เปรียบเทียบวิธีการวัดน้ำหนักแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟสำหรับเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวของอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน'

Comparison of Dry Matter Determination Method Using Hot Air and Microwave Ovens to Assess the Harvest Index in 'Peterson' Avocado

ปณวัตร สิขัณฑกสมิต[1] และเมทินี พลอยเปลี่ยนแสง[2*]

Panawat Sikhandakasmita[1] and Metinee Ploypleansaeng[2*]

Received: November 1, 2023
Revised: February 28, 2024
Accepted: March 1, 2024

Abstract: Avocados are fruits whose level of maturity is challenging to determine based on their external characteristics. Therefore, the measurement of dry weight percentage is employed to determine the maturity of avocados. However, there are various methods for determining dry weight. Hence, this study aimed to compare drying methods using a hot air oven and a microwave oven to measure the dry weight of avocados. Additionally, the study aimed to explore the relationship between dry weight percentage, fruit age, and total fat content in 'Peterson' avocado cultivars, using 10 g of scraped flesh from the whole fruit. The study findings indicated that microwave drying (900 watts) took approximately 20 to 30 minutes, while hot air drying at 60°C required more than 72 hours. Nonetheless, the calculated dry weight percentages from both methods exhibited a positive correlation with fruit age and fat content (with correlation coefficients ranging from 0.748 to 0.889). Based on the experimental results, it can be concluded that measuring the percentage dry weight through both hot air oven and microwave oven methods is applicable as a harvest index for 'Peterson' avocado. The use of a microwave oven for percentage dry measurement requires less time, the average dry weight percentage obtained from microwave oven drying is 3-5 percent lower than that obtained using the hot air oven method, with variations depending on the age of the fruit.

Keywords: fruit age, fruit quality, harvesting index, *Persea americana*

บทคัดย่อ: อะโวคาโดเป็นผลไม้ที่สังเกตระดับความอ่อน-แก่จากลักษณะภายนอกได้ยาก จึงมีการใช้การประเมินเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งในการระบุระดับความอ่อน-แก่ของอะโวคาโด แต่วิธีการหาน้ำหนักแห้งนั้นมีหลายวิธี ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ คือ การเปรียบเทียบการอบแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟในการวัดน้ำหนักแห้งของอะโวคาโด และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง อายุผล และปริมาณไขมันในผลอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' โดยใช้เนื้อที่ขูดจากทั้งผลจำนวน 10 กรัม ผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ (900 วัตต์) ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที ในขณะที่การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

[2] กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

[2] Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

*Corresponding author: metinee.p@gmail.com

60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอายุผล และปริมาณไขมัน (ค่า r มีค่าระหว่าง 0.748 ถึง 0.889) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟสามารถใช้เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวสำหรับอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' ได้ โดยการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งด้วยเตาไมโครเวฟใช้เวลาน้อยกว่า แต่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟจะมีค่าต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 3-5 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับอายุผล

คำสำคัญ: อายุผล, คุณภาพผล, ดัชนีการเก็บเกี่ยว, *Persea americana*

คำนำ

อะโวคาโดจัดเป็นผลไม้บ่มสุกหรือ climacteric fruit แต่อะโวคาโดเป็นไม้ผลประเภทที่ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อแก่ (mature) ได้ที่เท่านั้น ผลอะโวคาโดอ่อนหรือผลที่ยังไม่แก่นั้นจะไม่สามารถพัฒนาผลให้สุกหลังการเก็บเกี่ยวได้เลย อีกทั้งเมื่อรับประทานยังมีรสขม เนื่องจากมีปริมาณแทนนินสูง และเนื้อสัมผัสคล้ายยาง (rubbery texture) (Pak *et al*., 2003) ลักษณะที่ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่เท่านั้นพบได้ในทุเรียนเช่นกัน ระดับความอ่อน-แก่ของผลอะโวคาโดนั้นส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของการบริโภค โดยเฉพาะความแน่นเนื้อ (flesh firmness) เนื้อสัมผัส (texture) และรสชาติ (taste) โดยระดับความแก่ขั้นต่ำหรือความแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) ของอะโวคาโดนั้น คือ ระยะที่เมื่อนำผลไปบ่มให้สุกแล้วผลนั้นไม่เหี่ยว สามารถรับประทานได้ (Subedi and Walsh, 2020) ในปัจจุบันมีผลอะโวคาโดอ่อนปะปนกับผลที่แก่ออกสู่ท้องตลาด เนื่องจากการตรวจสอบระดับความอ่อน-แก่ของผลจากลักษณะภายนอกของผลทำได้ยาก โดยเฉพาะพันธุ์ที่ผิวผลไม่เปลี่ยนสีเมื่อผลแก่ ประกอบกับในหนึ่งรอบปีนั้นอะโวคาโดสามารถออกดอกได้หลายชุด ทำให้ผลที่อยู่บนต้นนั้นมีอายุไม่เท่ากัน เป็นสาเหตุให้การเก็บเกี่ยวอะโวคาโดในระยะที่เหมาะสมเป็นไปได้ยาก (บรรจง, 2566; Rodríguez, *et al*., 2023) ซึ่งการเก็บเกี่ยวอะโวคาโดก่อนกำหนดทั้งด้วยความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจนั้นส่งผลกระทบต่อภาพรวมของอุตสาหกรรมการผลิตอะโวคาโด ทำให้ผู้บริโภคขาดความเชื่อมั่นในคุณภาพ

