ว.วิทย. มข. 48(2) 208-217 (2563) KKU Sci. J. 48(2) 208-217 (2020)

ผลของการแปรรูปและกระบวนการย่อยแบบจำลองต่อปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศเชอรี่

Effect of processing and *in vitro* digestion on antioxidant contents and activities in cherry tomatoes

ดรุณี มะยูโซ๊ะ[1] นาซีบะห์ หะมิดง[1] และ ปิยะวรรณ์ บุญญานุพงศ์[1*]

[1]ภาควิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ปัตตานี 94000

Darunee Mayoosoh[1] Naseebah Hamidong[1] and Piyawan Boonyanuphong[1*]

[1]Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani, 94000 Thailand.

[*]Corresponding Author, E-mail: piyawan.si@psu.ac.th

Received: 26 June 2019 | Revised: 17 December 2019 | Accepted: 26 December 2019

บทคัดย่อ

มะเขือเทศเชอรี่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน เกลือแร่ อย่างไรก็ตามการแปรรูปในรูปแบบต่างๆ และผลจากกระบวนการย่อยในร่างกายอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารดังกล่าวได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อ 1) เปรียบเทียบปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป 2) เปรียบเทียบปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระก่อนและหลังผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลองของมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป นำมะเขือเทศเชอรี่สดมาแปรรูปโดยการทำแห้งแบบอบลมร้อน และแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ไลโคปีนทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ O_2^-) ทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง ซึ่งผลการศึกษาพบว่า กระบวนการแปรรูปทำให้ปริมาณฟีนอลและไลโคปีนทั้งหมดลดลง แต่ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในมะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนแต่ไม่มีความแตกต่างกับมะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเทศสด ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ O_2^- มีเพียงการแปรรูปแบบอบลมร้อนเท่านั้นที่ทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด เมื่อนำทั้งมะเขือเทศสดและที่ผ่านการแปรรูปมาผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลองพบว่าปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงแต่ปริมาณ ฟลาโวนอยด์ (เฉพาะมะเขือเทศสดและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) และไลโคปีนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และ O_2^- (ยกเว้นมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบอบลมร้อน) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับปริมาณสารก่อนผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง สรุปผลการศึกษา การแปรรูปมะเขือเทศส่งผลทำให้ปริมาณและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด และเมื่อผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลองปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการย่อย ดังนั้นการแปรรูปและกระบวนการย่อยส่งผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นและลดลง

ABSTRACT

Cherry tomatoes are a major source of antioxidant, vitamins and minerals. However various processing methods and digestion system may lead to phytochemical change. Aims of study are to 1) compare antioxidant contents and activities of fresh and processed tomatoes. 2) compare antioxidant contents and activities before and after the *in vitro* digestion of fresh and processed tomatoes. Fresh cherry tomatoes were processed by hot air drying and freeze drying and then the samples were analyzed total phenolic, flavonoids, lycopene, antioxidant activities (ABTS and O_2^-) before and after the *in vitro* digestion. The results showed that total phenolic and lycopene contents were decreased while total flavonoids contents were significantly ($p<0.05$) increased by processing methods when compared with fresh tomatoes. ABTS radical scavenging activity was significantly increased in processed tomatoes (hot air drying) when compared with fresh tomatoes; however, it was not different to freeze drying tomatoes. Antioxidant activity of O_2^- in tomatoes was only significantly ($p<0.05$) decreased after using hot air drying method when compared with fresh tomatoes. After the *in vitro* digestion, it was found that total phenolic contents were decreased in fresh and processed tomatoes while total flavonoids (only in fresh and freeze drying tomatoes) and lycopene contents were significantly ($p<0.05$) increased. Radical scavenging activities of ABTS and O_2^- (except hot air drying tomatoes) were significantly ($p<0.05$) decreased after the *in vitro* digestion. Processing of tomatoes result in a lower tendency of antioxidant content and activities when compared with fresh tomatoes. After the *in vitro* digestion, most of antioxidant contents tend to increase while antioxidant activities tend to decrease compared with those before the *in vitro* digestion. Therefore, it should be taken into account that the processing methods and *in vitro* digestion highly effected on the change of antioxidant contents and activities by increasing and decreasing its level.

