การลดอุณหภูมิคะน้าฮ่องกงด้วยระบบสุญญากาศ
Vacuum Cooling of Chinese Kale

มนธัญลักษณ์ ดีวี[1] ดนัย บุณยเกียรติ[1, 2] และ พิชญา บุญประสม พูลลาภ[1, 3]
Montanyaluck Deevee[1], Danai Boonyakiat[1, 2] and Pichaya Boonprasom Poonlarp[1, 3]

Abstract

The aim of this research was to study the optimum process parameters during vacuum cooling of Chinese kale precooled from the initial core temperature of 22-25°C to the final core temperature of 4±1°C. In the experiment, the final pressures for vacuum-cooled Chinese kale were set at three different levels; 6.0, 7.0 and 8.0 millibar. The pressures were again experimented with three levels of reserving time: 5, 10 and 15 minutes. The study results illustrated that the optimum operating process parameters for precooling Chinese kale to 4±1°C with initial core temperature of 22-25°C were the final pressure of 6.0 mbars and the reserving time of 5 minutes. The total cycle time was 17 minutes and the electrical energy consumption was 4.20 kwh per 241 kg of Chinese kale. The electricity cost was 0.06 baht per kg of fresh weight. The weight loss during precooling Chinese kale with the previous optimum parameters was 0.9%.

Keywords: Chinese kale, vacuum cooling, precooling

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 22-25 องศาเซลเซียส ให้ได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียส ภายใต้ระบบสุญญากาศ ในการทดลองได้กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 6.0, 7.0 และ 8.0 มิลลิบาร์ โดยมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15 นาที จากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงภายใต้ระบบสุญญากาศที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 22-25 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 17 นาที และใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงทั้งหมด 241 กิโลกรัม คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.06 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด โดยคะน้าฮ่องกงมีการสูญเสียน้ำหนัก 0.9% ในระหว่างการลดอุณหภูมิโดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น

คำสำคัญ: คะน้าฮ่องกง การลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ การลดอุณหภูมิเบื้องต้น

คำนำ

คะน้าฮ่องกงเป็นผักอยู่ในวงศ์ Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey เป็นผักที่ใช้ใบรับประทาน หรือผักกินใบ มีชื่อสามัญว่า Kailaan หรือ Chinese kale (สุนิสา, 2551) คะน้าฮ่องกงเกิดจากการผสมข้ามระหว่างบรอคโคลี (*Brassica oleracea* var *italica*) และคะน้า (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*) (นิพนธ์, 2545) คะน้าชนิดนี้จัดอยู่ในตระกูลกะหล่ำมีต้นกำเนิดจากประเทศจีน ลักษณะลำต้นและใบมีสีเขียวเข้ม ใบมีลักษณะเรียว ไม่กลม ลำต้นมีขนาดเล็กกว่าคะน้ายอดดอยคำ กรอบไม่เป็นเสี้ยน ดอกมีสีขาวหรือสีเหลืองทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ คะน้าฮ่องกงจัดว่าเป็นผักที่นิยมบริโภคมากเนื่องจากมีรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารสูง (ไฉน, 2542)

ปัญหาที่สำคัญในการเก็บรักษาผักคะน้าฮ่องกง คือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักคะน้าฮ่องกงหลังการเก็บเกี่ยว โดยจะแสดงอาการใบเหี่ยว และมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการสูญเสียทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ การทำให้ผลิตผลเย็นลงอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยวจะทำให้อัตราการหายใจลดลงและยังสามารถลดการ

[1] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[1] Postharvest Technology Research Institute / Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200
[2] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[2] Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
[3] Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50100

สูญเสียน้ำและการเสื่อมสภาพของผลิตผล (ปรัศนี, 2551) การลดอุณหภูมิและการเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการลดอัตราการหายใจของผัก โดยอุณหภูมิของผักที่ลดลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะช่วยลดอัตราการหายใจได้ประมาณ 2-4 เท่า นอกจากนี้การเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนสี ลดการสูญเสียน้ำ และชะลอการเสื่อมสภาพได้ ทั้งนี้อุณหภูมิที่เก็บรักษาต้องไม่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายด้วยความเย็น หรือที่เรียกว่าอาการสะท้านหนาว (chilling injury) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผักนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผัก (เด่น, 2542) การลดอุณหภูมิของผลิตผลโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วและสม่ำเสมอที่สุด ผลิตผลจะเย็นลงรวดเร็วเมื่อเทียบกับการลดอุณหภูมิโดยวิธีการอื่นๆ นิยมใช้กับผักใบต่างๆ (ดนัย และนิธิยา, 2548) และยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นและภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้ผลิตผลมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวสูงสุด (Boonprasom and Boonyakiat, 2009) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงด้วยระบบสุญญากาศ

