อะคริลาไมด์ สารก่อมะเร็งใกล้ตัว

สาวิณี กฤตผล

ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีและสารนิเทศทางอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : sawinee.k@ku.th
รับเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2567 **แก้ไขเมื่อ** 24 กุมภาพันธ์ 2568 **ตอบรับเมื่อ** 10 มีนาคม 2568

จุดเด่น

- อาหารที่มักจะมีการปนเปื้อนสารอะคริลาไมด์
- ความกังวลด้านสุขภาพและความปลอดภัย
- การลดการเกิดสารอะคริลาไมด์จากกระบวนการแปรรูปอาหาร

บทคัดย่อ

อะคริลาไมด์เป็นสารพิษที่สามารถเกิดขึ้นได้เองจากกระบวนการปรุงอาหารที่มีการใช้ความร้อนสูง เช่น การทอด การปิ้ง การย่าง การอบ และการคั่ว เป็นต้น โดยมีสารตั้งต้นเป็นแอสพาราจีนและน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) ผ่านกลไกของปฏิกิยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติในวัตถุดิบอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์มันฝรั่ง และผลิตภัณฑ์ขนมอบ สำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International agency for research on cancer: IARC) ได้จัดให้อะคริลาไมด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A ซึ่งหมายความว่า “มีแนวโน้มที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์” (probably carcinogenic to humans) โดยมีการศึกษาความเป็นพิษในหนูทดลองพบว่า อะคริลาไมด์มีความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxic) สารพันธุกรรม (genotoxic) และมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic properties) ดังนั้น หลายองค์กรด้านสุขภาพได้สร้างความตระหนักเกี่ยวกับอันตรายของอะคริลาไมด์ให้กับผู้ผลิตอาหาร และรณรงค์ให้ความรู้ประชาชนเกี่ยวกับวิธีการปรุงอาหาร หรือวิธีการรับประทานอาหาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับสารอะคริลาไมด์ ในรูปแบบของการจัดทำคู่มือ รวมทั้งมีมาตรการในการกำหนดค่ามาตรฐานของสารอะคริลาไมด์ในอาหารหลายชนิด

คำสำคัญ : อะคริลาไมด์ สารก่อมะเร็ง อาหารปลอดภัย ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

Acrylamide, a carcinogen in daily life

Sawinee Krittaphol

Technology and Food Information Center, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : sawinee.k@ku.th
Received 29 November 2024; **Revised** 24 February 2025; **Accepted** 10 March 2025

Highlights

- Foods are prone to acrylamide formation
- Health and safety concerns
- Reducing acrylamide formation from food processing

Abstract

Acrylamide is a toxic substance that naturally forms during high-temperature cooking processes such as frying, grilling, roasting, baking, and toasting. Its precursors are asparagine and reducing sugars through the mechanism of maillard reaction, which are naturally present in various food ingredients, particularly in potato products and baked goods. The International agency for research on cancer (IARC) has classified acrylamide as a Group 2A carcinogen, indicating it is "probably carcinogenic to humans" Toxicity studies in laboratory rats revealed that acrylamide is neurotoxic, genotoxic, and carcinogenic component. As a result, many health organizations have raised awareness about the dangers of acrylamide among food manufacturers and educated the public on cooking and dietary practices that reduce acrylamide exposure. These efforts include the developing guidelines and establishing standard limits for acrylamide levels in various foods.

Keywords : acrylamide, carcinogen, food safety, maillard reaction

บทนำ

มะเร็ง คือ โรคที่เป็นสาเหตุอันดับต้น ๆ ของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก และเป็นสาเหตุอับดับ 1 ของสาเหตุการเสียชีวิตในประเทศไทย ซึ่งโรคมะเร็งเกิดจากการมีเซลล์ผิดปกติในร่างกายและเซลล์เหล่านี้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนร่างกายไม่สามารถควบคุมเซลล์เหล่านั้นได้ จึงทำให้เซลล์มะเร็งสามารถเจริญและลุกลาม แพร่กระจายไปยังอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่งผลให้เซลล์ปกติของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่าง ๆ ล้มเหลว และเป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยเสียชีวิตในที่สุด สำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International agency for research on cancer: IARC) ได้เผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับการสำรวจและคาดการณ์โรคมะเร็งของประชากรทั่วโลกพบว่า ในปี พ.ศ. 2565 มีผู้ป่วยมะเร็งทั่วโลก 15 ล้านราย และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2593 จะมีผู้ป่วยโรคมะเร็งมากกว่า 35 ล้านราย ซึ่งจำนวนผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นนี้ องค์กรวิจัยมะเร็งนานาชาติระบุว่า เป็นการสะท้อนถึงการก้าวสู่การเป็นสังคมผู้สูงวัย รวมถึงการมีปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น พฤติกรรมการบริโภคและสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยอ้างอิงข้อมูลจากรายงานของสถิติทะเบียนมะเร็งประเทศไทย โดยสถาบันมะเร็งแห่งชาติ[1] รายงานว่า แต่ละปีจะมีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ประมาณ 140,000 คน หรือประมาณ 400 คนต่อวัน โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2567 พบว่า มีผู้ป่วยมะเร็งเพิ่มขึ้นเฉลี่ยถึงวันละ 400 คน ทั่วประเทศ โดยโรคมะเร็งที่พบมาก 5 อันดับแรกในคนไทย ได้แก่ มะเร็งตับและท่อน้ำดี มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่และทวารหนัก และมะเร็งปากมดลูก นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ป่วยมะเร็งทุกชนิดมีอายุโดยเฉลี่ยลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสาเหตุการเกิดโรคมะเร็งมักเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกันระหว่างพันธุกรรม (สัดส่วนร้อยละ 5-10) และปัจจัยภายนอก (สัดส่วนร้อยละ 90-95) คือ พฤติกรรมเสี่ยงทางสุขภาพและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารก่อมะเร็ง และรวมไปถึงการได้รับสารก่อมะเร็งจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการดำเนินชีวิตโดยหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง อาจสามารถช่วยลดความเสี่ยงได้ถึงร้อยละ 40[2] ดังคำกล่าวที่ว่า “You are what you eat” เรากินอะไร เราก็จะเป็นแบบนั้น เป็นคำกล่าวที่ไม่เกินจริง เมื่อพบว่า การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารก่อมะเร็ง เป็นสาเหตุที่สำคัญในการเกิดมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร ตั้งแต่หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ ทวารหนัก รวมถึงอวัยวะอื่น ๆ ในช่องท้อง ตับ ตับอ่อน และถุงน้ำดี โดยสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในทางเดินอาหารที่ปนเปื้อนมากับอาหารมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงสารพิษที่เรียกว่า “อะคริลาไมด์ (acrylamide)” ซึ่งในบทความนี้มุ่งเน้นการศึกษาถึงการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ในอาหาร และแนวทางลดการเกิดสารดังกล่าวในกระบวนการแปรรูปอาหาร

