจะทำในห้องปฏิบัติการทางด้านประสาทสัมผัสที่มีสิ่งอำนวย

ความสะดวกด้านสถานที่ พื้นที่ทดสอบชิมที่แบ่งเป็นสัดส่วน พื้นที่เตรียมตัวอย่าง และแสงสว่างและอุณหภูมิที่เหมาะสม ผู้ทดสอบจะได้รับเสิร์ฟตัวอย่างอาหารในบู๊ททดสอบพร้อมคำชี้แจงในการทดสอบตัวอย่างอาหาร จากนั้นผู้ทดสอบจะทำการชิมตัวอย่างอาหารตามลำดับการเสิร์ฟ และให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะด้านความชอบรวม สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ให้ตรงกับความรู้สึก ทุกครั้งที่เปลี่ยนตัวอย่างทดสอบชิมหรือชิมตัวอย่างใหม่จะได้รับคำแนะนำให้กลั้วปากด้วยน้ำดื่มทุกครั้ง (Lawless, 2010)

การทดสอบระดับความชอบของผู้บริโภคสามารถวัดได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้สเกลความพอใจ (hedonic scale) สเกลรอยยิ้ม (smiley scale) สเกลพอดี (just about right scale) ทั่วไปการใช้ hedonic scale เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เพราะสามารถแสดงความรู้สึกชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ และแปลผลได้ง่ายและสะดวก สเกลความพอใจที่นิยมใช้ เช่น 9-point hedonic scale (9 หมายถึง ชอบมากที่สุด 5 หมายถึงไม่สามารถระบุได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 0 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด) 7-point hedonic scale (7 หมายถึง ชอบมาก 4 หมายถึงไม่สามารถระบุได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 0 หมายถึง ไม่ชอบมาก) 5-point hedonic scale (5 หมายถึง ชอบมาก 3 หมายถึงไม่สามารถระบุได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 0 หมายถึง ไม่ชอบมาก) นอกจากนี้ยังมีการใช้สเกลความพอใจ smiling face (Wiriyajaree, 2018)

การประเมินความชอบทางด้านประสาทสัมผัส จะใช้ผู้ทดสอบชิมที่มากพอสมควร โดยการทดสอบแบบ hedonic test จะใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนอย่างน้อย 30 คน ขณะที่การทดสอบแบบ descriptive test จะใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนอย่างน้อย 10 คน ในกรณีที่ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนและหรือมีความชำนาญด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบสามารถใช้ผู้ทดสอบจำนวน 5-10 คน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการทดสอบด้วย แม้ว่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ด้านประสาทสัมผัสจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพและการยอมรับของผลิตภัณฑ์ แต่ก็ไม่มีเกณฑ์มาตรฐานที่ชัดเจน ดังนั้นการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มักใช้ร่วมกับผลวิเคราะห์คุณภาพอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางจุลินทรีย์ เพื่อประกอบการพิจารณาการเสื่อมเสียและการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

4.3 คุณภาพทางเคมี

เป็นการวิเคราะห์คุณภาพทางคุณค่าโภชนาการ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต สารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ สารพิษหรือสารที่ความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ เช่น อะฟลาทอกซิน โลหะหนัก และไขมันทรานส์ รวมทั้งสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของอาหาร เช่น สารเพอร์ออกไซด์ ค่ากรดอิสระ และสารไทโอบาร์บิทูริก ซึ่งวิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีทั่วไปแล้วจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อน ตั้งแต่การเตรียมและหรือสกัดตัวอย่าง การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายตัวอย่างและสารเคมี การทำสารให้บริสุทธิ์ และการวัดค่าโดยต้องใช้เครื่องมือที่มีความจำเพาะ มีความไว และมีความแม่นยำสูง ที่สำคัญวิธีการวิเคราะห์ควรมีแหล่งอ้างอิงและได้รับรองมาตรฐาน ทำให้การวัดค่าคุณภาพทางเคมีของอาหารมักมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ต้นทุนสารเคมี ความชำนาญของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ การลงทุนอุปกรณ์และเครื่องมือ และระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการประกันคุณภาพของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ (Kong & Singh, 2011) ข้อดีของการวัดค่าคุณภาพทางเคมีของอาหาร คือ สามารถใช้พิจารณาเป็นเกณฑ์ยอมรับหรือไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีการระบุค่าการยอมรับหรือค่ามาตรฐานที่แน่นอน โดยอาจอ้างอิงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข สำนักคณะกรรมการอาหารและยาของอาหารแต่ละประเภท ในบางครั้งพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของอาหารยังอยู่ในเกณฑ์ที่

