



ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแบบใช้และไม่ใช้เอนไซม์ของสารสกัด
จากผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดาและมะเขือเทศลูกใหญ่
Enzyme and Non-enzyme Antioxidant Activities of
Cherry Tomato, Sida Pink Tomato
and Big Red Tomato Fruit Extracts

นิรมล ธรรมวิริยสติ^{1,*}, ปองรุ่ง จันทระเจริญ², กุลธิดา กล้ารอด³

¹สาขาเทคนิคการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ และหน่วยวิจัยด้านนวัตกรรมเซนเซอร์เพื่อพัฒนาและผลิตชุดทดสอบ
มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

²สาขาชีวเวชศาสตร์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³สาขากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

Niramorn Thamwiriyasati^{1,*}, Pongrungs Chancharoen², Kultida Klarod³

¹Division of Medical Technology, Faculty of Allied Health Sciences and Sensor Innovation Research Unit,
Burapha University, Chonburi 20131

²Division of Biomedical Sciences, Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University,
Chonburi, 20131

³Division of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University,
Chonburi 20131

Received 3 June 2021; Received in revised 28 July 2021; Accepted 11 August 2021

บทคัดย่อ

มะเขือเทศเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีสารต้านอนุมูลอิสระที่หลากหลายในแต่ละชนิด นิยมรับประทานสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่าง ๆ การศึกษานี้เปรียบเทียบสารสกัดจากผลมะเขือเทศสามชนิดคือ ราชินี สีดาและลูกใหญ่ โดยใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี และการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแบบที่ไม่ใช่เอนไซม์โดยวิธี FRAP และ DPPH และแบบวัดกิจกรรมเอนไซม์ SOD และ Catalase ผลการศึกษาพบว่า ผลมะเขือเทศทั้งสามชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่เอนไซม์ โดยผลมะเขือเทศราชินีมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด ส่วนสีดาและลูกใหญ่มีปริมาณวิตามินซีที่ใกล้เคียงกันเมื่อน้ำหนักกรัมเท่ากัน ผลมะเขือเทศราชินีมีเอนไซม์ SOD ที่ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ถึงร้อยละ 53 เมื่อใช้น้ำสกัด และกิจกรรมเอนไซม์ Catalase ที่ดีที่สุดเท่ากับ 31 M เมื่อใช้เอทานอลสกัด ส่วนผลมะเขือเทศสีดามีการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแบบที่ไม่ใช่เอนไซม์โดยวิธี FRAP เท่ากับ 62 mg/mL สูงสุด และผลมะเขือเทศลูกใหญ่มีค่า IC_{50} DPPH ดีที่สุดเท่ากับ 0.59 μ g/mL เมื่อใช้เอทานอลสกัด ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปศึกษาต่อยอดในการเลือกชนิดมะเขือเทศตามคุณสมบัติของสารอนุมูลอิสระที่พบ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาผลต่อสุขภาพในการป้องกันและฟื้นฟูตรงเป้าหมายต่อไป

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ; วิตามินซี; มะเขือเทศราชินี; มะเขือเทศสีดา; มะเขือเทศลูกใหญ่

Abstract

Tomatoes are considered a nutritious fruit. Each tomato species has a different wide variety level of antioxidants. It is commonly eaten fresh and processed into various health products. In this present study, we aimed to compare the antioxidant capacities of three types of tomato fruit extracts (cherry tomato, Sida pink tomato, and big red tomato). We conducted measurement on vitamin C content, non-enzymatic antioxidant activity by ferric reducing-antioxidant power (FRAP) assay and DPPH (free radical scavenging) method, and enzyme activity measurement by superoxide dismutase (SOD) and catalase methods. The results showed that all three types of tomatoes contain both enzyme-based and non-enzymatic antioxidants. Cherry tomato consisted of the highest vitamin C content. Sida pink and big red tomatoes were observed equally contained vitamin C when using the same amount of gram weight. Cherry tomato fruit showed the highest percentage of free radical inhibition of SOD as 53% by water extract, and the highest catalase enzyme activity as 31 M by ethanol extract. In comparison, Sida pink tomato fruit of ethanol extract suggested the greatest level of antioxidant FRAP value as 62 mg/mL. Big red tomato showed IC_{50} of DPPH as 0.59 μ g/mL with the best results using ethanol extract. Based on the different antioxidant properties of each tomato could lead to further gain in selective tomato consumption. Thus, the processing method on the extract enhances bioactive and value of products that could improve protective consequence directly on health and goal of treatment.