อะคริลาไมด์คืออะไร? (What is acrylamide?)

อะคริลาไมด์ (acrylamide; $CH_2=CHCONH_2$) หรือ 2-propenamide เป็นสารอินทรีย์ที่มีผลึกสีขาว มวลโมเลกุล 71.08 กรัม มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง อะคริลาไมด์เป็นสารมีขั้วสามารถละลายได้ง่ายในน้ำหรือสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทานอลหรือเอทานอล จากสมบัติในการเป็นโมเลกุลเดี่ยวของสารอะคริลาไมด์ ทำให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เมื่อถูกหลอมเหลวหรืออยู่ภายใต้รังสีอัลตร้าไวโอเลต จึงนิยมนำสารอะคริลาไมด์มาใช้ในการสังเคราะห์พอลออะคริลาไมด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญ ใช้เป็นองค์ประกอบของไส้กรองในเครื่องกรองน้ำ[3]

ในด้านที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหาร อะคริลาไมด์เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในอาหารบางชนิดเมื่อถูกปรุงที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะระหว่างการทอด การย่าง หรือการอบ ได้รับการค้นพบในอาหารครั้งแรกในปี ค.ศ. 2002 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน จากสำนักงานอาหารแห่งประเทศสวีเดน (Swedish National Food Administration: NFA) ซึ่งพบว่า อะคริลาไมด์มักจะเกิดในอาหารจำพวกแป้ง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมปังกรอบ และผลิตภัณฑ์เบเกอรีต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้หากอาหารเหล่านี้มีน้ำตาลมากขึ้น ก็จะพบอะคริลาไมด์ปนเปื้อนมากขึ้นเช่นกัน และตั้งแต่นั้นมาก็มีการศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ในอาหารอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเชื่อมโยงกับโรคมะเร็ง ซึ่งในปี ค.ศ. 1994 สำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer: IARC) ได้จัดให้อะคริลาไมด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A คือ มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (probably carcinogenic to humans) เนื่องจากอะคริลาไมด์เป็นสารเคมีที่มีหลักฐานจำนวนน้อยที่บ่งชี้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่ก็มากเพียงพอที่จะสรุปได้ว่า สามารถทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้

อะคริลาไมด์เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กที่เกิดขึ้นได้เองจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนที่เรียกว่า “แอสพาราจีน (asparagine)” ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า “ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)” จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีและรสชาติของอาหารร่วมด้วย นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนอีก 5 ชนิด ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก (aspartic acid) กลูตามีน (glutamine) กรดกลูตามิก (glutamic acid) วาลีน (valine) และไลซีน (lysine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีปฏิกิริยาสูงสำหรับปฏิกิริยาเมลลาร์ดอีกด้วย การเกิดอะคริลาไมด์โดยทั่วไปมี 4 ปัจจัยหลัก ประกอบด้วย ปริมาณแอสพาราจีนอิสระ ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์อิสระ ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และความร้อนที่มากกว่า 120 องศาเซลเซียส[4] จากการทดลองของ Deary และคณะ[5] มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กับกรดอะมิโน 20 ชนิด เป็นเวลา 30 นาที พบว่า กรดอะมิโนที่ก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากที่สุดคือ เมทไธโอนีนและแอสพาราจีน (3.65

และ 0.56 μmol/mol amino acid ตามลำดับ) และยังพบว่า การเพิ่มน้ำตาลฟรักโทส กาแล็กโทส แล็กโทส และซูโครส จะทำให้เกิดสารอะคริลาไมด์มากขึ้น แต่การให้ความร้อนน้ำตาลเพียงอย่างเดียวไม่พบการเกิดอะคริลาไมด์ อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวเป็นการทดลองในแบบจำลอง และอาจไม่สอดคล้องกับมันฝรั่งหรือมันเทศมากนัก เนื่องจากในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งหรือมันเทศ แอสพาราจีนเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญและมีอยู่จำนวนมาก และอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระ หรือ water activity (a_w) สูงมักจะพบปริมาณอะคริลาไมด์ที่สูงขึ้นด้วย[6]