ยอมรับ แต่ผลิตภัณฑ์มีการปลี่ยนแปลงทางกายภาพและประสาทสัมผัสและไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังนั้นทั่วไป การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร มักเลือกใช้การวิเคราะห์คุณภาพหลายวิธีร่วมกัน

4.4 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ โดยเกิดการปนเปื้อนและเพิ่มจำนวนขึ้นในอาหาร แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ทำให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ยอมรับ การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์อาจเป็นอันตรายต่อการบริโภค หากเป็นการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ดังนั้นคุณภาพด้านจุลินทรีย์จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการประเมินอายุการเก็บรักษา ซึ่งบ่งบอกว่าอาหารมีความปลอดภัยต่อการบริโภค การติดตามคุณภาพทางจุลินทรีย์ส่วนมากจะเป็นการวัดจำนวนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เช่น คลอสทริเดียม โบทูลินัม (*Clostridium botulinum*) ซาลโมเนลลา (*Salmonella* spp.) เอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*Vibrio paraheamolyticus*) เนื่องจากทำให้ผู้บริโภคเกิดการเจ็บป่วย ปวดหัว คลื่นไส้อาเจียน ปวดท้อง และท้องเสีย หรือมีอันตรายรุนแรงถึงแก่ชีวิต กรณีบริโภคอาหารปนเปื้อนสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ดังนั้นอาหารทุกชนิดต้องมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข โดยอ้างอิงให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 พ.ศ. 2563 (Ministry of public health, 2020a) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ตลอดจนการวัดจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ยีสต์และรา และหรือโคลิฟอร์ม เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการแปรรูปหรือระหว่างการขนส่ง ซึ่งให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขตามประเภทอาหาร

5. <u>การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร</u>

5.1 สมการคิวเทน (Q_{10})

โดยอาศัยหลักการ คือ อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเร่งอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงขึ้นและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากขึ้น เป็นผลให้การเกิด ปฏิกิริยาเคมีมีอัตราเร็วสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C มักจะส่งผลให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้นถึง 2-3 เท่า เพราะว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราค่าคงที่ (k) เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยากับอุณหภูมิ (Mizrahi, 2004) ดังสมการอาร์รีเนียส (Arrhenius's equation) สมการที่ (1)

$$\mathrm{k} = \mathrm{k_0} \exp\left[-\frac{Ea}{\mathrm{RT}}\right] \tag{1}$$

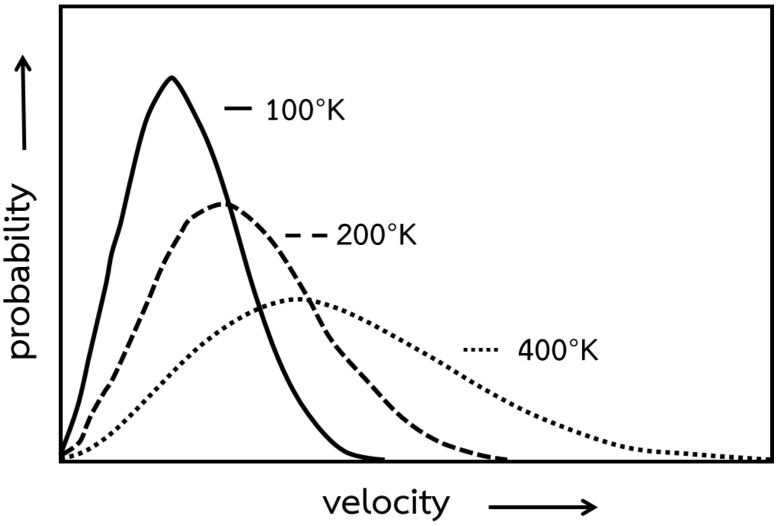
k = ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (reaction rate constant)

k_0 = ค่าของ pre-exponential factor

Ea = พลังงานกระตุ้น หรือพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy, J/mol)