Keywords: Antioxidant activity; Vitamin C; Cherry tomato; Sida pink tomato; Big red tomato

1. บทนำ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เป็นโมเลกุลสารที่สามารถจับกับตัวรับและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่น ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ จึงช่วยกำจัดและลดปริมาณอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งเป็นอะตอมที่ไม่เสถียรเนื่องจากขาดอิเล็กตรอน ช่วยป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระไปทำลายโมเลกุลของเซลล์ในร่างกายได้ [1] กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระในการยับยั้งอนุมูลอิสระแบ่งออกได้ 2 กลุ่มหลักคือ กลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) เช่น แคโรทีนอยด์ บีตาแคโรทีน โลโคปิน วิตามินอี วิตามินซี และกลูตาไทโอน เป็นต้น และกลุ่มที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) เช่น เอนไซม์ superoxide dismutase (SOD), catalase, glutathione peroxidase เป็นต้น โดยจะมีกลไกในการทำงานที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน [2] เมื่อใดก็ตามที่ร่างกายมีการสะสมสารอนุมูลอิสระมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระในภาวะไม่สมดุล จะทำให้เกิด oxidative stress หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระที่ส่งผลให้เซลล์ถูกทำลาย นำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง หัวใจขาดเลือด ความจำเสื่อม เบาหวาน และความชรา (Aging) เป็นต้น [3, 4] การรับประทานอาหารที่มีสารต้านออกซิเดชัน เช่น ผัก ผลไม้ เข้าไปช่วยเพิ่มปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างได้ไม่เพียงพอ ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยป้องกันโรคที่อาจจะเกิดขึ้นได้ [5]

มะเขือเทศ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. เป็นพืชล้มลุกที่อยู่ในวงศ์ Solanaceae ผลดิบมีสีเขียว เมื่อสุกจะมีสีแดงส้ม มีรูปร่าง ทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรี ขนาดเล็กใหญ่แตกต่างกันตามสายพันธุ์ [6] ผลมะเขือเทศนั้นอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วยวิตามินและสารประกอบทุติยภูมิหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามินซีและไลโคปินซึ่งเป็น

องค์ประกอบสำคัญในกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ [7] และช่วยในการออกฤทธิ์ด้านเชื้อแบคทีเรียและราที่ก่อโรคได้ [8] จึงทำให้เป็นที่นิยมรับประทานสด แปรรูปแช่ อิม หรือทำเป็นน้ำผลไม้เพื่อสุขภาพ อย่างไรก็ตาม แม้ว่า จะมีการศึกษาก่อนหน้านี้เกี่ยวกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบในผลมะเขือเทศ แต่ข้อมูลสารต้านอนุมูลอิสระแบบ เอนไซม์ยังไม่ชัดเจน โดยเฉพาะสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและขายตามท้องตลาด ได้แก่ มะเขือเทศสีดาและลูกใหญ่ ซึ่ง การนำมารับประทานหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือผลิตภัณฑ์เวชสำอางก็ให้เหมาะสมนั้นอาจมีความแตกต่างของคุณสมบัติและองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้ ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์ของมะเขือเทศ

ในการศึกษารุ่นนี้ คณะผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการป้องกันสารอนุมูลอิสระที่พบได้ในผลมะเขือเทศพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกขายในประเทศไทย จำนวน 3 ชนิด คือ มะเขือเทศราชินี หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ามะเขือเทศเซอร์รี่ (Cherry tomato) ลักษณะของผลมีขนาดเล็ก และสีแดงจัดเหมือนผลเซอร์รี่ มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว นิยมรับประทานแบบสด มะเขือสีดา (Sida pink tomato) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกและพบขายในท้องตลาด ลักษณะสีแดงอมชมพู รูปไข่ มีรสชาติจืดและเปรี้ยวเป็นหลัก นิยมใส่ในอาหารไทยที่มีรสชาติจัดจ้านประเภทส้มตำ และมะเขือเทศลูกใหญ่ (Big red tomato) เป็นพันธุ์เนื้อขนาดกลางค่อนข้างใหญ่ ผลสุกมีสีแดงเข้ม มีเนื้อและน้ำมาก หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด นิยมใส่อาหารยำชนิดต่างๆ และนำไปแปรรูปอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผลสุกของมะเขือเทศ นำไปเป็นแนวทางข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกรับประทานเพื่อสุขภาพหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเก็บตัวอย่าง