โดยปกติแล้วเกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยใช้วิธีการสังเกตลักษณะของผลที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การเกิดจุดประบนผิวผล การเปลี่ยนสีของขั้วผลหรือผิวผล และการที่เยื่อหุ้มเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือใช้การนับอายุผล เป็นดัชนีประกอบการตัดสินใจเก็บเกี่ยวอะโวคาโด (อัจฉรา, 2560) แต่การสังเกตลักษณะภายนอกที่ปรากฏนั้นต้องใช้ความสามารถและความชำนาญของผู้เก็บเกี่ยว และมีปัจจัยเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมภายนอกมาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้การใช้การสังเกตลักษณะภายนอกเป็นดัชนีเก็บเกี่ยวนั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มากและผิดพลาดได้ง่าย เช่นเดียวกันกับการนับอายุผลตั้งแต่วันดอกบาน 50% ของช่อดอกจนถึงวันเก็บเกี่ยว เช่น พันธุ์ปีเตอร์สันสามารถเก็บเกี่ยวผลได้เมื่อผลมีอายุ 160 วันหลังดอกบาน หรือพันธุ์บัคคาเนียและพันธุ์แอส สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุผล 181–187 และ 242–251 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ (อัจฉรา, 2560) แต่อายุผลที่เก็บเกี่ยวได้นั้นก็จะคลาดเคลื่อนไปบ้างตามพื้นที่ปลูก และสภาพแวดล้อมในแต่ละปี (บรรจง, 2566) ดังนั้น จึงมีการใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การหาปริมาณน้ำมันในผลอะโวคาโด หรือการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง เพื่อระบุระดับความอ่อน-แก่ของผลอะโวคาโดแทน

ในระหว่างกระบวนการเจริญเติบโตของผลอะโวคาโดนั้นจะมีการสะสมปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นตามระดับความแก่ของผล ซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพผลของอะโวคาโดทั้งด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติ แต่ข้อจำกัดของการหาปริมาณน้ำมัน คือ ใช้เวลาค่อนข้างนาน มีวิธีการที่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง ในหลายๆ

ประเทศที่เป็นผู้ผลิตอะโวคาโดที่สำคัญ เช่น นิวซีแลนด์ แอฟริกาใต้ และออสเตรเลีย จึงนิยมใช้การหาเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งในการระบุระดับความอ่อน-แก่และวันเก็บเกี่ยวของอะโวคาโด โดยจะเริ่มเก็บเกี่ยวอะโวคาโดเมื่อมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามข้อกำหนดขั้นต่ำเท่านั้น (Subedi and Walsh, 2020) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำมันและความยอมรับของผู้บริโภค แต่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อย รวมไปถึงวิธีการหรืออุปกรณ์ที่ใช้สามารถทำได้ง่ายกว่าการหาปริมาณไขมัน (Gamble, *et al*., 2010) ทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำการระบุความอ่อน-แก่ด้วยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งนั้นมีหลายวิธี เช่น การใช้ตู้อบลมร้อนหรือการใช้เตาไมโครเวฟ โดยแต่ละวิธีมีเทคนิค ระยะเวลาและอุปกรณ์ที่ใช้แตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟในวัดการน้ำหนักแห้งของอะโวคาโด และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง อายุผล และปริมาณไขมันในผลอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' ระหว่างปีพ.ศ. 2565 และปีพ.ศ. 2566

