ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดขาวปลี

Effect of vacuum cooling on postharvest quality of chinese cabbage

ณัฐพล กามล[1], ดนัย บุณยเกียรติ[1,3*] และ พิชญา บุญประสม พูลลาภ[2,3]

Nattaphon Kamon[1], Danai Boonyakiat[1,3*] and Pichaya Boonprasom Poonlarp[2,3]

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศในผักกาดขาวปลีที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใจกลางเท่ากับ 20 - 23 °ซ ให้ได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4 ± 1 °ซ และเพื่อศึกษาคุณภาพของผักกาดขาวปลีระหว่างการเก็บรักษา การทดลองดำเนินการโดยนำผักกาดขาวปลีที่ตัดแต่งแล้วบรรจุถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนเจาะรูไปลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ โดยกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 5.5, 6.0 และ 6.5 มิลลิบาร์ และใช้ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ช่วง คือ 20, 25 และ 30 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศคือ การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานเท่ากับ 25 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 38 นาที และใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.04 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศด้วยพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ผักกาดขาวปลีมีการสูญเสียน้ำหนักสด 2.57 % เมื่อนำผักกาดขาวปลีไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 85 % พบว่า ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีลักษณะปรากฏดีกว่า อายุการเก็บรักษานานกว่า และมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าผักกาดขาวปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ($P > 0.05$)

คำสำคัญ: ผักกาดขาวปลี, การลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ, การลดอุณหภูมิ

ABSTRACT: This research aimed to study the optimum parameter of the vacuum cooling process for Chinese cabbages with initial core temperatures of 20-23°C to obtain the final temperature of 4±1°C, and to study the quality of Chinese cabbages during storage. The experiment was conducted by using precooled trimmed Chinese cabbages packaged in perforated polyethylene bags using vacuum cooling. The process parameters were set by using the final pressures of 5.5, 6.0 and 6.5 millibar with 3 holding periods: 20, 25 and 30 minutes. The results showed that the optimum parameter of the vacuum cooling process for Chinese cabbages was at the final pressure of 6.0 millibar with the holding time of 25 minutes. The total cooling cycle time was 38 minutes and the electrical energy consumption

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50100

[3] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
Postharvest Technology Research Institute / Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

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

was 5.8 kWh. The calculated cost of electricity was 0.04 Baht/kilogram of fresh weight. During the vacuum cooling process with this optimum parameter, the Chinese cabbages had a weight loss of 2.75%. These vacuum-cooled Chinese cabbages were then stored at 4°C with 80-85 % RH. The results showed that the vacuum-cooled Chinese cabbages had better appearance, longer storage life, and lower percentage of weight loss than the non-vacuum-cooled produce ($P<0.05$). However, the vacuum cooling process had no effect on leaf color, total chlorophyll content, vitamin C content, and total soluble solids ($P>0.05$).
Keywords: Chinese cabbage, vacuum cooling, precooling

บทนำ

ผักกาดขาวปลี *[Brassica rapa* L. subsp. *Pekinensis* (Lour) Olsson.] เป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ส่วนที่ใช้บริโภคได้แก่ ส่วนใบ โดยรับประทาน เป็นผักสดหรือใช้ประกอบอาหารอื่นๆ ผักกาดขาวปลีประกอบไปด้วยคุณค่าทางอาหารหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินเอ วิตามินซี และเส้นใยในปริมาณสูง (ไฉน, 2542) นอกจากนี้ผักกาดขาวปลียังมีโฟเลต ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการสร้างระบบประสาทให้ทารกในครรภ์ช่วงระยะ 3 เดือนแรก และยังเป็นส่วนสำคัญของการสร้างสารพันธุกรรมรวมทั้งเซลล์เม็ดเลือดแดงด้วย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2541) ในช่วงฤดูหนาวมีการปลูกผักกาดขาวปลีมาก ผลิตผลออกสู่ตลาดมีปริมาณมาก ทำให้ผักกาดขาวปลีมีราคาต่ำ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศจะช่วยแก้ปัญหาคุณภาพของผักกาดขาวปลีและสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายได้

