Agric. Sci. Innov. J. 55 : 2 (Suppl.) : 157 – 161 (2024) ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 2 (พิเศษ) : 157 - 161 (2567)

อัตราการหายใจภายหลังการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผลมะสังสดในระหว่างการเก็บรักษา

Postharvest respiration Rates and Changes of Ascorbic Acid Content of Fresh Wood Apple (*Feroniella lucida* (Scheff.) Swingle) during Storage

ปลายมณี บุราณ[1] พรพิมล ไชยวงษ์[1] สุกัญญา บุญตะนัย[1] เรวัติ ชัยราช[1,2] กฤตยา อุทโธ[3,4] และวีรเวทย์ อุทโธ[1,2,4]
Plaimanee Buran[1], Pornpimol Chaiwong[1], Sukanya Boontanai[1], Raywat Chairat[1,2],Grittaya Utto[3] and Weerawate Utto[1,2,4]

Abstract

Wood apple is an indigenous fruit with a very hard pericarp but soft and sour-tasting pulp. It can be consumed in forms of either fresh or beverage. This research aimed to study the respiration rates of the fresh wood apples after harvested in relation to storage temperatures ranging from 8 to 35 °C. This study also investigated changes in ascorbic acid content during 10-day storage. The results indicated that the respiration rates at 35 °C were higher than those at lower temperatures. Increases in the respiration rates had exponential relationships with increased temperatures. The scenario was well predicted by the Arrhenius model with R^2 and $Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$ values of 0.98, and 16.03 kJ mol^{-1}, respectively. Ascorbic acid contents in all treatments continuously decreased from their initial values (80.20 mg $100g^{-1}$). The ascorbic acid contents in fruit stored at 35 °C declined in a rapid rate, reducing 8.90-fold within 5 days. Meanwhile the contents at 8 and 25 °C reduced 3.89 and 7.29-fold at the 10^{th} day, respectively. The changes in ascorbic acid content were well predicted by the FOFC model with R^2 values ranging from 0.97 to 0.99. The FOFC model coefficients increased exponentially with rising temperatures, as predicted by the Arrhenius model, with R^2 and $Ea_{r_{fr}^{AA}}$ values of 0.98, and 86.21 kJ mol^{-1}, respectively. The information obtained from this study is crucial to packaging and storage designs, assisting in the delay of postharvest deterioration, which is anticipated to occur rapidly at ambient conditions.

Keywords: wood apple, respiration rate, ascorbic acid, indigenous fruit, postharvest management

บทคัดย่อ

มะสัง (*Feroniella lucida* (Scheff.) Swingle) เป็นผลไม้พื้นบ้านมีเปลือกแข็งแต่มีเนื้อนุ่มและรสเปรี้ยว รับประทานในรูปผลสดหรือเครื่องดื่ม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการหายใจของผลมะสังสดภายหลังการเก็บเกี่ยวที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิเก็บรักษา 8-35 °C และการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในการเก็บรักษานาน 10 วัน ผลการวิจัย พบว่า อัตราการหายใจของมะสังสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 °C มีค่าสูงกว่าผลเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจสัมพันธ์กับการเพิ่มของอุณหภูมิการเก็บรักษาในรูปแบบของเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ความสัมพันธ์นี้สามารถทำนายได้ดีด้วยสมการอาร์รีเนียส (Arrhenius model) โดยมีค่า R^2 และค่า activation energy ($Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$) เท่ากับ 0.98 และ 16.03 kJ mol^{-1} ตามลำดับ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในทุกสิ่งทดลองลดลงอย่างต่อเนื่องจากค่าเริ่มต้น (80.20 mg 100 g^{-1}) โดยปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผลิตผลที่ 35 °C มีอัตราลดลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ และลดลง 8.90 เท่าภายใน 5 วัน ในขณะที่ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผลเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 25 °C ลดลง 3.89 และ 7.29 เท่า ณ วันที่ 10 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกทำนายได้ดีด้วยสมการ first-order fractional conversion model (FOFC model) ซึ่งมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.97-