ผลมะเขือเทศที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกขายในท้องตลาดของประเทศไทย จำนวน 3 ชนิด คือ มะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ ซึ่งนำมาจากตลาดรับซื้อที่เป็นตลาดท้องถิ่น ในพื้นที่เขตอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ช่วงเดือนตุลาคม ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 นำมาล้างให้สะอาด และตรวจสอบความปลอดภัยจากยาฆ่าแมลงตกค้าง โดยใช้ชุดน้ำยาตรวจสอบยาฆ่าแมลงจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (GT-pesticide test kit) ก่อนนำมาสกัดเพื่อทดสอบ

2.2 การเตรียมสารสกัดจากผลมะเขือเทศ

นำผลมะเขือเทศสุกที่คัดเลือกพันธุ์ตามรูปร่างลักษณะของชนิดที่ต้องการศึกษา นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บดให้ละเอียด และแช่ในตัวทำละลายด้วยน้ำปราศจากเชื้อ และเอทานอล เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตามกรรมวิธีที่ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ [8] จากนั้นกรองแยกเอากากออกด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรอง เก็บสารสกัดที่แยกได้ที -20 องศาเซลเซียส ในภาชนะกันแสงหรือห่อฟอยล์ โดยการสกัดด้วยน้ำปราศจากเชื้อมีความเข้มข้นของสารสกัด 50 กรัม น้ำหนักสดต่อมิลลิลิตร และการสกัดด้วยเอทานอลมีความเข้มข้นของสารสกัด 1.67 กรัม/น้ำหนักสดต่อมิลลิลิตร

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี

ทำการปิเปตสารสกัดมะเขือเทศ 500 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง และปิเปตสารละลาย 3 M H₂SO₄ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) เท่ากับ 245 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ มาเทียบกับค่าสารละลายวิตามินซีมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีที่พบในสารสกัดมะเขือเทศแต่ละสายพันธุ์ [9]

2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์

2.4.1 การทดสอบโดยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

ประเมินความสามารถของการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยให้ DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร เมื่อ DPPH (สีม่วง) ได้รับอิเล็กตรอนหรืออนุมูลอิสระไฮโดรเจน จะเปลี่ยนเป็น DPPH:H (ไม่มีสี) ติดตามผลการทดลองโดยวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ดัดแปลงตามวิธีของ Thaipong (2006) [10] โดยใช้สารละลาย 0.1 mM DPPH ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมสารสกัดที่เจือจางด้วยตัวทำละลายให้เหมาะสมด้วยตัวทำละลาย ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ผสมในหลอดทดลองเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายของสารสกัดเป็นแบลนด์ คำนวณ เปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้จากสมการ เปอร์เซ็นต์การ DPPH inhibition = $(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}} \times 100$ โดย A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุมสารละลาย DPPH และ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ประกอบด้วยสารสกัดและสารละลาย DPPH ผลการทดลองที่ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้งที่เป็นอิสระต่อกัน แต่แต่ละครั้งทำ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลเป็นค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่สามารถลดปริมาณ DPPH เริ่มต้นลงได้ร้อยละ 50 (Inhibitory concentration, IC₅₀) โดยใช้โปรแกรม Graph Pad Prism 6.05 (Graph Pad Software ประเทศสหรัฐอเมริกา) และรายงานผลเป็นร้อยละความสามารถในการเข้าจับและยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูงสุด (Maximum response, R_{max})

2.4.2 การทดสอบโดยวิธี Ferric Reducing-Antioxidant Power (FRAP)

ทดสอบกระบวนการรับอิเล็กตรอนของสารละลายเฟอร์ริก Fe^{3+} -TPTZ complex ให้กลายเป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ที่ pH ต่ำ โดยวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยการเติมน้ำปราศจากเชื้อปริมาตร 90 ไมโครลิตร ในหลอดทดลองจากนั้น เติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 900 ไมโครลิตร และนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมสารสกัดมะเขือเทศ ปริมาตร 30 ไมโครลิตร และนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยนำค่าที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมการรีดิวส์เฟอร์ริก (FRAP value) ของสารสกัด เปรียบเทียบค่ากับกราฟสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) [11] และคำนวณค่าสมมูลเทียบกับสารมาตรฐานวิตามินซี แสดงค่า Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC)

2.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มที่เป็นเอนไซม์

2.5.1 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD)