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ผักและผลไม้สดมีการเสื่อมคุณภาพหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว เนื่องจากผลิตผลทุกชนิดยังมีชีวิตและมีการหายใจโดยใช้พลังงานจากอาหารที่สะสมอยู่ในตัวผลิตผลมาเปลี่ยนเป็นความร้อน ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงย่อมเสื่อมคุณภาพได้เร็ว เนื่องจากมีการใช้อาหารภายในผลิตผลมาเปลี่ยนเป็นพลังงานในอัตราที่สูง การปล่อยผลิตผลให้มีอุณหภูมิสูง โดยไม่ลดความร้อนออกจากผลิตผลทันที่ภายหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากจะทำให้คุณภาพของผลิตผลต่ำลง ยังทำให้จุลินทรีย์ต่างๆ เจริญได้อย่างรวดเร็ว (นิธิยา และดนัย, 2548) การเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำโดยการลดอุณหภูมิผักหรือการทำความเย็นผัก เป็นวิธีการลดอัตราการหายใจของผัก โดยการลดอุณหภูมิผักทุกๆ 10 °ซ จะช่วยลดอัตราการหายใจได้ประมาณ 2 - 4 เท่า (ดนัย, 2552) อุณหภูมิต่ำจะชะลอการสุก ลดการสูญเสียน้ำ และชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผล แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เก็บรักษาผักต้องไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวของผักแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผักลงจึงไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว และการเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิเหมาะสม จะรักษาคุณภาพของผักและทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน (เด่น, 2542) กระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นเทคนิคที่ช่วยให้เกิดการระเหยของน้ำภายในผลิตผลอย่างรวดเร็ว (McDonald and Sun, 2000) การลดความร้อนของผลิตผลโดยการใช้แบบสุญญากาศ อาศัยหลักการระเหยความชื้นหรือน้ำอย่างรวดเร็วจากผิวหน้าและภายในผลิตผลเพื่อลดอุณหภูมิ ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ผลที่ได้คือผักจะมีอุณหภูมิลดต่ำลง เนื่องจากมีการระเหยของน้ำกลายเป็นไออย่างต่อเนื่อง และสามารถควบคุมอุณหภูมิสุดท้ายของผักได้อย่างแม่นยำ (Zheng and Sun, 2004) การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อากาศเย็น หรือการแช่ในน้ำเย็น (McDonald and Sun, 2000) การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศจึงเหมาะสำหรับผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักบริโภคใบ (จริงแท้, 2549) และยังช่วยรักษาคุณภาพผลิตผลเพื่อให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ดังนั้นการลดอุณหภูมิภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้ผลิตผลมี

คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวสูงสุด (Boonyakiat and Boonprasom, 2009) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศ และศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักกาดขาวปลีระหว่างการเก็บรักษา

วิธีการศึกษา

การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลี

ผักกาดขาวปลี ที่เก็บเกี่ยวจากพื้นที่ปลูกในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยโป่ง จังหวัดเชียงราย ที่ระยะความแก่ทางการค้า ขนส่งมายังศูนย์ผลิตผลโครงการหลวงจังหวัดเชียงใหม่ด้วยรถบรรทุกธรรมดา ทำการทดลองในช่วงเดือน เมษายน-มิถุนายน 2554 โดยนำผักกาดขาวปลีที่ผ่านการตัดแต่งแล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกพอลีเอทิลีนเจาะรู แล้วนำไปจัดเรียงลงในตะกร้าพลาสติก ชั่งน้ำหนักผักก่อนลดอุณหภูมิ จากนั้นจัดเรียงตะกร้าในห้องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (vacuum cooling) ของบริษัท Hussmann ประเทศจีน เพื่อลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 4±1 °ซ ในกระบวนการลดอุณหภูมิใช้ปริมาณผักทั้งหมด 50 ตะกร้า จำนวน 410 กิโลกรัม โดยกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับ คือ 5.5, 6.0 และ 6.5 มิลลิบาร์ โดยมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ระดับ คือ 20, 25 และ 30 นาที แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางผัก ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับความดัน และอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศ ตลอดกระบวนการลดอุณหภูมิ แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักกาดขาวปลี หลังผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

นำผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศในสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบกับผักกาดขาวปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีทุกวันจนผลิตผลหมดอายุการเก็บรักษา บันทึกสีของผัก ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Witham et al., 1971) ปริมาณวิตามินซี (Ranganna, 1986) การสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และอายุการเก็บรักษาโดยนับจำนวนวันในการเก็บรักษาจากการประเมินโดยใช้ตัวอย่างกลุ่มผู้บริโภค โดยเริ่มจากวันแรกของการทดลองจนผักกาดขาวปลีไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบซึ่งถือว่าตัวอย่างสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าแสดงความผิดพลาด; Mean±S.E. และค่า least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม SPSS version 6.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลี

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศ ทำให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้ ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 25 นาที โดยผักกาดขาวปลีที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 20.6 °ซ ผักกาดขาวปลีมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4.2 °ซ และมีการสูญเสียน้ำหนัก 2.57 % ทั้งนี้ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 38 นาที และคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 5.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.04 บาท/กิโลกรัม (Table 1)

Table 1 Optimum process parameters for vacuum cooling of Chinese cabbage packed in perforated polyethylene bags and measuring indices of vacuum cooling processes

Parameters	Value
Final pressure (mbar)	6.0
Holding time (min)	25
Cooling time (min)	38
Initial temperature (°C)	20.6
Final temperature (°C)	4.2
Initial Moisture content (%)	80.1
Weight loss (%)	2.57
Energy Consumption (kWh)	5.8
Electrical cost (Baht/kg)	0.04

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศกับเวลาและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลีบรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงใน **Figure 1** พบว่า ในช่วง 9 นาทีแรก ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 13.3 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในห้องลดอุณหภูมิช่วงนี้ลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักกาดขาวปลีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ต่อมาช่วงเวลาที่ 9 - 15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางผักลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาก น้ำในผักกาดขาวปลีเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้อุณหภูมิใจกลางผักลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้ผักอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดนาน 25 นาที ซึ่งในช่วงนี้อัตราการลดอุณหภูมิของผักจะค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.2 °ซ ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ โดยมีอัตราการลดอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 0.43 °ซ ต่อนาที

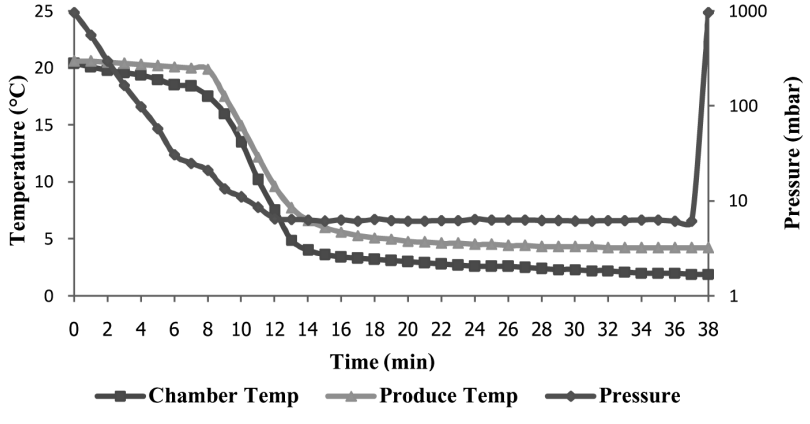

Figure 1 Temperature and pressure history in the vacuum chamber and cooling curve of Chinese cabbage packed in perforated PE bags during vacuum cooling at 6 millibar with 25 minutes holding time