[1]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
[1]Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand
[2]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม 10400
[2]Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division, Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation 10400, Thailand
[3]คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
[3]Faculty of Management Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand
[4]ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190
[4]Indigenous Food Research and Industrial Development Center, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

0.99 ค่าสัมประสิทธิ์ของ FOFC model มีค่าเพิ่มขึ้นในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และสามารถทำนายความสัมพันธ์นี้ได้ดีด้วยสมการอาร์รีเนียส โดยมีค่า R^2 และ $Ea_{r_{fr}^{AA}}$ เท่ากับ 0.98 และ 86.21 kJ mol^{-1} ตามลำดับ ข้อมูลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อพิจารณาการออกแบบการบรรจุภัณฑ์สำหรับเก็บรักษาต่อไป เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะสังสด ที่มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้เร็วในสภาวะอุณหภูมิห้อง

คำสำคัญ: มะสัง อัตราการหายใจ กรดแอสคอร์บิก ผลไม้พื้นบ้าน การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

คำนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจอย่างมากต่ออาหารฟังก์ชัน (functional foods) เช่น เครื่องดื่มผสมวิตามิน หรือสารสกัดจากพืชซึ่งมีผลดีต่อการดูแลสุขภาพ (เพลินใจ, 2554; ณฐิมา, 2566) ผักและผลไม้พื้นบ้านเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ต่อสุขภาพที่สูงโดยมีรสชาติและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว (ยุพาและ ไมตรี, 2561) การส่งเสริมการบริโภคและใช้ประโยชน์ผลิตผลเหล่านี้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการอนุรักษ์วัฒนธรรมอาหารพื้นบ้านและการสร้างเศรษฐกิจชีวภาพ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยให้ความสนใจผลไม้พื้นบ้าน “มะสัง” ในท้องถิ่น อ. เขมราฐ อ. นาตาล และ อ. ตระการพืชผล จ. อุบลราชธานี เพื่อนำมาแปรรูปเป็นอาหารฟังก์ชัน เช่น เครื่องดื่มม็อกเทล และเจลลี่กัมมี่ มะสังมีเปลือกแข็งแต่เนื้อภายในมีความนุ่ม มีรสเปรี้ยวคล้ายมะนาวและมีกลิ่นหอมจึงสามารถนำมาประกอบอาหารพื้นบ้านได้ (สุดารัตน์, 2553) จากการสำรวจด้านวัฒนธรรมอาหารพื้นบ้าน พบว่า มะสังเน่าเสียได้ง่ายเนื่องจากผลที่พร้อมบริโภคเป็นผลที่หล่นจากต้นเองตามธรรมชาติ ทั้งนี้ยังไม่พบข้อมูลการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพก่อนนำมาบริโภคหรือแปรรูป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการหายใจและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิคในระหว่างเก็บรักษาเพื่อรวบรวมเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมะสังสดต่อไป

