

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์ที่ปลูก และเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง

Effects of Vacuum Cooling on Quality of Organic Pak Choi Grown and Harvested in Dry Season

เพชรดา อยู่สุข^{1,2} ศิวพร ธรรมดี¹ พิชญา บุญประสม พูลลภ^{3,4} และ ดนัย บุญเกียรติ^{1*,4}
Pedcharada Yusuk^{1,2}, Siwaporn Thumdee¹, Pichaya Boonprasom Poonlarp^{3,4}
and Danai Boonyakiat^{1*,4}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) 65 หมู่ที่ 1 ถนนสุเทพ ต. สุเทพ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

²Highland Research and Development Institute, 65 Suthep Road, Chiang Mai 50200, Thailand

³ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50100

³Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand

⁴ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

⁴Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: danai.b@cmu.ac.th

(Received: 10 January 2017; Accepted: 31 July 2017)

Abstract: The purpose of this research was investigated the effect of vacuum cooling on quality changes in organic pak choi that grown and harvested in dry season (February-March). The produce was harvested from the farmer's farm at 6.00-7.30 am and transported to the Royal Project Produce Center, Mueang district, Chiang Mai province at 9.00 am. The produce was then grading, trimming and packing into the polyethylene bag. The qualities of produce from two treatments were compared. For the first treatment, the produce was precooled using vacuum cooling system. The operating parameters used for precooling were at holding the pressure of 6 mbar with a holding time of 5 minutes. Subsequently the second treatment, the produce was stored at 8 °C immediately after harvest (no precooling). The results showed that after storage for 3 days, vacuum cooling reduced the rate of respiration. Vacuumed pak choi had 2 times lower respiration rate than non-vacuum. In addition, the vacuum cooling extended the shelf life from 3 to 6 days. The vacuum cooling did not affected on weight loss, vitamin C, glucosinolate and leaf color change of pak choi.

Keywords: Respiration rate, shelf life, vitamin C, glucosinolate, weight loss

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์ที่ปลูกและเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์-มีนาคม) โดยเก็บเกี่ยวผักกาดฮ่องเต้จากแปลงเกษตรกรรมเวลา 06.00-07.30 น. และขนส่งถึงศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เวลาประมาณ 09.00 น. ผักกาดฮ่องเต้ถูกนำมาคัด ตัดแต่ง และบรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตผล 2 กรรมวิธี โดยกรรมวิธีที่ 1 นำผลิตผลไปลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ โดยกำหนดให้ผลิตผลอยู่ภายใต้การรักษาระดับความดันที่ 6 มิลลิบาร์เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผลิตผลไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส สำหรับผลิตผลในกรรมวิธีที่ 2 นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ทันทีหลังการเก็บเกี่ยว (ชุดควบคุม) ผลการทดลองพบว่า หลังจากเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ไว้ 3 วัน การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศช่วยลดอัตราการหายใจของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอัตราการหายใจต่ำกว่ากรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิประมาณสองเท่า นอกจากนี้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจาก 3 วัน เป็น 6 วัน และไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก วิตามินซี กลูโคซิโนเลต และการเปลี่ยนแปลงสีของใบ

