

ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการแห้ง
สารพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลไซ้เน่า

EFFECT OF TEMPERATURE ON DRYING RATE, PHYTOCHEMICALS
AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES IN *VITEX GLABRATA* R. BR. FRUIT

ทิพย์วรินทร์ รีมลำดวน¹ พลเดช เวชสุวรรณ² อรไพลิน สมพีรพันธุ์² นิสา ร่มสัมชา¹
นัฏฐา คเชนทร์ภักดี³ และน้ำฝน ไทยวงษ์^{2*}
Thipwarin Rimlamduan¹, Poladej Wechsuwan², Onpilin Sompeerapun²,
Nisa Romsomsa¹, Natta Kachenpukdee³ and Numphon Thaiwong^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งผลไซ้เน่า โดยพิจารณาจากอัตราการแห้ง ปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลไซ้เน่าอบแห้ง กำหนดอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการแห้งทุก 1 ชั่วโมง ใน 5 ชั่วโมงแรก และเก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 15 ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งผลไซ้เน่าทุกอุณหภูมิมีอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 1 ถึง 5 การอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง มีอัตราการแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 11.64 ± 0.01 กรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้งต่อชั่วโมง ($P \geq 0.05$) อัตราการอบแห้งของผลไซ้เน่าทั้งสามอุณหภูมิที่เวลา

¹คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Muang District, Nakhon Ratchasima Province 30000

²คณะนวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

²Faculty of Agricultural Innovation and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Muang District, Nakhon Ratchasima Province 30000

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง วิทยาเขตตรัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92510

³Faculty of Science and Fisheries Technology, Trang Campus, Rajamangala University of technology Srivijaya, Sikao District, Trang Province 92150

*corresponding author e-mail: numphon.th@rmuti.ac.th

Received: 9 January 2024; Revised: 20 March 2024; Accepted: 24 March 2024DOI:

<https://doi.org/10.14456/lsej.2024.9>

15 ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 3.33 ± 0.01 ถึง 5.30 ± 0.09 กรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้งต่อชั่วโมง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผลไซเนอบแห้งที่ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 291.92 ± 13.87 ถึง 313.39 ± 24.90 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($P < 0.05$) ผลไซเนอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 371.21 ± 16.26 ไมโครกรัมสมมูลของไซยานินดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันผลไซเนอบแห้งทุกอุณหภูมิด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีค่าใกล้เคียงกัน ($P < 0.05$) ระหว่าง 80.47 ± 0.08 ถึง 80.64 ± 0.05 มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และ 7.21 ± 0.16 ถึง 8.32 ± 0.30 ไมโครกรัมสมมูลโทรลอคซ์ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลไซเนอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ต่ำที่สุด ($P \geq 0.05$)

คำสำคัญ: ผลไซเนอบแห้ง สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

Abstract

This research aimed to study the optimum temperature for drying *Vitex glabrata* R. Br. Fruit by drying rate, phytochemicals, and antioxidant activities at 45, 55 and 65°C for 15 hours. The sample for drying rate analysis was organized by sampling every hour in the first 5 hours and afterwards every 2 hours until the 15th hour. The result showed that drying *V. glabrata* R. Br. fruit at all drying temperatures rapidly decreased the moisture ratio in the 1st to 5th hours. Drying at 65°C for 5 hours indicated the highest drying rate of 11.64 ± 0.01 g water/g dry matter/hr ($P \geq 0.05$). The drying rates of *V. glabrata* R. Br. fruit at three temperatures for 15 hours ranged from 3.33 ± 0.01 to 5.30 ± 0.09 g water/g dry matter/hr. The phenolic content of *V. glabrata* R. Br. fruit dried at 45, 55, and 65°C had similar values between 291.92 ± 13.87 and 313.39 ± 24.90 mg GAE/g DW ($P < 0.05$). *V. glabrata* R. Br. fruit dried at 65°C revealed the highest total anthocyanin at 371.21 ± 16.26 µg CGE/g DW. The antioxidant activity test of *V. glabrata* R. Br. fruit dried at all drying temperatures by DPPH and FRAP methods showed similar values ($P < 0.05$) between 80.47 ± 0.08 to 80.64 ± 0.05 mg GAE/g DW and 7.21 ± 0.16 to 8.32 ± 0.30 µg Trolox/g DW. However, *V. glabrata* R. Br. fruit dried at 65°C, and the antioxidant activity test by ABTS assay had the lowest value ($P \geq 0.05$).