วิธีการศึกษา

การวัดอัตราการหายใจ ประยุกต์วิธีการของ Phungam *et al*. (2018) เป็นการวัดความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ที่เพิ่มขึ้นในระบบปิด โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 8, 25 และ 35°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิในโซ่อุปทานสำหรับการจัดเก็บและขนผักและผลไม้สด โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำผลมะสังน้ำหนักรวม 100±2 g ใส่ในกล่องพลาสติกแข็ง (3.5 L) (ดำเนินการวัดจำนวน 3 ซ้ำ โดยผลมะสังที่ทำการวัดในแต่ละซ้ำได้ทำการสุ่มเลือกใหม่) ที่มีเครื่องวัดแก๊ส CO_2 (HT-2000, Protronics) จากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ ทำการบันทึกเวลาเมื่อความเข้มข้นแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น 3 เท่า และคำนวณอัตราการหายใจด้วย Eq. 1 โดย $r_{fr}^{CO_2}$ อัตราการหายใจ (mol s^{-1} kg^{-1}) $C_{fr}^{CO_2}$ ความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 (% v v^{-1}) P_{tot} ความดันบรรยากาศปกติ (Pa) V_{jar}, V_{fr} ปริมาตรกล่องพลาสติกและมะสัง (m^3) ตามลำดับ R ค่าคงที่ของแก๊ส เท่ากับ 8.314 J mol^{-1} K^{-1} T_{fr} อุณหภูมิการเก็บรักษา (K) t คือ เวลา (s) และ M_{fr} คือ น้ำหนักสด (kg) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจและอุณหภูมิประยุกต์สมการอาร์รีเนียส (Arrhenius model; Eq. 2) โดย $r_{fr,ref}^{CO_2}$ อัตราการหายใจที่อุณหภูมิอ้างอิง 18°C (mol s^{-1} kg^{-1}) $Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$ คือ activation energy หรือ พลังงานกระตุ้นของอัตราการหายใจ (J mol^{-1}) $T_{fr,ref}$ คือ อุณหภูมิอ้างอิง (18°C) การศึกษานี้ใช้วิธี non-linear regression เพื่อประมาณค่า $r_{fr,ref}^{CO_2}$ และ $Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$ ด้วย Microsoft Excel® 2019

$$r_{fr}^{CO_2} = \frac{C_{fr}^{CO_2} \cdot P_{tot}}{100} \frac{\left(V_{jar} - V_{fr}\right)}{R \cdot T_{fr} \cdot t \cdot M_{fr}} \quad \text{Eq. 1}$$

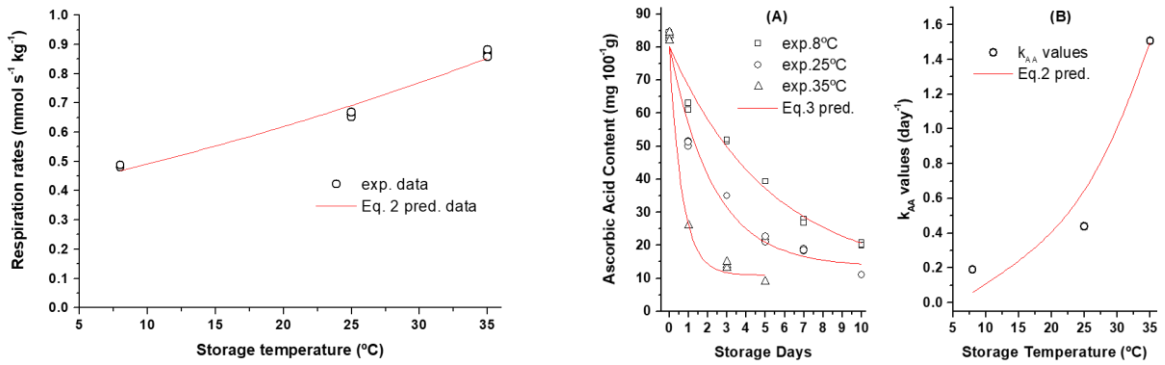
$$r_{fr}^{CO_2} = r_{fr,ref}^{CO_2} \exp\left(\frac{Ea_{r_{fr}^{CO_2}}}{R}\left(\frac{1}{T_{fr,ref}} - \frac{1}{T_{fr}}\right)\right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$\frac{C_t^{AA} - C_{t_\infty}^{AA}}{C_{t_0}^{AA} - C_{t_\infty}^{AA}} = \exp\left(-k_{AA} t\right) \quad \text{Eq. 3}$$