คำสำคัญ: อัตราการหายใจ อายุการเก็บรักษา วิตามินซี กลูโคซิโนเลต การสูญเสียน้ำหนัก

คำนำ

ผักกาดฮ่องเต้ (pak choi) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica chinensis* var. *chinensis* จัดเป็นพืชในวงศ์ Brassicaceae มีการเพาะปลูกมากในสาธารณรัฐประชาชนจีน ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย และประเทศไทย (Dixon, 2007) ผักกาดฮ่องเต้อุดมไปด้วยวิตามินเอ และวิตามินซี (USDA, 2016) นอกจากนี้ยังมีกลูโคซิโนเลต (glucosinolates) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อสลายตัวได้ isothiocyanate ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (Mithen et al., 2000; Yang et al., 2010) ผักกาดฮ่องเต้เป็นพืชผักที่เกษตรกรนิยมปลูกและเป็นพืชผักที่มูลนิธิโครงการหลวงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกบนพื้นที่สูง เนื่องจากเป็นผักที่มีรสหวานกรอบสามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี (นาวัน และคณะ, 2559) มีระยะเวลาการปลูกสั้นประมาณ 40-45 วัน โดยเฉพาะการปลูกภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีเกษตรทั้งสารกำจัดศัตรูพืชและปุ๋ยเคมีเนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (พหล และสุรัชย์, 2559) แต่ผักกาดฮ่องเต้มักเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บเกี่ยว โดยเกิดอาการเหี่ยวหรือใบเหลืองใน 2-3 วัน ขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูกาลที่มีอุณหภูมิสูงจะแสดงอาการใบเหลืองภายใน 2 วัน ส่งผลให้อายุการวางจำหน่ายสั้น ทำให้สูญเสียโอกาสทางการตลาด (दनัย และคณะ, 2551)

ผักและผลไม้ยังคงเป็นสิ่งมีชีวิตอยู่และมีกระบวนการทางชีวเคมีเกิดมากมายหลังจากเก็บเกี่ยว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บเกี่ยวในผลิตผลสดไม่สามารถหยุดยั้งได้แต่สามารถชะลอได้ การเสื่อมสภาพเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการพัฒนาของอวัยวะพืชซึ่งไม่สามารถย้อนกลับได้ และนำไปสู่การตายของเซลล์พืช (Kader, 2002) ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อม ขณะที่ทำการเก็บเกี่ยว เมื่อขนย้ายผลิตผลมายังโรงคัดบรรจุและกองรวมกันไว้ จะทำให้ความร้อนที่คายออกมาจากผลิตผล (vital heat) รวมกับความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากแปลงปลูก (field heat) ถูกสะสมอยู่ภายในกองผลิตผล ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของพืชผักให้เกิดเร็วขึ้น ทำให้คุณภาพของผลิตผลลดลงและมีอายุการเก็บรักษาสั้นลงด้วย ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผลิตผลให้ต่ำลงเพื่อไล่ความร้อนจากแปลงปลูกที่ติดมากับผลิตผลออกไปให้เร็วที่สุดและมากที่สุดเมื่อผลิตผลมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เกิดขึ้นช้าลงด้วย (दनัย และนินิยา, 2548) นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิยังเป็นปัจจัยสำคัญช่วยรักษาปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้ การสูญเสียวิตามินซีมักเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน (Lee and Kader, 2000)

ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้วจึงควรลดอุณหภูมิทันที ซึ่งวิธีการใช้สุญญากาศ (vacuum cooling) เป็นการลดความร้อนที่รวดเร็วและสม่ำเสมอที่สุด อุณหภูมิของผลิตผลจะเย็นลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการลดความร้อนโดยวิธีการอื่น ๆ (दन्य and नीर्या, 2548) นอกจากนี้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศยังเป็นวิธีการที่ใช้กับการยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตผลที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิในผักกาดขาวปลี (ณัฐพล และคณะ, 2556) ผักกาดฮ่องเต้ (วินิต และคณะ, 2551) คะน้าฮ่องกง (Poonlarp and Boonyakiat, 2015) กะหล่ำดอก (Alibas and Koksai, 2015) และบรอกโคลี (Ding *et al.*, 2016) ทั้งนี้การศึกษาเกี่ยวกับลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศส่วนใหญ่มีการศึกษาในพืชผักที่ปลูกในระบบที่ยังคงมีการใช้สารเคมีเกษตร การศึกษาในพืชผักที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ยังมีการศึกษาไม่มากนัก

