ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและแบบใช้น้ำแข็งต่อคุณภาพของผักคะน้าฮ่องกง

Effects of Vacuum Cooling and Ice Cooling on Quality of Kailan

รติยา ประดิษฐวนิช[1*] ดนัย บุณยเกียรติ[3] และ พิชญา พูลลาภ[2,3]

Ratiya Praditthawanich[1*], Danai Boonyakiat[3] and Pichaya Poonlarb[2,3]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[2]Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand

[3]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100

[3]Postharvest Technology Research Institute / Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

**Corresponding author: Email: Ratiya_pradit@cmu.ac.th*

(Received: 25 January 2022; Accepted: 31 May 2022)

Abstract: This research aimed to study the effect of vacuum cooling and ice cooling on physico-chemical quality and shelf life of Kailan. Study on ice cooling was conducted by using Kailan: ice ratio of 1 : 1 and vacuum cooling parameter was 6.5 mbar pressure for 20 min, compared with non-cooling Kailan. Vegetable was stored at a temperature of 8 ± 2 °C, 80 - 85 % relative humidity. It was found that cooled Kailan had fresh weight loss, vitamin C content, chlorophyll content and phenolic compounds content better than non-cooled vegetable, as a result the shelf life of Kailan was extended. Non-precooled, ice cooled and vacuum cooled Kailan had shelf life of 5.20 ± 0.18, 8.2 ± 0.18 and 8.0 ± 0.00 days, respectively. However, cooling method had no effect on the total soluble solids content, leaf color and antioxidant activity.

Keywords: Kailan, vacuum cooling, ice cooling, shelf life, weight loss

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและสุญญากาศต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และอายุการเก็บรักษาของคะน้าฮ่องกง โดยศึกษาการลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำแข็ง ในอัตราส่วนคะน้าฮ่องกง:น้ำแข็ง เท่ากับ 1 : 1 และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 6.5 มิลลิบาร์ 20 นาที เปรียบเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษา พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ดีกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาคะน้าฮ่องกงได้ โดยคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษาที่ 5.20 ± 0.18, 8.2 ± 0.18 และ 8.0 ± 0.00 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่าสีของใบ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของคะน้าฮ่องกง

คำสำคัญ: คะน้าฮ่องกง การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ การลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำแข็ง อายุการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำหนักสด

คำนำ

คะน้าฮ่องกง (Kailan) เป็นผักในวงศ์ Brassicaceae (Cruciferae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey จัดอยู่ในกลุ่มพืชเมืองหนาว มีต้นกำเนิดสายพันธุ์จากประเทศจีน เกิดจากการผสมข้ามระหว่างบรอกโคลี (*Brassica oleracea* var. *italica*) ซึ่งมีกิ่งแขนงหรือหน่อข้าง และคะน้า (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*) ซึ่งไม่มีหน่อข้าง เป็นผักบริโภคใบ ลักษณะลำต้นและใบมีสีเขียวเข้ม ใบมีลักษณะเรียวไม่กลม ลำต้นมีขนาดเล็กกว่าคะน้ายอดดอยคำ กรอบไม่เป็นเสี้ยน ดอกมีสีขาวหรือสีเหลือง (Chaimongkon, 2002) มีสารอาหารสูง เนื่องจากเป็นผักสีเขียว จึงมีวิตามินเอและซี สูงกว่าผักใบชนิดอื่น ๆ นิยมรับประทานส่วนยอดอ่อนที่ติดดอกตูม ก้านและลำต้นที่มีลักษณะอวบ (Yodphet, 1999) และได้รับความนิยมในการบริโภค ภายหลังการเก็บเกี่ยวคะน้าฮ่องกง การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทั้งทางสรีรวิทยาและชีวเคมีทำให้คุณภาพของผลิตผลลด (Ketsa, 1985) โดยการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพคือ อาการเหี่ยว ใบเหลือง และนำไปสู่การเน่าเละของผลิตผล ซึ่งอาการเหล่านี้ มีสาเหตุจากผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงมาแล้ว ยังคงมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ยังเกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น กระบวนการหายใจและคายน้ำ เกิดเป็นความร้อนขึ้นในผลิตผล รวมทั้งอุณหภูมิความชื้น แสงแดด สภาพแปลงปลูก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การบรรจุ การเก็บรักษาผลิตผลก่อนการจำหน่าย เชื้อจุลินทรีย์เป็นปัจจัยหนึ่งที่เร่งกระบวนการการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพให้เร็วขึ้นสาเหตุเหล่านี้ชะลอได้ด้วยการทำให้ผลิตผลเย็นลง (Boonyakiat and Rattanapanone, 2005)