2. อาหารที่มีอะคริลาไมด์สูง (Foods high in acrylamide)

2.1 มันฝรั่งทอดและมันฝรั่งทอดกรอบ

มีข้อมูลจากผู้ผลิตมันฝรั่งทอดกรอบในยุโรปที่รวบรวมไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002-2016 พบว่า ในปี ค.ศ. 2002 มีการสำรวจระดับอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ 42 ผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 763 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในปี ค.ศ. 2009 มีการสำรวจระดับอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ 6,493 ผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 500 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และในปี ค.ศ. 2016 มีการสำรวจระดับอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ 7,264 ผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 412 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่า ระดับอะคริลาไมด์ที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งมีแนวโน้มน้อยลงเรื่อย ๆ อันเป็นผลมาจากผู้ผลิตตระหนักถึงอันตรายของอะคริลาไมด์ จนนำไปสู่การพัฒนามาตรฐานกระบวนการผลิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น การเปลี่ยนไปใช้มันฝรั่งสายพันธุ์ที่มีน้ำตาลน้อย การเลือกระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาอย่างเหมาะสม รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น มีขั้นตอนการลวกก่อนทอดเพื่อให้น้ำตาลรีดิวส์ที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดอะคริลาไมด์ถูกชะล้างออกจากตัววัตถุดิบ หรือมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการทอด เพื่อลดปัจจัยและโอกาสที่จะก่อให้เกิดสารอะคริลาไมด์ในปริมาณที่สูงเกินไป[7]

ในขณะที่ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบที่จำหน่ายในประเทศไทย ยังพบปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่หลากหลายขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต จากการสำรวจโดยสำนักงานคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในปี ค.ศ. 2011 พบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ขายในประเทศไทย จำนวน 32 ผลิตภัณฑ์ มีปริมาณอะคริลาไมด์อยู่ในช่วง 110-2,676 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม[8] ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 ได้มีคณะวิจัยของประเทศไทยทำการสำรวจขนมขบเคี้ยวจากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี โดยได้สำรวจผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบจำนวน 9 ตัวอย่าง พบว่า มีอะคริลาไมด์ปนเปื้อนจำนวน 7 ตัวอย่าง ปริมาณอะคริลาไมด์อยู่ในช่วง 136.3-366.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม[9]

2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบและซีเรียล

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี และซีเรียล เป็นอาหารหลักในหลายประเทศเนื่องจากมีสารอาหารจำเป็นหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และอาจมีส่วนประกอบของ

ไฟเบอร์และวิตามินร่วมด้วย ซึ่งต้องผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส จากการสำรวจของ Nematollahi และคณะ[10] ปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมดสูงกว่า 100 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ระดับอะคริลาไมด์เฉลี่ยสำหรับเวเฟอร์ ขนมปังแผ่น บิสกิต แครกเกอร์ เค้ก คุกกี้ และขนมปังที่มีการใช้ยีสต์ในอุตสาหกรรม คือ 233.94, 218.26, 200.67, 190.50, 186.39, 156.10 และ 100.22 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งระดับความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ในแต่ละตัวอย่างจะแตกต่างกันออกไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิในการผลิต

สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบที่วางขายในประเทศไทยพบว่า ผลิตภัณฑ์ซีเรียลอาหารเช้า ขนมปังกรอบ เวเฟอร์ และคุกกี้ธัญพืชมีปริมาณสารอะคริลาไมด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 78, 149, 206 และ 265 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ[8]

2.3 กาแฟ

แม้ว่ากาแฟจะไม่ได้มีปริมาณอะคริลาไมด์มากเท่ากับผลิตภัณฑ์เบเกอรีหรือผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ แต่กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีความนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกรองจากเครื่องดื่มชา และมีความถี่ในการบริโภคค่อนข้างสูง ดังนั้นการบริโภคกาแฟในปริมาณที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะได้รับอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายได้มากขึ้น ซึ่งอะคริลาไมด์ในกาแฟมักจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคั่วซึ่งมีการใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยระดับของการคั่ว ไม่ว่าจะเป็นแบบอ่อน กลาง หรือเข้ม เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ในกาแฟคั่ว และส่งผลโดยตรงต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของกาแฟ เช่น สี กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของอะคริลาไมด์จากกาแฟสายพันธุ์หลัก ๆ ที่นำมาผลิตเครื่องดื่มกาแฟทั่วโลก ได้แก่ สายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora*) และสายพันธุ์อาราบิก้า (*C. Arabica L.)* พบว่า นักวิจัยส่วนใหญ่มีความเห็นว่า กาแฟโรบัสต้ามีอะคริลาไมด์สูงกว่ากาแฟอะราบิก้า ซึ่งมีสาเหตุมาจากการมีความเข้มข้นของแอสพาราจีน และน้ำตาลรีดิวส์ที่มากกว่า[11-12] อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยบางท่านให้ความเห็นที่ตรงกันข้ามว่า กาแฟสายพันธุ์อะราบิก้าอาจมีความเข้มข้นของอะคริลาไมด์มากกว่ากาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า เนื่องจากกาแฟสายพันธุ์อะราบิก้ามีปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรีดิวส์ที่สูงกว่า[13] จึงยังต้องมีการศึกษาให้มีความชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอะคริลาไมด์จากกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ดังกล่าว เป็นการเปรียบเทียบโดยมีการควบคุมระดับการคั่ว และสภาวะการเก็บรักษาเดียวกัน