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' อายุ 5 ปีที่มีความสม่ำเสมอจำนวน 5 ต้น จากสวนเกษตรกรในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ทำการผูกช่อดอกเมื่อจำนวนดอกบานเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของช่อดอก เพื่อให้ทราบอายุผลที่แน่นอนของอะโวคาโด เก็บเกี่ยวผลอะโวคาโดรอบๆ ทรงพุ่มเมื่อผลมีอายุได้ 130 135 140 145 150 155 และ 160 วันหลังดอกบาน กำหนดให้แต่ละอายุเก็บเกี่ยวมีทั้งสิ้น 5 ซ้ำ (ซ้ำละ 2 ผล)

นำอะโวคาโดที่เก็บเกี่ยวมาปอกเปลือกแล้วขูดเนื้อของอะโวคาโดทั้งผลด้วยอุปกรณ์สำหรับขูดชีส คุลกเคล้าเนื้อที่ขูดแล้วให้เข้ากัน แบ่งตัวอย่างเนื้ออะโวคาโดออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 10 กรัมแล้วนำเข้าไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักเนื้อแห้ง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง (g)}}{\text{น้ำหนักสด (g)}} \times 100$$

เนื้ออะโวคาโดส่วนที่สองนำไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างเนื้ออะโวคาโดก่อนนำไปอบจำนวน 10 กรัม เข้าไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ (Sharp Model R-311 ขนาด 28 ลิตร กำลังไฟ 900 วัตต์) ที่กำลังไฟอ่อนที่สุดเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก นำเนื้ออะโวคาโดเข้าอบเป็นครั้งที่ 2 ด้วยอุณหภูมิและเวลาเท่าเดิม แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง ทำเช่นนี้จนกระทั่งน้ำหนักแห้งที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง แล้วจึงนำน้ำหนักแห้งไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามสูตรด้านบน ตัวอย่างเนื้ออะโวคาโดส่วนที่สามนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วส่งไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมันตามวิธี AOAC (1998) ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพมหานคร

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันในผลอะโวคาโดปี 2565 และ 2566 ด้วยวิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวแปร 2 ตัวที่เป็นอิสระต่อกัน (independent samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง อายุผล และไขมัน ด้วยโปรแกรม SAS On Demand for Academic

ผลการทดลองและวิจารณ์

การเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ

จากการศึกษาพบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะอบได้

ครั้งละหลายตัวอย่าง แต่ใช้เวลาถึง 72 ชั่วโมง ในขณะที่ การอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟต่ำที่สุด อบได้ครั้งละ 2-3 ตัวอย่าง แต่ใช้เวลาเพียง 20-30 นาทีต่อครั้ง ตัวอย่างจึงมีน้ำหนักแห้งที่คงที่ (Table 1) การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนนั้นใช้การเป่าลมคอยล์ร้อนหรือ heater และเมื่อลมร้อนไหลผ่านตัวอย่างที่วางไว้ในตู้อบ ทำให้น้ำบริเวณผิวนอกของตัวอย่างจะระเหยออกไปก่อน ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์บริเวณผิวนอกของอาหารเพิ่มขึ้น จึงเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเซลล์ไปยังผิวนอกของเซลล์ เมื่อน้ำเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวนอกก็จะได้รับพลังงานความร้อน ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ การเคลื่อนที่ของน้ำในตัวอย่างจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสิ้นสุดเมื่อน้ำในเซลล์ผิวนอกไม่สามารถระเหยออกไปได้อีก (ศรีปาน และคณะ, 2555; สราวุฒิ และคณะ, 2560) ซึ่งการระเหยของน้ำเฉพาะบริเวณผิวนอกของตัวอย่างนั้นทำให้การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนนั้นใช้เวลานาน และสิ้นเปลืองพลังงานมาก ส่วนการอบแห้งโดยใช้เตาไมโครเวฟนั้นเป็นการใช้พลังงานในรูปของคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เมื่อตัวอย่างได้รับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้โมเลกุลที่มีขั้วในตัวอย่างนั้นเกิดการเคลื่อนที่และเสียดสีกัน จนเกิดความร้อนขึ้นทั่วทั้งชิ้นตัวอย่างอย่างรวดเร็ว และไม่ทำให้ผิวหน้าของตัวอย่างร้อนเกินไป (นันทวัน และสุพิชา, 2554) ดังนั้นในการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟนั้นเป็นวิธีการอบแห้งที่สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและประหยัดพลังงานกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (กฤษณ์ และคณะ, 2555; Varith *et al*., 2007) แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณจากการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณจากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนในทุกๆ ช่วงอายุผล โดยวิธีการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งน้อยกว่าวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 2.74–5.02% (Table 1) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการที่โมเลกุลของน้ำหรือความชื้นในเซลล์ของตัวอย่างเกิดการเคลื่อนที่และเสียดสีกันเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งนอกจากทำให้เกิดความร้อนขึ้นในระยะเวลาอันสั้นแล้ว ยังก่อให้เกิดแรงดันขึ้นภายในเซลล์อย่างรวดเร็วซึ่งทำให้เซลล์แตก และปล่อยสารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ออกมาภายนอก เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (นิรนาม, 2552; วรางคณา และคณะ, 2559) สอดคล้องกับการทดลองของ Çelen (2019) ที่ได้ทดลองอบแห้งพลับด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟระดับต่างๆ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดรูจำนวนมากบนตัวอย่าง และเมื่อกำลังไฟของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จำนวนและขนาดของรูบนพื้นผิวของตัวอย่างก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยรูเหล่านี้เกิดจากอุณหภูมิและแรงดันภายในเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เซลล์แตกหรือเกิดรูขึ้นบนผิวของตัวอย่าง