คำสำคัญ: มะเขือเทศเชอรี่ การแปรรูป สารต้านอนุมูลอิสระ กระบวนการย่อยแบบจำลอง

Keywords: Cherry tomato, Processing, Antioxidant, *In vitro* digestion

บทนำ

มะเขือเทศอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามินซี วิตามินเอ ฟอสฟอรัส และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบในกลุ่มฟีนอล ไลโคปีน แคโรทีนอยด์ เป็นต้น จากรายงานการศึกษาพบว่าการบริโภคมะเขือเทศสามารถป้องกันการเกิดโรคต่างๆที่เกิดจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคความจำเสื่อม โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็งบางประเภท (Afrin et al., 2016) สารไลโคปีนเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์พบมากในมะเขือเทศ เป็นสารที่มีสรรพคุณต้านอนุมูลอิสระและช่วยในการป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์ในร่างกาย และยังมีประสิทธิภาพเหนือกว่าสารเบต้าแคโรทีนและสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์อื่นๆ ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง แม้ว่าไลโคปีนจะไม่มีสมบัติเป็น provitamin A แต่การได้รับไลโคปีนในปริมาณที่สูง อาจช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งต่อมลูกหมาก (Dai et al., 2014)

ปัจจุบันวิถีการดำรงชีวิตเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ร่างกายมีแนวโน้มที่จะได้รับสารอนุมูลอิสระมากขึ้น ทั้งจากภายในและภายนอกร่างกาย เช่น แสงแดด มลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์ อาหารที่รับประทานเข้าไปโดยเฉพาะอาหารปิ้ง-ย่าง รวมไปถึงกระบวนการเผาผลาญอาหารเพื่อผลิตเป็นพลังงานให้แก่ร่างกาย อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและเพิ่มขึ้นจำนวนมากนี้ มีผลต่อการเสื่อมถอยของร่างกาย ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ อย่างไรก็ตาม ร่างกายมีระบบต้านอนุมูลอิสระโดยธรรมชาติเพื่อรักษาสมดุลของอนุมูลอิสระภายในร่างกาย โดยร่างกายจะสร้างโปรตีนหรือโมเลกุลที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย เช่น กลูต้าไทโอน(glutathione) เอนไซม์ กลูต้าไทโอน เปอร์-ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เอนไซม์แคตาเลส

(catalase) แต่สารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายผลิตอาจไม่เพียงพอต่อการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากได้ จึงจำเป็นที่จะต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกหรือจากอาหาร เช่น วิตามินอี วิตามินซี เบต้าแคโรทีน หรือไลโคปีน ในผักและผลไม้ (Katie et al., 2003) โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะทำหน้าที่ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับสารชีวโมเลกุลและจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระ

กระบวนการแปรรูปมะเขือเทศ เป็นวิธีการที่จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม การแปรรูปอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในมะเขือเทศ (Capanoglu et al., 2008) นอกจากการแปรรูปแล้ว กระบวนการย่อยยังส่งผลให้สารต่าง ๆ เหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถจับกับโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนและโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ในกระบวนการย่อยซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระได้ (Pavan et al., 2014) ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป 2) เปรียบเทียบปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบและการแปรรูป

มะเขือเทศเชอรี่ (*Lycopersicon esculentu*) สดอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90 วัน จากตลาดเทศบาล อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยเก็บไว้ไม่เกิน 3 วันก่อนการทดลอง จากนั้นล้างและผึ่งให้แห้ง ทำการแบ่งมะเขือเทศสดออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ มะเขือเทศสด มะเขือเทศสำหรับนำไปทำแห้งแบบอบลมร้อน และมะเขือเทศสำหรับนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยแต่ละส่วนชั่งน้ำหนักให้ได้ 20 กรัม วิธีการแปรรูปโดยการทำแห้งแบบอบลมร้อน ด้วยนำมะเขือเทศสดผ่าเป็น 2 ซีก วางเรียงบนถาด จากนั้นนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) รุ่น UFE 500 ยี่ห้อ Memmert ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ความชื้นหลังอบแห้ง 26.80%) นำมะเขือเทศที่แห้งแล้วใส่ถุงหุ้มด้วยฟลอยด์เก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปวิเคราะห์ วิธีการแปรรูปโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ผ่ามะเขือเทศสดเป็น 2 ซีก วางเรียงบนถาด จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อด้วยนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) รุ่น Cool safe 55-80 PRO ยี่ห้อ Scanvac เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ความชื้นหลังทำแห้ง 25.64%)

2. การเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์

นำมะเขือเทศเชอรี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป 20 กรัมและที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาทำการเติมน้ำกลั่น 26 มิลลิลิตรและปั่นผสมโดยใช้เครื่องปั่นผสมที่ความเร็วรอบ 7000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 3400xg เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนใสมาทำการปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสก่อนนำไปวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content)

วิเคราะห์โดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method (Aguilar-Garcia et al., 2007) นำสารละลาย Folin-ciocalteu ที่ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน (1:9 v/v) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร มาเติมตัวอย่างปริมาตร 60 ไมโครลิตร นำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2Co_3) ความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Spectronic Helios Zeta ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณฟีนอลทั้งหมดเทียบกับปริมาณกรดแกลลิกของสารละลายมาตรฐาน (gallic acid equivalent- GAE) ต่อน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ 100 กรัม

4. วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content)

วิเคราะห์โดยวิธี Aluminium chloride colorimetric method (Zhishen et al., 1999) นำตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมไนไตร์ท ($NaNO_3$) ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 75 ไมโครลิตร

ทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมอะลูมินัมคลอไรด์ ($AlCl_3$) ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 โมลลาร์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ทำการผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ผลที่ได้แสดงเทียบกับปริมาณเคอร์ซิติน (quercetin equivalent-QE) ของสารละลายมาตรฐานต่อน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ 100 กรัม

5. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (Total lycopene content)

วิธีการดัดแปลงจาก Choudhari and Ananthanarayan (2007) นำตัวอย่างมาบดกับโกร่ง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 26 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายผสม Hexane:Acetone:Ethanol (2:1:1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที รอให้แยกชั้น ดูดสารละลายเฮกเซนสีแดงส้มไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร คำนวณดังนี้

ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด = (A_{503} x D x ปริมาณสารสกัด x 10)/E^{1}%1cm (mg/g sample)

เมื่อ

A_{503} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร

D คือ ค่าการเจือจางตัวอย่าง

E^{1}%1cm คือ ค่าสัมประสิทธิ์จำเพาะของไลโคปีน เท่ากับ 3450

6. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS

โดยวิธีของ Shalaby et al. (2012) ผสมสารละลาย ABTS กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ในอัตราส่วน 1:0.5 ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 12-16 ชั่วโมง เจือจางสารละลาย ABTS (ที่ผสมแล้ว) ด้วยเอทานอล วัดค่าการดูดกลืนแสงให้อยู่ในช่วง 0.7±0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ปิเปตตัวอย่าง 900 ไมโครลิตร เติม ABTS (ที่ผสมแล้ว) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร คำนวณการยับยั้งดังนี้

$$\text{ABTS (\%inhibition)} = \frac{Ac - As \times 100}{Ac}$$

เมื่อ Ac คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ABTS

As คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

7. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide ; O_2^-)

โดยดัดแปลงจาก Wang et al. (2009) ปิเปตสารละลาย Tris-HCl ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลลาร์ pH 8.2 ปริมาตร 5.6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมตัวอย่างปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เติม Pyrogallol ความเข้มข้น 0.95 มิลลิโมลลาร์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร คำนวณหากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละของการยับยั้งของตัวอย่างเทียบกับหลอดควบคุม

$$\text{Superoxide (\%inhibition)} = \frac{Ac - As \times 100}{Ac}$$

เมื่อ Ac คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

As คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

8. การย่อยแบบจำลอง (*In vitro* digestion)

