

บทความวิจัย (Research Article)

ผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อค่าไลโคปีน วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิก และการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศ

กาญจนาพร นนทะลุน¹, ชไมพร แสงพรหมชาเรี¹, อรัญญา พรหมกุล¹, เกรียงไกร พัทธากกร¹, จินตนา ต๊ะย่วน¹ และ อาภัสสร ศิริจริยวัตร^{1*}

Effects of thermal processing on lycopene, vitamin C, total phenolic, and antioxidant activity in tomato juice

Kanjanaporn Nontaloon¹, Chamiphon Sangpromcharee¹, Arunya Prommakool¹, Kiangkrai Phattayakorn¹, Chintana Tayuan¹ and Arpassorn Sirijariyawat^{1*}

¹ Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Sakon Nakhon, 47000

* Corresponding author: arpassorn.s@ku.th

Naresuan Phayao J. 2022;15(2): 87-98.

Received; 31 August 2021; Revised: 24 November 2021; Accepted: 28 February 2022

บทคัดย่อ

การให้ความร้อนมีประโยชน์อย่างมากในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร อย่างไรก็ตามสภาวะในการให้ความร้อนมีผลต่อสารสำคัญและการต้านอนุมูลอิสระของอาหารที่ผ่านการแปรรูป การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการให้ความร้อนต่อปริมาณสารสำคัญและการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศ โดยการนำน้ำมะเขือเทศสด และน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณไลโคปีน วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิก และร้อยละการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยสภาวะที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุดหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที โดยมีค่า 60.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม นอกจากนี้ค่าการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสยังมีค่าไม่ต่างกับตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสด ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามวิตามินซีมีปริมาณลดลงเมื่อได้รับความร้อนที่สูงขึ้น และตรวจไม่พบวิตามินซีในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส สำหรับไลโคปีนมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงที่สุดหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส โดยมีค่า 39.04 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม สำหรับค่าสีพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเจดสีเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสมีค่าเจดสีและค่าความแตกต่างของสีมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสด ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียสมีค่าเจดสีไม่แตกต่างจากตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสด ($p > 0.05$) ดังนั้นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการแปรรูปน้ำมะเขือเทศ เนื่องจากสภาวะการให้ความร้อนนี้ส่งผลให้น้ำมะเขือเทศมีปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นมากที่สุดและยังคงมีสีใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศสด

คำสำคัญ: มะเขือเทศ, ไลโคปีน, วิตามินซี, สารประกอบฟีนอลิก, การต้านอนุมูลอิสระ

¹ คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 47000

Abstract

Heating is a beneficial method to extend the shelf life of food. However, the heating conditions affect the active substances and antioxidant activity of the processed food. This study aimed to investigate the effect of heating conditions on antioxidant compounds and antioxidant activities in tomato juice. Fresh tomato juice and tomato juices that were heated at 60°C for 30 minutes, 72°C for 15 seconds, 121°C for 15 minutes, and 135°C for 4 seconds were analyzed for the chemical and physical properties. The results showed that lycopene content, vitamin C content, phenolic content, and antioxidant activity of the samples heated under different conditions were significant differences ($p < 0.05$). The greatest increase in phenolic content was found after heating at 135 °C for 4 seconds, with a value of 60.65 µg/ml. In addition, the antioxidant activity of the sample heated at 135 °C was not different from that of the fresh tomato juice samples ($p > 0.05$). Nevertheless, vitamin C content decreased at higher heat treatment and vitamin C was not detected in the treated sample that was heated at 135 °C. The highest increase in lycopene content was observed after heating at 72 °C, with a value of 39.04 µg/mL. As for the color values, it was found that the heat-treated samples had an increase in Hue value. The samples heated at 135 °C had the highest Hue values and the total color difference (ΔE^*) compared to the fresh tomato juice. While the sample was heated at 72 °C had no different Hue values when compared with the fresh tomato juice samples ($p > 0.05$). Therefore, heating at 72 °C for 15 seconds was the optimal thermal condition to process tomato juices. Since this condition resulted in the highest lycopene content in tomato juice and remained similar in color to the fresh tomato juice.

Keywords: Tomato, Lycopene, Vitamin C, Phenolic compound, Antioxidant activity

บทนำ

มะเขือเทศสามารถรับประทานได้ทั้งผลสดและสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศบด น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศเข้มข้น มะเขือเทศอบแห้ง และมะเขือเทศผง เป็นต้น มะเขือเทศอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น ไลโคปีน วิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสารพฤกษเคมีเหล่านี้มีผลในการต้านอนุมูลอิสระและมีประโยชน์ต่อร่างกาย สารอนุมูลอิสระจัดเป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เมื่ออยู่ในร่างกายจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น เมื่อร่างกายได้รับสารพฤกษเคมีเข้าไป สารพฤกษเคมีเหล่านี้จะเข้าไปช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ จึงมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ได้ [1] มีรายงานว่า การบริโภคมะเขือเทศช่วยลดการเสียชีวิตเนื่องจากโรคเรื้อรัง เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งกระเพาะอาหาร และยังมี

