Agricultural Sci. J. 47 : 3 (Suppl.) : 451-454 (2016) ว. วิทย. กษ. 47 : 3 (พิเศษ) : 451-454 (2559)

การศึกษาการลดอุณหภูมิผลส้มขั้นต้นด้วยอากาศเย็นแบบบังคับจากเครื่องระเหยน้ำ
Study of Orange Precooling using Evaporative Forced Air Cooling

ทิวา สายประดิษฐ์*[1] ณรงค์ฤทธิ์ บุญกล้า[1] กิ่งฟ้า พรานไพร[1] ศตวรรษ พงศะบุตร[1] กระวี ตรีอำนรรค[1] และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค[2]
Tiwa Saipradit*[1], Naronglit Boonkla[1], Kingfa Pranprai[1], Satawat Pongsabut[1], KraweeTreeamnuk[1] and Tawarat Treeamnuk[2]

Abstract

This research aimed to study the performance of temperature reduction in orange precooling process. The developed system was a 30 cm x 30 cm x 60 cm (W x H x L) cooling room. The electric fan was used to blow the cool air through the fruit samples in the room. The cool air was produced by evaporate the 0ºC of water on the air-wet surface direct contact of cellulose layers device. The 3 kg of small orange (Chinese orange) with initial temperature of 35ºC at the center of the fruit were cooled using 3 levels air velocity (1.0, 1.5 and 2.0 m/s). The results shown the lowest air temperature of this system was 20.8ºC at air velocity 1.0 m/s with the highest thermal efficiency 41.60%. At 2 m/s air velocity, the cooling pad had the highest heat remove of 6.70 kW and the lowest half-cooling time of 23 min.

Keywords: Precooling, Evaporative Cooling, Forced Air Cooling

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิของระบบลดอุณหภูมิขั้นต้นผลส้ม ระบบที่พัฒนาขึ้นมีห้องลดอุณหภูมิขนาด 30 ซม. x 30 ซม. x 60 ซม. (ก x ส x ย) ใช้พัดลมเป่าอากาศเย็นไหลผ่านตัวอย่างทดสอบในห้องเพื่อให้อุณหภูมิลดลง อากาศเย็นถูกผลิตด้วยอุปกรณ์ระเหยน้ำเย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แบบสัมผัสตรงบนแผ่นเซลลูโลสผิวเปียก เตรียมผลส้มขนาดเล็ก น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่ใช้เป็นวัสดุทดสอบให้มีอุณหภูมิแกนกลางเริ่มต้นประมาณ 35 องศาเซลเซียส บรรจุในห้องลดอุณหภูมิ แปรค่าความเร็วลม 3 ค่า คือ 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิอากาศเย็นต่ำสุดที่ผลิตได้คือ 20.8 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที โดยมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด 41.60% และที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ระบบมีสมรรถนะของแผ่นระเหยน้ำเท่ากับ 6.70 กิโลวัตต์ โดยมีค่า half-cooling time ต่ำสุด 23 นาที

คำสำคัญ: การลดอุณหภูมิขั้นต้น, การทำความเย็นแบบระเหยน้ำ, การทำความเย็นแบบบังคับการไหลอากาศ