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในกาแฟ แต่เกณฑ์ของสหภาพยุโรปกำหนดไว้ไม่เกิน 400 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับกาแฟคั่ว และไม่เกิน 850 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับกาแฟผงสำเร็จรูป มีรายงานการสำรวจการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในกาแฟทั้งประเภทคั่วและกาแฟสำเร็จรูป รวมการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 27 ตัวอย่าง ที่ขายในพื้นที่กรุงเทพมหานครพบว่า ผลการทดสอบกาแฟคั่ว 12 ตัวอย่าง มีสารอะคริลาไมด์ทุก

ตัวอย่าง โดยมีปริมาณระหว่าง 135.56-372.62 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และผลทดสอบกาแฟสำเร็จรูป 15 ตัวอย่าง พบสารอะคริลาไมด์ทุกตัวอย่าง มีปริมาณระหว่าง 298.79-954.47 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยมี 2 ตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์ในปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ของสหภาพยุโรป[14]

2.4 อาหารไทย

ในปี ค.ศ. 2008 มีทีมนักวิจัยของประเทศไทยได้สำรวจการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในอาหารประเภทแกงกะทิเมนูต่าง ๆ เนื่องจากมีข้อสังเกตุว่า การปรุงแกงเหล่านี้นิยมผัดในกะทิที่ใช้ความร้อนสูง และใช้เวลาผัดค่อนข้างนาน รวมทั้งในกะทิก็ประกอบไปด้วยน้ำตาลรีดิวส์และกรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นของอะคริลาไมด์ ทีมวิจัยได้รวบรวมตัวอย่างแกงกะทิทั้งหมด 30 ตัวอย่าง จากร้านอาหารและซุปเปอร์มาเก็ต ผลการวิเคราะห์พบว่า มีปริมาณอะคริลาไมด์ปนเปื้อนในน้ำแกง 60-606 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง[15] ซึ่งแม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีกฎระเบียบใด ๆ เกี่ยวกับปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารไทย แต่ในการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity) และการศึกษาการเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenicity study) ในหนูพบว่า ปริมาณอะคริลาไมด์ที่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงกับระบบประสาทคือ 2,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน[16] ดังนั้นปริมาณอะคริลาไมด์ปนเปื้อนในน้ำแกงดังกล่าวจึงถือว่าอยู่ระดับที่มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

ต่อมากรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างอาหารที่จำหน่ายในประเทศไทยพบว่า ในอาหารไทยที่ขายในท้องตลาดทั่ว ๆ ไป ก็มีการปนเปื้อนอะคริลาไมด์เช่นกัน โดยตัวอย่างอาหารที่มีการสำรวจ ได้แก่ กล้วยทอด (11 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) มันทอด (56 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) เผือกทอด (142 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ปาท่องโก๋ (104 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ไข่นกกระทา (327 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ครองแครง (300 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ขนมดอกจอก (90 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวแต๋น (187 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) และพริกป่น (2,179 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)[8] ซึ่งการที่พริกป่นพบปริมาณอะคริลาไมด์ในปริมาณสูงเป็นสาเหตุมาจากกระบวนผลิตที่มีการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งหรือคั่วค่อนข้างสูง รวมถึงพริกขี้หนูผลใหญ่ที่นิยมนำมาผลิตเป็นพริกป่น มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง คือ 50.50 กรัมต่อ 100 กรัม[17] นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2012 มีรายงานของนักวิจัยไทยที่ได้ไปสำรวจสารอะคริลาไมด์ในอาหารพื้นเมืองที่มีขายในตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี พบว่า ขนมจากเป็นอาหารที่มีสารอะคริลาไมด์ในปริมาณที่สูงที่สุด คือ 332.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ทุเรียนทอดมีสารอะคริลาไมด์ 152.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวหลามมีสารอะคริลาไมด์ 91.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม[9] อาหารอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมในกลุ่มคนไทย คือ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งจากการศึกษาของ Kokabthong และ Vangnai[18] พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตในประเทศมีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 137.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมีค่าเฉลี่ยอะคริลาไมด์อยู่ที่ 45.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

Table 1 Acrylamide content of several food products in Thailand[8-9, 14-15]

Food items	Acrylamide content (µg/kg)
Potato chips	110-2,676
Breakfast cereals	78
Crackers	149
Wafer	206
Cereal cookies	265
Roast coffee	135.56-372.62
Instant coffee	298.79-954.47
Coconut milk curry	60-606
Sweet banana crisps	11
Sweet taro crisps	56
Sweet taro crisps	142
Pa Tong Koo	104
Kanom Kai Hong	327
Kanom Kong Krang	300
Kanom Dok Jok	90
Rice cracker	187
Chili powder	2,179

3. ความกังวลด้านสุขภาพและความปลอดภัย (Health concerns and safety)

