

จลนพลศาสตร์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันในน้ำมะเขือเทศเข้มข้น

ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

KINETIC DEGRADATION OF ANTIOXIDANTS IN TOMATO PASTES
DURING HEATING PROCESSธนกร ราชพิลา^{1,*}, ทัดดาว อบภิรมย์² และ กิ่งกาญจน์ ป้องทอง³Tanakorn Rachapila^{1,*}, Taddaw Obphirom² and Kingkan Pongtong³¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร² ศูนย์เทคโนโลยีการเกษตรและนวัตกรรมจังหวัดสกลนคร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร³ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี¹ Faculty of Agricultural Technology, SakonNakhon Rajabhat University² Agricultural Technology and Innovation Center, SakonNakhon Rajabhat University³ Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

Received: 29 November 2023

Revised: 23 April 2024

Accepted: 23 April 2024

บทคัดย่อ

มะเขือเทศเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของจังหวัดสกลนคร มีการแปรรูปมะเขือเทศสดเป็นน้ำมะเขือเทศเข้มข้นมากกว่า 60,000 ตัน/ปี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันในน้ำมะเขือเทศเข้มข้นระหว่างการให้ความร้อน พบว่าเมื่อให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศเข้มข้นที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที มีร้อยละการต้านออกซิเดชันโดยทำปฏิกิริยากับ DPPH (2, 2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate) เท่ากับร้อยละ 30.19±1.38, 26.77±1.88 และ 23.26±1.12 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบสมการเชิงเส้นเพื่อหาแบบจำลองของจลนพลศาสตร์ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการสลายตัว (k) จะลดลงจาก 0.0454 เป็น 0.0397 และ 0.0338

* Corresponding author: ธนกร ราชพิลา

E-mail: tanakorn@snru.ac.th

ตามลำดับ การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันในน้ำมะเขือเทศเข้มข้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) มีค่าพลังงานกระตุ้นได้เท่ากับ 15.70 กิโลจูลต่อโมล อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้สารต้านออกซิเดชันเกิดการสลายตัวมากขึ้น เช่นเดียวกันมีการสลายตัวมากขึ้นและที่อุณหภูมิเดียวกันเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานจะส่งผลให้สารต้านออกซิเดชันเกิดการสลายตัวมากขึ้นเช่นเดียวกันมีการสลายตัวมากขึ้นเช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: แบบจำลอง, ออกซิเดชัน, สลายตัว, พลังงานกระตุ้น, สมการเชิงเส้น

Abstract

Tomatoes are one of the important economic crops in Sakon Nakhon. More than 60,000 tons per year of fresh tomatoes are processed into tomato paste. The aim of this study is to investigate the kinetic degradation of antioxidants in tomato paste during the heating process. The degradation occurred at different temperatures of 75, 85, and 95 °C during heating from 0 to 30 minutes. The antioxidant activities were evaluated by DPPH scavenging activity, which ranged from 30.19 ± 1.38 , 26.77 ± 1.88 and 23.26 ± 1.12 respectively. The results showed that the increase in heating led to a higher rate of degradation of antioxidant activity. The degradation of antioxidant activity corresponded to first-order reaction kinetics. The temperature dependence of the degradation rate constants (k) in tomato paste was expressed as activation energy, which was estimated to be $15.70 \text{ kJ.mol}^{-1}$