บทนำ

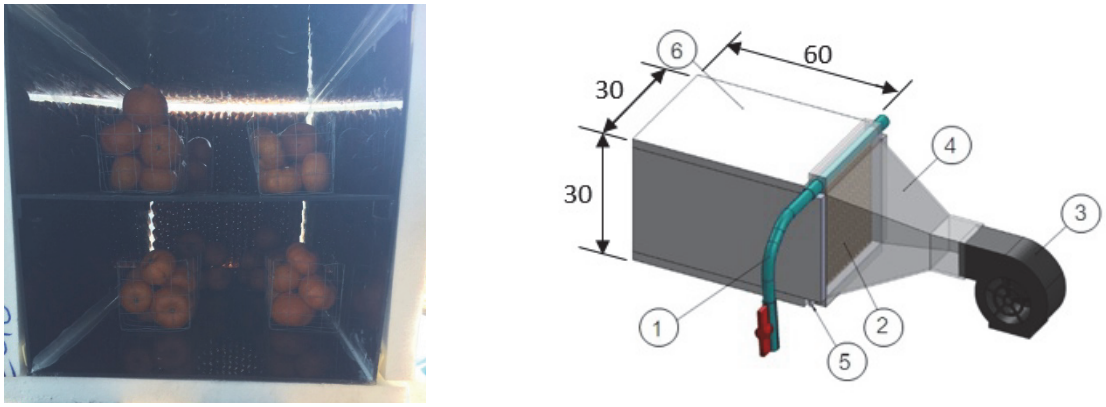
อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ (จริงแท้, 2544) เนื่องจากผักและผลไม้ที่มีอุณหภูมิสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพไปอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิและเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีอุณหภูมิต่ำอยู่เสมอ แหล่งความร้อนที่ทำให้ผักและผลไม้มีอุณหภูมิสูงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดที่สำคัญคือความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจของผักและผลไม้ซึ่งเรียกว่า vital heat หรือ heat of respiration ซึ่งความร้อนชนิดนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยควบคุมที่สำคัญ สำหรับความร้อนอีกส่วนหนึ่งนั้นเป็นความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกซึ่งเรียกว่า field heat โดยผักและผลไม้ที่เก็บมาจากแปลงจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ในแปลงปลูก โดยความร้อนเป็นความร้อนส่วนใหญ่ของความร้อนทั้งหมดที่จะต้องกำจัดออก หากไม่กำจัดออกจะส่งผลให้มีกระบวนการหายใจสูงอยู่นาน ซึ่งทำให้คุณภาพลดลง มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว (shelf-life) สั้นลง (วรินธร, 2559) สำหรับวิธีการในการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้มีหลายวิธี ซึ่งวิธีการทำให้เย็นโดยการระเหยของน้ำ (evaporative cooling) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมรรถนะของการลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็นที่ได้จากเครื่องระเหยน้ำ

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
[1] School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
[2] School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000
* Corresponding author: tiwa_saipradit@hotmail.com

อุปกรณ์และวิธีการ

1) อุปกรณ์
   - ห้องลดอุณหภูมิขนาด 30 ซม. x 30 ซม. x 60 ซม. (ก x ส x ย) ผนังทำด้วยแผ่นสแตนเลสบุโฟมหนา 1 นิ้ว ติดตั้งแผ่น cooling pad ที่ทำจากเซลลูโลส
   - ระบบส่งอากาศ ประกอบด้วยท่อลมรูปกรวยสี่เหลี่ยม ด้านหลังต่อกับพัดลมเป่าอากาศ
   - ระบบส่งน้ำ ประกอบด้วยปั๊มน้ำ และท่อน้ำ
2) วิธีการ

ทำการออกแบบระบบทำความเย็นแบบ evaporative cooling โดยแบ่งออกเป็นสามส่วน ส่วนแรก คือ ระบบส่งอากาศ มีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมขนาด 30 ซม. x 30 ซม. x 60 ซม. (ก x ส x ย) ติดตั้งแผ่น cooling pad ที่ทำจากเซลลูโลส ขวางหน้าตัดการไหล ส่วนที่สอง คือ ระบบส่งน้ำ โดยมีปั๊มน้ำทำหน้าที่สูบน้ำเย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสส่งไปตามท่อน้ำไปหยดลงแผ่น cooling pad เมื่ออากาศไหลผ่าน cooling pad จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ ส่วนที่สาม คือ ส่วนของห้องจำลองขนาดเล็กจะทำหน้าที่บรรจุผลส้มจำนวน 40 ผล น้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม โดยจะแบ่งเป็นสองชั้นชั้นละสี่ตะกร้าและจัดเรียงตามลักษณะ Figure 1 (a) โดยมีการทำงานของระบบดังนี้ (Figure1(b)) คือ ปั๊มน้ำจะสูบน้ำจากถังเก็บน้ำขึ้นไปในท่อที่เจาะรูด้านบน (1) ของ cooling pad (2) และหยดลงสู่ cooling pad ขณะเดียวกันพัดลมเป่าอากาศ (3) ส่งอากาศแวดล้อมผ่านท่อส่งอากาศ (4) ให้ไหลผ่าน cooling pad เพื่อทำการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงแล้วไหลเข้าไปในห้องเย็นที่บรรจุผลไม้ตัวอย่าง (6) เพื่อพาความร้อนออกจากผลไม้ ทำการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการลดอุณหภูมิของ cooling pad และความสามารถในการลดอุณหภูมิของส้มตัวอย่างที่ความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ทำการวัดค่าความเร็วลมหลังจากผ่าน cooling pad วัดค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออก และวัดค่าอุณหภูมิแกนกลางของผลส้มตัวอย่างก่อนและหลังการทำความเย็น โดยพิจารณาความสามารถในการดึงความร้อนออกจากอากาศของ cooling pad ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (1), อุณหภูมิอากาศเย็น, ค่า half-cooling time และ ค่าประสิทธิภาพของ cooling pad (2)