รายงานว่าการบริโภคไลโคปีนมีส่วนช่วยลดการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก โรคหลอดเลือดสมอง โรคหลอดเลือดหัวใจ และภาวะมีบุตรยากในผู้ชาย [2]

น้ำมะเขือเทศเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศที่ได้รับความนิยม เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการในการรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังต้องการความสะดวกในการบริโภคและการเก็บรักษา ดังนั้นสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการสารไลโคปีน วิตามิน และสารพฤกษเคมีจากมะเขือเทศแต่ไม่ต้องการรับประทานมะเขือเทศสดหรือไม่สะดวกที่จะรับประทานมะเขือเทศสด การรับประทานน้ำมะเขือเทศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความนิยม สำหรับน้ำมะเขือเทศที่จำหน่ายทั่วไปนั้น ต้องมีการนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารมีหลากหลายสภาวะ เช่น การพาสเจอร์ไรซ์โดยใช้อุณหภูมิต่ำเวลานาน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30

นาที่ การพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที และการสเตอริไลซ์ซึ่งเป็นการให้ความร้อนในระดับสูงเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์หลังจากให้ความร้อนจึงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น [3] สภาวะในการให้ความร้อนและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันนี้นอกจากจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันแล้ว ยังส่งผลถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและการต้านอนุมูลอิสระที่พบในมะเขือเทศที่แตกต่างกันด้วย อีกทั้งยังส่งผลถึงสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค จากงานวิจัยที่ผ่านมามีรายงานว่ามะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนอาจมีวิตามินลดลง เช่น วิตามินซี แต่มีการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณไลโคปีนที่สูงขึ้น [4, 5] Dewanto et al. [4] พบว่าการให้ความร้อนมะเขือเทศบดที่อุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 2 - 30 นาทีส่งผลให้มะเขือเทศมีปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณวิตามินซีลดลง Luterotti et al. [6] ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อสารสำคัญและการต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศเข้มข้นบรรจุกระป๋อง พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนเริ่มลดลง แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสกลับส่งผลให้การต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น Manzo et al. [7] รายงานว่าการให้ความร้อนมะเขือเทศบดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 91.3 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที ส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศบดเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนลดลง Rubio-Diaz et al. [8] ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมะเขือเทศซึ่งผลิตจากมะเขือเทศต่างสายพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่าการให้ความร้อนทำให้ปริมาณไลโคปีนในน้ำมะเขือเทศส่วนใหญ่ลดลงร้อยละ 30 แต่มีน้ำมะเขือเทศที่ผลิตจากมะเขือเทศบางพันธุ์ที่มีปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการให้ความร้อน [9] จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าผลของการให้ความร้อนต่อการต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ พันธุ์ของมะเขือเทศและสภาวะในการให้ความร้อน อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนมากศึกษาในผลิตภัณฑ์

มะเขือเทศบดและมะเขือเทศเข้มข้น ข้อมูลสำหรับน้ำมะเขือเทศยังมีอยู่น้อย และยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนทั้งในระดับพาสเจอร์ไรส์และสเตอริไลซ์ต่อสารสำคัญและคุณสมบัติด้านสีของน้ำมะเขือเทศ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนในสภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ต่อปริมาณไลโคปีน วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิก และการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมะเขือเทศหลังจากการให้ความร้อน

วัสดุและวิธีการ

การเตรียมน้ำมะเขือเทศ

มะเขือเทศที่ใช้ในการศึกษาคือมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ซึ่งซื้อจากห้างสรรพสินค้า เลือกมะเขือเทศในระยะผลสุกเป็นสีแดงและมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยการศึกษาทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ (Replications) ใช้ตัวอย่างมะเขือเทศทั้งหมด 45 กิโลกรัม แต่ละการทดลองซ้ำใช้ตัวอย่างมะเขือเทศ 15 กิโลกรัม น้ำมะเขือเทศมาล้างให้สะอาด ทั้งให้สะอาด น้ำ แยกเมล็ดออก นำเนื้อมะเขือเทศไปหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วปั่น กรองด้วยผ้าขาวบาง แบ่งน้ำมะเขือเทศเป็น 5 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 1,650 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาบรรจุกระป๋อง เสียบสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่จุดที่ความร้อนเข้าถึงซ่าสุดของกระป๋องเพื่อบันทึกอุณหภูมิของน้ำมะเขือเทศในขณะที่ให้ความร้อน จากนั้นนำไปผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (Horizontal Retort) (รุ่น 90 ROFM, Owner Food Machinery co., LTD ประเทศไทย) โดยมีสภาวะในการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ 2 สภาวะ ได้แก่ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที และมีสภาวะในการให้ความร้อนระดับการสเตอริไลซ์ 2 สภาวะ ได้แก่ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที

นำน้ำมะเขือเทศสดซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมและน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ ไปตรวจสอบคุณภาพโดยทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีการของ Anthon and Barrett [10] ปิเปตตัวอย่างลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำตาลละลายปริมาตร 8 มิลลิลิตร (เฮกเซน เอทานอล และอะซิโตนในอัตราส่วน 2:1:1) เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเติมน้ำ

$$\text{ไลโคปีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)} = A_{503} \times 137.4$$

A_{503} หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Demiray et al. [11] โดยการผสมน้ำมะเขือเทศ 0.1 มิลลิลิตรกับสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยง (Universal Centrifuge Z326K, HERMLE Labortechnik GmbH, เยอรมนี) ที่ความเร็ว 6000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่อยู่เหนือตะกอนมากรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยเครื่อง HPLC (LC 1200 Series, Agilent Technologies, เยอรมนี) โดยใช้คอลัมน์ Eclipse XDB-C18 column (Agilent Technologies) ใช้หน้าที่ปรับค่า pH ด้วย H_3PO_4 ให้ได้ค่า pH เท่ากับ 3 เป็นเฟสเคลื่อนที่ ตั้งอัตราการไหลที่ 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ 20 ไมโครลิตร วัดค่าที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ทำการวัดค่าซ้ำ 3 ซ้ำคำนวณค่าปริมาณวิตามินซีเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกรายงานผลเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก

วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Vinha et al. [12] เตรียมตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง (Universal Centrifuge Z326K, HERMLE Labortechnik GmbH, เยอรมนี) ที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์ โดยนำตัวอย่าง

กลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำส่วนใสที่อยู่ด้านบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader (Synergy™ HT Multi-Mode, BioTek Instruments Inc., สหรัฐอเมริกา) ทำการวัดค่าซ้ำ 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณปริมาณไลโคปีนดังสมการ

50 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมน้ำตาลละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ลงไป 125 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมน้ำตาลละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 50 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 120 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader (Synergy™ HT Multi-Mode, BioTek Instruments Inc., สหรัฐอเมริกา) ทำการวัดค่าซ้ำ 3 ซ้ำ คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก รายงานผลเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระ

ศึกษาคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay [12] โดยนำตัวอย่างไปเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยง (Universal Centrifuge Z326K, HERMLE Labortechnik GmbH, เยอรมนี) ที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิเปตตัวอย่างปริมาตร 30 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ในเมทานอลความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 270 ไมโครลิตร จากนั้นวางไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader (Synergy™ HT Multi-Mode, BioTek Instruments Inc., สหรัฐอเมริกา) ทำการวัดค่าซ้ำ 3 ซ้ำ คำนวณร้อยละการต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างดังนี้

$$\text{ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ} = \frac{(A515_{\text{Control}} - A515_{\text{Sample}})}{A515_{\text{Control}}} \times 100$$

เมื่อ $A515_{\text{Control}}$ หมายถึงค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง $A515_{\text{Sample}}$ หมายถึงค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ที่มีตัวอย่าง

การวัดค่าสี

วัดค่าสีของตัวอย่างน้ำมะเขือเทศโดยเครื่องวัดสี (Mini scan XE plus, Hunter Associates Laboratory, Inc., สหรัฐอเมริกา) ใช้ระบบสี CIE

$L^*a^*b^*$ จากนั้นนำค่า $L^* a^* b^*$ มาคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ระหว่างน้ำมะเขือเทศสดและน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน และคำนวณค่าเจดสี (Hue) ของน้ำมะเขือเทศ โดย

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Hue} = \arctangent (b^*/a^*)$$

เมื่อ ค่าเจดสี = 0° หรือ 360° คือสีแดง ค่าเจดสี = 270° คือสีน้ำเงิน ค่าเจดสี = 180° คือสีเขียว

และ ค่าเจดสี = 90° คือสีเหลือง [13] ทำการวัดค่าซ้ำสิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ

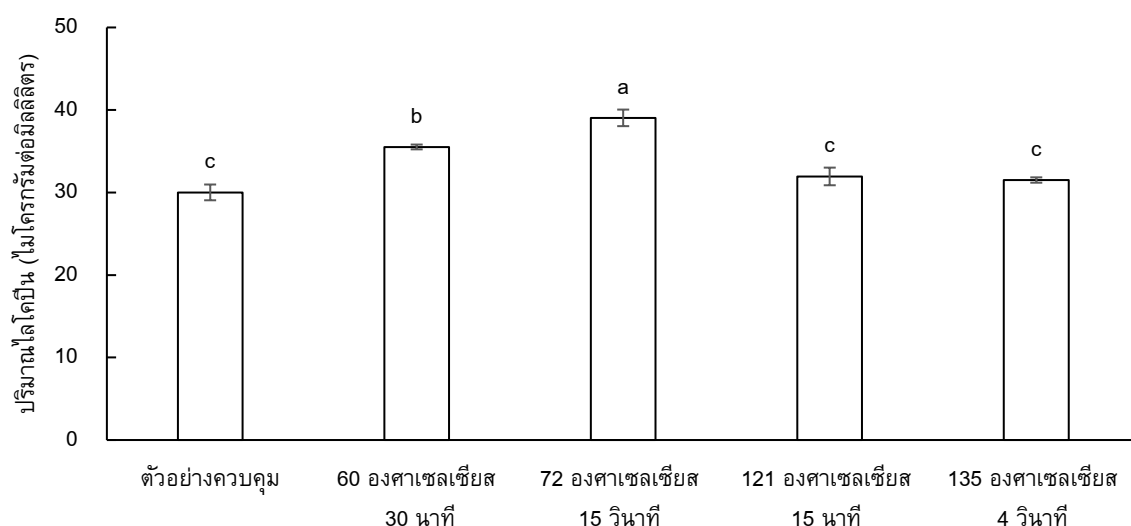
การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย one-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รายงานผลด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD)