โดยวิธีของ Chen et al. (2017) นำมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป ปริมาณ 20 กรัม มาทำการเติมน้ำ 20 มิลลิลิตรและปั่นผสมโดยใช้ เครื่องปั่นผสมที่ความเร็วรอบ 7000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นทำการปรับส่วนผสมให้มี pH เป็น 2 โดยใช้ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 โมลลาร์ เติม pepsin 6000 Unit (25.2 มิลลิกรัม) นำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นปรับ pH เป็น 6.5 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 1 โมลลาร์ แล้วเติม Pancreatin ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3400xg เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนใสมาทำการปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณและกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

9. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มะเขือเทศเชอรี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปและที่ผ่านกระบวนการแปรรูป 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน

และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ก่อนและหลังกระบวนการย่อยแบบจำลอง นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาหาค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้ One-way Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

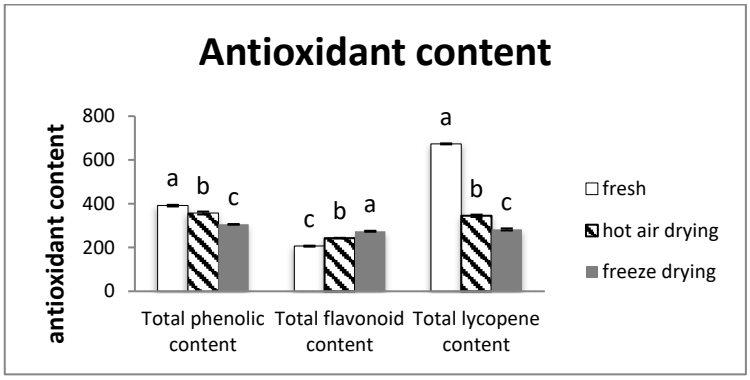
ผลการวิจัย

1. ผลของการแปรรูปต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศเชอรี่

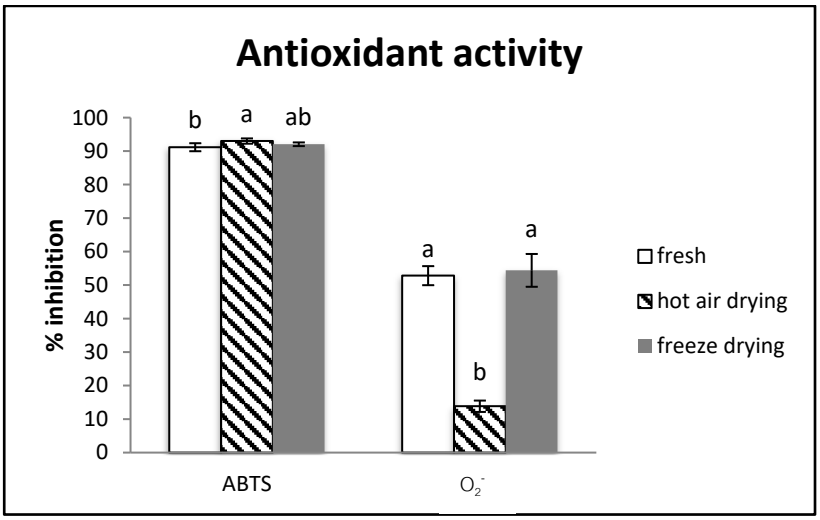
จากการศึกษาผลของการแปรรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เปรียบเทียบกับตัวอย่างมะเขือเทศสด ต่อปริมาณและกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปทั้ง 2 วิธีส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลและไลโคปีนทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด โดยปริมาณสารฟีนอลลดลงคิดเป็น 8.65% และ 21.87% และ ไลโคปีนลดลงคิดเป็น 48.80% และ 58.02% จากมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบอบลมร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1 ในขณะที่การแปรรูปทั้งสองวิธีส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คิดเป็น 17.51% (ทำแห้งแบบอบลมร้อน) และ 32.73% (ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด

2. ผลของการแปรรูปต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และ Superoxide; O_2^-

จากการศึกษาผลของการแปรรูปต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS พบว่า ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ในมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คิดเป็นร้อยละ 2.3 เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น ไม่มีความแตกต่างกันกับมะเขือเทศสด ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์พบว่า การแปรรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อนทำให้การยับยั้งอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คิดเป็นร้อยละ 73.77 เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งการยับยั้งอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันกับมะเขือเทศสด



รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระแต่ละชนิดในมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป (ทำแห้งแบบอบลมร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) $^{a-c}$ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ ของสารต้านอนุมูลอิสระแต่ละชนิดในมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป (Total phenolic content unit: mg GAE/100g dry weight; Total flavonoid content unit: mg QE/100g dry weight; Total lycopene content unit: mg/100g dry weight)



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมการยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS and superoxide; O_2^-) ในมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการแปรรูป (ทำแห้งแบบอบลมร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) [a-b] แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ ของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระแต่ละชนิดในมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป

3. ผลของกระบวนการย่อยแบบจำลองต่อปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาผลของกระบวนการย่อยแบบจำลองต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดในมะเขือเทศสดและที่ผ่านการแปรรูป พบว่าหลังผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง มะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป มีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนย่อย คิดเป็น 19.3% (สด), 18.32% (ทำแห้งแบบอบลมร้อน) และ 28.32% (ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) สำหรับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่าหลังย่อยมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง โดยมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนย่อย คิดเป็น 154.65% และ 4.13% ตามลำดับ ในขณะที่มะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบอบลมร้อนมีปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลง คิดเป็น 44.49% ปริมาณไลโคปีนทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลองในมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูป พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนย่อย คิดเป็น 22.43% (สด), 65.19% (ทำแห้งแบบอบลมร้อน) และ 178.34% (ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) ดังแสดงในตารางที่ 1 จากการศึกษาผลของกระบวนการย่อยแบบจำลองต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง มะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปทั้งสองวิธีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนย่อย คิดเป็น 7.7%, 80.05% และ 29.72% ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับ ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ของมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า หลังผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คิดเป็น 29.27% และ 18.87% ตามลำดับ ในขณะที่มะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนย่อย คิดเป็น 33.93%

ตารางที่ 1 ปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านการ ทำแห้งแบบอบลมร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทั้ง ก่อนและหลังการย่อยแบบจำลอง

ตัวอย่างมะเขือเทศ	ก่อนการย่อยแบบจำลอง	หลังการย่อยแบบจำลอง
Total phenolic content (mg GAE/100 g dry weight)		
สด	391.65± 3.55 [aA]	316.02±0.59 [aB]
ทำแห้งแบบอบลมร้อน	357.79±6.53 [bA]	292.22±5.00 [bB]
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	305.98± 1.48 [cA]	219.32±2.6 [cB]
Total flavonoid content (mg QE/100 g dry weight)		
สด	206.55±2.01 [cB]	525.98±8.88 [aA]
ทำแห้งแบบอบลมร้อน	242.71±1.56 [bA]	134.72±4.15 [cB]
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	274.16±2.19 [aB]	285.49±2.28 [bA]
Total lycopene content (mg/100g dry weight)		
สด	673.55±2.40 [aB]	824.60±2.12 [aA]
ทำแห้งแบบอบลมร้อน	344.87±5.26 [bB]	824.60±2.12 [aA]
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	282.75±5.04 [cB]	787.00±1.58 [bA]
ABTS (%inhibition)		
สด	91.16±1.19 [bA]	84.14±1.04 [aB]
ทำแห้งแบบอบลมร้อน	93.01±0.79 [aA]	18.55±2.79 [cB]
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	92.05±0.56 [aA]	64.69±1.63 [bB]
Superoxide (%inhibition)		
สด	52.81±2.48 [aA]	37.35±2.17 [bB]
ทำแห้งแบบอบลมร้อน	13.85±1.70 [bB]	49.20±3.02 [aA]
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	54.42±4.90 [aA]	13.13±1.82 [cB]

[a-c] หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ ของแต่ละวิธีการวิเคราะห์ภายในคอลัมน์เดียวกัน

[A-B] แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกระบวนการก่อนและหลังการย่อยแบบจำลองในแถวเดียวกัน (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)