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแสดงใน Figure 2 พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 80.1 % หลังจากปิดประตูห้องลดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 6 นาทีแรก ทั้งนี้เนื่องจากการลดความดันภายในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว ในนาทีที่ 8 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากน้ำในผักกาดขาวปลีเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้ความชื้นในห้องสุญญากาศเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 6.0 ± 0.4 มิลลิบาร์ อัตราการระเหยน้ำออกจากผักยังคงดำเนินต่อไปแต่ในอัตราที่ต่ำลงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงอยู่ในช่วง 33 - 38 %

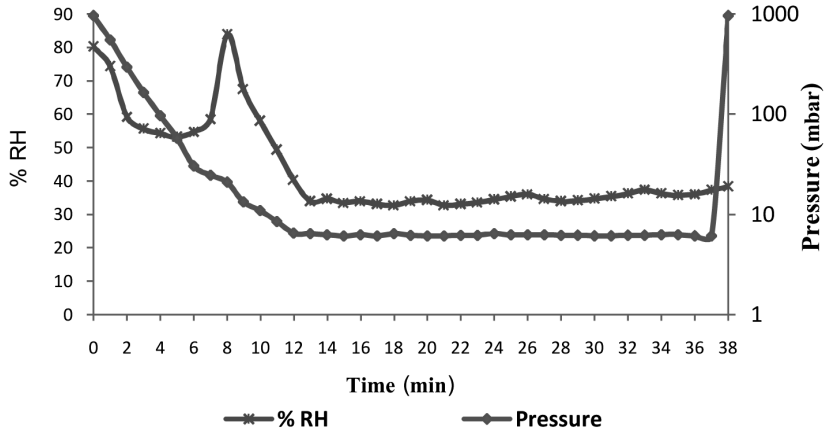

Figure 2 Changes of chamber relative humidity and pressure during vacuum cooling process using optimum parameters

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล พบว่า ระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนด มีผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล โดยพบว่า ยิ่งระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดลดลงและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมินานขึ้นและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Sun and Zheng, 2006; Boonprasom and Boonyakiat, 2009)

ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักกาดขาวปลี หลังผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศสีใบ

ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 9 วัน พบว่า ค่า L*, chroma และ hue angle ของสีใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่า L* เท่ากับ 74.53 ± 0.69 และ 74.36 ± 0.68 ตามลำดับ ค่า chroma เท่ากับ 26.47 ± 1.56 และ 25.83 ± 1.56 ตามลำดับ และค่า hue angle เท่ากับ 116.82 ± 0.48 และ 117.08 ± 0.44 องศา ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ผักกาดขาวปลีมีค่า L*, chroma และ hue angle ค่อนข้างคงที่ (Table 2) จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อสีของผักกาดขาวปลี ซึ่งค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle มีค่าค่อนข้างคงที่ ความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Escalona et al. (2006) ที่พบว่าค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของกะหล่ำปมพร้อมบริโภคมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ นาน 28 วัน และการวิจัยของภูธร (2543) ได้ลดอุณหภูมิภายหลังการเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียวโดยใช้ระบบสุญญากาศ และเก็บรักษาในห้องเย็น มีแนวโน้มค่า L* และค่า b ค่อนข้างคงที่

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 9 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.0045 ± 0.0002 และ 0.0035 ± 0.0007 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.0018 ± 0.0001 และ 0.0015 ± 0.0003 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 0.0063 ± 0.0002 และ 0.0049 ± 0.0010 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ นอกจากนี้ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดขาวปลีมีค่าค่อนข้างคงที่ (Table 3) เมื่อพิจารณาผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิผลิตผลแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดขาวปลีในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ สอดคล้องกับการศึกษาของปรัศนีย์ (2551) ที่รายงานว่า การลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบร็อคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 85 % นาน 6 วัน พบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของดอกบร็อคโคลี่ เช่นเดียวกับ ฐิติพงศ์ (2554) ที่พบว่าการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดหวาน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ นาน 5 วัน