ผลการศึกษา

1) ค่าไลโคปีน

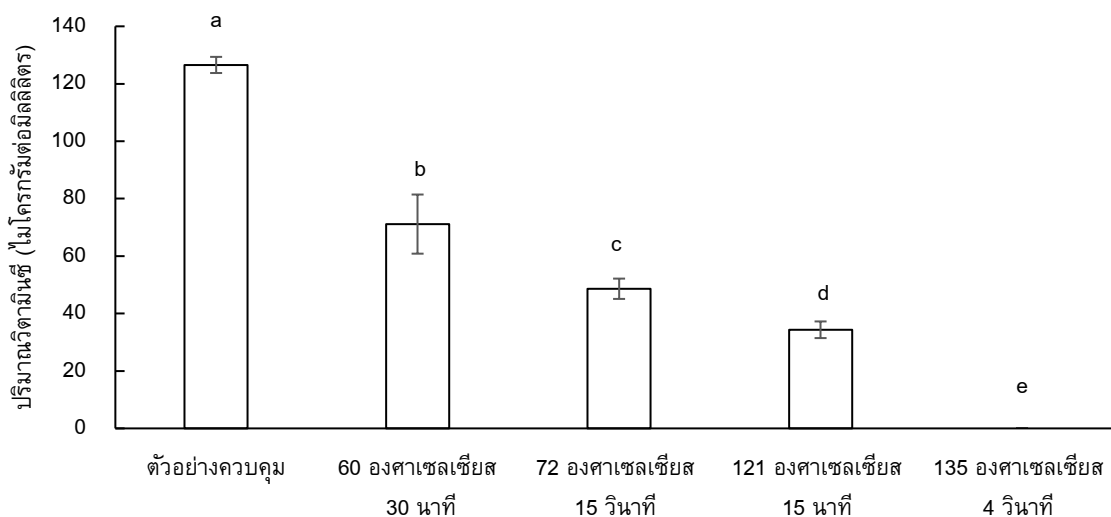
จากการศึกษาผลของสภาวะในการให้ความร้อนต่อสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าสภาวะในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างแสดงดังรูป 1



รูป 1 ปริมาณไลโคปีนที่พบในน้ำมะเขือเทศซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันบนกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะที่ต่างกัน

ปริมาณไลโคปีนในน้ำมันมะเขือเทศสดมีปริมาณ 30.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามการสภาวะในการให้ความร้อน (ดังรูป 1) ปริมาณไลโคปีนในน้ำมันมะเขือเทศเพิ่มขึ้นเมื่อนำน้ำมันมะเขือเทศไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 เป็นเวลา 30 นาที และ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที ซึ่งที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส มีปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อให้ความร้อนในระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที ส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนลดลงแต่ไม่แตกต่างจากน้ำมันมะเขือเทศสด ($p>0.05$)



รูป 2 ปริมาณวิตามินซีที่พบในน้ำมันมะเขือเทศซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

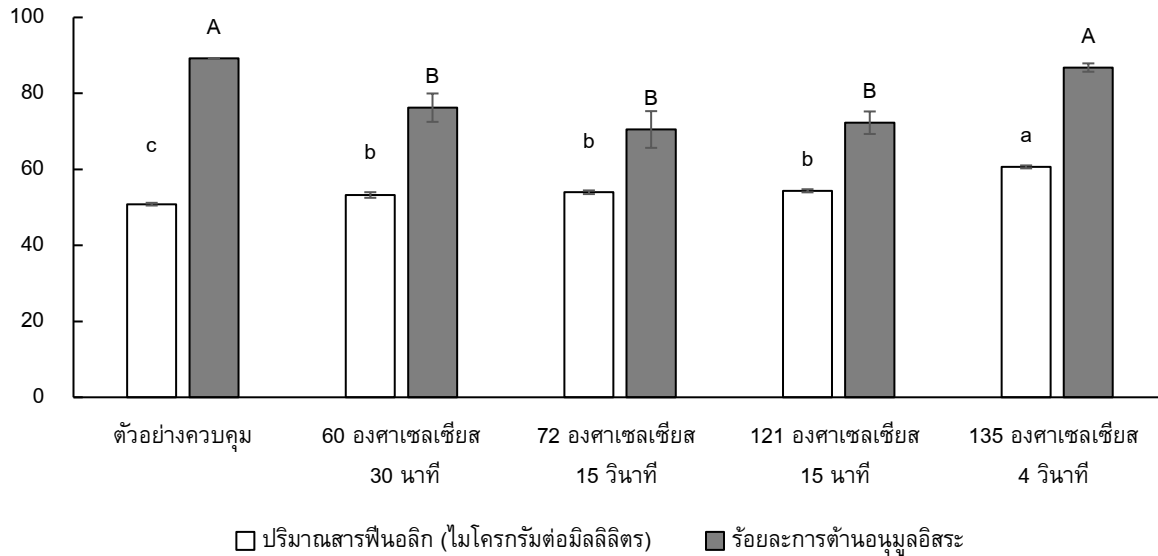
หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันบนกราฟแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะที่ต่างกัน