Table 1 Drying times were determined by using a hot air oven set at 60°C and a microwave oven operating at its lowest temperature. The percentage of dry matter was calculated for each fruit age using both hot air oven and microwave oven drying methods.

Drying methods	Drying time	Percentage of dry matter (%) at each fruit age (days after flowering)						
		130 days	135 days	140 days	145 days	150 days	155 days	160 days
Hot air oven	72 hours	17.95 ± 0.49[x]	19.13 ± 0.66	18.06 ± 2.02	20.97 ± 0.66	21.63 ± 0.91	22.12 ± 0.86	22.06 ± 0.44
Microwave oven	20-30 minutes	14.19 ± 1.38	14.89 ± 1.79	15.32 ± 1.66	16.36 ± 1.03	17.44 ± 0.91	17.10 ± 0.68	18.55 ± 1.70
t-test		**	**	*	**	**	**	**
The different of dry matter between two methods		3.76	4.24	2.74	4.61	4.19	5.02	3.51

[x] Data are expressed as mean ± standard deviation (n = 20)

* and ** denote significant differences at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively, as determined by t-test.

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง อายุผล และปริมาณไขมันในผลอะโวคาโด

ในปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกอะโวคาโดใช้การนับอายุผลร่วมกับดัชนีเก็บเกี่ยวอื่น ๆ โดยเริ่มนับอายุผลเมื่อดอกในช่อดอกบานเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ จนถึงวันเก็บเกี่ยว อัจฉรา (2560) รายงานว่า ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ อะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุผล 160 วันขึ้นไป พันธุ์ 'บัคคาเนีย' เริ่มเก็บเมื่อมีอายุผล 180-187 วัน หรือพันธุ์ 'แฮส' สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อผลมีอายุ 242-250 วันหลังดอกบาน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ พบว่า อายุผลมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณได้จากทั้งการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ ค่า correlation coefficient ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่หาจากวิธีอบแห้งในตู้อบลมร้อนกับอายุผล คือ 0.8673 ในขณะที่ค่า correlation coefficient ของวิธีอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟกับอายุผล คือ 0.7477 (Figure 1) โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุผลมากขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำหนักแห้ง คือ ปริมาณแป้งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด ธาตุอาหาร ไขมัน โปรตีน และโครงสร้างของผนังเซลล์ (Palmer *et al*., 2013) ซึ่งระหว่างที่ผลเจริญเติบโตจะมีการสะสมสารอินทรีย์ต่าง ๆ เหล่านี้เพิ่มขึ้น (Toivonen and Lannard, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณไขมันในผลอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' ที่อายุผลต่างๆ ในปี พ.ศ. 2565 พบว่า อะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' ที่มีอายุ 130 วันหลังวันดอกบาน มีปริมาณไขมันเฉลี่ย 23.32 g/100 g dry weight ในขณะที่เมื่อผลมีอายุ 160 วันหลังดอกบาน มีปริมาณไขมันเฉลี่ย 28.47 g/100 g dry weight แต่จากการทดสอบทางสถิติพบว่า ปริมาณไขมันของอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' ในปี 2565 มีค่ามากกว่าปี 2566 ในทุกช่วงอายุผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Figure 2) โดยอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยใน อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ปี พ.ศ. 2566 ระหว่างเดือนมีนาคม-เดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ผลอะโวคาโดกำลังพัฒนานั้นอยู่ในช่วง 32.0-35.8 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปี พ.ศ. 2565 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในช่วงดังกล่าวอยู่ที่ 29.7-32.9 องศาเซลเซียส จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสะสมของน้ำมันในผลมะกอก (Conde *et al*., 2008; Andrea *et al*., 2013) หรือการสะสมไขมันในผลอะโวคาโด (Ferreyra *et al*., 2016; Tan *et al*., 2017) คือ อุณหภูมิในช่วงระหว่างที่ผลกำลังเจริญเติบโต Garcia-Inza *et al*. (2014) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิระหว่างที่ผลมะกอกเจริญเติบโตในสภาพควบคุมที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันตั้งแต่ 16.7 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 30.7 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณน้ำมันมีแนวโน้มลดลงในอัตรา 1.1 เปอร์เซ็นต์ ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับปริมาณน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