ปริมาณวิตามินซี

ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและผักกาดขาวปลีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 9 วัน มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) คือ มีค่าเท่ากับ 26.06 ± 0.61 และ 23.64 ± 1.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณวิตามินซีของสีผักกาดขาวปลี มีค่าค่อนข้างผันแปร (Table 4) จากผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของฐิติพงศ์ (2554) ที่ได้รายงานผลของการลดอุณหภูมิผักกาดหวานโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เก็บรักษานาน 5 วัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี โดยที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณ

วิตามินซีในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนข้างผันแปร เช่นเดียวกับพวงเพชร (2552) ที่พบว่า การลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ในปวยเหล็งที่เก็บรักษานาน 9 วัน

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 9 วัน พบว่า ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 4.00 ± 0.14 % ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับผักกาดขาวปลีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 4.13 ± 0.33 % ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของสีผักกาดขาวปลีมีมีค่าค่อนข้างผันแปร (Table 4) จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศ ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดขาวปลี ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turk and Celik (1993) ที่ได้รายงานผลของการลดอุณหภูมิเฉียบพลันแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อ พบว่า ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมห่อ

การสูญเสียน้ำหนัก

ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 9 วัน พบว่า ผักกาดขาวปลีที่ลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีการสูญเสียน้ำหนัก เท่ากับ 2.44 ± 0.03 % ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับผักกาดขาวปลีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่มีการสูญเสียน้ำหนัก เท่ากับ 2.58 ± 0.08 % ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ผักกาดขาวปลีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (Table 4) ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ผักกาดขาวปลีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น ผลิตผลหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก (field heat) ร่วมกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจ (vital heat) ซึ่งยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีความร้อนที่เกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนและทำให้อุณหภูมิภายในผลิตผลเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ โดยในสภาพอุณหภูมิสูง ผักและผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว อายุในการวางจำหน่ายหรือใช้ในการบริโภคสั้นลง ทั้งนี้เพราะสภาพอุณหภูมิสูงจะกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ให้เกิดเร็วขึ้น การหายใจเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ของผลิตผลมากขึ้นด้วย ดังนั้นอุณหภูมิของผลิตผลและสภาพบรรยากาศ ตลอดจนความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่เก็บรักษามีผลอย่างมากต่อการสูญเสียน้ำ การลดอุณหภูมิและการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพอุณหภูมิต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งการลดอุณหภูมิ (precooling) ด้วยวิธีการที่เหมาะสม เป็นการดึงเอาความร้อนออกจากผลิตผลโดยอาศัยตัวกลางเป็นตัวนำหรือพาความร้อนออกจากผลิตผล ก่อนจะนำไปเก็บรักษา (จริงแท้, 2549) ซึ่งการลดอุณหภูมิผลิตผลอย่างรวดเร็วก่อนนำมาเก็บรักษาเป็นวิธีที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลสดได้ (Wilson et al., 2009)

คุณภาพโดยรวม

จากการประเมินคุณภาพโดยรวมของผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 9 วัน พบว่า การลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแบบสุญญากาศตามพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมีระดับคะแนนคุณภาพที่โดยรวม เท่ากับ 3.00 ± 0.00 คะแนน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับผักกาดขาวปลีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ที่มีระดับคะแนนคุณภาพโดยรวม เท่ากับ

2.60 ± 0.24 คะแนน ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ระดับคะแนนคุณภาพโดยรวมของผักกาดขาวปลี มีค่าการยอมรับคุณภาพลดลงจากวันเริ่มต้นการทดลอง จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิมีผลต่อลักษณะปรากฏของผักกาดขาวปลี ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้คะแนนการประเมินคุณภาพการยอมรับโดยรวมเมื่อมีระดับคะแนนต่ำกว่า 3 คะแนน เป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บรักษาของผักกาดขาวปลี โดยลักษณะปรากฏภายนอกที่มีผลอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภคสำหรับการทดลองครั้งนี้ คือ ลักษณะปรากฏความเหี่ยวของใบและสีน้ำตาลที่รอยตัด ตลอดอายุการเก็บรักษาเนื่องจากอุณหภูมิต่ำชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืช ให้ดำเนินช้าลง และชะลออัตราการหายใจของผลิตผลอีกด้วย ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นนอกจากนี้ยังช่วยในการรักษารสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และสภาพของลักษณะปรากฏให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้นานขึ้น (Watkins and Ekman, 2005) สอดคล้องกับงานวิจัยของพวงเพชร (2552) ได้รายงานว่า ลักษณะใบปวยเหล็งมีเพียงการเสื่อมคุณภาพของใบที่เกิดจากการสูญเสียความกรอบหรือความเหี่ยว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนัก โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลต่อคะแนนลักษณะปรากฏความกรอบและคุณภาพการยอมรับโดยรวม โดยเก็บรักษานาน 9 วัน ปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา

ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ พบว่า ผักกาดขาวปลีที่ลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอายุการเก็บรักษา เท่ากับ 12.00 ± 0.00 วัน ซึ่งมากกว่าผักกาดขาวปลีที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 9.60 ± 0.24 วัน อายุการเก็บรักษาของผักกาดขาวปลีใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะปรากฏในด้านคุณภาพการยอมรับโดยรวม โดยกำหนดให้ผักกาดขาวปลีหมดอายุการเก็บรักษา เมื่อมีคะแนนระดับต่ำกว่า 3 คะแนน จะบ่งบอกว่าผู้ประเมินเริ่มไม่ยอมรับ โดยที่ผักกาดขาวปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับเร็วกว่าผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่า ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนัก โดยผักกาดขาวปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลต่อคะแนนลักษณะปรากฏความเหี่ยวของใบสีน้ำตาลที่รอยตัดและคุณภาพการยอมรับโดยรวม อุณหภูมิของผลิตผลและสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุและคุณภาพของผลิตผลทางพืชสวนหลังการเก็บเกี่ยว (Turk and Celik, 1993) จึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิผลิตผลก่อนนำไปเก็บรักษา การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเพื่อลดอัตราการหายใจและความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกของผลิตผลและลดอุณหภูมิภายในผลิตผลลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถช่วยในการชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ผลิตผลเกิดช้าลง การสูญเสียน้ำน้อยลง ชะลอกระบวนการเสื่อมสลาย และกระบวนการชราภาพ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลให้อยู่ในระดับสูงมีคุณภาพเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคและและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Brosnan and Sun, 2001; Thompson et al., 2002) การลดอุณหภูมิเบื้องต้นแบบสุญญากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดขาวปลีได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Artes and Martinez (1995) ที่พบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเก็บผักกาดหอมห่อไว้ที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษาเพียง 3 - 5 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 °ซ มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 14 วัน

Table 2 Influence of vacuum cooling using final pressure of 6 millibar for 25 minutes on leaf color (mean of ± S.E.) of Chinese cabbage compared with non-vacuum cooling stored at 4°C for 9 days

Treatment	Leaf color		
	L*	Chroma	hue angle (°)
Non-vacuum cooling	74.36±0.68	25.83±1.56	117.08±0.44
Vacuum cooling	74.53±0.69	26.47±1.62	116.82±0.48
2-Tail Sig.	0.90	0.85	0.85

Table 3 Influence of vacuum cooling using final pressure of 6 millibar for 25 minutes on chlorophyll content (mean of ± S.E.) of Chinese cabbage compared with non-vacuum cooling stored at 4°C for 9 days

Treatment	Chlorophyll a (mg/100gFW)	Chlorophyll b (mg/100gFW)	Total chlorophyll (mg/100gFW)
Non-vacuum cooling	0.0035±0.0007	0.0015±0.0003	0.0049±0.0010
Vacuum cooling	0.0045±0.0002	0.0018±0.0001	0.0063±0.0002
2-Tail Sig.	0.1120	0.0510	0.0750

Table 4 Influence of vacuum cooling using final pressure of 6 millibar for 25 minutes on vitamin C content, total soluble solids, weight loss and appearance (mean of ± S.E.) of Chinese cabbage compared with non-vacuum cooling stored at 4°C for 9 days