(a) (b)

Figure 1 (a) Arrangement of sample (b) Schematic diagram of precooling system

$$Q_{cooling} = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ $Q_{cooling}$ คือความสามารถในการดึงความร้อนของ Cooling pad (kW), $\dot{m}$ คืออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง ($kg_{dry\ air}/s$), h_1 คือเอนทาลปีของอากาศแวดล้อม ($kJ/kg_{dry\ air}$), h_2 คือเอนทาลปีของอากาศเย็น ($kJ/kg_{dry\ air}$)

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} x100\% \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ η คือประสิทธิภาพของ cooling pad, Q_{in} คือค่าความร้อนของอากาศก่อนเข้า cooling Pad (kW), Q_{out} คือปริมาณความร้อนของอากาศที่ผ่าน cooling pad (kW)

ผลและวิจารณ์

การลดลงของอุณหภูมิอากาศเมื่อผ่านแผ่น cooling pad พบว่าเกิดจากกลไกสองส่วนคือ ส่วนแรกเกิดจากกระบวนการ evaporative cooling ซึ่งเกิดขึ้นบนเส้นเอนทาลปีของอากาศคงที่ แต่เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการหล่อแผ่น cooling pad เป็นน้ำเย็นจึงทำให้ตัวแผ่น cooling pad มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศขาเข้ามากจึงทำหน้าที่เปรียบเสมือนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศชื้นที่ผ่าน cooling pad มีอุณหภูมิลดต่ำลงกว่าจุดน้ำค้างส่งผลให้เกิดการควบแน่นความชื้นจึงทำให้สภาวะอากาศขาออกที่ผ่าน cooling pad มีค่าอัตราส่วนความชื้นลดลงและสามารถลดอุณหภูมิอากาศให้ต่ำลงได้มากโดยมีค่าผลต่างอุณหภูมิขาเข้าและออกจาก cooing pad สูงสุดถึง 10.8 ºC ที่อัตราการไหลของอากาศ 1.0 m/s เมื่อพิจารณาถึงความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน cooling pad ต่อความสามารถในการดึงความร้อนของและประสิทธิภาพของ cooling pad พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศที่ผ่าน cooling pad เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดึงความร้อนออกจากอากาศของ cooling pad เพิ่มขึ้น (Table 1) ทั้งนี้เนื่องจากการที่ความเร็วการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้มวลของอากาศที่เข้าสู่ระบบมีค่ามากขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการดึงความร้อนมีค่าสูง แต่ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ cooling pad กับพบว่าที่ความเร็วลมต่ำกว่าจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่า () ทั้งนี้เมื่อความเร็วการไหลของอากาศเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการสัมผัส cooling pad ของอากาศสั้นลงเป็นผลให้อุณหภูมิของอากาศมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วการไหลต่ำๆ (Table 1)