Keywords: *vitex glabrata*, phenolic content, anthocyanin content, antioxidant activity

บทนำ

ไผ่เน่า (*V. glabrata* R. Br.) เป็นสมุนไพรที่พบในบางพื้นที่ของประเทศไทย (Intarasam et al., 2020) ได้แก่ ภาคกลาง (สุพรรณบุรี นครปฐม) ภาคตะวันออก (ปราจีนบุรี) ภาคอีสาน (เลย อุบลราชธานี สุรินทร์) ไผ่เน่ามีชื่อเรียกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ เช่น ชี้เห็น ปลู คมขวาน ฝรั่งเศส (Technologychaoban, 2022) ไผ่เน่าเป็นไม้ยืนต้นที่มีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ผลไผ่เน่ามีลักษณะเป็นรูปไข่ ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกจะมีสีม่วงดำและมีเนื้ออ่อนนุ่ม (Kamphaengphet Rajabhat University, 2020) มีขนาดประมาณ 1.5 เซนติเมตร X 3.0 เซนติเมตร ผลไผ่เน่าสุกมีรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นรสคล้ายผลพุทราพื้นเมือง ผลไผ่เน่าสุกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 335.33–408.93 mg GAE/g extract (Kumboonma & Sombatsri, 2019) สารสกัดจากผลไผ่เน่ามีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง (Intarasam et al., 2020) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลไผ่เน่ามีไม่มากนัก โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาสรรพคุณของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไผ่เน่า เช่น สารสกัดจากใบไผ่เน่ามีฤทธิ์ต้านอาการอักเสบ ต้านฮอโมนเอสโตรเจน ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปกป้องตับจากสารพิษได้ (Chouhan et al., 2012; Thengyai et al., 2020) สารสกัดจากเปลือกต้นไผ่เน่ามีสรรพคุณเป็นยาสมานแผล แก้โรคกระเพาะและลำไส้ และฆ่าพยาธิ รวมถึงมีฤทธิ์ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ α -glucosidase และ α -amylase ซึ่งเชื่อมโยงถึงการต้านเบาหวานได้ (Thengyai et al., 2020) สารสกัดจากผลของ *V. Doniana* ซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกับไผ่เน่ามีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และสามารถหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน ปฏิกิริยาลิพิดเพอรอกซิเดชัน (lipid peroxidation) และการแตกหักของดีเอ็นเอในตับจากการที่ยาพาราเซตามอลเหนี่ยวนำให้เกิดพิษต่อตับ (acetaminophen-induced hepatotoxicity) (Ajiboye, 2015) การบริโภคไผ่เน่าส่วนใหญ่เป็นการบริโภคผลสด ผลไผ่เน่ามีขายตามตลาดสด และแพลตฟอร์มออนไลน์ ซึ่งจะขายตามฤดูที่ออกผล ปัจจุบันไผ่เน่าเป็นพืชที่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกเป็นพืชสมุนไพรเนื่องจากมีงานวิจัยสนับสนุนความเป็นโภชนเภสัช นอกจากนี้เปลือกต้นไผ่เน่ามีสารประกอบ 20-ไฮดรอกซีเอคโดไซน (20-hydroxyecdysone) สารดังกล่าวเป็นสารตั้งต้นหลักในการสังเคราะห์สารประกอบบราสสิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroid-mimic compound) ซึ่งเป็นสเตียรอยด์ฮอโมนจากพืชที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญของพืช ได้แก่ ส่งเสริมการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของราก และการสุก การยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว และการรักษาคุณภาพการเก็บรักษาของผักและผลไม้ (Promnikorn et al., 2019; Hu et al., 2021) จึงกล่าวได้ว่าต้นไผ่เน่าช่วยส่งเสริมให้เกิดเกษตรกรรมที่ยั่งยืน การส่งเสริมการปลูกไผ่เน่าจะทำให้เกิดระบบการผลิตทางการเกษตรเกิดความสมดุล ในด้านสิ่งแวดล้อมการปลูกไผ่เน่าจะช่วยลดการใช้ฮอโมนเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตจากพืช เพิ่มพื้นที่สีเขียว ด้านเศรษฐกิจสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิต และด้านสังคมที่สืบเนื่องมาจากการลดค่าใช้จ่ายในด้านการผลิตส่งผลให้ภาวะเศรษฐกิจในครัวเรือนและสังคมดีขึ้น จากการส่งเสริมการปลูกต้นไผ่เน่าในประเทศไทยงานวิจัยนี้จึงสนใจแนวทางในการแปรรูปผลไผ่เน่าด้วยการอบแห้ง เพราะการอบแห้งเป็นการแปรรูปพื้นฐานที่ง่าย สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ รักษาคุณภาพตัวอย่าง และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบทางเคมีในตัวอย่างนั้น ๆ ได้

อย่างไรก็ตาม การอบแห้งส่งผลให้สารพฤกษเคมีเสื่อมสภาพ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของตัวอย่างลดลง (ElGamal et al., 2023) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งผลไม้น้ำจากอัตราการทำแห้ง ปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลไม้น้ำอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส งานวิจัยนี้ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการรายย่อยสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้มาใช้เป็นแนวทางในการแปรรูปผลไม้น้ำได้อีก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างและอบแห้ง

