Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 137-140 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 137-140 (2554)

การลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีด้วยระบบสุญญากาศ
Vacuum cooling of headed 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]

Abstract

The aim of this research was to study the optimum process parameters during vacuum cooling of headed Chinese cabbage precooled from initial core temperature of 16-19 °C to the final core temperature of 4±1 °C. In the experiment, the final pressures for vacuum-cooled headed Chinese cabbage were set at three different levels; 5.5, 6.0 and 6.5 millibar. The pressures were again experimented with three levels of preserving time; 20, 25 and 30 minutes. The study results illustrated that the optimum operating process parameters for precooling headed Chinese cabbage to 4±1 °C with initial core temperature of 16-19 °C were at the final pressure of 6.0 mbar and the reserving time of 30 minutes. The total cycle time was 44 minutes and the energy consumption was 0.22 kwh per 538 kilograms of Chinese cabbage. The electricity cost was 0.035 baht per kilogram of fresh weight. The weight loss during precooled Chinese cabbage with the previous optimum parameters was 2.29%.

Keywords: Chinese cabbage, vacuum cooling, precooling

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 16-19 องศาเซลเซียสให้ได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียสภายใต้ระบบสุญญากาศ ในการทดลองได้กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 5.5, 6.0 และ 6.5 มิลลิบาร์ โดยมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ระดับคือ 20, 25 และ 30 นาที จากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีภายใต้ระบบสุญญากาศที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 16-19 องศาเซลเซียสให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 44 นาที และใช้พลังงานเท่ากับ 0.22 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีทั้งหมด 538 กิโลกรัม คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.035 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด โดยผักกาดขาวปลีมีการสูญเสียน้ำหนัก 2.29 % ในระหว่างการลดอุณหภูมิโดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น

คำสำคัญ: ผักกาดขาวปลี, การลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ, การลดอุณหภูมิเบื้องต้น

คำนำ

ผักกาดขาวปลี [*Brassica rapa* L. subsp. *Pekinensis* (Lour) Olsson.] เป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ส่วนที่ใช้บริโภคได้แก่ ส่วนใบ โดยรับประทานเป็นผักสดหรือใช้ประกอบอาหารอื่นๆ ผักกาดขาวปลีประกอบไปด้วยคุณค่าทางอาหารหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินเอ วิตามินซี และเส้นใยในปริมาณสูง (ไฉน, 2542) นอกจากนี้ผักกาดขาวปลียังมีโฟเลต ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการสร้างระบบเส้นประสาทให้ทารกในครรภ์ช่วงระยะ 3 เดือนแรก และยังมีผลต่อการสร้างสารพันธุกรรมและเซลล์เม็ดเลือดแดงด้วย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2541)

ผักสดหลังการเก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นการหายใจและเมแทบอลิซึมต่างๆ ที่นำไปสู่การแก่ การสุก และการเสื่อมสลาย ตามลำดับ ยังคงเกิดต่อเนื่อง (งามทิพย์, 2538) การเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำโดยการลดอุณหภูมิผักหรือการทำความเย็นผัก เป็นวิธีการลดอัตราการหายใจของผัก โดยการลดอุณหภูมิผักทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะช่วยลด

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

อัตราการหายใจได้ประมาณ 2-4 เท่า นอกจากนี้ผลิตผลที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอการสุก ลดการสูญเสียน้ำและชะลอการเสื่อม แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เก็บรักษาผักต้องไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวของผักแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผักลงจึงไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว และการเก็บรักษาผักไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้รักษาคุณภาพของผักและทำให้สามารถเก็บไว้ได้นาน (เด่น, 2542) การลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศเป็นเทคนิคการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วซึ่งนิยมใช้กับผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร (McDonald *et al*., 2000) โดยการระเหยน้ำออกจากผลิตผลอย่างรวดเร็วด้วยการลดความดันบรรยากาศลงจนกระทั่งถึงระดับความดันไออิ่มตัวทำให้น้ำในผลิตผลระเหยกลายเป็นไอ โดยใช้ความร้อนจากผลิตผลเอง ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดต่ำลง การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจึงเหมาะสำหรับผลิตผลที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักบริโภคใบ (จริงแท้, 2549) การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ดังนั้นการลดอุณหภูมิภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้ผลิตผลมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวสูงสุด (Boonyakiat and Boonprasom, 2009) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลีด้วยระบบสุญญากาศ

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บเกี่ยวผักกาดขาวปลีเมื่อมีอายุประมาณ 60 วันหลังปลูกหรือเข้าหัวดีแล้วจากพื้นที่ปลูกในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยโป่ง ตำบลแม่เจดีย์ใหม่ อำเภอเวียงเป้า จังหวัดเชียงราย บรรจุในตะกร้าพลาสติกได้ผักน้ำหนักประมาณ 10±2 กิโลกรัม ขนส่งมาที่ศูนย์ผลิตโครงการหลวงจังหวัดเชียงใหม่ด้วยรถบรรทุกธรรมดา ชั่งน้ำหนักผลิตผลก่อนทำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ นำผลิตผลบรรจุในห้องลดอุณหภูมิผัก Hydro vacuum cooling ของบริษัท Hussmann ประเทศจีน ใช้ปริมาณผักทั้งหมด 50 ตะกร้า กำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 5.5, 6.0 และ 6.5 มิลลิบาร์ โดยมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ระดับคือ 20, 25 และ 30 นาที แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางต้นผัก ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับความดันและอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศ ตลอดกระบวนการลดอุณหภูมิ แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

ผล

จากการศึกษาการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดขาวปลีที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก ผักกาดขาวปลีมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 16-19 องศาเซลเซียส พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่าความดันสุดท้ายที่ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที มีระยะการทำงานของระบบ 44 นาที อุณหภูมิผักสิ้นสุดที่ 4.6 องศาเซลเซียส หลังจากทำการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 2.29 เปอร์เซ็นต์ โดยผักกาดขาวปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณภาพผักเริ่มต้น และใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 0.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.035 บาทต่อกิโลกรัม (Table 1)

Table 1 Optimum parameter of vacuum cooling process for headed Chinese cabbage packed in plastic baskets.