วิจารณ์ผลการวิจัย

การแปรรูปมะเขือเทศเชอรี่โดยการทำแห้งแบบอบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลต่อปริมาณและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับมะเขือเทศสดในทิศทางทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง โดยปริมาณฟีนอลและไลโคปีนทั้งหมดลดลงเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอล ได้แก่ อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น (ศรัณย์ และคณะ, 2555) โดยปริมาณฟีนอลทั้งหมดที่ลดลงนั้นอาจเนื่องมาจากการเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลด้วยความร้อน สอดคล้องกับ พงศธร และคณะ (2551) รายงานว่าการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลง นอกจากนี้การสูญเสียของปริมาณฟีนอลทั้งหมด อาจเกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Del Caro et al., 2004) เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยมีสารตั้งต้นคือสารประกอบฟีนอลร่วมกับออกซิเจน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวกับเอนไซม์นี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเกิดการช้ำ ฉีกขาด เมื่อถูกกระแทก บด หั่น หรือสับ โดยเฉพาะในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำแห้ง ทำให้

เอนไซม์ดังกล่าวกับสารประกอบฟีนอลและออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกันเกิดเป็นสารโมโนฟีนอล (ไม่มีสี) และจะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอลซึ่งไม่มีสีและถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o- quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาลและจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีสีน้ำตาล ส่วนปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic maillard reactions) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์กับกรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา ผลิตผลที่ได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นสารประกอบหลายชนิดที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่าง ๆ ทั้งที่พึงประสงค์และไม่พึงประสงค์ เช่น สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการอบ การทอด ดังนั้นการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดการออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล จึงทำให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลง อย่างไรก็ตามการแปรรูปโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงได้เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นไปได้ว่าในระหว่างกระบวนการการแช่เยือกแข็งนั้น เซลล์ของมะเขือเทศถูกทำลาย ทำให้โครงสร้างเซลล์เกิดความเสียหาย จึงเกิดการรวมตัวกันของเอนไซม์บางชนิด สารตั้งต้นและตัวกระตุ้น ส่งผลให้เอนไซม์มีกิจกรรมเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวของสารฟีนอลได้ (Shofian et al., 2011) และสารประกอบฟีนอลสามารถละลายในน้ำได้ ดังนั้นจึงทำให้สารประกอบฟีนอลที่ละลายอยู่ในน้ำสูญเสียไป (Donovan et al., 1998) ในส่วนของปริมาณฟลาโวนอยด์ การแปรรูปทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของฟลาโวนอยด์เป็นไปได้ว่า อาจเกิดจากการเปลี่ยนของสารประกอบในกลุ่มสารฟีนอลที่จับกับโมเลกุลของน้ำตาลไปเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลอิสระ (กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์หรือสารอื่นๆ) โดยความร้อนจากการแปรรูปด้วยวิธีต่างๆ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sharma et al. (2015) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณฟีนอล ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในหัวหอม 6 สายพันธุ์ พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส 30 นาที ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส ในส่วนผลของการแปรรูปต่อปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ พบว่า มะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปทั้งสองวิธีมีปริมาณไลโคปีนทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คิดเป็น 48.80% และ 58.02% เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด การลดลงของไลโคปีน เกิดจากการที่เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น เบต้าแคโรทีนและไลโคปีนสามารถสลายตัวเนื่องจากความร้อน (Lee and Chen 2002) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Engin et al. (2013) พบว่ามะเขือเทศที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนลดลงเมื่อเทียบกับผลสด เช่นเดียวกับการแปรรูปด้วยวิธีการการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่ามีประมาณไลโคปีนลดลงเมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang et al. (2006) ที่ได้ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบอบลมร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าประมาณไลโคปีนลดลงเมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด ทั้งนี้การลดลงของไลโคปีนในมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัดและจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ พบว่า การทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อนมีผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าสารสำคัญที่ไปกำจัดอนุมูลอิสระดังกล่าวส่วนใหญ่ไม่สามารถทนความร้อนได้จึงทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ลดลงและเมื่อนำมะเขือเทศสดและที่ผ่านการแปรรูปมาผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลองพบว่าปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงหลังผ่านกระบวนการย่อย อาจเนื่องมาจากความไม่คงตัวของสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในสภาวะที่มีค่าความเป็นด่าง โดยโมเลกุลฟีนอลที่มีขนาดใหญ่จะมีความคงตัวมากกว่าแต่เมื่อถูกไฮโดรไลท์จะทำให้เกิดเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ อย่างเช่น gallic acid ซึ่งจะทำให้ไม่มีความคงตัว (Friedman and Jurgens, 2000) ตรงกันข้ามเมื่อมะเขือเทศผ่านกระบวนการย่อยปริมาณฟลาโวนอยด์จะเพิ่มสูงขึ้นในตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากความคงตัวของฟลาโวนอยด์ เมื่อผ่านกระบวนการย่อย จะเกี่ยวข้องกับพันธะเบต้าไกลโคไซด์ระหว่างคาร์โบไฮเดรตกับอะไกลโคน ซึ่งจะไม่ถูกทำลายด้วยเอนไซม์ในระหว่างกระบวนการย่อย (Kumar and Pandey, 2013) ในกรณีปริมาณไลโคปีนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการย่อย เนื่องจากกระบวนการย่อยทำให้ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย เกิดการปลดปล่อยไลโคปีนที่แทรกอยู่ตามผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออก (Palmero et al., 2016) อย่างไรก็ตามปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงหลังผ่านกระบวนการย่อยแต่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยส่วน