R = ค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ (ideal gas constant = 8.314 J/mol K)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature, K)



ภาพที่ 1 กราฟการกระจายของจำนวนโมเลกุลที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ภาพที่ 1 พบว่าเส้นกราฟที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์สูงกว่าจะมีจำนวนโมเลกุลที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงกว่าเส้นกราฟที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์ต่ำกว่า ดังนั้นในสภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยามากกว่าและอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าคงที่อัตรา (k) ยังสามารถคำนวณได้ในรูปของค่า Q_{10} ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของค่าคงที่อัตรา ณ อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน 10°C ดังสมการที่ (2) ถึง (4)

$$Q_{10} = \frac{k_2(T+10^\circ C)}{k_1(T)} \quad (2)$$

$$\log Q_{10} = \frac{E_A}{2.303R}\left[\frac{10}{T1(T1+10)}\right] \quad (3)$$

$$Q_{10}^{\left(\frac{\Delta}{10}\right)} = \frac{\text{time(prediction)}}{\text{time(accelerated condition)}} \quad (4)$$

Q_{10} = อัตราส่วนของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิต่างกัน 10°C

Ea = พลังงานกระตุ้น หรือพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy, kJ/mol)

R = ค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ (ideal gas constant = 8.314 J/mol K)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

Δ = ความแตกต่างของ T_1 และ T_2 (=10)

ตัวอย่างการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยใช้สมการ Q_{10} สำหรับชาชงผสมใบหม่อนและผลหม่อน ใช้สภาวะเร่งอุณหภูมิที่ 45 และ 55 °C ในการเก็บรักษา (Thamee et al., 2018) กำหนดค่า TBARS ต่ำกว่า 1.6 mg MDA/kg เป็นเกณฑ์ยอมรับผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวอย่างจะมีอายุการเก็บนาน 111 และ 52 วัน ตามลำดับ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 2 จะได้ค่า Q_{10} เท่ากับ 2.134 ซึ่งสามารถนำค่า Q_{10} ที่ได้มาใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 5 °C จากสมการที่ 4 ซึ่งจะมีอายุการเก็บรักษานาน 2,304 วัน โดยประมาณ

5.2 ปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ (kinetic reaction)

การเสื่อมเสียของอาหารจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมีการเสื่อมเสีย โดยขึ้นกับชนิดอาหารและปฏิกิริยาเคมี ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาคือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์เมื่อเวลาเปลี่ยนไป (Mizrahi, 2004) โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (5)

$$dc/dt = \pm kc^{n} \quad (5)$$

เป็น – เมื่อพารามิเตอร์ที่ทดสอบมีการเสื่อมสลาย/ลดลง

+ เมื่อพารามิเตอร์ที่ทดสอบเพิ่มขึ้นตามเวลา เช่น การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ หรือค่า peroxide value

ตารางที่ 1 สมการและกราฟเส้นตรงของปฏิกิริยา*อันดับ 0 1 และ 2

ปฏิกิริยา	อัตราการเกิดปฏิกิริยา	สมการ	กราฟเส้นตรง	
อันดับ 0	r = k	$[C]_0 - [C] = k_0t$	$[C]_0 - [C]$ กับ t	Slope = k_0
		$[C] = [C]_0 - k_0t$	[C] กับ t	Slope = $-k_0$
อันดับ 1	r = k[A]	$\ln[C] = \ln[C]_0 - k_1t$	ln[C] กับ t	Slope = $-k_1$
		$\log[C] = \log[C]_0 - \frac{k_1 t}{2.303}$	log[C] กับ t	Slope = $-\frac{k_1}{2.303}$
อันดับ 2	$r = k_2[A][B] \approx k_2[A]^2$	$\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C} = -k_2t$	$\left[\frac{1}{C_0}\right] - \left[\frac{1}{C}\right]$ กับ t	Slope = $-k_2$
		$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + k_2t$	$\left[\frac{1}{C}\right]$ กับ t	Slope = k_2