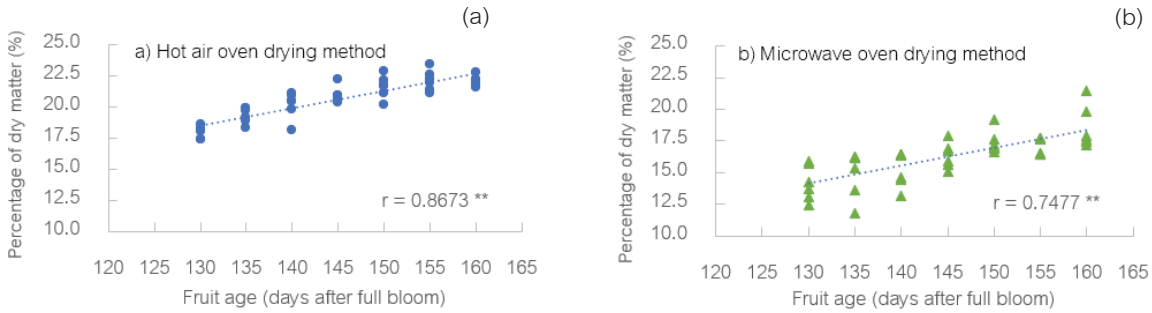

Figure 1 Pearson's correlation coefficient (r) between the percentage of dry matter (%) that calculated by hot air oven (a) and microwave oven (b) methods and fruit age (n = 20). Correlation coefficient not significant (ns) or significant: $P < 0.01$ (**) and $P < 0.05$ (*). in breeding program

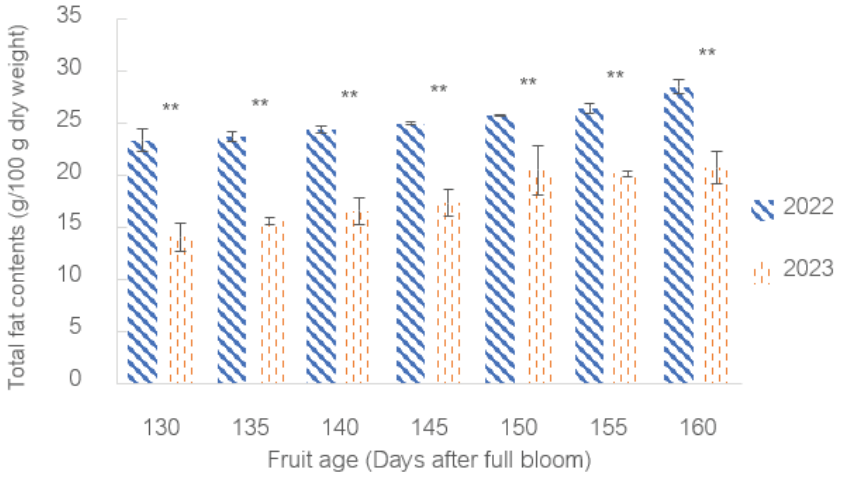

Figure 2 Comparison of total fat content in 'Peterson' avocado at different fruit ages (130-160 days after full bloom) for the years 2022 and 2023. Data are expressed as mean values ± standard deviation (n = 10). ** denote significant differences ($P \leq 0.01$; t-test).