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเก็บเกี่ยวคะน้าฮ่องกงเมื่อมีอายุประมาณ 35-45 วันหลังปลูกจากพื้นที่ปลูกในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงตีนตก ตำบลห้วยแก้ว กิ่งอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ บรรจุในตะกร้าพลาสติกได้ผักน้ำหนักประมาณ 10±2 กิโลกรัม ขนส่งมาที่ศูนย์ผลิตโครงการหลวงจังหวัดเชียงใหม่ด้วยรถบรรทุกธรรมดา จากนั้นนำคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการตัดแต่งแล้วบรรจุลงในถุงดอยคำซึ่งเป็นพลาสติกพอลิเอทิลีนขนาดกว้างประมาณ 20 ซม. ยาว 33 ซม. ที่มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ซม. จำนวน 12 รู แล้วปิดผนึกด้วยความร้อนและนำไปจัดเรียงลงในตะกร้าพลาสติก ชั่งน้ำหนักผลิตผลก่อนทำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ นำผลิตผลบรรจุในห้องลดอุณหภูมิผัก Hydro Vacuum Cooling ของบริษัท Hussmann ประเทศจีน เพื่อทำการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงจนถึงอุณหภูมิ 4±1°C โดยใช้ปริมาณผักทั้งหมด 24 ตะกร้า กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับ คือ 6.0, 7.0 และ 8.0 มิลลิบาร์ โดยมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15 นาที แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางต้นผัก ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับความดันและอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศ ตลอดกระบวนการลดอุณหภูมิ แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

ผล

จากการศึกษา พบว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของคะน้าฮ่องกงที่บรรจุในถุงดอยคำและวางอยู่ในตะกร้าพลาสติก คะน้าฮ่องกงมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 22-25 องศาเซลเซียส มีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่าความดันสุดท้าย 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที มีระยะการทำงานของระบบ 17 นาที อุณหภูมิผักสิ้นสุดที่ 4.3 องศาเซลเซียส หลังจากทำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณภาพผักเริ่มต้น และใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 4.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.06 บาทต่อกิโลกรัม (Table 1)

Table 1 Optimum parameters of vacuum cooling process for Chinese kale packed in polyethylene bags combined with plastic baskets

Parameter	Value
Final pressure (mbar)	6
Holding time (min)	5
Cooling time (min)	17
Initial temperature (°C)	25.7
Final temperature (°C)	4.3
Moisture content (%)	52
Weight loss (%)	0.9
Energy consumption (kWh)	4.2
Electrical expense (baht/kg)	0.06

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศกับเวลาและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแล้วนำไปจัดเรียงลงในตะกร้าพลาสติกแสดงใน Figure 1 พบว่าความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 3 นาทีแรกลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 15 มิลลิบาร์ จากนั้นอุณหภูมิอากาศในช่วงนี้ลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักคะน้าฮ่องกงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ต่อมาช่วงเวลาที่ 6-10 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลง ส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางผักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของคะน้าฮ่องกง น้ำในคะน้าฮ่องกงเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลงจากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.3 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ

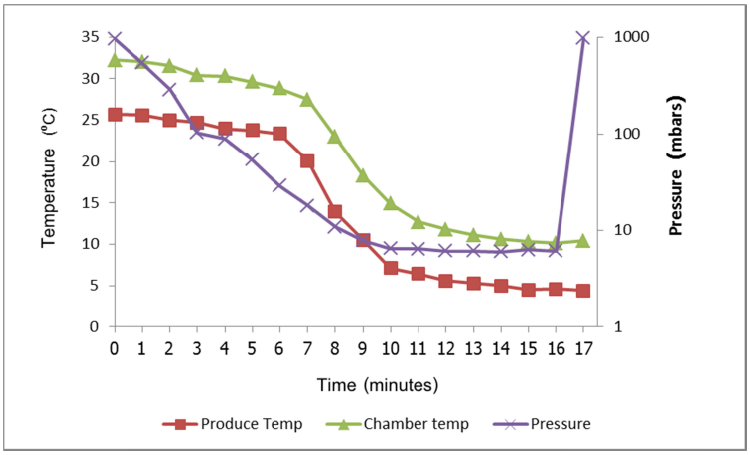

Figure 1 Temperature in the vacuum chamber, produce temperature and pressure in the chamber during vacuum cooling process using optimum parameters