3) ค่าฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระ

ปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะที่ต่างกันแสดงรูป 3

2) ค่าวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีในน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะที่ต่างกัน แสดงดังรูป 2 จากผลการทดลองพบว่าในตัวอย่างน้ำมันมะเขือเทศสดมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุดโดยมีปริมาณ 126.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณลดลงตามการให้ความร้อนในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ($p<0.05$) โดยลดลงเหลือ 71.14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 เป็นเวลา 30 นาที และลดลงจนกระทั่งไม่สามารถตรวจพบปริมาณวิตามินซีในตัวอย่างน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที



รูป 3 ปริมาณสารพินอลิกและการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันบนกราฟแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะที่ต่างกัน อักษรตัวพิมพ์เล็กคือความแตกต่างทางสถิติของปริมาณสารพินอลิก อักษรตัวพิมพ์ใหญ่คือความแตกต่างทางสถิติของร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ

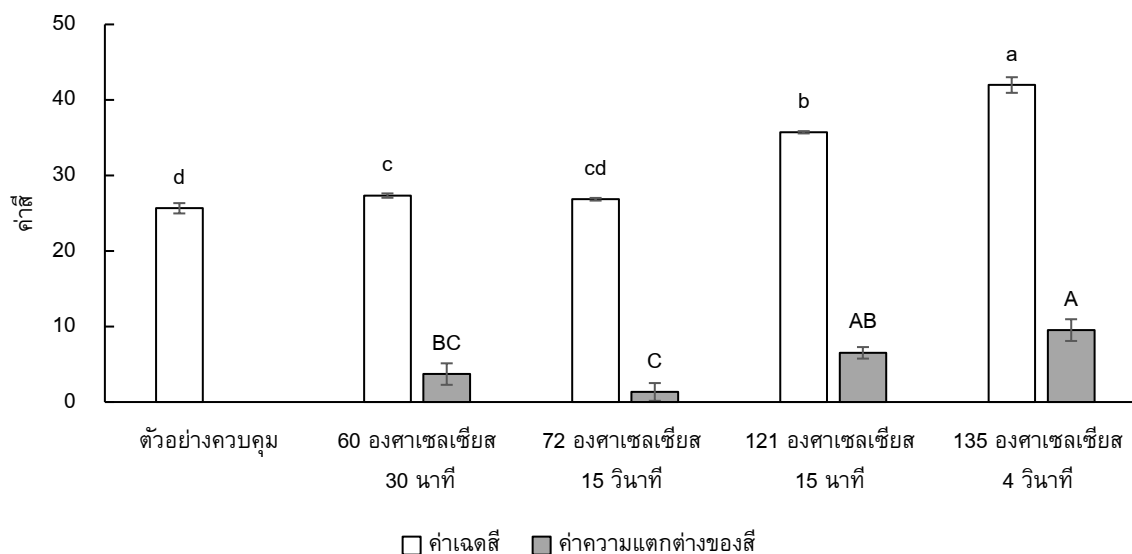
ปริมาณสารพินอลิกในตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสดและน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนในระดับต่างๆ มีปริมาณสารพินอลิกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูป 3) น้ำมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณพินอลิก 50.84 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม หลังจากการให้ความร้อนส่งผลให้ปริมาณพินอลิกในน้ำมะเขือเทศมีค่าเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที มีปริมาณพินอลิกมากที่สุด ($p < 0.05$) ในขณะที่น้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที มีปริมาณพินอลิกไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ค่าการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมะเขือเทศสดและน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับต่างๆ

แสดงดัง รูป 3 น้ำมะเขือเทศสดและน้ำมะเขือเทศที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 4 วินาที มีค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะอื่น ๆ อาจเนื่องจากน้ำมะเขือเทศที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารพินอลิกในปริมาณที่สูงกว่าการให้ความร้อนที่สภาวะอื่น จึงส่งผลให้ค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ส่วนน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 72 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกัน

4) ค่าสี

จากการนำตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสดและน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาวัดค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ แล้วคำนวณค่าเจดสี และค่าความแตกต่างของสีผลการศึกษาก็ได้แสดงดังรูป 4