นำผลไม้น้ำสดจากพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ล้างให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ ผ่าเอาเมล็ดออก และหั่นเฉพาะเนื้อขนาด $0.75 \times 0.75 \times 0.25$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ศึกษาอัตราการทำแห้งโดยสุ่มชั่งน้ำหนักผลไม้น้ำ 100 กรัม เป็นน้ำหนักเริ่มต้น นำผลไม้น้ำอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (tray dryer) ที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส กำหนดความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที ความชื้นสัมพัทธ์ 55% สุ่มชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง ใน 5 ชั่วโมงแรก จากนั้นสุ่มทุก 2 ชั่วโมง จนครบ 15 ชั่วโมง นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio; MR) ปริมาณน้ำที่ระเหย (amount of water evaporated) และอัตราการทำแห้ง (drying rate) ดังสมการที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ตามวิธีของ Thaiwong et al. (2023)

$$\text{Moisture ratio} = (MC_t - MC_{eq}) / (MC_0 - MC_{eq}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Amount of water evaporated (g water/g dry matter)} = MC_{(t+\Delta t)} - MC_t \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Drying rate (g water/g dry matter/hr)} = (MC_{(t+\Delta t)} - MC_t) / \Delta T \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ MC_t คือ ความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (g water/g dry matter); MC_0 คือ ความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาเริ่มต้น มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (g water/g dry matter); MC_{eq} คือ ความชื้นสมดุลผลิตภัณฑ์ที่สภาวะนั้น ๆ มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (g water/g dry matter); $MC_{(t+\Delta t)}$ คือ ความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ บวกกับช่วงเวลาการบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์ มีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (g water/g dry matter); ΔT คือ ช่วงเวลาการบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์ (ชั่วโมง); อัตราการทำแห้ง (drying rate) หน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้งต่อชั่วโมง (g water/g dry matter/hr)

เมื่อครบเวลาการอบแห้ง 15 ชั่วโมง วัดปริมาณน้ำอิสระ หรือ a_w (LabTouch- a_w , Novasina, Switzerland) ตัวอย่างอบแห้ง และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมสารสกัดจากผลไซ้เน่า

ซึ่งตัวอย่างไซ้เน่าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งชั่วโมงที่ 15 น้ำหนัก 1 กรัม ผสมกับ 50% Ethanol ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าอย่างต่อเนื่อง (Orbital Shaker KS 130 control, IKA, Germany) นาน 30 นาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 (Whatman No. 2, England) และนำสารละลายไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ (รุ่น Rotavapor® R-100, BUCHI, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างแห้งติดกับขวดระเหยสาร (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที) และเติมน้ำ DI ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมกับตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารสกัดจากผลไซ้เน่า

3. การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ปิเปตสารสกัด หรือสารละลายมาตรฐานปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมน้ำ DI ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติม 1% Folin & Ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich, USA) 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 5 นาที เติม 7.5% sodium carbonate (Loba Chemie™, India) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 90 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง 765 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสมการที่ได้จากกราฟสารละลายกรดแกลลิกที่เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (mg GAE/g DW) ดัดแปลงวิธีของ Thaiwong et al. (2022)

4. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method

ปิเปตสารสกัด 800 ไมโครลิตร เจือจางสารสกัดโดยปรับปริมาตรด้วย 0.025 M Potassium Chloride buffer (pH 1.0) หรือ 0.4 M Sodium acetate buffer (pH 4.5) เป็น 10 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 15 นาที นำสารสกัดที่เจือจางด้วยบัฟเฟอร์ 2 ชนิด ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 510 และ 700 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงมาปริมาณแอนโทไซยานินดังสมการที่ 4 และ 5 โดยมีหน่วยเป็นไมโครกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{g CGE/g DW}$) เนื่องจากไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์เป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบมากในพืช (Khoo et al., 2017) ตามวิธีของ Matthayom et al. (2019)

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Anthocyanin content} = [(A \times \text{Mw} \times \text{dilution factor} \times 100)] / \epsilon \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ A คือ ผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างในบัฟเฟอร์ pH 1.0 และ 4.5; A_{510} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างที่ 510 นาโนเมตร; A_{700} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างที่ 700 นาโนเมตร; Mw คือ มวลโมเลกุลไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เท่ากับ 449.2 กรัมต่อโมล (g/M); ϵ คือ molar absorptivity ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแอนโทไซยานินและตัวทำละลาย โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ในบัฟเฟอร์ pH 1.0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26,900 เซกซ์หนึ่งส่วนโมลาร์ต่อเซนติเมตร (1/M·cm)

5. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

5.1 วิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay)

ปีเปตสารสกัดหรือสารละลายมาตรฐาน 1 มิลลิตร ผสมกับ 0.2 mM 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (Sigma-Aldrich, USA) ใน Absolute ethanol ปริมาตร 3 มิลลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง 517 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดค่าได้ไปคำนวณหาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันโดยจากสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่เป็นสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (mg Ascorbic acid/g DW) ตามวิธีของ Thaiwong et al. (2022)

5.2 วิธี ABTS Radical Scavenging Activity (ABTS assay)

เตรียมสารละลาย ABTS ตามวิธีของ Matthayom et al. (2019) ปีเปตสารสกัดหรือสารละลายมาตรฐาน 500 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 4.5 มิลลิตร เก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง 734 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดค่าได้ไปคำนวณหาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันโดยคำนวณจากสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของสารละลาย Trolox (Trolox) (Sigma-Aldrich, USA) ที่เป็นสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง โดยมีหน่วยเป็นไมโครกรัม Trolox ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{g Trolox/g DW}$)