การวัดปริมาณกรดแอสคอร์บิค ของผลมะสังสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 25 และ 35 °C ด้วยวิธีไตเตรทสารละลายมาตรฐานอินโดฟีนอล (หทัยพร, 2563) จากนั้นทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิคของผลมะสังที่อุณหภูมิต่างๆข้างต้น ประยุกต์ใช้แบบสมการ first-order fractional conversion model (FOFC; Eq. 3) การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของ FOFC ใช้วิธี non-linear regression ของ Eq. 1-2 โดย C_t^{AA} ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิค ณ เวลาใดๆ (mg 100^{-1}g) $C_{t\infty}^{AA}$ ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิค ณ infinite time (mg 100^{-1}g) C_{t0}^{AA}ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิคเริ่มต้น (mg 100^{-1}g) k_{AA} ค่าสัมประสิทธิ์ (day^{-1}) และ t เวลาเก็บรักษา (day) การศึกษาความสัมพันธ์อาร์รีเนียสของค่า k_{AA} ใช้แนวทางของ Eq. 2 เพื่อประมาณค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิก ($Ea_{r_{fr}^{AA}}$)

ผลและวิจารณ์

อัตราการหายใจของผลมะสังสดมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Fig. 1-A) สอดคล้องกับข้อมูลที่รายงานในผลิตผลอื่นๆ เช่น มะนาวไลม์ (lime) (Maftoonazard and Ramaswamy, 2019) มะม่วง (วีรเวทย์และคณะ, 2563) หรือ มะเขือเทศเชอรี่ (Kampawong *et al*., 2023) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์และกระบวนการเมตาบอลิซึม การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิอธิบายด้วยความสัมพันธ์อาร์รีเนียส (Arrhenius relationship) ซึ่งมีลักษณะเป็นเอกซ์โปเนนเชียล (exponential) (วีรเวทย์ อุทโธ, 2562) ในภาพ Fig. 1 A พบว่า อัตราการหายใจที่อุณหภูมิต่างๆ ทำนายได้ดีด้วยสมการอาร์รีเนียส (Eq. 2; R^2 = 0.98) ค่า $Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$ เท่ากับ 16.03 kJ mol^{-1} (Table 1) ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาที่ควบคุมด้วยการแพร่โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-34 kJ mol^{-1} (Robertson, 2013) ข้อมูลนี้สนับสนุนองค์ความรู้ด้านการแพร่ของแก๊ส O_2 สู่เนื้อเยื่อพืชซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญหนึ่งของกระบวนการหายใจ (Fonceca *et al*., 2002) ในปัจจุบันยังไม่พบข้อมูลว่ามะสังเป็นพืชในกลุ่มบ่มสุก (climacteric) หรือ บ่มไม่สุก (non-climacteric) ทั้งนี้จากการสังเกตไม่พบการเปลี่ยนสีของผิวเปลือกที่ชัดเจนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเหลือง/ส้ม นอกจากนี้ความหอมของผลไม่ได้เพิ่มขึ้นมากแม้ว่าเก็บรักษาเป็นระยะเวลาหนึ่ง ผู้วิจัยคาดคะเนว่ามะสังจัดอยู่ในกลุ่มบ่มไม่สุกซึ่งมีอัตราการหายใจที่เปลี่ยนแปลงไม่มาก และผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ (ณ อุณหภูมิคงที่) การคาดคะเนดังกล่าวนี้พัฒนาจากความรู้ที่ได้รายงานในเอกสารอ้างอิง เช่น สมโภชน์ (ม.ป.ป.) รายงานว่า มะนาวจัดอยู่ในกลุ่มบ่มไม่สุกมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ และผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ ทั้งนี้ผู้วิจัยจักได้ทำการศึกษาต่อไปในการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอื่นๆ เช่น ความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนสี ต่อไป



(A) (B)