Keywords: model, oxidation, degradation, activation energy, linear equation

บทนำ

มะเขือเทศ (tomato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum lycopersicum* L. อยู่ในวงศ์ Solanaceae (Wakil et al., 2018) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เพราะมีผู้นิยมปลูกและรับประทานกันอย่างแพร่หลาย และเป็นพืชผักฤดูเดียวที่นิยมปลูกและบริโภคกันแพร่หลายทั่วโลกเป็นอันดับที่สองรองจากมันฝรั่งจากการรายงานของ FAOSTAT ปี พ.ศ. 2564 พบว่าทั่วโลกมีผลผลิตมะเขือเทศสดมากกว่า 198.12 ล้านตัน เป็นมะเขือเทศสดเพื่อป้อนโรงงานอุตสาหกรรม 39.18 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 5.76 พันล้านเหรียญสหรัฐ (Food and Agriculture Organization, 2023) สำหรับประเทศไทยมะเขือเทศเป็นพืชเศรษฐกิจทั้งด้านผลิตผลสดเพื่อการบริโภค อุตสาหกรรมการแปรรูป และการผลิตเมล็ดพันธุ์ ในปี 2565 มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศ 39,405 ไร่ ผลผลิตรวม 137,325 ตัน โดยแหล่งปลูกมะเขือเทศที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือเนื่องจากมีสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สำหรับมะเขือเทศส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมีพื้นที่ปลูกประมาณ 23,668 ไร่ มีผลผลิตรวม 95,211 ตัน มีผลผลิตเฉลี่ย 4 ตัน/ไร่ พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ส่วนมะเขือเทศบริโภคผลสดมีปริมาณพื้นที่ปลูกประมาณ 15,737 ไร่ แต่ผลผลิตรวมมีน้อยกว่า เพียง 42,114 ตัน มีผลผลิตเฉลี่ยเพียง 2 ตัน/ไร่ โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจังหวัดเชียงใหม่ สกลนคร นครพนม และหนองคาย เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) มะเขือเทศเป็นพืชที่มีศักยภาพที่สามารถขยายการผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพเพื่อทดแทนการนำเข้าเนื่องจากอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากมะเขือเทศขยายความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปลากระป๋องและอุตสาหกรรมซอสมะเขือเทศ มีโรงงานอุตสาหกรรมมะเขือเทศในแหล่งปลูกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนซึ่งฤดูกาลมีความเหมาะสมในช่วงฤดูหนาว แปรรูปมะเขือเทศในประเทศไทยอยู่ในจังหวัด สกลนคร และหนองคาย มะเขือเทศเพื่อการอุตสาหกรรม (processing tomato) สามารถนำมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น มะเขือเทศบรรจุกระป๋อง (canned tomato) มะเขือเทศลอกเปลือก (whole peel tomato) น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) ซอสมะเขือเทศ (tomato sauce หรือ ketchup) มะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) เป็นต้น การใช้งานภายในประเทศ มะเขือเทศเข้มข้นจะต้องมีการนำเข้าบางส่วนทั้งนี้เพราะโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋องมีความจำเป็นต้องใช้น้ำมะเขือเทศอยู่จำนวน 28 โรงงาน และต้องใช้น้ำมะเขือเทศเข้มข้น

จำนวนกว่า 9,500 ตันต่อปี ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนมะเขือเทศผลสดเมื่อแปรรูปเป็นน้ำมะเขือเทศเข้มข้นเท่ากับ 5.8-7.0 ต่อ 1 ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยการแปรรูปเป็นน้ำมะเขือเทศเข้มข้นในต่างประเทศซึ่งเท่ากับ 5.5 ต่อ 1 เนื่องจากผลมะเขือเทศในประเทศไทยมีน้ำในปริมาณมากและมีเนื้อที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในปริมาณต่ำกว่า (ธนกร ราชพิลา, 2562) มะเขือเทศเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ แคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะไลโคปีน ฟีนอลลิก ฟลาโวนอยด์ วิตามินซี และวิตามินอี เป็นต้น (Riahi & Hdider, 2013) แคโรทีนอยด์เป็นสารสีส้มแดงมี 2 ชนิด คือบีตาแคโรทีน (beta-carotene) และไลโคปีน (lycopene) มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์พบไลโคปีนในผลมะเขือเทศมากกว่าร้อยละ 85 ของสารสีทั้งหมด (Riadh et al., 2011) ไลโคปีนมีฟอสฟอรัสสูง และวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินเค โดยเฉพาะวิตามินเอ และวิตามินซี มีในปริมาณสูง (Omodamiro & Amechi, 2013) ไลโคปีนสามารถยับยั้งการออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันการก่อตัวของเซลล์มะเร็งในต่อมลูกหมาก ปอดและกระเพาะอาหาร (Stahl & Sies, 1996) ช่วยลดการเกิดมะเร็งลำไส้มีงานวิจัยพบว่าหากรับประทานมะเขือเทศ 10 ครั้ง/สัปดาห์ จะช่วยลดอัตราการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากในเพศชายได้ถึงร้อยละ 45 มะเขือเทศราชินีและมะเขือเทศดรอเบอร์รี่ มีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันรวม DPPH เท่ากับ 492.48 และ 651.15 mg/ml ตามลำดับ (ประวิทย์ สันติวัฒนา และ จิตตินันท์ ปานประไพ, 2559)