5.3 วิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP assay)

เตรียมสารละลาย FRAP โดยผสม 300 mM sodium acetate buffer (pH 3.6) กับ 20 mM FeCl_3 และ 10 mM TPTZ (2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride) in 40 mM HCl อัตราส่วน 10:1:1 (v/v/v) ตามวิธีของ Rongsuphan & Kajorncheappunngam (2019) ปีเปตสารสกัดหรือสารละลายมาตรฐานปริมาตร 150 ไมโครลิตร เติมสารละลาย FRAP 1.5 มิลลิตร เก็บในที่มืดอุณหภูมิห้อง 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง 593 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดค่าได้ไปคำนวณหาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันโดยคำนวณจากสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของสารละลาย Trolox ที่เป็นสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง โดยมีหน่วยเป็นไมโครกรัม Trolox ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{g Trolox/g DW}$)

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. การอบแห้ง

อัตราส่วนความชื้น (MR) และอัตราการทำให้แห้งของผลไข่เน่าอบแห้งแสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1)

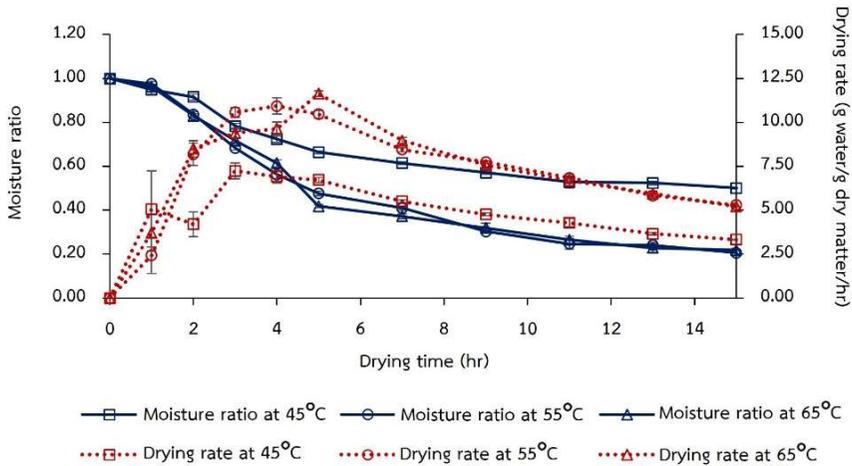


Figure 1 Moisture ratio and drying rate of dried *V. glabrata* R. Br. fruit at different temperatures

ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งผลไข่เน่าที่ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส มี MR ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่ 1 ถึง 5 โดย MR ของตัวอย่างที่ 55 และ 65 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกัน ตัวอย่างอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง มีอัตราการทำให้แห้งสูงที่สุดเท่ากับ 11.64 ± 0.01 กรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้งต่อชั่วโมง ($P \geq 0.05$) และชั่วโมงที่ 15 อัตราการอบแห้งของผลไข่เน่าที่ 45 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 3.33 ± 0.01 กรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้งต่อชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของผลไข่เน่าอบแห้ง 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ในช่วงสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 0.99 ± 0.1 , 0.84 ± 0.05 , 0.35 ± 0.1 และ 0.32 ± 0.01 ตามลำดับ

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดผลไข่เน่าที่อุณหภูมิอบแห้งต่างกันแสดงดังภาพที่ 2 (Figure 2) และตารางที่ 1 (Table 1)

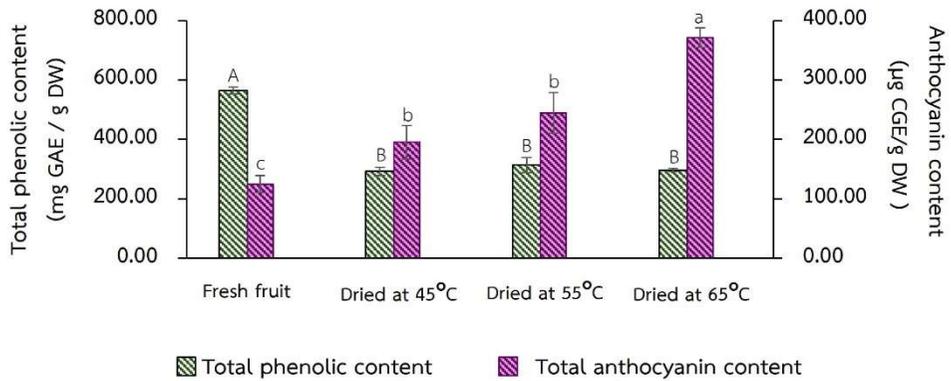


Figure 2 Total phenolic and anthocyanin contents of fresh and dried *V. glabrata* R. Br. fruit at different temperature

Table 1 Antioxidant activity of *V. glabrata* R. Br. at different drying temperatures in other methods

Sample	Antioxidant activity		
	DPPH	ABTS	FRAP
	(mg Ascorbic acid/g DW)	(µg Trolox/g DW)	(µg Trolox/g DW)
Fresh fruit	122.57±0.75 ^a	10.10±0.37 ^a	3.66±0.21 ^a
Dried at 45°C at 15h	80.54±0.05 ^b	8.32±0.30 ^b	1.53±0.07 ^b
Dried at 55°C at 15h	80.64±0.05 ^b	8.43±0.08 ^b	1.59±0.14 ^b
Dried at 65°C at 15h	80.47±0.08 ^b	7.21±0.16 ^c	1.58±0.02 ^b

Remark The letters “a, b, c” in each column indicate significant at p>0.05.