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (ice cooling) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตผลโดยใช้น้ำแข็งบดละเอียดใส่ลงไปในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับผลิตผล เพื่อทำให้ผลิตผลเย็นลง การลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้ทำให้ผลิตผลเย็นลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำแข็งกับผลิตผลมีน้อย เพื่อลดข้อจำกัดอาจใช้น้ำผสมกับน้ำแข็งในอัตราส่วนที่เหมาะสมใส่ในบรรจุภัณฑ์ หากต้องการให้การลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพดีขึ้นจำเป็นต้องใช้ร่วมกับน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ตัวกลางสำหรับถ่ายเทความร้อน (Boonyakiat and Rattanapanone, 2005) ปัจจุบันยังใช้กันอยู่ในกลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการที่ไม่มีระบบลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่น ๆ เหมาะที่จะใช้ในการขนส่งโดยรถยนต์ที่ไม่มีเครื่องทำความเย็น ใช้ในกรณีของพืชผักบางชนิดที่ต้องการบรรจุตั้งแต่อยู่ที่แหล่งปลูก โดยหลังการลด

อุณหภูมิแล้วถูกขนส่งทันที หรือเก็บรักษาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำต่อไป การบรรจุน้ำแข็งลงไป ทำให้ภายในบรรจุภัณฑ์มีความชื้นสูงและช่วยลดการสูญเสียของผลิตผล ในส่วนของข้อจำกัดของวิธีการนี้คือ ทำให้สามารถบรรจุผลิตผลได้น้อยลง เนื่องจากน้ำแข็งที่บรรจุร่วมกับผลิตผลทำให้มีน้ำหนักมากขึ้น ขนส่งผลิตผลได้น้อยลง นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเพื่อจัดหาบรรจุภัณฑ์ที่กันน้ำได้ อีกทั้งน้ำที่เกิดจากการละลายของน้ำแข็งอาจทำให้ผลิตผลช้างเคียงเสียหายได้ (Poonlarp, 2016) การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ยาวนานขึ้น ดังเช่นงานวิจัยของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ในบรอกโคลี การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งที่อัตราส่วน 1 : 1 (บรอกโคลี:น้ำแข็ง) ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 6 วัน เมื่อเทียบกับบรอกโคลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานาน 4 วัน และจากงานวิจัยของ Dirapan *et al.* (2021) บรอกโคลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งที่อัตราส่วน 1 : 1 (บรอกโคลี : น้ำแข็ง) มีอายุการเก็บรักษานาน 12 วัน เมื่อเทียบกับบรอกโคลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานาน 5 วัน

การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (vacuum cooling) ใช้หลักของการระเหยน้ำให้กลายเป็นไออย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งเป็นสภาวะที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ภายใต้สภาวะสุญญากาศน้ำที่ผิวหรือภายในผลิตผลจะระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ความร้อนแฝงนี้ถ่ายเทพลังงานระหว่างผลิตผลกับน้ำในผลิตผล ส่งผลให้น้ำเปลี่ยนสถานะทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว (Kamon *et al*., 2013) นิยมใช้กับผลิตผลจำพวกผักใบ (McDonald and Sun, 2000; Sullivan *et al.*, 1996; Tambunan *et al*., 1994; Turk and Celik, 1993) ข้อดีของวิธีการนี้เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วและอุณหภูมิสม่ำเสมอทั้งภายในและภายนอกผลิตผล (Barger, 1961; Noble, 1985; Zheng and Sun, 2004) ช่วยยืดอายุการวางจำหน่าย และลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดของผลิตผลลงได้ (Aharoni and Yehosua, 1973; Artes and Martinez,1996; Barger, 1961) รักษาคุณภาพผลิตผลไม่ให้รับความกระทบกระเทือนในขณะลดอุณหภูมิ เป็นวิธีที่สะอาดที่สุด เป็นกระบวนการที่มีความต่อเนื่องใช้ระยะเวลาสั้นกว่าวิธีอื่น ๆ สามารถใช้ลดอุณหภูมิผลิตผลในปริมาณมาก ๆ (Zheng and Sun, 2004) อีกทั้งยังเป็นการกำจัดน้ำส่วนเกินที่ไม่ต้องการซึ่งติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผล เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Sun and Zheng, 2006) จากงานวิจัยของ Kaewmaninobphachot (2013) ศึกษาการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของคะน้าฮ่องกง ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 20 - 25 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส กำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ลดอุณหภูมิและการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมมีอายุการเก็บรักษานาน 13 วัน เมื่อเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีอายุการเก็บรักษานาน 4 วัน และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศในผักกาดฮ่องเต้ (Chinnapun, 2009) ผักกาดขาวปลี (Kamon, 2013) ผักกาดหวาน (Panyakham, 2011) และบรอกโคลี (Dirapan *et al*., 2021) ช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาของผลิตผลได้นานกว่าผลิตผลที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ จากงานวิจัยของ Kaewmaninobphachot (2013) ได้ทำการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับบรรจุภัณฑ์แอคทีฟในคะน้าฮ่องกง โดยไม่มีการเปรียบเทียบกับผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง งานวิจัยของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ได้ทำการศึกษาผลการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งในบรอกโคลี โดยไม่มีการเปรียบเทียบกับผลของการลดอุณหภูมิสุญญากาศ และงานวิจัยของ Dirapan *et al.* (2021) ได้ทำการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของบรอกโคลี่ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของคะน้าฮ่องกงที่ลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศ ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของคะน้าฮ่องกง