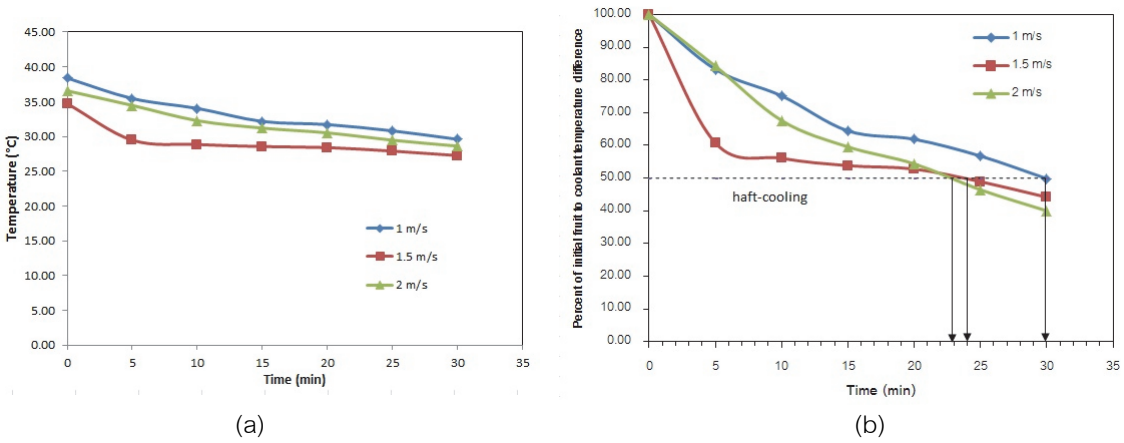
Table 1 Effect of air velocity on cooling pad performance.

Air velocity (m/s)	Inlet air Temperature (ºC)	Outlet air temperature (ºC)	Performance (kW)	Efficiency (%)
1.0	31.6	20.8	3.95	41.60
1.5	31.6	21.4	5.72	40.22
2.0	31.6	23.3	6.70	33.48

Table 2 Effect of air velocity on sample temperature and half-cooling time.

Air velocity (m/s)	Initial temperature of fruit (ºC)	Final temperature of fruit (ºC)	Half-cooling times (min)
1.0	38.4±2.4	29.6±0.8	20
1.5	34.7±2.3	27.3±0.4	24
2.0	36.6±1.5	28.6±0.5	23

เมื่อทำการเป่าลมเย็นผ่านผลส้มแล้วทำการวัดอุณหภูมิแกนกลางผลเทียบกับเวลาให้ผลการทดสอบดัง Figure 2(a) ซึ่งพบว่าการลดลงของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นแล้วจะเริ่มช้าลงซึ่งเป็นไปตามหลักการทำให้เย็น (Sargent *et.al*, 1988) เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการลดอุณหภูมิของส้มซึ่งใช้เป็นผลไม้ตัวอย่างรูปของ half-cooling time พบว่าความเร็วของลมที่เป่าผ่านผลส้มมีผลต่ออัตราการลดลงของอุณหภูมิแกนกลางผลส้ม โดยที่ความเร็วลมสูงกว่าจะมีค่า half-cooling time ที่สั้นกว่านั่นคือสามารถลดอุณหภูมิของผลผลิตได้ดีกว่า (Figure 2(b)) โดยที่ความเร็วของอากาศ 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าต่ำสุดที่ 23 นาที ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้ควรมีการพัฒนาการรูปแบบของการส่งอากาศผ่านวัสดุเกษตรเพิ่มเติม เนื่องจากรายงานของ ปัญญา(2553) พบว่าการส่งอากาศด้วยวิธีการดูดจะให้ค่า half-cooling time ที่ต่ำกว่าการส่งอากาศด้วยวิธีการเป่า



(a) (b)

Figure 2 (a) Center temperature of fruit (b) The rate of cooling at various air velocities.

สรุป

การทำให้อากาศเย็นลงโดยใช้ cooling pad ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศลงได้สูงสุด 10.8 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วอากาศ 1 เมตรต่อวินาที โดยมีประสิทธิภาพของ cooling pad เท่ากับ 41.60% ส่วนความสามารถในการลดอุณหภูมิแกนกลางของผลส้มพบว่าที่ความเร็วอากาศ 2 เมตรต่อวินาที มีค่า half-cooling time ต่ำสุดคือ 23 นาที

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 น.

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์. 2553. การทำความเย็นแบบแอร์ฟอร์ชคูลลิ่งสำหรับกล้วยเล็บมือนางบรรจุกล่อง.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. 20-22 ตุลาคม 2553, จังหวัดอุบลราชธานี.

วรินธร ยิ้มย่อง. 2559. การลดอุณหภูมิผลิตผลการเกษตร (Pre-cooling). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://drwarinthon.files.wordpress.com/2014/08/e0b8a7e0b8b2e0b8a3e0b8aae0b8b2e0b8a32.doc.

Sargent, S.A., M.T. Talbot and J.K. Brecht. 1988. Evaluating precooling methods for vegetable packinghouse operation. Proc. Fla. State Hort. Soc. 101:175-182.