Fig. 1 **(A)** Respiration rates of wood apples kept at 8, 25 and 35 °C (circle symbols (n =3) and line representing empirical and Eq. 2 predicted data, respectively)**, (B)** Kinetic changes of ascorbic acid contents in wood apples during storage at 8, 25 and 35 °C (symbols (n =3) and line representing empirical and Eq. 3 predicted data, respectively) (sub-graph A), and changes of k_{AA} values in relations to storage temperatures **(**symbols and line representing k_{AA} values estimated by Eq. Eq. 3 and those predicted by Eq. 2, respectively**)** (sub-graph B)**.**

Table 1 Values of activation energy estimated using non-linear regression from Arrhenius relationship (Eq. 2) for respiration rates ($Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$) and kinetic changes of ascorbic acid contents ($Ea_{r_{fr}^{AA}}$)

Respiration rates		Kinetic changes of ascorbic acid contents	
$Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$	R^2	$Ea_{r_{fr}^{AA}}$	R^2
16.03	0.98	86.21	0.98

ผลมะสังสดจัดเป็นพืชที่มีปริมาณกรดแอสคอร์บิคสูงโดยมีเฉลี่ยเท่ากับ 86 mg $100g^{-1}$ (Fig. 1-B) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิคที่ 35°C เกิดขึ้นได้เร็วกว่าอุณหภูมิอื่นๆ ส่งผลให้มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงเวลา (Fig. 1-B sub-graph A) จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิค ทำนายได้ดีด้วยสมการ Eq. 3 (Fig. 1-B sub-graph A; Table 2) แสดงให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิค เป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ซึ่งอัตราเร็วขึ้นกับความเข้มข้นของ

สารตั้งต้น ณ เวลาต่างๆ (Earle and Earle, 2003) ในช่วงแรกจึงเกิดการลดลงของกรดแอสคอร์บิคอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงท้ายของการเก็บรักษา ลักษณะการลดลงของกรดแอสคอร์บิคในผลมะสังสอดคล้องกับในผลิตผลอื่นๆ เช่น มะนาวไลม์ (lime) (Maftoonazard and Ramaswamy, 2019) มะเขือเทศ (อิสราภรณ์ และคณะ, 2567) หรือ มะละกอสุก (สายฝนและคณะ, 2567) ค่า k_{AA} เพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลกับอุณหภูมิ และทำนายได้ดีด้วย Eq. 2 (Fig. 1-B sub-graph B; Table 1) โดยค่า $Ea_{r_{fr}^{AA}}$ (86.21 kJ mol^{-1}) มีค่าสูงกว่าค่า $Ea_{r_{fr}^{CO_2}}$ ของการหายใจ (16.03 kJ mol^{-1}) (Table 1) แสดงให้ทราบว่าการลดลงของกรดแอสคอร์บิคมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิมากว่าการหายใจ ข้อมูลดังกล่าวสนับสนุนองค์ความรู้ด้านอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญมากที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและคุณภาพของผลิตผลสดภายหลังการเก็บเกี่ยว

Table 2 Values of k_{AA} and R^2 estimated from the non-linear regression for changes in ascorbic acid contents values predicted by the FOFC models (Eq. 3).

Temperature (°C)	k_{AA} (day^{-1})	R^2
8	0.18	0.97
25	0.43	0.98
35	1.51	0.99

สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษา พบว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิคของผลมะสังสดภายหลังการเก็บเกี่ยว ความสัมพันธ์อาร์รีเนียสในทั้งสองกระบวนการและจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิคซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 จัดว่าเป็นองค์ความรู้พื้นฐานสำหรับการออกแบบการบรรจุภัณฑ์ เช่น การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรและการเก็บรักษาผลมะสังสดในโซ่อุปทานความเย็นเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเน่าเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป ในภาพรวมวิธีการศึกษาที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความเหมาะสมที่ทำให้ได้ผลการศึกษาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ตั้งไว้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) และโครงการวิจัยระดับพื้นที่ “การเพิ่มความเข้มแข็งของเศรษฐกิจฐานรากและศักยภาพในการแข่งขันชุมชนทุนทางวัฒนธรรม อ. เขมราฐ และ อ. นาตาล จ. อุบลราชธานี” (UBU-Advance Track 2566; A11F660100) ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ สถานที่ และอุปกรณ์การวิจัย

เอกสารอ้างอิง

เพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2554. ฟังก์ชันนอลฟู้ด (functional food): เรียนรู้จากต้นแบบเพื่อการพัฒนา. อาหาร 41(2): 127-123.