อะคริลาไมด์ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่ม 2A ซึ่งหมายความว่า “มีแนวโน้มที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์” (probably carcinogenic to humans) โดยสำนักงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (IARC) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 อ้างอิงจากการศึกษาในสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่ชี้ให้เห็นว่า การได้รับอะคริลาไมด์ในปริมาณสูงสามารถก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ได้ แต่ผลกระทบต่อมนุษย์ยังไม่ชัดเจนเนื่องจากระดับการสัมผัสโดยทั่วไปต่ำกว่ามาก WHO ได้กำหนดระดับสารอะคริลาไมด์ที่เป็นพิษต่อร่างกายอยู่ที่ 0.3-0.8 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หากได้รับมากกว่าที่กำหนดไว้จะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง[15]

เมื่อสารอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว แล้วขับออกทางปัสสาวะเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณที่เข้าสู่ร่างกาย และมีการขับถ่ายทางน้ำดีและอุจจาระเพียงเล็กน้อย[19] มีงานวิจัยจำนวนมากพิสูจน์ว่า สารอะคริลาไมด์มีผลต่อการทำงานของร่างกาย ประกอบด้วย ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxic) ความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (genotoxic) และมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic properties) ในงานวิจัยของ Matoso และคณะ[20] ระบุว่า การรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์มาก ๆ จะส่งผลต่อการแบ่งเซลล์ อาจก่อให้เกิดการ

แบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ โดยเฉพาะในช่วงวัยที่กำลังเจริญเติบโต และการศึกษาพิษวิทยายังระบุว่าอะคริลาไมด์ส่วนใหญ่มักจะสะสมอยู่ที่ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ของผู้ชาย แม้ว่าในการวิจัยล่าสุดจะยังไม่พบว่า ความเป็นพิษของอะคริลาไมด์มีความเชื่อมโยงที่ชัดเจนต่อระบบสืบพันธุ์ของมนุษย์ แต่การศึกษาในหนูทดลองได้รายงานว่า อะคริลาไมด์สามารถทำให้การเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณสเปิร์มสำรองลดลง[21] และระดับโพรแลกตินลดลง[22] ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า อะคริลาไมด์สามารถเคลื่อนผ่านรก ส่งผลต่อพัฒนาการของทารกในครรภ์ รวมถึงต่อมไทมัส ม้าม และต่อมน้ำเหลืองอีกด้วย

นอกจากนี้อะคริลาไมด์ยังถือว่า เป็นพิษต่อระบบประสาททั้งต่อมนุษย์และหนูทดลอง โดยในงานวิจัยของ Chen และ Chou[23] พบว่า อะคริลาไมด์สามารถกระตุ้นให้เกิดความผิดปกติของไมโตคอน-เดรีย กลไกอะพอพโทซิส (apoptosis) และทำลายระบบประสาท ซึ่งในกรณีของมนุษย์ความเป็นพิษต่อระบบประสาทนี้อาจก่อให้เกิดกล้ามเนื้ออ่อนแรง มีภาวะกล้ามเนื้อสูญเสียการประสานสัมพันธ์กัน (ataxia) คือ ระบบประสาทส่วนปลายและส่วนกลางเสื่อม และมีอาการบวมที่ส่วนปลาย[24] หากมีการสัมผัสสารอะคริลาไมด์เป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมและไมโครนิวเคลียส ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายของ DNA ที่เกิดขึ้นและอาจทำให้เกิดเนื้องอกในบริเวณอวัยวะต่าง ๆ ได้[25]

4. การลดอะคริลาไมด์ในอาหาร (Reducing acrylamide in food)

มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการแปรรูปทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน เพื่อลดความเสี่ยงในการได้รับสารอะคริลาไมด์จากการบริโภค ซึ่งกระบวนการที่สามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้ประกอบด้วย 2 วิธีการหลัก ๆ คือ

4.1 การใช้สารปรุงแต่งอาหาร (food additives)

1. การเติมกรดอะมิโนบางชนิด เพื่อให้เกิดการแข่งขันกับแอสพาราจีนในการแย่งทำปฏิกิริยากับน้ำตาล ทำให้ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและลดการก่อตัวของสารอะคริลาไมด์ โดยเฉพาะกรดซิสเทอีน ไกลซีน และไลซีน ซึ่งมีความสามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ[26]

2. การเติมสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น สารสกัดจากโรสแมรี่[27] ชาเขียว[28] สารสกัดจากเปลือกส้ม[29] เป็นต้น

3. การเติมไอออนที่มีประจุบวก เช่น โซเดียม (Na^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นต้น เนื่องจากประจุเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนแอสพาราจีน ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการก่อตัวของ Schiff's base ในปฏิกิริยาเมลลาร์ด อย่างไรก็ตามหากมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดอะคริลาไมด์มากขึ้นเนื่องจากเกลือจะทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญของยีสต์ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี[30]

4. การใช้สารเคลือบจากไฮโดรคอลลอยด์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนทอด เช่น สาร methylcellulose (MC) สาร carboxymethyl-cellulose (CMC) กัมอะราบิก และเพกติน เป็นต้น

5. การใช้เอนไซม์แอสพาราจิเนส (asparaginase) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแอสพาราจีนให้เป็นโมเลกุลอื่นก่อนการทำอาหาร เช่น การใช้ในผลิตภัณฑ์บิสกิต (ลดอะคริลาไมด์ได้ร้อยละ 69)[31] และในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ (ลดอะคริ-ลาไมด์ได้ร้อยละ 80)[32]