ในทำนองเดียวกันการศึกษานี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณได้จากวิธีการอบแห้งทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณไขมันในผลอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' โดยในปี 2565 ค่า correlation coefficient ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากวิธีการอบแห้งแบบตู้อบลมร้อนและการอบแห้งแบบเตาไมโครเวฟต่อปริมาณไขมัน มีค่า 0.812 และ 0.889 ตามลำดับ ในขณะที่ปี 2566 มีค่า correlation coefficient คือ 0.839 และ 0.853 ตามลำดับ (Table 2) ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น ปริมาณไขมันทั้งหมดนั้นเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของปริมาณน้ำหนักแห้ง ดังนั้นการสะสมไขมันและปริมาณน้ำหนักแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลอะโวคาโดมีการเจริญเติบโต โดยปริมาณไขมันนั้นเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่สะท้อนถึงคุณภาพผลของอะโวคาโด แต่การประเมินปริมาณไขมันนั้นมีขั้นตอนยุ่งยาก ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทาง ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบค่อนข้างสูง ในขณะที่การหาน้ำหนักแห้งนั้นทำได้ง่ายกว่า ใช้เวลาไม่นาน และมีต้นทุนในการตรวจสอบต่ำกว่า (กฤษณ์ และคณะ, 2555; Varith *et al.*, 2007) จากความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและปริมาณไขมันนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟเป็นดัชนีเก็บเกี่ยวของอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' ได้

Table 2 Linear equation, correlation coefficient (r), and regression coefficient (r2) between dry matter percentage and total fat content in 'Peterson' avocado using hot air oven and microwave oven methods for 2022 and 2023.

Drying method	Year	Linear equation	r	r^2	p-value
Hot air oven	2022	y = 0.811x + 8.571	0.812	0.659	0.004
	2023	y = 1.529x – 13.639	0.839	0.704	< 0.001
Microwave oven	2022	y = 0.705x + 14.336	0.889	0.790	< 0.001
	2023	y = 1.947x – 15.234	0.853	0.728	< 0.001

สรุป

การเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเตาไมโครเวฟในการวัดน้ำหนักแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟต่ำที่สุด ใช้เวลาเพียง 20-30 นาทีต่อครั้ง โดยแต่ละครั้งสามารถอบแห้งได้ 2-3 ตัวอย่าง ในขณะที่การหาน้ำหนักแห้งของอะโวคาโดด้วยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนใช้เวลาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่คำนวณได้จากวิธีการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไขมันซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สะท้อนถึงคุณภาพผลของอะโวคาโด โดยมีค่า correlation coefficient เท่ากับ 0.748 นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งนั้นแปรผันตามกับอายุผลของอะโวคาโดพันธุ์ 'ปีเตอร์สัน' อีกด้วย การศึกษาครั้งนี้เป็นเครื่องยืนยันว่าการหาน้ำหนักแห้งและการนับอายุผลนั้นสามารถใช้เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวอะโวคาโดได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามข้อควรระวังสำหรับการหาน้ำหนักแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ คือ การอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟนั้นทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สวสก.) ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตึกปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว กรมวิชาการเกษตร และสวน Granny Farm อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ที่ช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกระหว่างการวิจัยให้แก่คณะผู้วิจัย และขอบพระคุณศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างที่อนุเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในอำเภอปากช่อง จ.นครราชสีมา เพื่อประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์, อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2555. การอบแห้งลำไยด้วยไมโครเวฟแบบเป็นช่วงร่วมกับลมร้อน. วิทยาศาสตร์เกษตร 43 (3): 147–150.

นันทวัน เทิดไทย และสุพิชา กระจ่างเมธีกุล. 2554. ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง, หน้า 133–140. *ใน*: เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

นิรนาม. 2552. กระบวนการสกัดสารจากพืชเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. Food Focus Thailand 4 (40): 32–35.

บรรจง ปานดี. 2566. การปลูกอะโวคาโด. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://hkm.hrdi.or.th/Knowledge/detail/634 (9 ตุลาคม 2566).