ทดสอบกิจกรรมเอนไซม์ SOD ด้วยวิธีทำให้เกิดสี (colorimetric method) โดยใช้สาร Nitroblue tetrazolium (NBT) หลักการของวิธีนี้ คือ เอนไซม์ xanthine oxidase จะเป็นตัวปลดปล่อยอนุมูลอิสระ superoxide anion ออกมา และเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ SOD จากนั้น superoxide anion จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับเกลือ tetrazolium ได้ผลิตภัณฑ์เป็น formazan ซึ่งเป็นสารที่มีสี ตรวจวัดสีที่เกิดขึ้น โดยใช้ชุดทดสอบมาตรฐาน 19160 SOD Determination Kit (Sigma-aldrich) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง VersaMax

ELISA Microplate reader แล้วนำมาคำนวณหาฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน [12]

2.5.2 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase

ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ในการออกซิไดส์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ให้ได้น้ำและออกซิเจน โดยการใช้สารตั้งต้น 10 mM H_2O_2 ตั้งทิ้งไว้บนน้ำแข็ง วัดค่าดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปที่ความยาวคลื่น 240 nm (t0) จนครบ 3 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (t3min) กำหนดให้ Catalase activity มีค่า extinction coefficient เท่ากับ $39.4 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ที่ 240 นาโนเมตร เป็นเวลา 3 นาที [13]

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองวางแผนแบบสุ่ม (Completely Randomized design) ทำซ้ำ 3 ครั้ง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในสารสกัดจากผลมะเขือเทศ

จากการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C) ในสารสกัด พบว่า การสกัดผลมะเขือเทศด้วยน้ำที่น้ำหนักสด 50 กรัมต่อมิลลิลิตร ของมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ มีปริมาณวิตามินซีค่าโดยประมาณเท่ากับ 316, 180 และ 196 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อสกัดด้วยเอทานอลที่น้ำหนักสด 1.67 กรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณวิตามินซี ค่าโดยประมาณเท่ากับ 400, 286 และ 295 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

3.2 ผลการทดสอบการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์

3.2.1 ผลการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี

DPPH

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลมะเขือเทศราชินี สีดา และลูกใหญ่ ที่สกัดด้วยน้ำ ด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดมีร้อยละความสามารถในการยับยั้งและกำจัดอนุมูลอิสระได้สูงสุด (Maximum response: Rmax) เท่ากับร้อยละ 69.20 ± 1.47, 71.17 ± 2.00 และ 70.04 ± 1.26 ตามลำดับ มี IC₅₀ ของสารสกัดผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ ค่าโดยประมาณเท่ากับ 2.42, 2.29 และ 2.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสารสกัดผลมะเขือเทศด้วยน้ำมีร้อยละการยับยั้งสาร DPPH ของมะเขือเทศราชินีอยู่ในช่วง 42.61 ± 2.35 ถึง 69.20 ± 1.47 ที่ความเข้มข้น 1.2 ถึง 3.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มะเขือเทศสีดาอยู่ในช่วง 24.20 ± 21.05 ถึง 71.17 ± 2.00 ที่ความเข้มข้น 1.2 ถึง 3.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมะเขือเทศลูกใหญ่อยู่ในช่วง 27.14 ± 3.28 ถึง 70.04 ± 1.26 ที่ความเข้มข้น 2.2 ถึง 2.40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลมะเขือเทศราชินี สีดา และลูกใหญ่ ที่สกัดด้วยเอทานอล ด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดมีร้อยละความสามารถในการยับยั้งและกำจัดอนุมูลอิสระได้สูงสุด (Rmax) เท่ากับร้อยละ 66.38 ± 2.40, 62.87 ± 4.64 และ 60.48 ± 1.29 ตามลำดับ มี IC₅₀ ของสารสกัดผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ ค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.65, 1.10 และ 0.59 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสารสกัดผลมะเขือเทศด้วยเอทานอลมีร้อยละการยับยั้งสาร DPPH ของมะเขือเทศราชินีอยู่ในช่วง 42.34 ± 1.59 ถึง 66.38 ± 2.40 ที่ความเข้มข้น 0.2 ถึง 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มะเขือเทศสีดา มีร้อยละการยับยั้งสาร DPPH อยู่ในช่วง 28.69 ± 2.19 ถึง 62.87 ± 4.64 ที่ความเข้มข้น 0.2 ถึง 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมะเขือเทศลูกใหญ่มีร้อยละการยับยั้งสาร DPPH อยู่ในช่วง 30.66 ± 5.21 ถึง 60.48 ± 1.29 ที่ความเข้มข้น 0.2 ถึง 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

วิตามินซีบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 0.005 ถึง 0.05 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีร้อยละการยับยั้งสาร DPPH อยู่

ในช่วง 44.58 ± 1.11 ถึง 64.98 ± 1.11 โดย IC₅₀ ของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.009 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.2.2 ผลการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี

FRAP

ผลการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สารสกัดจากมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดาและมะเขือเทศลูกใหญ่ที่สกัดด้วยน้ำ มีกิจกรรมการรีดิวซ์เฟอร์ริกที่ค่าความเข้มข้นโดยประมาณเท่ากับ 53, 55 และ 54 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสารสกัดผลมะเขือเทศทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึง 70 ของความสามารถในการรีดิวซ์ Fe²⁺ เทียบเท่าสารละลายวิตามินซี คิดเป็นมูลค่าเทียบเท่าวิตามินซี หรือ Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) โดยประมาณเท่ากับ 35, 36 และ 35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

สารสกัดจากผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ที่สกัดด้วยเอทานอลมีกิจกรรมการรีดิวซ์เฟอร์ริกที่ค่าความเข้มข้นโดยประมาณ 55, 62 และ 56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสารสกัดผลมะเขือเทศทั้งสามชนิดมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึง 70 ของความสามารถในการรีดิวซ์ Fe²⁺ เทียบเท่าสารละลายวิตามินซี คิดเป็นค่า VCEAC โดยประมาณเท่ากับ 36, 40 และ 36 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

3.2.3 ผลการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เอนไซม์ SOD ของสารสกัดผลมะเขือเทศ

สารสกัดผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดาและมะเขือเทศลูกใหญ่ด้วยน้ำ มีค่าร้อยละของการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ SOD โดยประมาณเท่ากับ 53, 26 และ 41 ตามลำดับ ส่วนสารสกัดผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดาและมะเขือเทศลูกใหญ่ด้วยเอทานอลมีค่าร้อยละของการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ SOD โดยประมาณเท่ากับ 31, 18 และ 29 ตามลำดับ

3.2.4 ผลการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เอนไซม์ Catalase ของสารสกัดผลมะเขือเทศ

สารสกัดผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดาและมะเขือเทศลูกใหญ่ด้วยน้ำ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Catalase โดยประมาณเท่ากับ 30 M, 25 M และ 28 M ตามลำดับ ส่วนสารสกัดผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ด้วยเอทานอล มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Catalase โดยประมาณเท่ากับ 31 M, 27 M และ 29 M ตามลำดับ

ภาพรวมแสดงผลการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ของสารสกัดจากผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ที่วิเคราะห์ได้ ดังตารางที่ 1

Table 1 Enzyme and non-enzyme antioxidant activities of tomatoes extracts from various types

Extracts	Types of tomatoes	Vitamin C (mg/mL)	Antioxidant activities			
			Non-enzyme		Enzyme	
			IC50 of DPPH (μ g/mL)	FRAP value (mg/mL)	SOD (% Inhibition rate)	Catalase (M)
Water	Cherry tomato	316.31 \pm 17.15	2.42 \pm 0.25	52.74 \pm 7.22	53.44 \pm 4.58	29.58 \pm 0.59
	Sida pink tomato	180.45 \pm 12.59	2.29 \pm 0.07	54.75 \pm 4.67	26.38 \pm 1.99	24.67 \pm 0.47
	Big red tomato	195.94 \pm 25.24	2.24 \pm 0.22	54.01 \pm 4.85	40.61 \pm 3.54	27.67 \pm 0.47
Ethanol	Cherry tomato	399.51 \pm 52.57	0.65 \pm 0.21	54.91 \pm 6.70	31.38 \pm 1.51	31.42 \pm 0.82
	Sida pink tomato	285.55 \pm 37.10	1.10 \pm 0.14	61.66 \pm 13.70	17.72 \pm 2.56	26.52 \pm 0.68
	Big red tomato	294.64 \pm 8.69	0.59 \pm 0.02	56.18 \pm 14.33	29.48 \pm 1.50	28.58 \pm 0.60

4. วิจารณ์

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่ช่วยป้องกันและยับยั้งความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ รวมถึงส่วนอื่นๆ ของเซลล์ที่เป็นผลมาจากการมีสารอนุมูลอิสระในร่างกายมากเกินไป เมื่อเซลล์เกิดความเสียหายก็อาจเป็นสาเหตุของโรคและความผิดปกติต่างๆ ได้ สารต้านอนุมูลอิสระพบได้มากในผักผลไม้หลายชนิด จึงถูกนำมารับประทาน