ผลการทดลองพบว่า ผลไซเนาสดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 564.33±11.15 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ผลไซเนาที่อบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 291.92±13.87 ถึง 313.39±24.90 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ (P<0.05) แอนโทไซยานินของผลไซเนาอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 371.21±16.26 ไมโครกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง จากการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP พบว่าผลไซเนาสดมีค่ามากที่สุด (P≥0.05) ขณะที่การทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของผลไซเนาอบแห้งที่ทุกอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน (P<0.05) อย่างไรก็ตาม ผลไซเนาอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส ที่ทดสอบด้วยวิธี ABTS มีค่าน้อยที่สุด

อภิปรายผล

การทำแห้งเป็นการกำจัดน้ำที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเพื่อระเหยน้ำและการเคลื่อนที่ของไอน้ำภายในตัวอย่างออกสู่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่างที่เกิดขึ้นพร้อมกัน (Berk, 2018) การเคลื่อนที่ของน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการระเหยน้ำมี 2 แบบ ได้แก่ การไหลออกแบบท่อแคปิลลารี (capillary flow mechanism) ที่น้ำจะเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างของเซลล์ ท่อส่งน้ำ และท่อแคปิลลารีในตัวอย่าง และการไหลออกแบบกระจายตัวซิมผ่าน (diffusion flow mechanism) ซึ่งน้ำจะกระจายตัวและซิมผ่านผนังเซลล์ การไหลออกแบบกระจายตัวซิมผ่านนี้จะเกิดขึ้นกับตัวอย่างที่มีโครงสร้างหรือเนื้อสัมผัสที่แน่นมาก (Chaiprasop, 2015) โดยทั่วไปอัตราการทำให้แห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ (constant rate period) 2) ช่วงอัตราการทำให้แห้งลดลงครั้งที่หนึ่ง (first falling rate period) และ 3) ช่วงอัตราการทำให้แห้งลดลงครั้งที่สอง (second falling rate period) (Rahman & Hasanuzzaman, 2022) จากภาพที่ 1 (Figure 1) พบว่า การอบแห้งผลไข่เน่าที่ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0-1 เป็นช่วงเริ่มต้นที่ตัวอย่างสัมผัสกับลมร้อน (preheat) ยังไม่เกิดการระเหยน้ำ การระเหยน้ำจะเริ่มขึ้นหลังการอบแห้งชั่วโมงที่ 1 ต่อเนื่องไปจนถึงชั่วโมงที่ 5 ช่วงเวลาดังกล่าวนี้อยู่ในช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ หลังจากชั่วโมงที่ 5-11 อัตราการทำให้แห้งอยู่ในช่วง first falling rate period ซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นของตัวอย่างเท่ากับความชื้นวิกฤต การเคลื่อนที่ของน้ำภายในตัวอย่างตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1-5 เป็นการเคลื่อนที่แบบ capillary flow mechanism เนื่องจากน้ำในตัวอย่างมีปริมาณมาก เมื่อผิวหน้าของตัวอย่างได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวของอากาศ เกิดความดันไอที่ต่างกัน จึงเกิดแรงดึงดูดให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นมาตามรูพรุน และเมื่อน้ำซิมผ่านออกมาบริเวณผิวหน้าของอาหารก็จะถูกลมร้อนพัดไป ทำให้บริเวณผิวหน้าของอาหารเกิดความดันไอน้ำต่ำ ทำให้เกิดแรงดันในการกำจัดน้ำออกจากตัวอย่าง ยิ่งอากาศขยายตัวมากขึ้นเท่าไร ก็ยังมีแรงดึงดูดในท่อเพิ่มขึ้น อัตราการระเหยน้ำจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อน้ำที่อยู่บริเวณรูพรุนถูกกำจัดหมดไป การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์จะเป็นแบบ diffusion flow mechanism (Chaiprasop, 2015; Rahman & Hasanuzzaman, 2022) และหลังชั่วโมงที่ 11-15 เป็นช่วง second falling rate period อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในตัวอย่างลดลงจากเดิม ความชื้นจะแพร่จากบริเวณที่มีความชื้นมากไปยังน้อยตามปรากฏการณ์ของแรงแคปิลลารีเช่นกัน แต่ความชื้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถึงสภาวะสมดุล (equilibrium condition) เมื่อตัวอย่างมีความชื้นต่ำสุด น้ำจะไม่สามารถระเหยออกมาได้อีกทำให้การอบแห้งสิ้นสุดลง (Rahman & Hasanuzzaman, 2022) อย่างไรก็ตาม กราฟอัตราการทำให้แห้งที่ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ในช่วง first falling rate period มีค่าแกว่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีการอบแห้งมีสาเหตุจากการแพร่กระจายความชื้นภายในตัวอย่างที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอบแห้งทั้งหมด (Zhao et al., 2019) โดยการไล่ระดับของอุณหภูมิภายในและภายนอกของตัวอย่างอาจไม่สมดุลกัน จึงทำให้น้ำที่ระเหยออกจากตัวอย่างในแต่ละเวลาการอบแห้งมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน นอกจากนี้ โครงสร้าง ขนาดและความหนาแน่นของตัวอย่างยังส่งผลให้อัตราการทำให้แห้งในช่วงแรกมีค่าแกว่งด้วยเช่นกัน (Zhao et al., 2019)