รูป 4 ค่าเฉลี่ยและค่าความแตกต่างของสีของน้ำมะเขือเทศซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันบนกราฟแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะที่ต่างกัน อักษรตัวพิมพ์เล็กคือความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย อักษรตัวพิมพ์ใหญ่คือความแตกต่างทางสถิติของค่าความแตกต่างของสี

จากรูป 4 พบว่าน้ำมะเขือเทศมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0 – 90 คืออยู่ในช่วงสีแดงจนถึงสีเหลือง โดยค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีแดง และค่าเฉลี่ย เท่ากับ 90 แสดงว่าตัวอย่างมีสีเหลือง น้ำมะเขือเทศที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือมีค่า 25.66 แสดงให้เห็นว่าน้ำมะเขือเทศที่มีสีอยู่ในโทนสีแดงมากที่สุด น้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าน้ำมะเขือเทศเกิดการเปลี่ยนแปลงสีโดยเปลี่ยนไปมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสด ($p > 0.05$) การให้ความร้อนในระดับเตอรไลซ์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 4 วินาที ส่งผลให้น้ำมะเขือเทศมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเพิ่มขึ้นเป็น 35.72 และ 41.97 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีสีแดงลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 4 วินาที มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสีมีความสัมพันธ์กับปริมาณไลโคปีนและปริมาณสารฟีนอลิก ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศา

เซลเซียส นาน 4 วินาที มีปริมาณไลโคปีนต่ำกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและ 72 องศาเซลเซียส เนื่องจากไลโคปีนเป็นสารแคโรทีนอยด์ที่ให้สีแดงเมื่อปริมาณไลโคปีนลดลงจึงส่งผลให้ตัวอย่างน้ำมะเขือเทศมีความเป็นสีแดงลดลง จึงมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้น อีกทั้งตัวอย่างน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสยังมีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าตัวอย่างอื่นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์จึงส่งผลให้มีสีน้ำตาลเกิดขึ้นในตัวอย่าง ตัวอย่างจึงมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด

ค่าความแตกต่างของสีของน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความแตกต่างของสีของน้ำมะเขือเทศที่มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน คือ น้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส แต่ไม่แตกต่างจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

วิจารณ์

ไลโคปีนเป็นสารแคโรทีนอยด์หลักที่พบในมะเขือเทศมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการให้ความร้อน เมื่อให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ โดยการให้ความร้อนน้ำมันมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนในน้ำมันมะเขือเทศเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันมะเขือเทศสด เนื่องจากโดยปกติแล้วไลโคปีนค่อนข้างทนต่อความร้อน ไลโคปีนมีโครงสร้างเป็นสายตรงซึ่งมีการหมุนตัวเป็นผลึก อยู่ภายในคลอโรพลาสต์และเกาะอยู่กับโปรตีนจึงทนต่อความร้อนได้ดีกว่าแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น [5] โดยสามารถคงตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส [14] จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การให้ความร้อนน้ำมันมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 72 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดไลโคปีนออกมาได้ดีขึ้นเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสลายการจับกันระหว่างโปรตีนและไลโคปีน จึงทำให้สามารถสกัดไลโคปีนออกมาได้ดีขึ้น [5] ในขณะที่การให้ความร้อนในระดับที่สูงขึ้น ในระดับสเตอริไลซ์ (อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 4 วินาที) ส่งผลให้ไลโคปีนในน้ำมันมะเขือเทศมีปริมาณลดลงแต่ยังคงไม่แตกต่างจากน้ำมันมะเขือเทศสด ปริมาณไลโคปีนที่ลดลงนี้อาจมีสาเหตุมาจากการให้ความร้อนในสภาวะที่รุนแรงขึ้นส่งผลให้ไลโคปีนเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน เปลี่ยนจากรูปแบบทรานส์เป็นรูปแบบซิส และอาจเกิดจากการสลายตัวของไลโคปีนจึงส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนลดลง Luterotti et al. [6] ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงแคโรทีนในมะเขือเทศเข้มข้นบรรจุกระป๋องซึ่งผ่านการให้ความร้อนมาแล้วนำมาให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 100 – 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 – 120 นาที และรายงานว่าการให้ความร้อนเริ่มลดลงหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที หลังจากผ่านการให้ความร้อนไลโคปีนเกิดการสลายตัวและเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน Honda et al. [15] ได้นำมะเขือเทศสดไปผ่านการให้ความร้อนและนำมาทำแห้งแบบแช่แข็ง ผู้วิจัยรายงานว่า การให้ความ