ใหญ่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการยับยั้งอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลบนวงแหวนอะโรมาติกของสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งความเป็นกรดจะไม่ทำให้เกิดการให้ไฮโดรเจนอะตอมที่อยู่บนวงแหวนอะโรมาติกของสารต้านอนุมูลอิสระ และการเปลี่ยนสภาวะจากกรด (กระเพาะอาหาร) สู่ความเป็นด่าง (ลำไส้เล็ก) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลฟีนอล จึงทำให้ไอออไนเซชันของหมู่ไฮดรอกซิลเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระจะลดลงเมื่อเปลี่ยนจากสภาวะกรดไปเป็นด่าง แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นด่าง (ลำไส้เล็ก) (Tagliazucchi et al., 2010) จากผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. (2014) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการย่อยแบบจำลองในผลไม้ 30 ชนิด ซึ่งพบว่ามีผักผลไม้ 5 ชนิด มีกิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ลดลงหลังผ่านการย่อยแบบจำลอง ยกเว้นการทำแห้งแบบอบลมร้อน มีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนย่อย การเพิ่มขึ้นของร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์เนื่องจากสารสำคัญที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ในมะเขือเทศที่ยังหลงเหลืออยู่ถูกกระตุ้นให้เกิดการทำงานจากเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการย่อย (pepsin, pancreatin) จึงทำให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีการแปรรูป 2 วิธี คือ การแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบอบลมร้อน และการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การแปรรูปส่งผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (ฟีนอลทั้งหมดและไลโคปีนทั้งหมด) ลดลง แต่ปริมาณ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เพิ่มขึ้นในมะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนแต่ไม่มีความแตกต่างกับมะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ มีเพียงการแปรรูปแบบอบลมร้อนเท่านั้นที่ทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อเทียบกับมะเขือเทศสด ผลของกระบวนย่อยแบบจำลองต่อปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงแต่ปริมาณฟลาโวนอยด์ (เฉพาะมะเขือเทศสดและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) และไลโคปีนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารก่อนผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และ O_2^- (ยกเว้นมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบอบลมร้อน) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับก่อนผ่านกระบวนการย่อยแบบจำลอง ดังนั้นการแปรรูปและกระบวนการย่อยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งในทิศทางที่เพิ่มขึ้นและลดลงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

พงศธร ล้อสุวรรณ, จิตศิริ รัชตนพันธุ์ และศศิธร จันทนวรางกูร. (2551). สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้. ใน: การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 46. กรุงเทพฯ: 554-561.

ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2555). องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะม่วงหิมพานต์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(2)(พิเศษ): 409-412.

Afrin, S., Gasparrini, M., Forbes-Hernandez, T. Y., Reboredo-Rodriguez, P., Mezzetti, B., Varela-Lopez, A., Giampieri, F and Battino, M. (2016). Promising Health Benefits of the Strawberry: A Focus on Clinical Studies. Journal of Agricultural and Food Chemistry 64(22): 4435-4449.