สด หรือแปรรูปเป็นสารสกัดเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพและบำรุงผิวพรรณ

ผลมะเขือเทศเป็นผลไม้อีกหนึ่งชนิดที่ถูกนำมาใช้เพื่อดูแลสุขภาพและผิวพรรณ โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ที่สำคัญคือ วิตามินซี และไลโคปีน ซึ่งมีการรายงานพบว่า การรับประทานผลมะเขือเทศทำให้

เพิ่มระดับวิตามินซีและไลโคปีนในพลาสมาและเม็ดเลือดขาวของผู้ที่รับประทานเข้าไป ช่วยป้องกันออกซิเดชันภายในเซลล์ [14] โดยวิตามินซีนั้นช่วยกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ละลายในน้ำในร่างกายที่อยู่ในรูปคอนจูเกตเบส (conjugate base, AH-) เมื่อรับอนุมูลอิสระมาแล้วสามารถกลับไปทำงานได้โดยอาศัยความช่วยเหลือของเอนไซม์ Glutathione peroxidase ช่วยชะลอการเกิดริ้วรอย ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด [15] นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาพบว่ามะเขือเทศนั้นมีกลุ่มยีนและกลไกการแสดงออกของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์แตกต่างกันตามสายพันธุ์และสภาพพื้นที่การปลูกคือ เอนไซม์ SOD ช่วยทำหน้าที่กำจัด oxygen radical ที่เกิดจากกระบวนการหายใจ (respiratory chain) [16, 17] และเอนไซม์ Catalase ทำหน้าที่เร่งการเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็นน้ำและออกซิเจน [17] ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้ต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างชัดเจนตามชนิดของมะเขือเทศพันธุ์พื้นบ้านที่นิยมปลูกในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งคุณสมบัติของเอนไซม์เหล่านี้เป็นอีกบทบาทหนึ่งที่สำคัญในการช่วยลดความเสียหายของร่างกายในการเสื่อมสภาพและถูกทำลายจากอนุมูลอิสระได้

ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากผลมะเขือเทศราชินี มะเขือเทศสีดา และมะเขือเทศลูกใหญ่ที่สกัดด้วยน้ำปราศจากเชื้อและเอทานอล สามารถออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่เอนไซม์ อีกทั้งยังเป็นการยืนยันฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดจากมะเขือเทศในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการเกิดมะเร็งตามอุบัติการณ์ที่เคยศึกษามาก่อนหน้านี้ที่พบว่า ผู้ที่รับประทานผลมะเขือเทศหรือผลิตภัณฑ์ของผลมะเขือเทศจะช่วยลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งในตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย [18] จากการเปรียบเทียบสารสกัดจากมะเขือเทศทั้งสามชนิดพบว่า มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งไม่สัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซีที่พบในสารสกัดมะเขือเทศ

ราชินีมากกว่ามะเขือเทศชนิดอื่น อาจเป็นผลมาจากสารประกอบชนิดอื่นที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลมะเขือเทศที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วย aromatic ring แทนที่ด้วย hydroxyl group ที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระได้ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ ซึ่งพบมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สามารถออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนอกเหนือจากวิตามินซี [16] แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าระดับวิตามินซีมีความสอดคล้องกับระดับเอนไซม์ SOD และ Catalase โดยพบว่าผลมะเขือเทศราชินีมีวิตามินซีสูงสุดและมีระดับเอนไซม์ SOD และ Catalase สูงกว่ามะเขือเทศอีกสองชนิด ซึ่งคุณสมบัตินี้เหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในการกำจัดสารอนุมูลอิสระที่สะสมภายในร่างกาย เช่น ความเสื่อมของเซลล์ประสาท การแก่ชรา โดยกระบวนการเกิด neuro-degeneration ในโรคนี้ พบว่าส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมของ motor neuron และการกลายพันธุ์ของเอนไซม์ SOD1 [19] การช่วยเสริมฤทธิ์การทำงานของเอนไซม์ SOD จึงอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยป้องกันและชะลอความเสื่อมของเซลล์ประสาทและเซลล์อื่นๆ ของร่างกายได้