ณฐิมา รอดขวัญ. 2566. อาหารและเครื่องดื่มฟังก์ชัน. วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 53(2): 58-69.

ยุพา ชาญวิกรัย และไมตรี สุทธจิตต์. 2561. พืชผักสมุนไพรเพิ่มรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของอาหารพื้นบ้าน. วารสารโภชนบำบัด 26(2): 20-26.

วีรเวทย์ อุทโธ 2562. การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟสำหรับผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 192 หน้า.

วีรเวทย์ อุทโธ, วรงค์ นัยวินิจ, เรวัติ ชัยราช, วัชรพงษ์ วัฒนกูล และอดุลย์ อภินันทร์. 2563. การหายใจและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงแก้วขมิ้นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิในระหว่างกิจกรรมโลจีสติกส์ภายหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรรายย่อยชาวกัมพูชา. การประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัยครั้งที่ 14: Research and Innovations for All ระหว่างวันที่ 3-4 กันยายน 2563 ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สมโภชน์ น้อยจินดา. ม.ป.ป. การหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลมะนาว.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.thaiscience.info/journals/Article/TJKM/10469939.pdf (25/10/2567).

สุดารัตน์ หอมหวน. 2553. มะสัง. ฐานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://apps.phar.ubu.ac.th/phargarden/main.php?action=viewpage&pid=96 (12/06/2567).

สายฝน อินทนาม, หทัยพร กัมพวงศ์, ฤทธิรงค์ พฤฑฒิกุล และ วีรเวทย์ อุทโธ. 2567. ผลของสารเคลือบผิวทำจากขี้ซีซันไม้จิกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะละกอสุก. วิทยาศาสตร์เกษตร 55(1) (พิเศษ): 117-121.

หทัยพร กัมพวงศ์. 2563. การพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลด้วยการกระตุ้นโดยความชื้นเพื่อการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับพริกหวานสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 128 หน้า.

อิสราภรณ์ วุฒิทา, พรนภา นาคสังข์, หทัยพร กัมพวงศ์, เรวัติ ชัยราช, กฤตยา อุทโธ และ วีรเวทย์ อุทโธ. 2567. ผลของไอระเหยปลดปล่อยในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟที่มีส่วนประกอบของขี้ซีซันไม้จิกต่อการเปลี่ยนสีและปริมาณกรดแอสคอร์บิคของมะเขือเทศสด. วิทยาศาสตร์เกษตร 55(1) (พิเศษ): 205-209.

Earle, M. D. and R. L. Earle 2003. Product changes during processing. pp. 32-72. *In:* Fundamentals of Food Reaction Technology. (1st edition) Leatherhead: Leatherhead Food International.

Fonseca, S.C., F. A.R. Oliveira and J.K. Brecht. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: A review. Journal of Food Engineering 52(2): 99-119.

Kampawong, H., N. Phungam, R. Pruthtikul, G. Utto and W. Utto 2023. Effects of surface coating material made from Taengwood Balau resin and storage temperatures on effective skin permeances to water vapor and respiration rates of fresh cherry tomato**.** Food Research 7(3): 214-220.

Maftoonazard, N. and H. S. Ramaswany. 2019. Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*). Coatings 9(5): 285.

Phungam, N., W. Utto and R. Pruthikul. 2018. Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). International Food Research Journal 25(5): 1885-1892.

Robertson, G.L. 2013. Food Packaging. Principles and Practice. 3rd ed. New York: Taylor and Francis Group.