*(Taoukis *et al.*, 1997)

k_0 = ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หน่วยเป็น ความเข้มข้นของสาร/เวลา

k_1 = ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง หน่วยเป็น $(เวลา)^{-1}$

k_2 = ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับสอง หน่วยเป็น 1/ความเข้มข้นของสาร x เวลา

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (zero-order reaction) อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น และการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first-order reaction) อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงหนึ่งชนิด ดังนั้นค่าคงที่อัตรา (rate constant) จึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิ

ปฏิกิริยาอันดับสอง (second-order reaction) อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น แบ่งเป็นสองกรณี คือ ขึ้นกับกำลังสองของสารตั้งต้นเพียงตัวเดียวหรือขึ้นกับสารตั้งต้นสองตัวแต่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากัน

การหาอันดับของปฏิกิริยา ทำได้โดยการพล็อตกราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับ 0 1 และ 2 (ตารางที่ 1) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เวลาเริ่มต้น $[C]_0$ หรือความเข้มข้นของสารที่เวลาใดๆ [C] ที่เกิดขึ้น กับระยะเวลาการเก็บรักษา (t) และอุณหภูมิ (T) ที่แตกต่างกันที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จะได้ค่าความชันของกราฟเท่ากับค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (k) แล้วจึงคำนวนหาค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Squared, R^2) ซึ่งควรมีค่าเข้าใกล้ 1 เพื่อใช้พิจารณาเลือกอันดับปฏิกิริยา

หลังจากได้ค่า k ของปฏิกริยา ให้พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln k ของทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา (แกน y) กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์เคลวิน (1/T) (แกน x) ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์เส้นตรงอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ (1) และ (6)

$$\ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln k_0 \tag{6}$$

เมื่อ k = ค่าคงที่อัตรา (rate constant) ที่อุณหภูมิกำหนด

Ea = พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (J/mol)

R = ค่าคงที่ของแก๊สมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์เคลวิน (K) (Mizrahi, 2004)

กราฟความสัมพันธ์เส้นตรงอาร์เรเนียสจะได้ค่าความชันของกราฟ (slope = -Ea/R) เท่ากับพลังงานกระตุ้นของปฏิกริยา (J/mol) หารด้วยค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ (8.314 J/mol K) สำหรับค่า k ให้ลากเส้นกราฟไปตัดแกน y (ln k) เพื่อทราบค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) ที่อุณหภูมินั้นๆ

ในการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาอื่นๆ นอกเหนือจากสภาวะที่ทำการศึกษาให้แทนค่า Ea และ ค่า k_0 และ T ลงในสมการที่ (5) เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราเร็วการเกิดปฏิกริยา (k) หลังจากนั้นนำค่า k ไปแทนในสมการของอันดับปฏิกิริยา (อันดับ 0 1 หรือ 2) ที่ถูกเลือกใช้ในการทำนาย ก็จะได้ค่าอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (t) ที่อุณหภูมิดังกล่าว จากนั้นใช้สมการของอันดับปฏิกริยา (ตารางที่ 1) ที่เลือก และแทนค่า C_0 ความเข้มข้นเริ่มต้น และค่า C ความเข้มข้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ หรืออาจเป็นค่ายอมรับสูงสุดหรือต่ำสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียและไม่ปลอดภัยสำหรับบริโภคโดยค่าดังกล่าวควรสอดคล้องกับพระราชบัญญัติ

อาหาร พ.ศ. 2522 ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ข้อกำหนดคุณภาพของบริษัทผู้ผลิตหรือลูกค้า หรือมาตรฐานโคเดกซ์ (codex alimentarius commission)