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์ที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง เพื่อที่จะนำข้อมูลไปปรับใช้ในการวางแผนการจัดการผลิตผลผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์หลังเก็บเกี่ยวได้อย่างเหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ผักกาดฮ่องเต้ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ภายใต้โรงเรือนโดยเกษตรกรในพื้นที่สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ บ้านแม่กลางหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ มีระยะเวลาเพาะเมล็ดถึงย้ายกล้า 14 วัน และระยะเวลาตั้งแต่ปลูกถึงเก็บเกี่ยว 27 วัน เก็บตัวอย่างผักกาดฮ่องเต้จากแปลงเกษตรกรในช่วงเวลา 06.00-07.30 น. และขนส่งถึงโรงคัดบรรจุ ศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เวลาประมาณ 09.00 น. จากนั้นนำผักกาดฮ่องเต้มาคัด ตัดแต่ง และบรรจุผักใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน ขนาด 25x40 เซนติเมตร เจาะรู 18 รู เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร โดยบรรจุผัก 300 กรัมต่อถุง จากนั้นแบ่งเป็น 2 กรรมวิธี กรรมวิธีที่ 1 เป็นการลดอุณหภูมิผักด้วยระบบสุญญากาศ กำหนดความดันสุดท้ายของห้องลดอุณหภูมิ (bleed

pressure) ที่ 6 มิลลิบาร์ และกำหนดเวลาที่วางผลิตผลไว้ในห้องลดอุณหภูมิหลังจากความดันภายในห้องลดลงถึงระดับที่กำหนด (soak time) เท่ากับ 5 นาที จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิใกล้เคียงกับตู้แช่สำหรับจำหน่าย สำหรับในกรรมวิธีที่ 2 ผักที่บรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนไม่ลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสทันที เปรียบเทียบกันในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ (1 ถุง เท่ากับ 1 ซ้ำ) บันทึกข้อมูลทุกวันได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักสด วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีตามวิธีของ (Ranganna, 1986) และกลูโคซิโนเลตตามวิธีของ Chen *et al.* (2008) วัดอัตราการหายใจโดยใช้ flow board และการเปลี่ยนสีของใบด้วยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ รุ่น 502 Plus ของบริษัท Konica Minolta รวมทั้งการประเมินอายุการเก็บรักษาโดยประเมินจากลักษณะปรากฏ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีของใบจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (โดยเฉพาะบริเวณขอบใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถือว่าผลิตผลเสื่อมสภาพ) และอาการเหี่ยว เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละในกรรมวิธีด้วยวิธี independent-sample t-test โดยโปรแกรม SPSS 16.0 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้แบบสุญญากาศ ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้ ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายในความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที โดยผักกาดฮ่องเต้มีอุณหภูมิเริ่มต้นบริเวณใจกลางของผักเฉลี่ย 19.50 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4.80 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียน้ำหนักหลังจากลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ 1.38% โดยใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 19 นาที ค่าแรงดันค่าพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 3.20 กิโลวัตต์ ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.17 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุถุงพลาสติกแล้ววางเรียงในตะกร้า

Table 1. Parameter process and measuring indices for vacuum cooling of organic pak choi in perforated polyethylene bags

Process parameters	Value
Holding pressure (mbar)	6
Holding time (min)	5
Cycle time (min)	19
Initial center temperature of pak choi (°C)	19.50
Final center temperature of pak choi (°C)	4.80
Weight loss (%)	1.38
Energy consumption (kWh)	3.20
Electrical expense (Baht/kg)	0.17

พลาสติกแสดงในภาพที่ 1 พบว่า ในช่วง 8 นาทีแรก ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 17.8 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในห้องช่วงนี้ลดลงช้า ๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ต่อมาช่วงเวลาที่ 9-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลง ส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางผักลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาก การเปลี่ยนแปลงของน้ำในผักเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ เนื่องจากการลดความดันทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงจนน้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส การที่น้ำระเหยเพราะมีการเดือดของน้ำ ทำให้ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (heat of vaporization) ของผักถูกนำออกไป (दनัย, 2558) ทำให้อุณหภูมิใจกลางผักลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้ผักอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดนาน 5 นาที ซึ่งในช่วงนี้อัตราการลดอุณหภูมิของผักค่อย ๆ ลดลงด้วยความชันค่อนข้างคงที่จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.8 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการลดอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 องศาเซลเซียสต่อนาที

เมื่อเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ได้เป็นเวลา 3 วัน (ซึ่งเป็นระยะเวลาที่กรรมวิธีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ) ผักมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่

ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเท่ากับ 1.57 และ 1.92% ตามลำดับ (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศในกะหล่ำปลีรูปหัวใจอินทรีย์ ผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์ เบบี๋แครอทอินทรีย์ หอระพา กะเพรา และผักชี (दनัย และคณะ, 2552) ทั้งนี้ตลอดอายุการเก็บรักษาในทั้งสองกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 2) การสูญเสียน้ำทำให้ผักมีน้ำหนักลดลง ผักสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำ ไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศผ่านทางเลนติเซล ปากใบ บาดแผลที่รอยตัด ลำต้นหรือก้าน บาดแผลอื่น ๆ หรือผ่านทางคิวติเคิลออกมา โดยอัตราการสูญเสียน้ำของผักขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (दनัย, 2558) ซึ่งการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเหมาะสำหรับผักที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบภายในเซลล์และมีช่องว่างระหว่างเซลล์รวมทั้งช่องเปิดทางธรรมชาติบริเวณผิวสัมผัสผิวกว้าง เพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนที่ออกของน้ำ อาศัยหลักการพาความร้อนภายในเนื้อเยื่อของผักออกมาพร้อมกับกระบวนการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ แต่ปัญหาของการลดอุณหภูมิโดยวิธีการนี้คือพืชจะสูญเสียน้ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการอื่น ๆ ดังนั้นจึงต้องระวังและควบคุมไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำมากเกินไปจนกระทั่งส่งผลเสียต่อคุณภาพด้านอื่น ๆ ของผักและผลไม้ (Sun and Zheng, 2006; Zheng and Sun, 2005) โดยเฉพาะผลผลิตจำพวกผักต่าง ๆ ที่ภายหลังจากผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

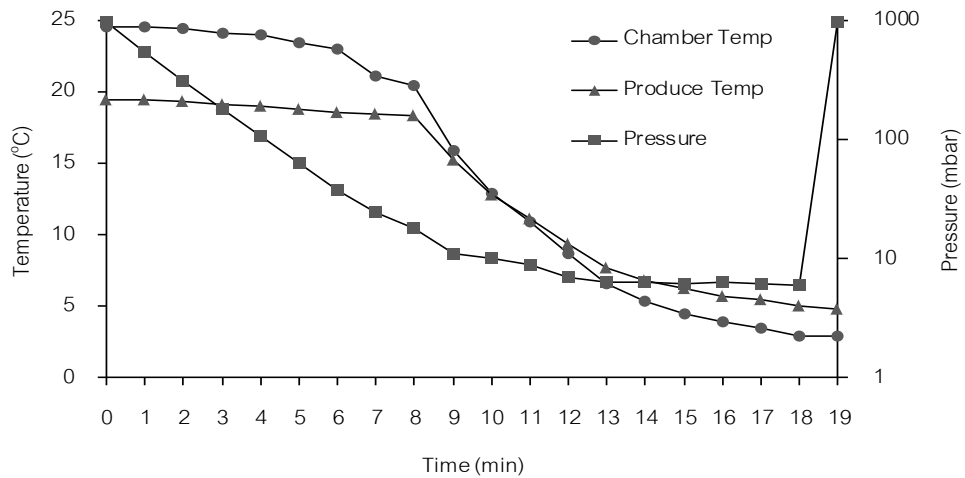


Figure 1. Temperature and pressure in the vacuum chamber and cooling curve of pak choi packed in perforated PE bags during vacuum cooling at 6 mbar for 5 min holding time

Table 2. Effects of vacuum and non-vacuum cooling on qualities of organic pak choi after storage at 8 °C for 3 days

Treatments	Weight loss (%)	Vitamin C (mg/100 g FW)	Glucosinolate (μmol/g FW)	Leaf color (SPAD unit)	Respiration rate (mg CO ₂ /kg/hr)	Shelf life (days)
Vacuum cooling	1.57 ns	44.07 ns	2.25 ns	37.63 ns	11.81 b	6.25 a
Non-vacuum cooling	1.92 ns	42.83 ns	2.72 ns	37.03 ns	23.95 a	3.00 b
2-tail sig.	0.326	0.883	0.423	0.829	0.006	0.026