6. การเติมกรดบางชนิด เช่น กรดซิตริกหรือกรดแล็กติก หรือการใช้แบคทีเรียกรดแล็กติกในการกระบวนการหมัก สามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ โดยการหมักที่ระยะเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง มีความเหมาะสม และสามารถช่วยลดปริมาณอะคริลาไมด์ในขนมปังและมันฝรั่งทอดได้[33]

4.2 การเปลี่ยนวิธีการปรุงอาหาร

มีงานวิจัยมากมายยืนยันว่า การปรุงอาหารด้วยอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 120 องศาเซลเซียส เช่น การทอด การอบ การย่าง มีโอกาสก่อให้เกิดอะคริ-ลาไมด์มากกว่าการปรุงอาหารด้วยวิธีการต้ม หรือนึ่ง หรือการใช้ไมโครเวฟ รวมทั้งระยะเวลาในการสัมผัสกับความร้อน ยิ่งนานยิ่งก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากขึ้น ในการผลิตเฟรนฟรายในอุตสาหกรรมมักจะมีการลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 นาที ซึ่งสามารถช่วยลดอะคริลาไมด์ได้ถึงร้อยละ 65-96 เมื่อเปรียบเทียบกับเฟรนฟรายที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากกรดอะมิโนแอสพาราจีนและน้ำตาลรีดิวส์ได้ละลายออกไปในน้ำแล้ว จึงทำให้สารตั้งต้นในการเกิดอะคริลาไมด์น้อยลง และหากมีการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (480 วัตต์ 40 กิโลเฮิรตซ์) ร่วมด้วย จะสามารถลดการเกิดอะคริ-ลาไมด์ได้ถึงร้อยละ 95 เนื่องจากน้ำตาลในวัตถุดิบจะถูกละลายออกไปในน้ำอย่างรวดเร็ว[34] รวมทั้งควรหลีกเลี่ยงการปรุงให้สุกเกินไป โดยดูจากการเปลี่ยนสีหรือการไหม้ของอาหาร ซึ่งมักจะก่อให้เกิดอะคริลาไมด์มากขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารที่สุกในระดับสีทองอ่อน

การทอดสุญญากาศสามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ในกาแฟคั่วระดับกลางได้มากถึงร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะทั่วไปหรือแบบผสมผสาน[35] และสามารถลดอะคริลาไมด์ในมันฝรั่งได้ถึงร้อยละ 72-98[36] เทคโนโลยี Pulsed Electric Field (PEF) ก็สามารถช่วยลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้เช่นกัน โดยการทำให้โครงสร้างของอาหารเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถนำแอสพาราจีนและน้ำตาลรีดิวส์ไปใช้ในปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้[37] นอกจากนี้ การฉายรังสีมันฝรั่งทอดที่ความเข้ม 60 เกรย์ ก็สามารถช่วยลดอะคริลาไมด์ได้ร้อยละ 7-9 เช่นกัน[38] และหากใช้ร่วมกับกระบวนการลวก ก็จะสามารถลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้ร้อยละ 78[39]

5. มุมมองด้านกฎระเบียบ

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) และหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งยุโรป (EFSA) รวมถึงองค์กรด้านสุขภาพหลายหน่วยงาน ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการจัดทำข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณอะคริลาไมด์สูงสุดที่สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยในปี

ค.ศ. 2009 คณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้ร่างข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณอะคริลาไมด์สูงสุดที่สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และได้เผยแพร่แนวทางการลดปริมาณอะคริลาไมด์สำหรับอุตสาหกรรม รวมถึงคู่มือและแนวทางในการปรุงอาหารและการบริโภคอาหารสำหรับครัวเรือน นอกจากนี้คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission) และกระทรวงความปลอดภัยอาหารและยา (Ministry of Food and Drug Safety - MFDS) สาธารณรัฐเกาหลี ยังได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารอะคริลาไมด์ในอาหารหลายชนิด แสดงดังตารางที่ 2

Table 2 Benchmark levels for the presence of acrylamide in different foods regulated by the European Commission and Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)[30,41]

institution	Food items	Acrylamide content (µg/kg)
European Commission	French fries (ready-to-eat)	500
	Potato-based crisps, crackers, and other potato products	750
	Soft bread	50-100
	Breakfast cereals	150-300
	Biscuits and wafers	350
	Crackers (the exception of potato-based)	400
	Crispbread	350
	Roast coffee	400
	Instant (soluble) coffee	850
	Coffee substitutes	500-4000
	Baby foods (processed cereal-based foods)	40
	Biscuits and rusks (for infants and young children)	150
Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)	Food labeled for infants and toddlers	≤300
	Cereals	≤300
	Coffee (roasted coffee, instant coffee, prepared coffee)	≤800
	snack	≤1,000
	French fries (cooked food in food service establishments)	≤1,000
	Tea (solid tea)	≤1,000
	Cereal products and ready-to-eat foods (limited to stir-fried, baked, and fried products)	≤1,000