Aguilar-Garcia, C., Gavino, G., Baragaño-Mosqueda, M., Hevia, P. and Gavino, V. C. (2007). Correlation of tocopherol, tocotrienol, γ-oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant capacity assays. Food Chemistry 102(4): 1228–1232.

Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., and de Vos, R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. J Agric Food Chemistry 56(3): 964-973.

Chen, G. L., Chen, S. G., Zhao, Y. Y., Luo, C. X., Li, J., and Gao, Y. Q. (2014). Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion. Industrial Crops and Products 57: 150-157.

Chen, W., Su, H., Xu, Y. and Jin, C. (2017) *In vitro* gastrointestinal digestion promotes the protective effect of blackberry extract against acrylamide-induced oxidative stress. Scientific Reports 7(40514): 1-11.

Choudhari, S. M. and Ananthanarayan, L. (2007). Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. Food Chemistry 102(1): 77-81.

Dai, Z., Wang, R., Ang, L. W., Low, Y. L., Yuan, J. M., and Koh, W. P. (2014). Protective effects of dietary carotenoids on risk of hip fracture in men: the Singapore Chinese Health Study. The Journal of Bone and Mineral Research 29(2): 408-417.

Del Caro, A., Piga, A., Pinna, I., Fenu, P. M., and Agabbio, M. (2004). Effect of drying conditions and storage period on polyphenolic content, antioxidant capacity, and ascorbic acid of prunes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52(15): 4780-4784.

Donovan, J. L., Meyer, A. S., and Waterhouse, A. L. (1998). Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Prunes and Prune Juice (*Prunus domestica*). J Agric Food Chemistry 46(4): 1247-1252.

Engin, D., Yahya, T. and Yusuf, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, ß-carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. LWT - Food Science and Technology 50: 172-176.

Friedman, M., and Jurgens, H. S. (2000). Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48(6): 2101-2110.

Katie, P. S., Peter, F. S., Brian, K. S., and Nick, H. C. S. (2003). Antioxidant-Prooxidant Balance in the Intestine: Food for Thought 1. Prooxidant. Nutritional Genomics and Functional Foods 1: 51-70.

Kumar, S., and Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. Scientific World Journal 162750: 1-16.

Lapnitiporn, S., Laohakunjit, N., and Kerdchoechuen, O. (2012). Physico-Chemical Composition and Antioxidant Activity of Cashew Apple Juice. Agricultural Science Journal 43: 409-412.

Lee, M.T. and Chen, B.H. (2002). Stability of lycopene during heating and llumination in a model system. Food Chemistry 78: 425-432.

Palmero, P., Colle, I., Lemmens, L., Panozzo, A., Nguyen, T. T., Hendrickx, M., and Van Loey, A. (2016). Enzymatic cell wall degradation of high-pressure-homogenized tomato puree and its effect on lycopene bioaccessibility. Journal of the Science of Food and Agriculture 96(1): 254-261.

Pavan, V., Sancho, R. A. S., and Pastore, G. M. (2014). The effect of in vitro digestion on the antioxidant activity of fruit extracts (*Carica papaya, Artocarpus heterophillus* and *Annona marcgravii*). LWT - Food Science and Technology 59(2): 1247-1251.

Shalaby, E. A. and Shanab, S. M. M. (2012). Comparison of DPPH and ABTS assays for determining antioxidant potential of water and methanol extracts of Spirulina platensis. Indian Journal of Marine Sciences 42(5): 556-564.

Sharma, K., Ko, E. Y., Assefa, A. D., Ha, S., Nile, S. H., Lee, E. T., and Park, S. W. (2015). Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. Journal of Food and Drug Analysis 23(2): 243-252.

Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Dek, M. S. P., and Hairuddin, M. R. (2011). Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. International Journal of Molecular Sciences 12(7): 4678-4692.

Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., and Conte, A. (2010). *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. Food Chemistry 120(2): 599-606.

Wang, A. N., Yi, X. W., Yu, H. F., Dong, B. and Qiao, S. Y. (2009). Free radical scavenging activity of Lactobacillus fermentum in vitro and its antioxidative effect on growing–finishing pigs. Journal of Applied Microbiology 107: 1140–1148.

Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. (1999). The determination of Flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry 64: 555–559.

❑❑❑❑❑