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิของผักคะน้าฮ่องกงแสดงใน Figure 2 จากการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องสุญญากาศ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 52 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 5 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดันความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลง เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 6 มิลลิบาร์ อัตราการระเหยน้ำออกจากผักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่ออัตราการระเหยของน้ำจากผักเริ่มลดลงและเกิดขึ้นในอัตราที่ค่อนข้างคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจึงลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 49-58 เปอร์เซ็นต์

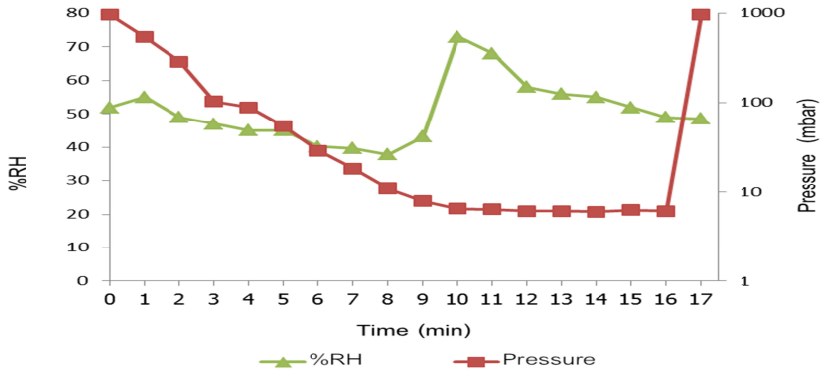

Figure 2 Relative humidity and pressure in the vaccuum chamber during vacuum cooling process using optimum parameters

วิจารณ์ผล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงที่บรรจุในถุงดอยคำและวางอยู่ในตะกร้าพลาสติก โดยทดลองกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0, 7.0 และ 8.0 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 5, 10 และ 15 นาที พบว่า ถ้าระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดคงที่ การกำหนดความดันสุดท้ายต่ำลงจะทำให้การสูญเสียน้ำหนักสดของคะน้าฮ่องกงเพิ่มขึ้น และเมื่อกำหนดระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้น โดยรักษาความดันให้คงที่ การสูญเสียน้ำหนักสดของคะน้าฮ่องกงจะเพิ่มขึ้น จาก Table 1 พบว่า การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเพราะทำให้ใจกลางคะน้าฮ่องกงมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4±1 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระยะเวลาทั้งหมดในกระบวนการลดอุณหภูมิ (cooling time) เท่ากับ 17 นาที มีค่าการใช้พลังงาน เท่ากับ 4.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในการลดอุณหภูมิคะน้าฮ่องกง จำนวน 241 กิโลกรัม คิดเป็นค่าไฟฟ้า เท่ากับ 0.06 บาทต่อกิโลกรัมของคะน้าฮ่องกง โดยความดันลดลงอย่างรวดเร็วจากความดันบรรยากาศถึง 15 มิลลิบาร์ ใช้เวลา 6 นาที (Figure 1) จากนั้นความดันเริ่มคงที่ ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่ควบคุม คือ 6.0 มิลลิบาร์ ในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศความดันภายในห้องสุญญากาศลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึงความดันไออิ่มตัวของคะน้าฮ่องกง น้ำในคะน้าฮ่องกงเริ่มเดือดในนาทีที่ 5 ทำให้อุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงลดลงอย่างรวดเร็ว การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้มีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Sun and Zheng, 2006; Boonprasom and Boonyakiat, 2009)

สรุป

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิของคะน้าฮ่องกงภายใต้ระบบสุญญากาศที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 22-25 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้าย เท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลผลิตอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 5 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 17 นาที และใช้พลังงาน เท่ากับ 4.2 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ในการลดอุณหภูมิคะน้าฮ่องกงทั้งหมด 241 กิโลกรัม คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.06 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด โดยคะน้าฮ่องกงมีการสูญเสียน้ำหนัก 0.9% ในระหว่างการลดอุณหภูมิ

คำขอบคุณ

โรงงานคัดบรรจุศูนย์ผลิตผลมูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครูซิเฟอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ รั้วเขียว. กรุงเทพฯ. 195 น.

เด่น ดอกพิมาย. 2542. การออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 182 น.

ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 236 น.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2545. คะน้าฮ่องกง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.agric-prod.mju.ac.th/vegetable/File_link/Kale.pdf (28 ตุลาคม 2554).

ปรัศนีย์ วังหล่อ. 2551. สภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุนิสา ประไพตระกูล. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร: พืชตระกูลกะหล่ำ (คะน้า ผักกาดกวางตุ้ง). สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 36 น.

Boonprasom, P and D. Boonyakiat. 2009. Effect of vacuum cooling operation parameters on cooling time and weight loss of 'Red' holy basil. Acta Horticulturae 877(2): 827-834.

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.