อย่างไรก็ตาม การอบแห้งผลไซเน่าที่ 55 และ 65 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำให้แห้งใกล้เคียงกันในชั่วโมงที่ 7-15 ขณะที่การอบแห้งที่ 45 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำให้แห้งต่ำกว่าทั้งสองอุณหภูมิ และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำอิสระของผลไซเน่าอบแห้งที่ 55 และ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข.136/2558 ผักและผลไม้แห้ง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ 55 และ 65 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งผลไซเน่ามากกว่า 45 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม และเมื่อพิจารณาในมุมของค่าใช้จ่ายหากต้องเลือกอุณหภูมิตอบแห้งระหว่าง 55 และ 65 องศาเซลเซียส จะพบว่าอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งผลไซเน่า

สารประกอบฟีนอลิกในผลไซเน่าอบแห้งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสดดังภาพที่ 2 (Figure 2) สาเหตุที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงในระหว่างกระบวนการอบแห้งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก โดยความร้อนจะทำให้ลายพันธะโควาเลนต์ที่สารประกอบอินทรีย์กลุ่มอีเทอร์ เอสเทอร์ หรืออะซีทัลจับกันอยู่ในโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก (Patrón-Vázquez et al., 2019) นอกจากนี้ การอบแห้งเป็นการนำระเหยออกผนังเซลล์ตัวอย่างทำให้ตัวอย่างเกาะติดกัน การสกัดตัวอย่างแห้งจึงยากกว่าการสกัดตัวอย่างสดเพราะความสามารถในการละลายของตัวอย่างลดลง (Jahangiri et al., 2011) อย่างไรก็ตาม กระบวนการอบแห้งอาจส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน เมื่อตัวอย่างได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สารประกอบบางชนิดซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นอาจเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนฟีนอลิกชนิดใหม่ (ElGamal et al., 2023) เมื่อพิจารณาปริมาณแอนโทไซยานินพบว่า ผลไซเน่าอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินค่ามากที่สุด ขณะที่ผลไซเน่าสดมีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินสวนทางกับเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอาจเกิดจากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในงานวิจัยนี้ใช้วิธี pH-differential ที่ควรวัดค่าการดูดกลืนแสงหลังเจือจางด้วยบัฟเฟอร์ภายใน 15-60 นาที การทิ้งตัวอย่างที่เป็นแอนโทไซยานินที่ไม่มีหมู่เอซิล (acyl group) หรือประกอบด้วยหมู่เอซิลน้อยไว้นานเกินไปจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น (Giusti & Wrolstad, 2001; Chaovanalikit, 2011) ทั้งนี้ แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบธรรมชาติของกลุ่มฟีนอลโพรพานอยด์ที่ทำให้ผลไม้ ดอกไม้ หรือใบ มีสีแดง น้ำเงิน หรือม่วง ที่กระจายส่วนใหญ่อยู่ในแวคิวโอลของเซลล์พืชเนื่องจากแอนโทไซยานินจากวัตถุดิบธรรมชาติเป็นสารที่ไม่เสถียรและเสื่อมสภาพในปริมาณที่ต่างกัน ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของแอนโทไซยานินได้แก่ ค่า pH อุณหภูมิ แสง และออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ปริมาณแอนโทไซยานินจะลดลงในปริมาณที่ต่างกันเมื่อใช้ความร้อนที่ระดับต่างกัน และยังขึ้นอยู่กับโมเลกุลของสารประกอบที่จับกับโครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน (Oancea, 2021)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ Charnongkolpradit et al. (2021) ออบแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่อุณหภูมิ 60, 65, 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างที่อบแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด จากการสืบค้นข้อมูลยังไม่พบงานวิจัยที่รายงานปริมาณแอนโทไซยานินในผลไซเน่า และผลจากพืชในสกุลเดียวกัน รายงานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการนำสารสกัดไปศึกษาเชิงลึกทางการแพทย์ เช่น การยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Intarasam et al., 2020) และเมื่อพิจารณาเบอร์รี่ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงพบว่า มีแอนโทไซยานินประมาณ 4.95 ถึง 113.79 มิลลิกรัม/100 กรัมผลสด (Ponder et al., 2021) การบริโภคอาหารที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงว่ามีศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งจากการศึกษาแบบในหลอดทดลอง (*In vitro*) และในสัตว์ทดลอง (*In vivo*) การบริโภคอาหารที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงจึงเชื่อมโยงกับสุขภาพของผู้บริโภค เช่น ฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็ง ยับยั้งกระบวนการอักเสบ ลดความเสี่ยงเกี่ยวกับโรคหลอดเลือด เป็นต้น (Francavilla & Joye, 2020) อย่างไรก็ตาม การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของแอนโทไซยานินในสัตว์มีน้อยมาก ทั้งยังไม่มีรายงานที่บ่งชี้ถึงผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อบริโภคแอนโทไซยานินในระดับการบริโภคอาหารตามปกติ และในปัจจุบันยังไม่มี การแนะนำระดับการบริโภคแอนโทไซยานินในปริมาณที่ทำให้ผู้บริโภคมีสุขภาพที่ดีที่สุดหรือเพื่อหลีกเลี่ยงผลข้างเคียง (Burton-Freeman et al., 2016)

การศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลไซเน่า (Table 1) พบว่าผลไซเน่าสดมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุดทั้งสามวิธี เนื่องจากการอบแห้งส่งผลให้สารฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเสื่อมสภาพ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจึงมีค่าลดลง การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันแต่ละวิธีมีค่าต่างกัน เพราะมีกลไกการกำจัดอนุมูลอิสระที่ต่างกัน โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ H^+ ของสารกำจัดอนุมูลอิสระแก่อนุมูลของ DPPH ขณะที่วิธี ABTS เป็นการทดสอบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่ประจุบวกของ ABTS ($ABTS^{+}$) ที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยสารกำจัดอนุมูลอิสระ (Moongrugarm, 2012 as cited in Halee & Rattanapun, 2017) และวิธี FRAP เป็นการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์ริกไอออนไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฟอร์รัสไอออน ซึ่งเป็นสารสีน้ำเงินเข้ม โดยสารกำจัดอนุมูลอิสระอยู่ในสภาวะกรด (Zhong & Shahidi, 2015) จากผลการทดลองพบว่า การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของไซเน่าอบแห้งทั้งสามอุณหภูมิด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS ของตัวอย่างอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะการอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส ทำให้โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิกเสื่อมสภาพ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS จึงมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่อยู่ในโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS โดยสารประกอบฟีนอลิกสามารถจับคู่กับประจุบวกของ ABTS ได้ ขณะที่สารอื่นๆ สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เองโดยไม่ต้องจับคู่กับประจุบวกของ ABTS (Ilyasov et al., 2020)

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการทำแห้ง สารพฤกษเคมี และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลไซเน่าแสดงให้เห็นว่า อัตราการทำแห้งของผลไซเน่าอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียสใกล้เคียงกับอุณหภูมิมอบแห้งที่สูงกว่า (65 องศาเซลเซียส) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันใกล้เคียงกับการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า (45 องศาเซลเซียส) ขณะที่ตัวอย่างผลไซเน่าอบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงเกินปกติ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง จึงเป็นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม สามารถประหยัดพลังงานในการแปรรูปได้มากกว่าการอบแห้งผลไซเน่าหรือผลไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลไซเน่า อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวนี้เป็นสภาวะการอบแห้งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความปลอดภัยเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำอิสระ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการแปรรูปผลไซเน่าได้ในอนาคต หรือสามารถประยุกต์ใช้กับผลไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลไซเน่าได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

เอกสารอ้างอิง

- Ajiboye TO. Standardized extract of *Vitex doniana* Sweet stalls protein oxidation, lipid peroxidation and DNA fragmentation in acetaminophen-induced hepatotoxicity. *Journal of Ethnopharmacology* 2015;164:273-282.
- Berk Z. *Food Process Engineering and Technology*. 3rd ed. Cambridge: Academic Press; 2018.
- Burton-Freeman B, Sandhu A, Edirisinghe I. Anthocyanins. In Gupta RC. (Ed.), *Nutraceuticals: Efficacy, Safety and Toxicity*. Cambridge: Academic Press; 2016:489-500.
- Chaiprasop O. *Food Preservation: FDT 3205*. 3rd ed. Bangkok: Ramkhamhaeng University Press; 2015.
- Chaovanalikit A. Extraction and analysis of anthocyanin. *Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology* 2011;3(6):26-36.
- Charmongkolpradit S, Somboon T, Phatchana R, Sang-aroon W, Tanwanichkul B. Influence of drying temperature on anthocyanin and moisture contents in purple waxy corn kernel using a tunnel dryer. *Case Studies in Thermal Engineering* 2021;25:100886.
- Chouhan HS, Sridevi K, Singh NK, Singh SK. Anti-inflammatory activity of ethanol extract of *Vitex glabrata* leaves. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* 2012;25(1):131-134.
- ElGamal R, Song C, Rayan AM, Liu C, Al-Rejaie S, ElMasry G. Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: a comprehensive overview. *Agronomy* 2023;13:1580.
- Francavilla A, Joye IJ. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients* 2020;12:2922.