ร้อนมะเขือเทศสดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ส่งผลต่อปริมาณไลโคปีนเพียงเล็กน้อย แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนลดลงร้อยละ 20 และปริมาณซิสไอโซเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น Knockaert et al. [16] พบว่าการให้ความร้อนมะเขือเทศผสมน้ำมันในระดับพาสเจอร์ไรซ์ไม่มีผลต่อปริมาณไลโคปีน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ค่อนข้างต่ำและระยะเวลาที่ใช้สั้น (60 องศาเซลเซียส 1 นาที และ 90 องศาเซลเซียส 10 นาที) ปริมาณไลโคปีนลดลงหลังจากการสเตอริไลซ์ เนื่องจากการสลายตัวของไลโคปีน การสเตอริไลซ์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนไอโซเมอร์จากทรานส์ไอโซเมอร์เป็นซิสไอโซเมอร์ ซึ่งซิสไอโซเมอร์ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า ทรานส์ไอโซเมอร์ Manzo et al. [7] พบว่าการพาสเจอร์ไรซ์มะเขือเทศสดเข้มข้นส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นหลังจากให้ความร้อน 8 นาที ที่อุณหภูมิ 91.3 องศาเซลเซียส แต่เมื่อ การพาสเจอร์ไรซ์เป็นเวลา 32 นาที พบว่าปริมาณไลโคปีนลดลง และพบการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างหลังจากให้ความร้อน 16 นาที โดยตัวอย่างมีสีแดงน้อยลง

สำหรับวิตามินซีนั้นมีความไวต่อความร้อนมากกว่าไลโคปีน การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีลดลงจนกระทั่งไม่พบวิตามินซีในน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที เนื่องจากวิตามินซีสามารถสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีแสง ออกซิเจน ความชื้น รวมถึงความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่เร่งให้เกิดการสลายตัวของวิตามินซี [1] DEWANTO et al. [4] รายงานว่าการกระบวนการให้ความร้อน (88 องศาเซลเซียส 2 – 30 นาที) ส่งผลให้วิตามินซีในมะเขือเทศลดลงจากร้อยละ 10.2 ถึง 29.4 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 2 นาที จนถึง 30 นาที Tchuenchieu et al. [17] พบว่าการให้ความร้อนน้ำมันที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำมันลดลง โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ส่งผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำมันลดลงร้อยละ 1.03 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 90 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงร้อยละ 15.45

ปริมาณฟีนอลิกที่พบในน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนนั้นมีปริมาณมากกว่าปริมาณฟีนอลิกในน้ำมะเขือเทศสด และมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที ปริมาณสารฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ (Maillard's products) ผลจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์นี้มีความสัมพันธ์กับสีของน้ำมะเขือเทศ ซึ่งพบว่าน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที มีสีแตกต่างจากน้ำมะเขือเทศตัวอย่างอื่นโดยมีสีแดงปนเหลือง Vallverdu'-Querlt et al. [18] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการผลิตซอสมะเขือเทศ ได้รายงานว่าการให้ความร้อนทั้งหมดในมะเขือเทศลดลงเล็กน้อยระหว่างการผลิต จากนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว Sripakdee et al. [19] รายงานว่าน้ำแมวยังคงมีการต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่มากหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 – 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากสารฟีนอลิกที่มีอยู่ในน้ำแมวยังมีความคงตัวที่สภาวะการให้ความร้อนดังกล่าว

น้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาทีที่มีการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างจากตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสด เนื่องจากมีปริมาณสารฟีนอลิกสูง Luterotti et al. [6] พบว่าการให้ความร้อนมะเขือเทศเข้มข้นบรรจุกระป๋องโดยให้ความร้อนตั้งแต่ 120 องศาเซลเซียสขึ้นไปทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งส่งผลให้การต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น DEWANTO et al. [4] รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อน (88 องศาเซลเซียส 2 – 30 นาที) ส่งผลให้การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศบดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ไม่เปลี่ยนแปลง

ถึงแม้ตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาทีจะมีการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกสูง แต่น้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลซ์ (การให้ความร้อนอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และการให้ความร้อนอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

นาน 4 วินาที) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างมาก โดยตัวอย่างมีสีอยู่ในโทนสีแดงปนเหลือง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่อะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ [20] อีกทั้งสภาวะในการให้ความร้อนสูงนี้ยังส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนมีปริมาณลดลง ดังนั้นความเป็นสีแดงของตัวอย่างจึงลดลงด้วย อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีและการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ยังคงรักษาสีของน้ำมะเขือเทศไว้ได้ใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศสดซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณไลโคปีนที่มีอยู่มากในตัวอย่างนี้ และยังมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าน้ำมะเขือเทศที่ให้ความร้อนในระดับสเตอริไลซ์

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนแก่น้ำมะเขือเทศทั้งในระดับพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไลซ์ส่งผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงสีในน้ำมะเขือเทศ การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ยังคงรักษาสีของน้ำมะเขือเทศไว้ได้ใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศสด และส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนในน้ำมะเขือเทศเพิ่มขึ้นโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาทีส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นมากที่สุด การให้ความร้อนระดับสเตอริไลซ์สามารถคงปริมาณไลโคปีนในน้ำมะเขือเทศไว้ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมะเขือเทศสด อีกทั้งยังส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้น โดยน้ำมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที มีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด ส่งผลให้ตัวอย่างมีการต้านอนุมูลอิสระสูงไม่ต่างจากน้ำมะเขือเทศสด อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับสูงเกิดการสูญเสียวิตามินซีทั้งหมดและตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน

การศึกษานี้ทำให้สามารถเลือกสภาวะในการให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศได้อย่างเหมาะสมเพื่อให้สารสำคัญยังคงอยู่ในปริมาณมาก การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที เป็นสภาวะในการให้ความร้อนที่มีความเหมาะสมหากต้องการผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศที่มีปริมาณฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระสูงโดยไม่คำนึงถึงสีของผลิตภัณฑ์ แต่หาก

ต้องการผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศที่มีปริมาณไลโคปีนสูง มีวิตามินซี และยังคงมีสีใกล้เคียงกับน้ำมะเขือเทศสด การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เวลา 15 วินาที จึงเป็นสภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุด

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ ต่อปริมาณสารสำคัญ การต้านอนุมูลอิสระและค่าสีของน้ำมะเขือเทศ ดังนั้นสำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นอื่น เช่น การเปลี่ยนแปลงกลิ่น การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Sutin S. Vitamins and free radicals. Huachiew Chalermprakiet Sci Technol J. 2016; 2(1): 80-92.
2. Lia N, Wub X, Zhuangb W, Xiab L, Chenb Y, Wuc C, et al. Tomato and lycopene and multiple health outcomes: Umbrella review. Food Chem. 2021; 343: 128396.
3. Pukrushpan T. Thermal food preservation. In: The faculty members of food science and technology department, Department of Food Science and Technology, Food science & technology. 6th. Bangkok: Kasetsart University Press; 2009. p. 137-153.
4. Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. J. Agric. Food Chem. 2002; 50: 3010-3014.
5. D'Evoli L, Lombardi-Boccia G, Lucarini M. Influence of heat treatments on carotenoid content of cherry tomatoes. Foods. 2013; 2: 352-363.
6. Luterotti S, Bicanic D, Markovi K, Franko M. Carotenes in processed tomato after thermal treatment. Food Control. 2015; 48: 67-74.
7. Manzo N, Santini A, Pizzolongo F, Aiello A, Romano R. Degradation kinetic (D_{100}) of lycopene during the thermal treatment of concentrated tomato paste. Nat Prod Res. 2019; 33 (13): 1835-1841.
8. Rubio-Diaz DE, SANTOS A, FRANCIS DM, RODRIGUEZ-SAONA LE. Carotenoid stability during production and storage of tomato juice made from tomatoes with diverse pigment profiles measured by infrared spectroscopy J Agric Food Chem. 2010; 58: 8692–8698.
9. Saini RK, Bekhit AEDA., Roohinejad S, Rengasamy KRR, Keum YS. Chemical stability of lycopene in processed products: A review of the effects of processing methods and modern preservation strategies. J Agric Food Chem. 2020; 68: 712-726.
10. Anthon G, Barrett DM. Standardization of a rapid spectrophotometric method for lycopene analysis. Acta Hort. 2007; 758: 111-127.
11. Demiray E, Tuley Y, Yilmaz Y. Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. LWT– Food Sci Technol. 2013; 50: 172-176.
12. Vinha AF, Alves RC, Barreira SVP, Castro A, Costa ASG, Oliveira MBPP. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. LWT– Food Sci Technol. 2014; 197-202.

13. Argyropoulos D, Muller J. Effect of convective drying on quality of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Procedia Food Sci.* 2011; 1: 1932-1939.
14. Shi, J, Le Maguer M, Bryan M, Kakuda Y. Kinetics of lycopene degradation in tomato puree by heat and light irradiation. *J Food Process Eng.* 2003; 25(6): 485-498.
15. Honda M, Watanabe Y, Murakami K, Takemura R, Fukaya T, Wahyudiono, et al. Thermal isomerization pre-treatment to improve lycopene extraction from tomato pulp. *LWT– Food Sci Technol.* 2017; 86: 69-75.
16. Knockaert G, Puliserry SK, Colle I, Buggenhout SV, Hendrickx M, Loey AV. Lycopene degradation, isomerization and in vitro bioaccessibility in high pressure homogenized tomato puree containing oil: Effect of additional thermal and high pressure processing. *Food Chem.* 2012; 135: 1290 – 1297.
17. Tchuenchieu A, Ngang JJE, Servais M, Dermience M, Kamdem SS, Etoa FX, et al. Effect of low thermal pasteurization in combination with carvacrol on color, antioxidant capacity, phenolic and vitamin C contents of fruit juices. *Food Sci Nutr.* 2018; 6: 736–746.
18. Vallverdu´-Queralt A, Medina-Remo´n A, Andres-Lacuva C, Lamuela-Raventos RM. Changes in phenolic profile and antioxidant activity during production of diced tomatoes. *Food Chem.* 2011; 126: 1700-1707.
19. Sripakdee T, Sriwicha A, Jansam N, Mahachai R, Chanthai S. Determination of total phenolics and ascorbic acid related to an antioxidant activity and thermal stability of the Mao fruit juice. *Int Food Res J.* 2015; 22(2): 618-624.
20. Rattanapanone N. *Food Chemistry*. 5th. Bangkok: Odeonstore; 2014. 487 p.