อุปกรณ์และวิธีการ

นำคะน้าฮ่องกง พันธุ์โอเชี่ยน ที่เก็บเกี่ยวในระยะความแก่ทางการค้าจากแปลงเกษตรกรของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ขนส่งโดยรถบรรทุกธรรมดามายังศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ตัดแต่งให้อยู่ในสภาพที่ใช้ในการวางจำหน่าย บรรจุลงในถุงพอลิเอทิลีนเจาะรูขนาด 25.40 × 40.64 เซนติเมตร ปริมาณน้ำหนักบรรจุ 250 - 300 กรัมต่อถุง และลดอุณหภูมิตามสภาวะที่เหมาะสมจากการลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำแข็ง ในอัตราส่วนคะน้าฮ่องกง:น้ำแข็ง เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิสุดท้ายของคะน้าฮ่องกงเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 องศาเซลเซียส และแบบสุญญากาศที่ความดัน 6.5 มิลลิบาร์ 20 นาที อุณหภูมิสุดท้ายของคะน้าฮ่องกงเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิสุดท้ายของคะน้าฮ่องกงเฉลี่ยเท่ากับ 20.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำคะน้าฮ่องกงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี ทุกวันจนหมดอายุการเก็บรักษา โดยบันทึกผลการทดลอง ดังนี้ การสูญเสียน้ำหนักสด (Tao *et al*., 2006) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่าสีของใบ (McGuire, 1992) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Witham *et al*., 1971) ปริมาณวิตามินซี (Ranganna, 1986) กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (Manthey, 2004) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (Sellappan *et al*., 2002) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ถุง นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าแสดงความผิดพลาด; Mean ± S.E. และค่า least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การสูญเสียน้ำหนักสด

คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักสดซึ่งความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศ โดยคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 4.96 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และแบบสุญญากาศ ที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 3.39 ± 0.34 และ 2.83 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) และในทุกการทดลองมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากเมื่อเก็บเกี่ยวผลิตผลออกจากแปลง ผลิตผลถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้รับจากราก แต่การสูญเสียน้ำของผลิตผลยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา (Boonyakiat, 1997) โดยการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมีผลต่อความสด และลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตผลอีกด้วย (Roura *et al.,* 2000) ทั้งนี้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิผลิตผลอย่างรวดเร็วก่อนนำมาเก็บรักษาจึงช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลสด (Boyette *et al.,* 1990) ส่วนการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง เมื่อน้ำแข็งที่บรรจุลงไปละลายทำให้อุณหภูมิภายในภาชนะบรรจุลดลงและมีความชื้นสูง ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลได้ (Boonyakiat, 2013)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และแบบสุญญากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.43 ± 0.19, 5.37 ± 0.10 และ 5.30 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turk and Celik (1993) ซึ่งเป็นการศึกษาการลดอุณหภูมิเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพของ

ผักกาดหอมห่อ พบว่าการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของผักกาดหอมห่อ

ค่าสีของใบ

คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าสีของใบ L*, chroma และ hue angle ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีค่า L* เท่ากับ 48.32 ± 1.12, 46.04 ± 0.40 และ 48.09 ± 0.85 ตามลำดับ (Table 2) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chinnapun (2009) ทำการทดลองลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศในผักกาดฮ่องเต้ พบว่า การลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่า L*ของผักกาด-ฮ่องเต้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