Means with different letters in the same column are significantly different at $P \leq 0.05$ by t-test

แล้ว อาจจะมีการสูญเสียน้ำหนักมากถึงร้อยละ 3-4 และถึงแม้จะเก็บรักษาผักที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไว้ที่อุณหภูมิต่ำ พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกับผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (Wang and Sun, 2001)

ปริมาณวิตามินซีในผักกาดฮ่องเต้มีความแตกต่างทางสถิติเฉพาะในวันที่เก็บเกี่ยว โดยผักที่เก็บเกี่ยวแล้วผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 30.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด มากกว่าปริมาณวิตามินซีในผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ 18.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ภาพที่ 2) เนื่องจากผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บเกี่ยวจากแปลงยังคงมีกระบวนการทางชีวเคมีและกระบวนการอื่นๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความร้อนที่มาจากแปลง

ซึ่งการจัดการอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาระดับวิตามินซี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเร่งให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี (Lee and Kader, 2000) ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวจึงสามารถรักษาปริมาณวิตามินซีได้ดีกว่าผลิตผลที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ ทั้งนี้ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีในผักกาดฮ่องเต้ทั้งสองกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และปริมาณยังมีความผันแปรค่อนข้างมากตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพล และคณะ (2556) ที่ได้รายงานผลของการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี โดยที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณ

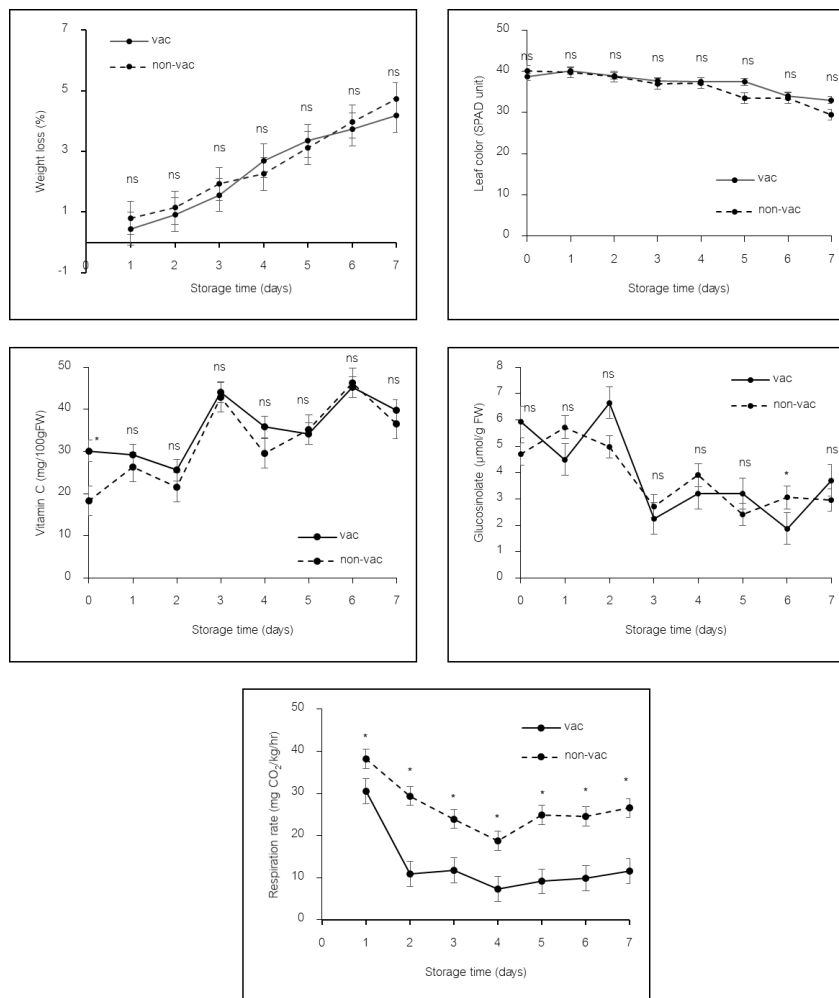


Figure 2. Changes of weight loss, leaf color, vitamin C, glucosinolate content and respiration rate of organic pak choi which were pre-cooled by vacuum cooling (solid line) and non-precooled (dash line) before storage at 8 °C. * Means at the same storage time were different and ns means at the same storage time were different by independent sample t-test at $P < 0.05$ levels

วิตามินซีในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนข้างผันแปร เช่นเดียวกับ จิตติพงศ์ และคณะ (2554) ที่รายงานว่า การลดอุณหภูมิ ผักกาดหวานโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน ไม่มีผลต่อ การเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี และตลอดระยะเวลาการ เก็บรักษาปริมาณวิตามินซีในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนข้างผัน แปร นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณวิตามินซี ของทั้งสองกรรมวิธีมีค่ามากกว่าตอนเริ่มต้น นั่นอาจเป็น เพราะในการวิจัยนี้ใช้ผักกาดฮ่องเต้ทั้งต้น (ยกเว้นราก) ใน

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีจึงมีทั้งใบอ่อนและใบแก่ ซึ่ง ในการวิจัยของ Asante *et al.* (2016) รายงานว่า ปริมาณ วิตามินซีในใบอ่อนของ *Verninia amygdalina* มีมากกว่า ใบใบแก่ ในขณะที่งานวิจัยของ Mathiventhan and Ramiah (2015) รายงานว่า ปริมาณวิตามินซีในใบของ *Drega volubilis*, *Delonix elata* และ *Murraya koenigii* ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษามีค่ามากกว่าตอนเริ่มต้นเมื่อ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งจากข้อมูล ดังกล่าวต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ปริมาณกลูโคซิโนเลตในผักกาดฮ่องเต้ทั้งสองกรรมวิธีในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษามีค่าสูงกว่าในช่วง 3-7 วันของการเก็บรักษา ประมาณ 1-2 เท่า (ภาพที่ 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang *et al.* (2010) ที่รายงานว่า ปริมาณกลูโคซิโนเลตรวมในผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษา โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ 5 และ 7 วัน และลดลงเท่ากับตอนเริ่มต้นเมื่อเก็บรักษาไว้ 9 วัน จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ไว้เป็นเวลา 3 วัน ปริมาณกลูโคซิโนเลตไม่มีความแตกต่างทางสถิติในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษา โดยมีปริมาณเท่ากับ 2.25 และ 2.72 $\mu\text{mol/g FW}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามปริมาณกลูโคซิโนเลตมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2) ซึ่งสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำของผลิตผลและส่งผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดความเสียหาย ทำให้กลูโคซิโนเลตที่อยู่ในไซโทพลาซึมถูกไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์ไมโรซิเนส (Mithen *et al.*, 2000)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในใบผักกาดฮ่องเต้ทั้งในกรรมวิธีที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และไม่มีมีความแตกต่างทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 2) โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีค่า SPAD เท่ากับ 37.63 SPAD unit ส่วนผักกาดฮ่องเต้ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 37.03 SPAD unit (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายเรื่องที่ยืนยันว่าการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อสีของใบชาโยเต้ อินทรีย์ (दनัย และคณะ, 2552; Poonlarp *et al.*, 2012) และคะน้าฮ่องกง (Poonlarp and Boonyakiat, 2015) การเสื่อมสลายของผักบรีโคโนไบที่เด่นชัด คือ การที่สีของใบเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีเหลือง ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ผักบรีโคโนไบจะเสื่อมสลายเร็วที่อุณหภูมิสูงและเกิดช้าเมื่ออุณหภูมิต่ำ (दनัย, 2556) ในการทดลองนี้ผักกาดฮ่องเต้ทั้งสองกรรมวิธีถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส จึงอาจส่งผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของใบ ทั้งนี้จากการสังเกตการ

เปลี่ยนสีของใบจากสีเขียวเป็นสีเหลืองในผักกาดฮ่องเต้เริ่มจากใบที่อยู่ด้านบนสุด โดยการเปลี่ยนสีเริ่มจากบริเวณขอบใบและกระจายสู่ด้านในของใบ

หลังจากเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ไว้นาน 3 วันพบว่า อัตราการหายใจมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอัตราการหายใจต่ำกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ คือ มีค่าเท่ากับ 11.81 และ 23.95 $\text{mg CO}_2/\text{kg/hr}$ ตามลำดับ ผักกาดฮ่องเต้เมื่อตัดออกจากต้นยังคงเป็นสิ่งมีชีวิตและมีกระบวนการทางชีวเคมีเกิดมากมาย มีพลังงานความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการหายใจ (vital heat) รวมทั้งความร้อนที่มากับผลิตผลจากแปลงปลูก ซึ่งไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ มีผลทำให้คุณภาพของผักลดลง (दनัย และนิธิยา, 2548) การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศช่วยชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ การเสื่อมสลาย และกระบวนการชราภาพของผลิตผลให้เกิดช้าลง ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผล และมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Brosnan and Sun, 2001) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding *et al.* (2016) ที่รายงานว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศช่วยลดอัตราการหายใจของบรอกโคลีหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการแช่น้ำเย็น การลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็น และกรรมวิธีที่ไม่มีการลดอุณหภูมิหลังจากเก็บเกี่ยว

สำหรับอายุการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้ประเมินจากลักษณะปรากฏได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีของใบจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (ขอบใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถือว่าผลิตผลเสื่อมสภาพ) และอาการเหี่ยว จากผลการทดลอง พบว่า ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษา 6.25 วัน ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่มีอายุการเก็บรักษา 3 วัน การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศสามารถชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ให้เกิดช้าลง ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผล และยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Brosnan and Sun, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ยืนยันว่า การลดอุณหภูมิแบบ

สุญญากาศส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลผลิตที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลี (ณัฐพล และคณะ, 2556) ผักกาดฮ่องเต้ (วินิล และคณะ, 2551) คะน้าฮ่องกง (Poonlarp and Boonyakiat, 2015) กะหล่ำดอก (Alibas and Koksai, 2015) และบรอกโคลี (Ding *et al.*, 2016)

สรุป

ผักกาดฮ่องเต้ดินทรายที่ปลูกและเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง โดยผลิตผลผักกาดฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ 1 นำมาผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ซึ่งกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนาน 5 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักสดหลังจากการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ 1.38% จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผักกาดฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นผลิตผลที่นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว พบว่า ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิประมาณสองเท่า และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจาก 3 วัน เป็น 6 วัน ทั้งนี้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักวิตามินซี กลูโคซิโนเลต และการเปลี่ยนแปลงสีของใบผักกาดฮ่องเต้หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงและสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกลางคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนทั้งในส่วนของวัสดุอุปกรณ์และบุคลากร และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเกษตรกรที่ช่วยเพาะปลูก ดูแลรักษาผักกาดฮ่องเต้ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- จรัสแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 หน้า.
- จิตติพงศ์ ปัญญา คำ ดนัย บุญเกียรติ และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ. 2554. กระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดหวาน (*Lactuca sativa* var. *longefolia*). เกษตร 39: 359-368.
- ณัฐพล กามล ดนัย บุญเกียรติ และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ. 2556. ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดขาวปลี. เกษตร 41(3): 247-256.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2558. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักบนพื้นที่สูง. วนิดาการพิมพ์, เชียงใหม่. 153 หน้า.
- ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 236 หน้า.
- ดนัย บุญเกียรติ พิษญา บุญประสม ชัยพิชิต เชื้อเมืองพาน และ นพพล จันทรหอม. 2551. การศึกษาคุณภาพของพืชผักและสมุนไพรหลังการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ. รายงานฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน), เชียงใหม่. 155 หน้า.
- ดนัย บุญเกียรติ พิษญา บุญประสม ชัยพิชิต เชื้อเมืองพาน และ นพพล จันทรหอม. 2552. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเพื่อการส่งออกพืชผักและสมุนไพรของโครงการหลวง. รายงานฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน), เชียงใหม่. 245 หน้า.
- นาวัน สุขเลิศ จิราพร กุลสาริน ไสว บรณพานิชพันธุ์ และ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ. 2559. ประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์เชื้อรากำจัดแมลงในการควบคุมด้วงหมัดผักแถบลายในเบบี้ฮ่องเต้บนพื้นที่สูง

- ของจังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 32(2): 171-180.
- พหล ศักดิ์คะทัศน์ และ สุรัช กังวล. 2559. การใช้วิธีวิเคราะห์การจัดกลุ่มหมู่บ้านเพื่อส่งเสริมเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 32(2): 201-207.
- วินิต ชินนาพันธ์ ดนัย บุญเกียรติ และ พิษญา บุญประสม. 2551. กระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้โดยใช้ระบบสุญญากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3) (พิเศษ): 540-543.
- Alibas, I. and N. Koksai. 2015. Forced-air, vacuum, and hydro precooling of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* cv. Freemont): Part II. Determination of quality parameters during storage. Food Science and Technology 35(1): 45-50.
- Asante, D.B., E. Effah-Yeboah, P. Barnes, H.A. Abban, E.O. Ameyaw, J.N. Boampong, E.G. Ofori and J.B. Dadzie. 2016. Antidiabetic effect of young and old ethanolic leaf extracts of *Vernonia amygdalina*: a comparative study. Journal of Diabetes Research 2016: article ID 8252741.
- Brosnan, T. and D.W. Sun. 2001. Precooling techniques and applications for horticultural products: a review. International Journal of Refrigeration 24: 154-170.
- Chen, X., Z. Zhu, J. Gerendás and N. Zimmermann. 2008. Glucosinolates in Chinese *Brassica campestris* vegetables: Chinese cabbage, purple cai-tai, choysum, pakchoi, and turnip. HortScience 43(2): 571-574.
- Ding, T., F. Liu, J.G. Ling, M.L. Kang, J.F. Yu, X.Q. Ye and D.H. Liu. 2016. Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 9(6): 178-185.
- Dixon, G.R. 2007. Vegetable Brassicas and Related Crucifers. CABI, Wallingford. 327 p.
- Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology 20: 207-220.
- Mathiventhan, U. and S. Ramiah. 2015. Vitamin C content of commonly eaten leafy vegetables in fresh and under different storage conditions. Tropical Plant Research 2(3): 240-245.
- Mithen, R.F., M. Dekker, R. Verkerk, S. Rabot and I.T. Johnson. 2000. The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. Journal of the Science of Food and Agriculture 80: 967-984.
- Poonlarp, P.B. and D. Boonyakiat. 2015. Application of vacuum cooling technology and active packaging to improve the quality of Chinese kale. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences 14(2): 143-151.
- Poonlarp, P.B., D. Boonyakiat and K. Pilakunta. 2012. Effect of vacuum cooling on shelf life of organic chayote shoot (*Sechium edule* Sm.). Journal of Agricultural Science and Technology A 2: 220-227.
- Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. Tata McGraw-Hill Publishing Company Inc., New Delhi. 1,112 p.
- Sun, D.W. and L. Zheng. 2006. Vacuum cooling technology for the agri-food industry: past, present and future. Journal of Food Engineering 77: 203-214.
- USDA. 2016. Basic Report: 11116, Cabbage, Chinese (pak-choi), raw. (Online). Available:

- <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2894?fgcd> (March 13, 2017).
- Wang, L. and D.W. Sun. 2001. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. *Trends in Food Science & Technology* 12: 174-184.
- Yang, J., Z. Zhu, Z. Wang and B. Zhu. 2010. Effects of storage temperature on the contents of carotenoids and glucosinolates in pakchoi (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis* var. *communis*). *Journal of Food Biochemistry* 34: 1186-1204.
- Zheng, L.Y. and D.W. Sun. 2005. Vacuum cooling of foods. pp. 579-602. *In*: D.W. Sun (ed.). *Emerging Technologies for Food Processing*. Academic Press, London.
-