ส่วนสารสกัดจากผลมะเขือเทศลูกใหญ่ให้ผล IC_{50} DPPH ที่ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าน่าจะเป็นผลจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงกว่าชนิดอื่น สอดคล้องกับงานวิจัยของศุภฤกษ์ชญา และคณะ (2559) ที่พบว่า สารสกัดจากผลสุกมะเขือเทศราชินีสายพันธุ์ C40 ที่มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุด ให้ผลการยับยั้งสารอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดเมื่อทดสอบ EC_{50} ของ DPPH เมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเทศราชินีสายพันธุ์อื่น เช่น G50 ที่ปลูกในพื้นที่ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น [20] ส่วนผลมะเขือเทศสีดาที่สกัดด้วยเอทานอล มีระดับค่า FRAP ที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเทศชนิดอื่น สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าของนิรมล และคณะ (2561) [8] ที่พบว่า เมื่อสกัดผลมะเขือเทศสีดาด้วยตัวทำละลายเอทานอล สามารถยับยั้งแบคทีเรียและราได้หลากหลายชนิดและดีกว่าเมื่อสกัดด้วยน้ำ โดยไม่ขึ้น

อยู่กับปริมาณวิตามินซี ซึ่งพบว่ามะเขือเทศสีดานั้นมีระดับวิตามินซีที่ต่ำกว่ามะเขือเทศราชินี

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัดผลมะเขือเทศที่สุกสดแบบหยาบ (Crude extract) โดยไม่ได้แยกส่วนของผิว เนื้อ และ เมล็ด ออกจากกัน หรือทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) ก่อนการสกัด เพื่อให้ได้สารที่มีองค์ประกอบทั้งสารที่มีคุณสมบัติละลายน้ำ (Hydrophilic) และไม่ละลายน้ำ (Lipophilic) และไม่สูญเสียสภาพที่จะเกิดขึ้นได้ จึงส่งผลให้มีการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่เอนไซม์ที่ใกล้เคียงกันและหลากหลายตามชนิดของมะเขือเทศ ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างจากงานวิจัยของ Toor และ Savage (2005) ที่พบว่าการสกัดแยกส่วนจะพบการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระของกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำที่ส่วนผิวมะเขือเทศมากกว่าส่วนอื่น และมีระดับแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานะการเพาะปลูก [21] การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของการสกัดผลมะเขือเทศสดทั้งสามชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่เอนไซม์หลากหลายแตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาเลือกรับประทานและนำไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ให้เหมาะสมตามกลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ป้องกันและฟื้นฟูโรค เนื่องจากอนุมูลอิสระส่งผลเสียต่อร่างกายและเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคหลายชนิดในมนุษย์ เช่น มะเร็ง ความดันโลหิตสูง และเบาหวาน เป็นต้น [3, 4]

5. สรุปผลการวิจัย

แม้ว่าจะเป็นที่ทราบกันดีว่าผลมะเขือเทศสุกนั้นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่การศึกษาที่ผ่านมามุ่งใช้ประโยชน์จากการออกฤทธิ์ของสารอนุมูลอิสระกลุ่มที่ไม่เอนไซม์เป็นหลัก เช่น วิตามินซี และไลโคปีน จึงขาดข้อมูลการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มที่เป็นเอนไซม์และไม่เอนไซม์เปรียบเทียบกันในสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและรับประทานในประเทศไทย ผลจากการ

ศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ผลมะเขือเทศทั้งสามชนิด คือ ราชินี สีดา และลูกใหญ่ มีระดับสารต้านอนุมูลอิสระได้ทั้งสองกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยผลมะเขือเทศราชินีมีระดับวิตามินซี เอนไซม์ SOD และ Catalase สูงสุด ผลมะเขือเทศสีดามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP ดีที่สุด และผลมะเขือเทศลูกใหญ่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH ดีที่สุด ซึ่งไม่สัมพันธ์กับปริมาณวิตามินซีที่พบ อาจเป็นผลจากองค์ประกอบอื่นหรือปริมาณสารฟีนอลิกที่พบได้ในมะเขือเทศในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้เช่นเดียวกัน จึงควรทำการศึกษาแยกองค์ประกอบที่สกัดได้ให้บริสุทธิ์ เช่น ไลโคปีน ฟลาโวนอยด์ เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการส่งเสริมสุขภาพและป้องกันการเกิดโรคให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากจากหน่วยวิจัยด้านนวัตกรรมเซนเซอร์เพื่อพัฒนาและผลิตชุดทดสอบ กองบริหารการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา และขอขอบคุณ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับอุปกรณ์และสถานที่ทำการศึกษาวิจัยตลอดโครงการ

7. References

- [1] Noori, S., 2012, An Overview of Oxidative Stress and Antioxidant Defensive System, Open Access Sci Rep. 1(8): 2-9.
- [2] Sarms, A.D., Mallick, A.R., and Ghosh, A.K., 2010, Free radicals and Their Role in Different Clinical Conditions: An Overview, Int J Phar Sci and Res. 1(3): 185-192.
- [3] Rahman, T., Hosen, I., Towhidul Islam, M.M., and Shekhar, H.U., 2012, Oxidative stress and human health, Advances in Biosci and Biotech. 3: 997-1019.