ค่า chroma ของคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ เท่ากับ 16.65 ± 0.70, 12.31 ± 0.28 และ 14.91 ± 0.22 ตามลำดับ (Table 2) และในส่วนค่า hue angle พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ เท่ากับ 127.20 ± 0.85, 129.42 ± 0.27 และ 129.52 ± 0.44 ตามลำดับ (Table 2) ทั้งนี้ ค่า hue angle เป็นค่าที่แสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่าสีของวัตถุ โดยค่า hue angle ที่ตกกระทบในช่วง 90 - 135 องศาเซลเซียส จะแสดงค่าสีเหลืองถึงสีเขียว จากการทดลองคะน้าฮ่องกงแสดงอาการเหลืองที่ก้านใบและใบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองตามอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น พบว่า ค่า L* และค่า chroma มีแนวโน้ม

Table 1. Effects of cooling method on weight loss and total soluble solids of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Weight loss (%)	Total soluble solids (%)
Control	4.96 ± 0.28a	5.43 ± 0.19
Ice cooling	3.39 ± 0.34b	5.37 ± 0.10
Vacuum cooling	2.83 ± 0.17b	5.30 ± 0.05
F-test $_{(P=0.05)}$	*	ns
CV (%)	22.46	4.99

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05, ns = non-significant

Table 2. Effects of cooling method on leaf color of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Leaf color		
	L*	Chroma	Hue angle
Control	48.32 ± 1.12	16.65 ± 0.70	127.20 ± 0.85
Ice Cooling	46.04 ± 0.40	12.31 ± 0.28	129.42 ± 0.27
Vacuum Cooling	48.09 ± 0.85	14.91 ± 0.22	129.52 ± 0.44
F-test $_{(P=0.05)}$	ns	ns	ns
CV (%)	6.26	24.43	1.58

ns = non-significant

ที่เพิ่มมากขึ้น และค่า hue angle มีแนวโน้มที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ที่ศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งในบรอกโคลีเปรียบเทียบกับบรอกโคลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน และสอดคล้องกับการทดลองของ Kaewmaninobphachot (2013) ที่ศึกษาการลดอุณหภูมิคะน้าฮ่องกงแบบสุญญากาศเปรียบเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.24 ± 0.01, 0.20 ± 0.01 และ 0.19 ± 0.01 mg/100 g FW ตามลำดับ และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 0.33 ± 0.01, 0.28 ± 0.01 และ 0.26 ± 0.01 mg/100 g FW ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับการทดลองของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ซึ่งรายงานว่า บรอกโคลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งในอัตราส่วนบรอกโคลีต่อน้ำแข็ง 1 : 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด การลดอุณหภูมิด้วยน้ำแข็งส่งผลให้ผลิตผลอยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพและรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ของผลิตผลได้ (Roura *et al.*, 2000) และในส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์ บี พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.08 ± 0.01, 0.09 ± 0.00 และ 0.08 ± 0.00 mg/100 g FW ตามลำดับ (Table 3) จากการทดลองพบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เมื่อเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hemrattrakun (2009) ที่รายงานการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเหล็ง

Table 3. Effects of cooling method on chlorophyll content of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Chlorophyll content (mg/100 g FW)		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll
Control	0.19 ± 0.01b	0.08 ± 0.01	0.26 ± 0.01b
Ice Cooling	0.24 ± 0.01a	0.09 ± 0.00	0.33 ± 0.01a
Vacuum Cooling	0.20 ± 0.01b	0.08 ± 0.00	0.28 ± 0.01b
F-test $_{(P=0.05)}$	*	ns	*
CV (%)	8.20	11.90	8.70

Different letters in the same column denote significant differences at $P = 0.05$, ns = non-significant

ปริมาณวิตามินซี

คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับปริมาณวิตามินซีของคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 47.32 ± 0.82, 46.31 ± 0.82 และ 37.58 ± 0.55 mg/100g FW ตามลำดับ (Table 4) อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการรักษาปริมาณวิตามินซีในผัก อุณหภูมิที่สูงเร่งให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีอย่างรวดเร็ว (Lee and Kader, 2000) ดังนั้น คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และในสภาวะที่มีการสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ปริมาณวิตามินซี ลดลงอย่างเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักที่บริโภคใบ (Lee and Kader, 2000) การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษายังทำให้ผลิตผลสูญเสียวิตามินซีได้มากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Kays,1991; Siriphanich, 2001)