ตัวอย่างเช่นการกำหนดค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันปรุงอาหาร ต้องไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เพอร์ออกไซด์ออกซิเจน ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม (Codex, 1999) จากนั้นให้ทำการแทนค่าดังกล่าวในสมการของอันดับปฏิกิริยาแต่ละอุณหภูมิที่ทำการศึกษา เนื่องจากสมการแต่ละอุณหภูมิการเก็บรักษาจะมีค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาและสัมประสิทธ์หรืออัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน แก้สมการตัวแปร (t) จะได้ค่าเป็นอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ (shelf life at specific temperature storage, SHT) ดังเช่นงานวิจัยของ Manzocco *et al*. (2020) ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ซึ่งใช้เป็นดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพและสัมพันธ์กับ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ร่วมกับผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในการยอมรับกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่สภาวะเร่งอุณหภูมิ 20°C 40°C และ 60°C ด้วยการใช้สมการทางจลนพลศาสตร์ร่วมกับสมการอาร์เรเนียส เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาพบว่าสามารถใช้ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในการทำนายอายุเก็บของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการทางจลนพลศาสตร์และสมการอาร์เรเนียส ในการคำนวณหาอายุการเก็บรักษาของสตรอว์เบอร์รีสดโดยใช้ดัชนีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสตรอว์เบอร์รีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน (Wangcharoen, 2010)

บทสรุป

เพื่อให้การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่ง มีความถูกต้องและแม่นยำ ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาได้แก่ การเลือกดัชนีคุณภาพการเสื่อมเสียที่มีความไวและเหมาะสมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เช่น การวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ การประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคาดการณ์การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการนำไปใช้คำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ณ อุณหภูมิการเก็บที่สนใจ ทั่วไปแนะนำให้เลือกดัชนีคุณภาพมากกว่าหนึ่งประเภท โดยพิจารณาจากข้อมูลจำเพาะของตัวอย่างอาหาร เช่น ชนิดผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบของวัตถุดิบหรือส่วนผสม ลักษณะการเสื่อมเสีย และอุณหภูมิที่แนะนำให้เก็บรักษา ตลอดจนข้อมูลการกล่าวอ้างทางโภชนาการ คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามพระราชบัญญัติอาหาร และ/หรือข้อกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ระบุโดยผู้ผลิตหรือลูกค้า เพื่อกำหนดเกณฑ์การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือจุดยุติของอายุผลิตภัณฑ์และพิจารณาวิธีการทดสอบที่มีความเหมาะสม แล้วจึงวางแผนการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดระยะเวลาการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตามที่ระบุ ในแต่ละสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ กัน หรือร่วมกับการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และ/หรือการสัมผัสแสง ซึ่งจะใช้กรณีที่ต้องการให้สภาวะการเก็บรักษาใกล้เคียงกับสภาวะจริง เนื่องจากสภาวะดังกล่าวมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียให้เกิดได้เร็วขึ้น จากนั้นให้รวบรวมข้อมูลผลวิเคราะห์แล้วนำมาใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

วิธีการที่สะดวกและนิยมใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้สภาวะเร่ง คือ การใช้สมการ Q_{10} เพราะว่าให้ผลเป็นที่ยอมรับใกล้เคียงข้อมูลจริง และสามารถเลือกใช้ดัชนีการเสื่อมเสียคุณภาพได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางประสาทสัมผัส ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ขึ้นกับความไวของดัชนีการเสื่อมเสียและเน้นในเรื่องการยอมรับคุณภาพผลิตภัณฑ์และความปลอดภัยของผู้บริโภค นอกจากนี้การวางแผนการศึกษาและการ

คำนวณก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ขณะที่การใช้สมการทางจลน์ศาสตร์ในการประเมินอายุการเก็บรักษา ควรมีความเข้าใจเรื่องอันดับปฏิกิริยาและความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเส้นตรงอาร์เรเนียส รวมทั้งมีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียดค่อนข้างซับซ้อนเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้สมการ Q_{10} ที่สำคัญคือการกำหนดค่าการเสื่อมเสียที่ใช้เป็นดัชนีคุณภาพการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หรือจุดยุติที่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ทำให้อาจเป็นข้อจำกัดของการใช้สมการทางจลน์ศาสตร์ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของบางผลิตภัณฑ์

ข้อดีของการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่ง คือ ลดค่าใช้จ่าย ประหยัดเวลา และสามารถใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เพื่อระบุวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์บนฉลากอาหาร ซึ่งเป็นการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 367 พ.ศ. 2557 (Ministry of public health, 2014)

เอกสารอ้างอิง

Arnoldi, A. (2004). Factors affecting the Maillard reaction. In R. Steele (Ed.), *Understanding and measuring the shelf-life of food*. (pp. 111-127). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Boekel, V.M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., Somoza, V., Knorr, D., Jasti, P.R. & Eisenbrand, G. (2010). A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular Nutrition and Food Research*, *54*(9), 215-1247.