- [4] Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T.D., Mazur, M., and Telser, J., 2007, Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease, *Int J Biochem Cell Biol.* 39(1): 44-84.
- [5] del Rio, L.A., 2015, ROS and RNS in plant physiology: an overview, *J Exp Bot.* 66(10): 2827-2837.
- [6] Sarah, C.D, Sandra, K., and Iris, E.P., 2003, Taxonomy of tomatoes in the Galápago Islands: Native and introduced species of *Solanum* section *Lycopersicon* (*Solanaceae*), *J Syst Biodivers.* 1: 29-53.
- [7] Alda, L. M., Gogoasa, I., Bordean, D., Gergen, I. Alda, S., Moldovan, C., and Nita, L., 2009, Lycopene content of tomatoes and tomato products, *J Agroalim Process and Tech.* 15(4): 540-542.
- [8] Thamwiriyasati, N., Khumkhana, N., Innok, P., and Chonanant, C., 2017, *In Vitro* Antimicrobial Activities of Natural Extracts of Sida Tomato and Cherry Tomato against Microbial Pathogens, *Srinagarind Med J.* 32(4): 359-365. (in Thai)
- [9] Ronald, R.E., Lin, Y., and Landen, W.O., 2008, Vitamin analysis for the health and food sciences, United States of American on acid-free paper. 662 p.
- [10] Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby K., Cisneros-Zevallos, L., and Byrne, D.H., 2006, Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts, *J Food Composition and Analysis.* 19: 669-675.
- [11] Benzie, I.F.F., and Strain, J.J., 1996, The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay, *Anal Biochem.* 239: 70-76.
- [12] Nebot, C., Moutet, M., Huet, P., Xu, J.Z., Yadan, J.C., and Chaudiere, J., 1993, Spectrophotometric Assay of Superoxide Dismutase Activity Based on the Activated Autoxidation of a Tetracyclic Catechol, *Anal Biochem.* 214: 442-451.
- [13] Aebi, H., 1984, Catalase in vitro, *Meth Enzym.* 105: 121-126.
- [14] Riso, P., Visioli, F., Erba, D., Testolin, G., and Porrini, M., 2004, Lycopene and vitamin C concentrations increase in plasma and lymphocytes after tomato intake. Effects on cellular antioxidant protection, *Eur J Clin Nutr.* 58(10): 1350-1358.
- [15] Kukongviriyapan, V., 2014, Essential role of antioxidant network of vitamins and enzymes, *Srinagarind Med J.* 29(1): 59-70. (in Thai)
- [16] Feng, K., Yu, J., Cheng, Y., Ruan, M., Wang, R., Ye, Q., Zhou, G., Li, Z., Yao, Z., Yang Y., Zheng, Q., and Wan, H., 2016, The SOD Gene Family in Tomato: Identification, Phylogenetic Relationships, and Expression Patterns. *Front Plant Sci.* 7: 1279.
- [17] Gratão, P.L., Monteiro, C.C., Peres, L.E.P. and Azevedo, R.A., 2008, The Isolation of Antioxidant Enzymes from Mature Tomato (cv. Micro-Tom) Plants, *Hort Sci.* 43(5): 1608-1610.
- [18] Giovannucci, E., 1999, Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and

- cancer: review of the epidemiologic literature, *J Natl Cancer Inst.* 91(4): 317-331.
- [19] Bruijn, L.I., Houseweart, M.K., Kato, S., Anderson, K.L., Anderson, S.D., Ohama, E., Reaume, A.G., Scott, R.W., and Cleveland, D.W., 1998, Aggregation and motor neuron toxicity of an ALS-linked SOD1 mutant independent from wild-type SOD1. *Science.* 281: 1851-1854.
- [20] Hemathulin, S., and Techawongstien, S., 2016, The effecting of varieties on radical scavenging and antioxidant activity of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*), *KHON KAEN AGR. J.* 44: SUPPL.1. (in Thai)
- [21] Toor, R.K., and Savage, G.P., 2005, Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res Int.* 38: 487-494.