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล

คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ 368.92 ± 9.21, 299.45 ± 22.98 และ 301.98 ± 35.52 µg Trolox/g FW ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kaewmaninobphachot (2013) ที่รายงานว่า คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่าน

Table 4. Effects of cooling method on vitamin C content, antioxidant activity and phenolic compound content of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Vitamin C (mg/100g FW)	Antioxidant activity (µg Trolox/g FW)	Phenolic compound (µg GAE/g FW)
Control	37.58 ± 0.55b	301.98 ± 35.52	13.16 ± 0.54a
Ice Cooling	47.32 ± 0.82a	368.92 ± 9.21	13.39 ± 1.15a
Vacuum Cooling	46.31 ± 0.82a	299.45 ± 22.98	10.35 ± 0.41b
F-test $_{(P=0.05)}$	*	ns	*
CV (%)	3.59	13.38	10.84

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05, ns = non-significant

การลดอุณหภูมิ มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 10.35 ± 0.41, 13.39 ± 1.15 และ 13.16 ± 0.54 µg GAE/g FW ตามลำดับ (Table 4) จากการทดลองพบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของคะน้าฮ่องกงทำให้สารประกอบฟีนอลลดลงต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Dirapan *et al.* (2021) ที่รายงานว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำกว่าบรอกโคลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นว่าคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ แม้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอล จะเห็นได้ว่าสารประกอบฟีนอลเป็นสารที่สนับสนุนสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงจึงทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย (Chinnapun, 2009)

อายุการเก็บรักษา

การประเมินการอายุการเก็บรักษาของคะน้าฮ่องกง ใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะปรากฏในด้านการยอมรับคุณภาพโดยรวมของ Hedonic scale โดยกำหนดให้คะน้าฮ่องกงหมดอายุการเก็บรักษา เมื่อมีระดับคะแนนต่ำกว่า 5 คะแนนจาก 9 คะแนน ซึ่งบ่งบอกว่าผู้ประเมินเริ่มไม่ยอมรับในผลิตผลนั้นๆ โดยที่คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับเร็วกว่าคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศ คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษา 5.20 ± 0.18 วัน ในขณะที่คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษาที่ 8.2 ± 0.18 และ 8.0 ± 0.00 วัน ตามลำดับ (Table 5) จากการทดลองพบว่า คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลให้คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานานกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยปกติผลิตผลผักสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตผลหลังเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำจะเกิดขึ้นตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการเหี่ยวและการเปลี่ยนแปลงสีของลำต้น ใบ ดอก และยอดของผลิตผล การสูญเสียน้ำจึงมีความสัมพันธ์ต่ออายุการเก็บรักษาที่สั้นของผลิตผล (Boonyakiat, 1997; Kamon *et al.*, 2013) การลดอุณหภูมิผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลสดได้ รักษาปริมาณของวิตามินซี หากปฏิบัติช้าจะส่งผลให้คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลิตผลลดลง (Boyette *et al.*, 1990; Paull, 1999)

Table 5. Shelf life of Kailan stored at 8 ± 2 °C

Method	Shelf life (Days)
Control	5.20 ± 0.18b
Ice cooling	8.20 ± 0.18a
Vacuum cooling	8.00 ± 0.00a
F-test $_{(P=0.05)}$	*
CV (%)	5.12

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05

สรุป

คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและสุญญากาศมีคุณภาพทางกายภาพและเคมีดีกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยเฉพาะการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณวิตามินซี การสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าของคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิทั้งสองวิธี ส่งผลให้ผักมีอายุการเก็บรักษาที่นานกว่าและมีคุณค่าทางอาหาร คือมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

เอกสารอ้างอิง

Aharoni, N. and B. Yehosua. 1973. Delaying deterioration of romaine lettuce by vacuum cooling and modified atmosphere produced in polyethylene packages. Journal of American Society for Horticultural Science 98: 464-468.

Artes, F. and J.A. Martinez. 1996. Influence of packaging treatments on the keeping quality of 'Salinas' lettuce. LWT-Food Science and Technology 29(7): 664-668.

Barger, W.R. 1961. Factors affecting temperature reduction and weight-loss in vacuum-cooled lettuce. Marketing Research Report No. 469. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 20 p.