น้ำมะเขือเทศเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงเนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพแต่น้ำมะเขือเทศที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดส่วนมากผลิตจากกระบวนการนำน้ำมะเขือเทศเข้มข้นมาละลายน้ำ แล้วนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในระดับสเตอริไลซ์ (sterilization) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้มีการสูญเสียสารสำคัญไปอย่างน่าเสียดาย นักวิจัยจึงสนใจศึกษาจลพลศาสตร์การสลายตัวของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะเขือเทศเข้มข้นระหว่างการให้ความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการแปรรูปน้ำมะเขือเทศเข้มข้นไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป เช่น มะเขือเทศผง น้ำมะเขือเทศบรรจุกล่อง และซอสมะเขือเทศ ให้สามารถคงความสามารถในการออกซิเดชันไว้ก่อนส่งมอบให้ผู้บริโภคให้ได้มากที่สุด

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำตัวอย่างน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) เท่ากับ 29 °Brix (องศาบริกซ์) จากโรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูปที่ 3 (เต่างอย) อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดสกลนคร ออกจากถุงปลอดเชื้อ (aseptic bag) ใส่ในหลอดทดลองชนิดฝาเกลียว หลอดละ 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 75 °C, 85 °C และ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันต่อไป

2. การศึกษาการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay

2.1 ชั่งน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้นในแต่ละสถานะปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงให้ตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที นำของเหลวที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4

2.2 ปิเปิดน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C, 85 °C และ 95 °C ลงในหลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 500 µL ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ในเอทานอล ความเข้มข้น 0.06 mM หลอดละ 500 µL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (uv-vis spectrophotometer) โดยใช้สารละลายเอทานอลเป็น blank คำนวณหาร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) (Hou et al., 2001) ตามสมการที่ 1 ดังนี้ Blois M.S. (1958)

$$\% \text{ radical scavenging} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

2.3 นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง น้ำมะเขือเทศเข้มข้น โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox (trolox) และรายงานผลเป็น mg TEAC/100 g

3. การศึกษาจลนพลศาสตร์แบบจำลองการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชัน

จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาในตัวอย่างน้ำมะเขือเทศเข้มข้น โดยใช้สมการมาตรฐานสำหรับแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับที่ 0 และอันดับที่ 1 ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ซึ่ง สุนทร พรจำเริญ (2555) ได้อธิบายไว้สามารถใช้อธิบายถึงการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชัน

$$C = C_0 - k_0 t \quad (2)$$

$$C = C_0 \exp(-k_1 t) \quad (3)$$

เมื่อ C คือ ความสามารถในการออกซิเดชัน (mg TEAC/100 g) ที่เวลาใด ๆ

C_0 คือ ความสามารถในการออกซิเดชันเริ่มต้น

k_0 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่ 0

k_1 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่ 1

สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชัน โดยนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ตามสมการอาร์เรเนียส (arrhenius) ดังแสดงในสมการที่ 4

$$k = k_0 \exp(-E_a / RT) \quad (4)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา

k_0 คือ pre-exponential factor

E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้น ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ ($8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T คือ อุณหภูมิในหน่วยสัมบูรณ์ (K)

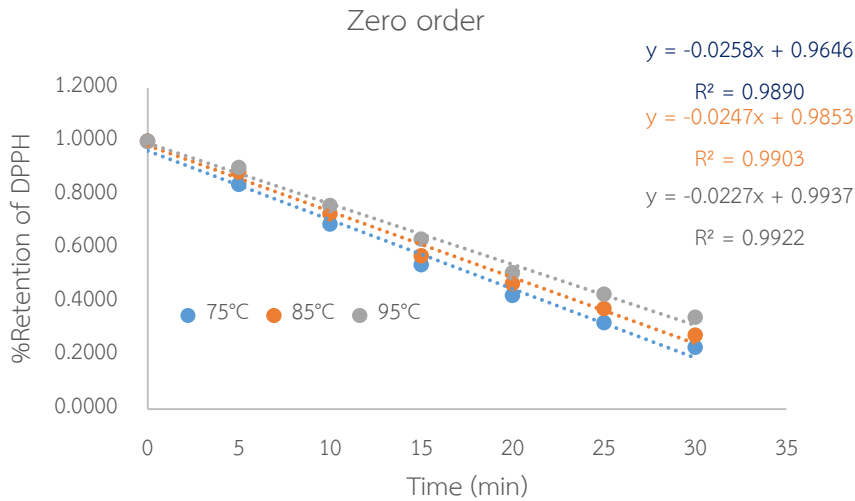
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay

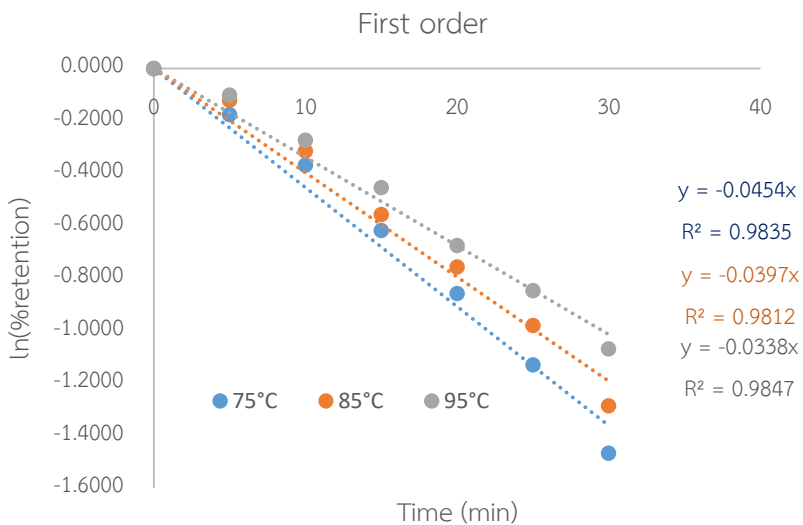
ตัวอย่างน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้นผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C, 85 °C และ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที มาทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันพบว่ามียอยละ การต้านออกซิเดชันเท่ากับร้อยละ 30.19 ± 1.38 , 26.77 ± 1.88 และ 23.26 ± 1.12 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้น เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลง ซึ่งสารต้านออกซิเดชันเป็นสารที่มีความไวต่ออุณหภูมิจึงทำให้เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้สารต้านออกซิเดชันสลายตัวไป หรือมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากสารจำพวกโกลโคไซด์เป็นสารอะโกลโคน การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งคุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติของสารต้านออกซิเดชัน (Pokorny & Schmidt, 2010) ซึ่งสลายตัวได้ง่าย จากผลการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมในการให้ความร้อน คือ 75 °C

2. ผลของอุณหภูมิต่อจลนพลศาสตร์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชัน

จลนพลศาสตร์การสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 75 °C, 85 °C และ 95 °C ตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับ 0 และอันดับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า ค่า R^2 มากที่สุดมาจากปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln(C)$ และอุณหภูมิให้ความร้อน แสดงให้เห็นว่าการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ค่าคงตัวที่อัตราขึ้นอยู่กัอุณหภูมิ (k) ได้มาจากความชัน และมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9932-0.9945 ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งบ่งชี้ว่าการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 95 °C จะเกิดได้เร็วกว่าอุณหภูมิ 85 °C และ 75 °C ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชันให้เกิดเป็นสารโมเลกุลเล็กได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงทำให้การออกซิเดชันในน้ำมันมะเขือเทศเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C มีความเข้มข้นลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิ 85 °C และ 75 °C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al. (2018) ที่กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นส่งผลต่อการสลายตัวของสารต้านออกซิเดชัน รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไวต่อความร้อน นำไปสู่การสูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชัน



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) กับเวลา (นาที)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของ ln ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) กับเวลา (นาที)

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(C)$ และ t แสดงในตารางที่ 2 ตามสมการของ arrhenius จะได้ค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 15.70 kJ/mol เมื่อเทียบกับการศึกษาของ Sharma & Maguer (1996) ที่ทำการศึกษากการเก็บรักษาเนื้อมะเขือเทศที่อุณหภูมิ -20°C ถึง 25°C ได้พลังงานกระตุ้นเท่ากับ 27.74 kJ/mol พบว่าพลังงานกระตุ้นที่ทดลองได้มีค่าน้อยกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษามีความแตกต่างกัน จึงทำให้ต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูงกว่าในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการสลายตัวของการออกซิเดชันที่เกิดจากระยะเวลาในการให้ความร้อนที่นานของอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ตารางที่ 1 จลพลศาสตร์การสลายตัวด้วยความร้อนของความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาอันดับ	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	Kinetic models	R^2
0	75	$C = -0.0258(t) + 0.9646$	0.9890
	85	$C = -0.0247(t) + 0.9853$	0.9903
	95	$C = -0.0227(t) + 0.9937$	0.9922
1	75	$\ln(C) = -0.0454(t)$	0.9942
	85	$\ln(C) = -0.0397(t)$	0.9932
	95	$\ln(C) = -0.0338(t)$	0.9945