วรางคณา สมพงษ์, ภาสกร ธีระศิลป์วีสกุล และคณินศรีสาลีสกุลรัตน์. 2559. การสกัดกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.) ด้วยไมโครเวฟและการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2: 288–298.

ศรีปาน เซยกลิ่นเทศ, กลอยใจ เซยกลิ่นเทศ และทศพร นามโฮง. 2555. การอบแห้งเนื้อผลลำไยลิ้นจี่และเงาะด้วยไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรด. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ, พระนครศรีอยุธยา.

สราวุฒิ ดาแก้ว, ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา, พรพิษณุ ธรรมปัทม์, ศนันธร พิชัย, ปาริชาติ ราชมณี และญาณิศา โพธิ์รัตน์โส. 2560. การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดและลมร้อน. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

อัจฉรา ภาวศุทธิ์. 2560. การเก็บเกี่ยวผลอาโวกาโดที่เหมาะสม. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://www.hrdi.or.th/Articles/Detail/23 (14 ตุลาคม 2566).

Andrea, B., C. Giovanni, M. Fabio and G. Riccardo. 2013. Oil accumulation in intact olive fruits measured by near infrared spectroscopy-acousto-optically tunable filter. Journal of the Science of Food and Agriculture 93 (6): 1259–1265.

AOAC. 1998. Official Method of Analysis. 16th ed./Rev.4. Association of official Analytical Chemists International. Maryland.

Celen, S. 2019. Effect of microwave drying on the drying characteristics, color, microstructure, and thermal properties of Trabzon persimmon. Foods 8(2): 84.

Conde, C., S. Delrot and H. Gerós. 2008. Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening. Journal of Plant Physiology 165 (15): 1545–1562.

Ferreyra, R., G. Sellés, J. Saavedra, J. Ortiz, C. Zúñiga, R.S.A. Troncoso, A.M. González and B.G. Defilippi. 2016. Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' at harvest. South African Journal of Botany 104: 15–20.

Gamble, J., F.R. Harker, A.R. Jaeger, A. White, C. Bava, M. Beresford, B. Stubbings, M. Wohlers, P.J. Hofman, R. Marques and A. Woolf. 2010. The impact of dry matter, ripeness and interval defects on consumer perceptions of avocado quality and intention to purchase. Postharvest Biology and Technology 57 (1): 35–43.

Garcia-Inza, G.P., D.N. Castro, A.J. Hall and M.C. Rousseaux. 2014. Responses to temperature of fruit dry weight, oil concentration, and oil fatty acid composition in olive (*Olea europaea* L. var. 'Arauco'). European Journal of Agronomy 54: 107–115.

Pak, H.A., J. Dixon, D.B. Smith, T.A. Elmsly and J.G.M. Cutting. 2003. Impact of rainfall prior to harvest on ripe fruit quality of 'Hass' avocados in New Zealand, pp. 22-31. *In*: H.A. Pak, ed. NZ Avocado Growers' Association Annual Research Report Vol. 2. Avocado growers' association, New Zealand.

Palmer, J., R. Diack, J. Johnston and H. Boldingh. 2013. Manipulation of fruit dry matter accumulation and fruit size in 'Scifresh' apple through alteration of the carbon supply, and its relationship with apoplastic sugar composition. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 88 (4): 483–489.

Rodriguez, P., J. Villamizar, L. Londono, T. Tran and F. Davrieux. 2023. Quantification of dry matter content in Hass avocado by Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) scanning different fruit zones. Plants 12 (17): 3135.

Subedi, P.P. and K.B. Walsh. 2020. Assessment of avocado fruit dry matter content using portable near infrared spectroscopy: Method and instrumentation optimisation. Postharvest Biology and Technology 161: 111078.

Tan, C.X., S.S. Tan and S.T. Tan. 2017. Influence of geographical origins on the physiochemical properties of Hass avocado oil. Journal of the American Oil Chemists' Society 94: 1431–1437.

Toivonen, P.M.A. and B. Lannard. 2020. Dry matter content association with time of on-tree maturation, quality at harvest, and changes in quality after controlled atmosphere storage for 'Royal Gala' apples. Canadian Journal of Plant Science 101: 98–106.

Varith, J., P. Dijkanarukkul, A. Achariyaviriya and S. Achariyaviriya. 2007. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. Journal of Food Engineering 81: 459–468.