Treatment	Vitamin C (mg/100gFW)	Total soluble solids (%)	Weight loss (%)	Appearance (score)
Non-vacuum cooling	23.64±1.04	4.13±0.33	2.58±0.08[b]	2.60±0.24[b]
Vacuum cooling	26.06±0.61	4.00±0.14	2.44±0.03[a]	3.00±0.00[a]
2-Tail Sig.	0.56	0.12	0.01	0.00

สรุป

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีภายใต้ระบบสุญญากาศคือ การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนาน 25 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 38 นาที และใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.04 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ซึ่งระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดขาวปลีสูญเสียน้ำหนักสด 2.57 % นอกจากนี้ เมื่อเก็บรักษาผักกาดขาวปลีไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ พบว่า ผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยวิธีสุญญากาศมีลักษณะปรากฏดีกว่าอายุการเก็บรักษานานกว่า และมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าผักกาดขาวปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

คำขอบคุณ

ศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และหน่วยวิจัยการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครูซิเฟอร์. สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ.

ฐิติพงศ์ ปัญญาคำ. 2554. คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2552. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เด่น ดอกพิมาย. 2542. การออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดน้ำไอน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ดนัย บุณยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ปรัศนีย์ วังหล่อ. 2551. สภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบร็อคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศ และสุญญากาศร่วมกับน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พวงเพชร เหมรัตน์ตระกูล. 2552. ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของปวยเหล็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ภูธร แป้นเกิด. 2543. การลดอุณหภูมิภายหลังการเก็บเกี่ยวของฝักกระเจี๊ยบเขียวโดยใช้สุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2541. สวนผักรักษ์ไทย. โรงพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้ง. กรุงเทพฯ.

Artez, F., and J. A. Martinez. 1995. Effects of vacuum cooling and packaging films on the shelf life of Salinas lettuce. In Proceeding of international conference on refrigeration and quality of fresh vegetables. Paris, France: International Institute of Refrigeration. p 311-315.

Boonprasom, P. and Boonyakiat D. 2009. Effect of vacuum cooling operation parameters on cooling time and weight loss of 'red' Holy Basil. Acta Horticulturae. 877: 827-834.

Boonyakiat, D. and Boonprasom P. 2009. Effect of vacuum cooling and packaging on physico-chemical properties of 'red' Holy Basil. Acta Horticulturae. 877: 419-426.

Brosnan, T. and Sun, D.-W. 2001. Precooling techniques and applications for horticultural products: a review. International Journal of Refrigeration. 24: 154-170.

Escalona, V.H., E. Aguayo and F. Artes. 2006. Metabolic activity and quality changes of whole and fresh-cut kohlrabi (*Brassica oleracea* L. gongylodes group) stored under controlled atmospheres. Postharvest Biology and Technology. 41: 181-190.

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

Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. Tata McGraw-Hill Publishing Company Inc., New Delhi.

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

Thompson, J. F., F. G. Mitchell and R. F. Kasmire. 2002. Cooling Horticultural Commodities. P. 97-112. In Kader, A. A. (Ed.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Agriculture and Natural Resource, Publication 3311.

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

Watkins, C.B. and J.H. Ekman. 2005. Storage Technologies : Temperature interactions and effects on quality of horticultural products. Acta Horticulturae. 682: 1527-1533.

Whitham, F.H., D.H. Blaydes, R.M. Devin and D. Van. 1971. Experiments in Plant Physiology. Nostrand company, New York.

Willson, L.G., M.D. Boyette and E.A. Estes. 2009. Postharvest handling and cooling of fresh fruits, vegetables and flowers for small farm part I. North Carolina State University and North Carolina A&T State University Cooperative Extension Helping People Put Knowledge to Work, Department of Horticulture Science. p. 1-3.

Zheng, L. and D.W. Sun. 2004. Vacuum cooling for the food industry-a review of resent research advances. Trends in Food Science & Technology. 15: 555-568.