Boonyakiat, D. 1997. Postharvest Physiology of Horticultural Crops. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 222 p. (in Thai)

Boonyakiat, D. 2013. Postharvest Physiology of Horticultural Crops. Odien Store, Bangkok. 360 p. (in Thai)

Boonyakiat, D. and N. Rattanapanone. 2005. Handling Postharvest of Vegetables and Fruits. Odien Store, Bangkok. 236 p. (in Thai)

Boyette, M.D., L.G. Wilson and E.A. Estes. 1990. Postharvest cooling and handling of sweet corn. North Carolina Agricultural Extension Service, North Carolina State University, Raleigh. 4 p.

Chaimongkon, N. 2002. Chinese kale. (Online). Available: https://vegetweb.com/wp-content/download/Kale.pdf (July 26, 2018). (in Thai)

Chinnapun, V. 2009. Optimal vacuum cooling process of Pak Choi (*Brassica chinensis*). M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 175 p. (in Thai)

Chuamuangphan, C. and D. Boonyakiat. 2008. Effects of harvesting maturity and icing on broccoli shelf life extension. Research report. Royal Project Foundation, Chiang Mai. 100 p. (in Thai)

Dirapan, P., D. Boonyakiat and P. Poonlarp. 2021. Improving Shelf Life, maintaining quality, and delaying microbial growth of broccoli in supply chain using commercial vacuum cooling and package icing. Horticulturae 7(11): 56, doi: 10.3390/horticulturae7110506.

Kaewmaninobphachot, T. 2013. Effects of vacuum cooling combined with active packaging on postharvest quality of Chinese kale (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey). M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 178 p. (in Thai)

Kamon, N., D. Boonyakiat and P. Poonlarp. 2013. Effect of vacuum cooling on postharvest quality of Chinese cabbage. Khon Kaen Agriculture Journal 41(3): 247-256. (in Thai)

Kays, S.J. 1991. Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. Van Nostrand Reinhold, New York. 532 p.

Ketsa, S. 1985. Postharvest Physiology and Technology of Vegetables and Fruits. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 364 p. (in Thai)

Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvet factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biololgy and Technology 20(3): 207-220.

Manthey, J.A. 2004. Fractionation of orange peel phenols in ultrafiltered molasses and mass balance studies of their antioxidant levels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52(25): 7586-7592.

McDonald, K. and D.W. Sun. 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry: A review. Journal of Food Engineering 45(2): 55-65.

McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27(12): 1254-1255.

Noble, R. 1985. A review of vacuum cooling of mushrooms. Mushroom Journal 149: 168-170.

Panyakham, T. 2011. Postharvest quality of vacuum cooled Cos lettuce. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 96 p. (in Thai)

Paull, R.E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. Postharvest Biology and Technology 15(3): 263-277.

Poonlarp, P. 2016. Precooling of Fruits and Vegetables to Extend Shelf Life. Nopburee Press, Chiang Mai. 147 p. (in Thai)

Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 1112 p.

Roura, S.I., L.A. Davidivoch and C.E. del Valle. 2000. Quality loss in minimally processed Swiss chard related to amount of damaged area. LWT-Food Science and Technology 33(1): 53-59.

Sellappan, S., C.C. Akoh and G. Krewer. 2002. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(8): 2432-2438.

Siriphanich, J. 2001. Postharvest Physiology of Vegetables and Fruits. 4th ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 396 p. (in Thai)

Sullivan, G.H., L.R. Davenport and J.W. Julian. 1996. Precooling: key factor for assuring quality in new fresh market vegetable crops. pp. 521-524 *In*: J. Janick (ed.). Progress in New Crops. ASHS Press, Arlington Virginia.

Sun, D.W. and L. Zheng. 2006. Vacuum cooling technology for the agri-food Industry: Past, present and future. Journal Food Engineering 77(2): 203-214.

Tambunan, A.H., Y. Sagara., Y. Seo., H. Morishima and Y. Kawagoe. 1994. Developments in Food Engineering: Measurement of evaporative coefficient of water during vacuum cooling of lettuce. Chapman and Hall, London. 1117 p.

Tao, F., M. Zhang, H. Yu and J. Sun. 2006. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling. Journal of Food Engineering 77(3): 545-549.

Turk, R. and E. Celik. 1993. The effect of vacuum precooling on the half cooling period and quality characteristic of Iceberg lettuce. Acta Horticulturae 343: 321-324.

Witham, F.H., D.H. Blaydes and R.M. Devin. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 245 p.

Yodphet, C. 1999. Cruciferous Crops. 2nd ed. Roa Khiao, Bangkok. 195 p. (in Thai)

Zheng, L. and D.W. Sun. 2004. Vacuum cooling for the food industry – A review of recent research advances. Trends in Food Science and Technology 15(12): 555-568.