ตารางที่ 2 จลพลศาสตร์การสลายตัวด้วยความร้อนของฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ (K)	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) (min^{-1})
75	348.15	0.0454
85	358.15	0.0397
95	368.15	0.0338

สรุปผลการวิจัย

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมะเขือเทศเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน 3 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 75°C , 85°C และ 95°C พบว่ามีค่าร้อยละการต้านออกซิเดชันเท่ากับร้อยละ 30.19 ± 1.38 , 26.77 ± 1.88 และ 23.26 ± 1.12 ตามลำดับ จลนพล

ศาสตร์ของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 0.0454, 0.0397 และ 0.0338 ($R^2 = 0.9932-0.9945$) ที่อุณหภูมิ 75 °C, 85 °C และ 95 °C ตามลำดับ และมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 15.70 kJ/mol

ข้อเสนอแนะ

ข้อดีของวิธี DPPH คือทำได้ง่ายนิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติแต่อนุมูล DPPH• มีความคงตัวไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกายดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้จึงควรหาค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีอื่น เช่น วิธี ABTS assays เปรียบเทียบด้วย

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องระเหยน้ำแบบพ่นฝอยชนิดสุญญากาศสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ ซึ่งได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ร่วมกับ บริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

เอกสารอ้างอิง

ชนกร ราชพิลา, ทวีศักดิ์ เลาหิวิโรจน์, กิ่งกาญจน์ ป้องทอง, ศิริประภา ราชพิลา, ณัฐพงษ์ วงษ์มา, สิรินัทสน์เลี่ยมแหลม, นรินทิพย์ ธิระโต และ ปวีณา บุตรพรม. (2562). *การวิเคราะห์สมรรถนะโซ่อุปทาน ประสิทธิภาพการผลิต และการพัฒนามาตรฐานวัตถุดิบ: มะเขือเทศอุตสาหกรรม*. รายงานฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

- ประวิทย์ สันติวัฒนา และ จิตตินันท์ ปานประไพ (2559). การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม มะเขือเทศ และ งาดำ. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 15(1), 1-13.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2566, จาก <https://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร/TH-TH>.
- สุนทร พรจำเริญ. (2555). *จดศาสตร์เคมี*. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชา ว 40123 เคมี 3. สาขาวิชาเคมี โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์.
- Blois, M. S. (1958) Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181, 1199-1200.
- Food and Agriculture Organization. (2023). *Food and agriculture data*. Retrieved October 15, 2023 from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Hou, W.C., Chen, Y.C., Chen, H.J., Liu, Y.H., Yang, L.L. and Lee, M.H. (2001). Antioxidant activities of a 33 KDa root storage protein of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam cv. Tainong 57). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 2978-2981. <https://doi.org/10.1021/jf0100705>.
- Kim, A. N., Kim, H. J., Chun, J., Heo, H. J., Kerr, W. L., & Choi, S. G. (2018). Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures. *LWT-Food Science and Technology*, 89, 535–541. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.036>.
- Omodamiro, O. D. & Amechi, U. (2013). The phytochemical content, antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of *Lycopersicon esculentum* (tomato). *Asian Journal of Plant Science and Research*, 3(5), 70-81.
- Pokorny J. & Schmidt S. (2010). 15-Effects of processing and storage on antioxidant efficacy in foods, Editor(s): Eric A. Decker, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications, Woodhead Publishing, 2010, Pages 368-393,

- Riadh, I., Chafik, H., Marcello, S. L., Imen, T. & Giuseppe, D. (2011). Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high lycopene tomato cultivars. *Journal of food composition and analysis*, 24(4), 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.11.003>.
- Riahi, A., & Hdider, C. (2013). Bioactive compounds and antioxidant activity of organically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars as affected by fertilization. *Scientia Horticulturae*, 151, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.009>.
- Sharma S. K. & Maguer M. L. (1996). Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International*, 29(3–4), 309-315.
- Stahl, W., & Sies, H. (1996). Lycopene: A Biologically Important Carotenoid for Humans. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 336, 1-9. <https://doi.org/10.1006/abbi.1996.0525>.
- Turturica, M., Stanciuc, N., Bahrim, G., & Rapeanu, G. (2016). Effect of thermal treatment on phenolic compounds from plum (*Prunus domestica*) extracts–A kinetic study. *Journal of Food Engineering*, 171(6), 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.024>.
- Wakil, W., Brust, G. E., & Perring, T. M. (2018). *Sustainable management of arthropod pests of tomato*. Amsterdam: Elsevier.