- Giusti MM, Wrolstad RE. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. Current protocols in food analytical chemistry. (2001). F1.2.1- F1.2.13
- Halee A, Rattanapun B. Study of antioxidant efficacies of 15 local herbs. KMUTT Research & Development Journal 2017;40(2):283-294.
- Hu D, Wei L, Liao W. Brassinosteroids in Plants: Crosstalk with Small-Molecule Compounds. Biomolecules 2021;11(12):1800.
- Ilyasov IR, Beloborodov VL, Selivanova IA, Terekhov RP. ABTS/PP decolorization assay of antioxidant capacity reaction pathways. International Journal of Molecular Sciences 2020;21(3):1131.
- Intarasam S, Meemin T, Kongsema M, Pradermwong K. Cell viability enhancing and cellular protection activity of *Vitex glabrata* R.Br. crude fruits extract on TK6 and L929 cell lines. Thai Journal of Pharmaceutical Sciences 2020;44(4):220-228.
- Jahangiri Y, Ghahremani H, Abedini TJ, Ataye SA. Effect of temperature and solvent on the total phenolic compounds extraction from leaves of *Ficus carica*. Journal Chemistry Pharmaceutical 2011; 3(5):253-259.
- Kamphaengphet Rajabhat University. *Vitex glabrata*. 2023. Available at: https://www.doa.go.th/hort/?page_id=52398. Accessed December 15, 2023.
- Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. Food & Nutrition Research 2017; 61(1):1361779.
- Kumboonma P, Sombatsri S. Antioxidant activities and total phenolic contents from Thai wild fruits. KKU Science Journal 2019;47:34-42.
- Matthayom W, Nochai K, KoKaew K, Pisapak K, Robmuang D. Investigation of antioxidant capacity and antioxidant activity of Ma-huad (*Lepisanthes rubiginosa* (Roxb.) Leenh.) juice. RMUTSB Academic Journal 2020;8(2):187-198.
- Oancea S. A Review of the current knowledge of thermal stability of anthocyanins and approaches to their stabilization to heat. Antioxidants (Basel) 2021;10(9):1337.
- Patrón-Vázquez J, Baas-Dzul L, Medina-Torres N, Ayora-Talavera T, Sánchez-Contreras A, García-Cruz U, et al. The effect of drying temperature on the phenolic content and functional behavior of flours obtained from lemon wastes. Agronomy 2019;9:474.
- Ponder A, Hallmann E, Kwolek M, Srednicka-Tober D, Kazimierczak R. Genetic differentiation in anthocyanin content among berry fruits. Current Issues in Molecular Biology 2021;43(1):36-51.
- Promnikorn K, Jutamaneea K, Kraichak E. MaxEnt model for predicting potential distribution of *Vitex glabrata* R.Br. in Thailand. Agriculture and Natural Resources 2019;53:44-48.
- Rahman Md Z, Hasanuzzaman Md. Solar drying system. In Hasanuzzaman Md. (Ed.), Technologies for solar thermal energy: Theory, design, and optimization. Cambridge: Academic Press;2022:237-266.

- Rongsuphan T, Kajorncheappunngam S. Anthocyanin content, antibacterial activity, and antioxidant capacity of purple corn cob extract via ultrasonic extraction. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)* 2019;14(1):47-61.
- Technologychaoban. (2022). *Vitex glabrata*. 2023. Available at: 2023. Available at: https://www.doa.go.th/hort/?page_id=52398. Accessed December 15, 2023.
- Thengyai S, Thiantongin P, Sontimuang C, Ovatlarnporn C, Puttarak P. α -Glucosidase and α -amylase inhibitory activities of medicinal plants in Thai antidiabetic recipes and bioactive compounds from *Vitex glabrata* R. Br. stem bark. *Journal of Herbal Medicine* 2020;19:100302.
- Thaiwong N, Kongin S, Angajchariya A, Kachenpukdee N. Suitable temperature and combined pretreatment methods on quality of *Caulerpa Lentillifera*. *YRU Journal of Science and Technology* 2023;7(1):66-74.
- Thaiwong N, Buaphet D, Kachenpukdee N. Bioaccessibility of Sea Grape (*Caulerpa lentillifera*) in simulated human digestive system *in vitro* Digestion Model. *The Journal of KMUTNB* 2022;32(4): 966-977.
- Zhao D, Wei J, Hao J, Han X, Ding S, Yang L, Zhang Z. Effect of sodium carbonate solution pretreatment on drying kinetics, antioxidant capacity changes, and final quality of wolfberry (*Lycium barbarum*) during drying. *LWT—Food Science and Technology* 2019;99:254-261.
- Zhong Y, Shahidi F. Methods for the assessment of antioxidant activity in foods. In Shahidi F. (Ed.), *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2015:287-333.