ซึ่งหากอุตสาหกรรมอาหารไม่สามารถลดปริมาณอะคริลาไมด์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ ก็จะถูกฟ้องร้องและดำเนินคดีตามกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่น ในกรณีของผู้ผลิตไก่ทอด KFC ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับคำเตือนจากอัยการสูงสุดในเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2550 ให้ปรับปรุงกระบวนการผลิตไก่ทอดให้มีปริมาณอะคริลาไมด์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และยังถูกสั่งให้ชดใช้ค่าเสียหายให้แก่รัฐเป็นจำนวนเงิน 133,000 ดอลลาร์ เป็นต้น[40]

บทสรุป

แม้ว่ารายงานส่วนใหญ่จะระบุว่า คนไทยมีความเสี่ยงในการได้รับอะคริลาไมด์ในปริมาณต่ำ และอาหารส่วนใหญ่มีอะคริลาไมด์อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ แต่การตระหนักถึงอันตรายของอะคริลาไมด์จะมีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต ซึ่งในมุมของผู้ผลิต แม้ว่าในประเทศไทยยังไม่มีเกณฑ์ของปริมาณอะคริลาไมด์ที่ชัดเจน แต่การรับรู้ถึงอันตรายของอะคริลาไมด์และแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ก็จะสามารถช่วยหลีกเลี่ยงมาตรการกีดกันทางการค้าได้เมื่อต้องการส่งสินค้าออกไปขายในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา ส่วนในมุมของผู้บริโภค การหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่จะได้รับอะคริลาไมด์ที่ดีที่สุด คือ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภค โดยลดการบริโภคอาหารที่ทำจากแป้งที่ผ่านการปรุงโดยใช้ความร้อนสูง หรืออาหารที่สุกจนเกินไปจนมีสีน้ำตาลเข้ม ปรับเปลี่ยนมารับประทานอาหารที่ปรุงผ่านกระบวนการต้ม หรือนึ่ง แทนการอบและการทอด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์; 2022.
2. การปฏิบัติตนเพื่อการป้องกันการเกิดโรคมะเร็งสำหรับประชาชน. กรุงเทพฯ: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์; [ม.ป.ป].
3. จิตติมา เจริญพานิช. สารอะคริลาไมด์ที่แฝงมากับอาหารไทย. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2012;40(4):1059-1072.
4. Rüdiger Weisshaar. Acrylamide in heated potato products - analytics and formation routes. Eur J Lipid Sci Technol. 2004;106:786-792.
5. Deary IJ, Whiteman MC, Pattie A, Starr JM, Hayward C, Wright AF, Carothers A and Whalley LJ. Acrylamide from Maillard reaction products. Nature. 2002;418:449-450.
6. Krishnakumar T and Visvanathan R. Acrylamide in food products: a review. J Food Process Technol. 2014;5(7) DOI: 10.4172/2157-7110.1000344.
7. Branco ECK. A systematic literature review of acrylamide levels, adverse health effects, and reduction of formation in fried and baked potato products. Thesis. University of Minnesota Twin Cities for the degree of Master of Science. 2023.
8. ลัดดาวัลย์ โรจนพรรณทิพย์, พรรณทิพย์ ตียพันธ์, มยุรี อุรารุ่งโรจน์ และพนาวัลย์ กลึงกลางดอน. การประเมินความเสี่ยงของสารอะคริลาไมด์ในอาหารต่อคนไทย. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2554;20(1):36-47.
9. Komthong P, Suriyaphan O and Charoenpanich J. Determination of acrylamide in Thai-conventional snacks from Nong Mon market, Chonburi using GC-MS technique. Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance. 2012;5(1):20-28.
10. Nematollahia A, Kamankesh M, Hosseini H, Ghasemi J, Hosseini-Esfahanie F, Mohammadi A. Investigation and determination of acrylamide in the main group of cereal products using advanced microextraction method coupled with gas chromatography-mass spectrometry. J Cereal Sci. 2019;87:157-164.
11. Espositoa F, Fasanoa E, Vivoa AD, Velottob S, Sarghinia F, Cirilloa T. Processing effects on acrylamide content in roasted coffee production. Food Chem. 2020;319:126550.