Chen, X.D. (2009). Drying and dried food quality. In E. Ortega-Rivas (Ed.), *Processing Effects on Safety and Quality of Foods*. (pp. 323-340) New York: CRC Press.

Codex. (1999). *Codex standards for fats and oils from vegetable sources*. Retrieved May 5, 2021 from http://www.fao.org/3/y2774e/y2774e04.htm

Fellows, P.J., (2009). *Food processing technology: principles and practice*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Fernández, P.P., Sanz, P.D., Molina-García, A.D., Otero, L., Guignon, B. & Vaudagna, S.R. (2007). Conventional freezing plus high pressure–low temperature treatment: Physical properties, microbial quality and storage stability of beef meat. *Meat Science*, *77*(4), 616-625.

Garbutt, J. (1997). *Essentials of food microbiology*. London, Arnold.

Joint FAO/WHO expert committee on food additives. (2002). *Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO expert committee on food additives.* Retrieved May 5, 2021 from http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec_184.htm

Kilcast D. & Subramaniam P. (2011). *Food and beverage stability and shelf life*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Kong, F. & Singh, R.P. (2011). Chemical deterioration and physical instability of foods and beverages. In D. Kilcast, & P. Subramaniam (Eds.), *Food and beverage stability and shelf life*. (pp.29-62). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Lawless, H.T. & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: principles and practices.* Springer.

Manzocco, L., Romano G., Calligaris, S. & Nicoli, M. C. (2020). 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.

Ministry of public health. (2014). *Notification of the ministry of public health (No. 367) B.E. 2557: Labeling of prepackaged foods*. Ministry of public health, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Ministry of public health. (2020a). *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)

Ministry of public health. (2020b). *Notification of the ministry of public health (No. 418) B.E. 2563: Prescribing the principle, conditions, methods and proportion of food additives (No.2)*, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Ministry of public health. (2020c). *Notification of the ministry of public health (No. 420) B.E. 2563: Food* production processes, processing equipment/utensils and storage practices, 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.

Msagati, T.A.M. (2012). *Chemistry of food additives and preservatives.* Chichester: John Wiley & Sons.

Robertson, G.L. (2009). *Food packaging and shelf life: A Practical guide*. Florida: CRC Press.

Shahid, S., Leghari, A.A., Farid, M.S., Saeed, M., Anwar, S., Anjum, R., Saeed, N. & Abbas, Z. (2021). Role of active food packaging developed from microencapsulated bioactive ingredients in Quality and shelf life enhancement: A review. *Journal of American Science, 17*(2), 12-28.

Singh, R. P. & Anderson, B. A. (2004). The major types of food spoilage: an overview. In R. Steele (Ed.), *Understanding and measuring the shelf-life of food*. (pp. 3-23). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

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*. (pp. 165-183). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Speranza, B., Bevilacqua, A. & Sinigaglia, M. (2010). Food spoilage and safety: Some key-concepts. In A. Bevilacqua, M.R. Corbo, & M. Sinigaglia, (Eds.), *Application of alternative food-preservation technologies to enhance food safety and stability.* (pp. 17-34). Sharjah: Bentham Books.

Taoukis P.S., Labuza, T.P. & Saguy I.S. (1997). Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In K.J Valentas, E. Rotstein, & R.P. Singh, (Eds.), *Handbook of food engineering practice*. (pp. 361-403). New York: CRC Press.

Thai trade center The Hague. (2020). *Shelf-stable foods*. Retrieved May 11, 2021, from https://www.ditp.go.th/contents_attach/613636/613636.pdf (in Thai)

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)

Wiriyajaree, P. (2018). *Sensory evaluation*. Chiang Mai: Chiang Mai University. (in Thai)

Wongcharoen, W. (2010). Shelf life study of food products. *Food, 40*(3), 199-204. (in Thai)