12. Rubayiza AB and Meurens M. Chemical discrimination of arabica and robusta coffees by fourier transform raman spectroscopy. J Agric Food Chem. 2005;53:4654-4659.
13. Bertuzzi T, Martinelli E, Mulazzi A and Rastelli S. Acrylamide determination during an industrial roasting process of coffee and the influence of asparagine and low molecular weight sugars. Food Chem. 2020;303:125372.
14. นภัทร พิลึกนา. ผลการทดสอบการปนเปื้อนของ สารอะคริลาไมด์ในกาแฟ. หน่วยงานประจำจังหวัดกรุงเทพมหานคร สภาองค์กรของผู้บริโภค. 2565.
15. Na Jom K, Jamnong P, Lertsiri S. Investigation of acrylamide in curries made from coconut milk. Food Chem Toxicol. 2008;46:119-124.
16. Konings EJM, Barrs AJ, Van Klaveren JD, Spanjer MC, Rensen PM, Hiemstra M, van Kooij JA, Peters PW. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risk. Food Chem Toxicol. 2003;41:1569-1576.
17. พนาวัลย์ กลึงกลางดอน และมยุรี อุรารุ่งโรจน์. ผลกระทบของอุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนให้ความร้อนต่อการเกิดและความคงตัวของอะคริลาไมด์ในพริกป่น. วารสารกรมวิทยาศาตร์การแพทย์.2017;59(4):216-225.
18. Kokabthong A and Vangnai K. Dietary to acrylamide exposure from instant noodles to Thai population. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60.2022.
19. Erkekoğlu P and Baydar T. Toxicity of acrylamide and evaluation of its exposure in baby foods. Nutrition Research Reviews. 2010;23(2):323-333.
20. Matoso V, Bargi-Souza P, Ivanski F, Romano MA and Romano RM. Acrylamide: A review about its toxic effects in the light of developmental Origin of health and disease (DOHaD) concept. Food Chem. 2019;283:422-430.
21. Exon JH. A review of the toxicology of acrylamide. Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews. 2016;9(5):397-412.
22. Nagata C, Konishi K, Tamura T, Wada K, Tsuji M, Hayashi M, Takeda N and Yasuda K. Associations of acrylamide intake with circulating levels of sex hormones and prolactin in premenopausal Japanese women. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 2015;24(1):249-254.
23. Chen JH and Chou CC. Acrylamide inhibits cellular differentiation of human neuroblastoma and glioblastoma cells. Food Chem Toxicol. 2015;82:27-35.
24. Beland FA, Olson GR, Mendoza MCB, Marques MM and Doerge DR. Carcinogenicity of glycidamide in B6C3F1 mice and F344/N rats from a two-year drinking water exposure. Food Chem Toxicol. 2015;86:104-115.
25. Kopańska M, Łagowska A, Kuduk B and Banaś-Ząbczyk A. Acrylamide neurotoxicity as a possible factor responsible for Inflammation in the cholinergic nervous system. Int J Mol Sci. 2022;23(4):1-13.
26. Hongwei S, Xiaoyue Y and Lee H. The effects of amino acids on removal of acrylamide in a model reaction system. Front Agric Food Tech. 2013;6(1):59-61.
27. Miśkiewicz K, Nebesny E, Rosicka-Kaczmarek J, Żyżelewicz D and Budryn G. The effects of baking conditions on acrylamide content in shortcrust cookies with added freeze-dried aqueous rosemary extract. J Food Sci Technol. 2018;55(10):4184-4196.
28. Torres JD, Dueik V, Carré D and Bouchon P. Effect of the addition of soluble dietary fiber and green tea polyphenols on acrylamide formation and in vitro starch digestibility in baked starchy matrices. Molecules. 2019;24(20):3674.
29. Seyedi S, Javanmarddakheli M, Shekarabi A, Shavandi M and Farhadi S. Reduction of acrylamide by orange waste extract phenolic compounds in potato chips. J Food Bioprocess Eng. 2021;4(1):75-81.
30. Yashwanth BS, Premachandran MS, Karkera PS and Murthy PS. Acrylamide in coffee: Strategies, research and future perspectives. Food Control. 2024;163:110484.
31. Anese M, Quarta B and Frias J. Modelling the effect of asparaginase in reducing acrylamide formation in biscuits. Food Chem. 2011;126(2):435-440.
32. Mahajan RV, Saran S, Kameswaran K, Kumar V and Saxena RK. Efficient production of L-asparaginase from Bacillus licheniformis with low-glutaminase activity: Optimization, scale up and acrylamide degradation studies. Bioresource Technology. 2012;125:11-16.
33. Sansano M. Effect of pretreatments and air-frying, a novel technology, on acrylamide generation in fried potatoes. J Food Sci. 2015;80(5): 1120-1128.

34. Antunes-Rohling A, Ciudad-Hidalgo S, Mir-Bel J, Raso J, Cebrián G and Álvarez I. Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes. Innov Food Sci Emerg Technol. 2018;49:158-169.
35. Anese M, Nicoli MC, Verardo G, Munari M, Mirolo G and Bortolomeazzi R. Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans. Food Chem. 2014;145:168-172.
36. Akkurt K and Mogol BAG. Mitigation of acrylamide in baked potato chips by vacuum baking and combined conventional and vacuum baking processes. Lwt. 2021;144:111211.
37. Genovese J, Tappi S, Luo W, Tylewicz U, Marzocchi S, Marziali S, Romani S, Ragni L and Rocculi P. Important factors to consider for acrylamide mitigation in potato crisps using pulsed electric fields. Innov Food Sci Emerg Technol. 2019;55:18-26.
38. Mulla MZ, Bharadwaj VR, Annapure US, Variyar PS, Sharma A and Singhal RS. Acrylamide content in fried chips prepared from irradiated and non-irradiated stored potatoes. Food Chem. 2011;127(4):1668-1672.
39. Abboudi M, Koudsi Y and Jouhara H. Combined effects of Gamma irradiation and blanching process on acrylamide content in fried potato Strips combined effects of Gamma irradiation and blanching process on acrylamide content in fried potato Strips. Int J Food Prop. 2016;19(7):1447-1454.
40. Will Garvin and Niraj Rath. Regulatory Update on Acrylamide—State, Federal, and International Oversight. Food and Drug Law Institute [อินเทอร์เน็ต]. ก.ย.-ต.ค 2017 [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2025]. เข้าถึงได้จาก: https://www.fdli.org/2017/10/regulatory-update-acrylamide-state-federal-international-oversight/
41. Food Compliance International. Singapore: MFDS publishes limits for acrylamide in foods. c2025 – [cited 2025 Mar 4]. Available from: https://foodcomplianceinternational.com/industry-insight/news/4987-mfds-publishes-limits-for-acrylamide-in-foods