Parameters	Value
Final pressure (mbar)	6.0
Holding time (min)	30
Cooling time (min)	44
Initial temperature (°C)	16.7
Final temperature (°C)	4.6
Moisture content (%)	80.7
Weight loss (%)	2.29
Energy Consumption (kWh)	0.22
Electrical Expense (Baht/kg)	0.035

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศกับเวลาและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลีบรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงใน Figure 1 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 8 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 17.4 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในห้องลดอุณหภูมิช่วงนี้ลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักกาดขาวปลีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ต่อมาช่วงเวลาที่ 9-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางต้นผักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาก น้ำในผักกาดขาวปลีเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้อุณหภูมิใจกลางผลิตผลลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้ผักอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที ซึ่งในช่วงนี้อัตราการลดอุณหภูมิของผักจะค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.6 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ

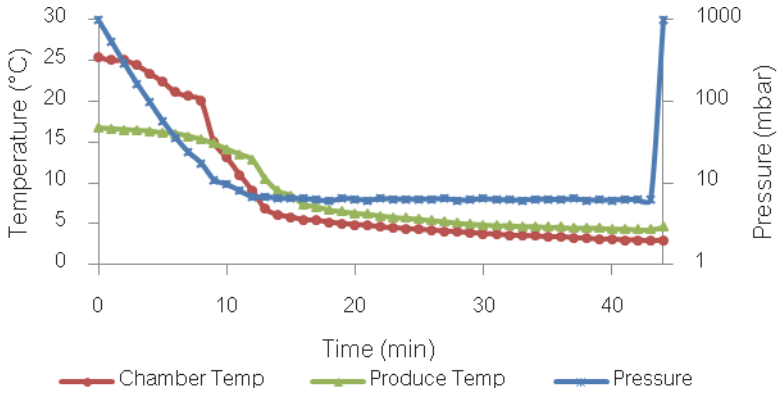

Figure 1 Temperature in vacuum chamber, produce temperature and pressure in the chamber during vacuum cooling process using optimum parameters.

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศใน Vacuum chamber ระหว่างการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีแสดงใน Figure 2 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 80.7 เปอร์เซ็นต์ หลังจากปิดประตูห้องสุญญากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 6 นาทีแรก ทั้งนี้เนื่องจากการลดความดันภายในห้องสุญญากาศเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ภายในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว ในนาทีที่ 9 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากน้ำในผักกาดขาวปลีเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้ความชื้นในห้องสุญญากาศเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 6 มิลลิบาร์ อัตราการระเหยน้ำออกจากผักยังคงดำเนินต่อไปแต่ในอัตราที่ต่ำลงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงอยู่ในช่วง 37-44 เปอร์เซ็นต์

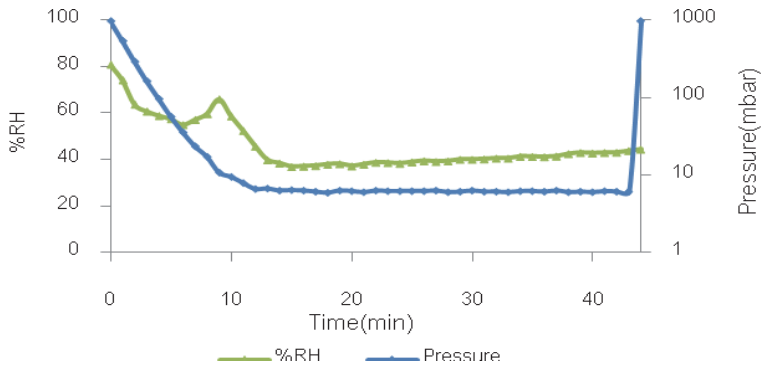

Figure 2 Relative humidity and pressure in the Vaccuum chamber during vacuum cooling process using optimum parameters.

วิจารณ์ผล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก โดยทดลองกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ เท่ากับ 5.5, 6.0 และ 6.5 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 20, 25 และ 30 นาที พบว่าถ้าระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดคงที่ การกำหนดความดันสุดท้ายต่ำลงจะทำให้การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดขาวปลีเพิ่มขึ้น และเมื่อกำหนดระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นโดยรักษาความดันให้คงที่การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดขาวปลีจะเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก (Table1) พบว่าการกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเพราะทำให้ใจกลางผักกาดขาวปลีมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4±1 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างต่ำเท่ากับ 2.29 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระยะเวลาทั้งหมดในกระบวนการลดอุณหภูมิ (cooling time) เท่ากับ 44 นาที มีค่าการใช้พลังงานเท่ากับ 0.22 กิโลวัตต์ชั่วโมงในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีจำนวน 538 กิโลกรัม คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.035 บาทต่อกิโลกรัมของผักกาดขาวปลี โดยความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจากความดันบรรยากาศถึง 17.4 มิลลิบาร์ ใช้เวลา 8 นาที (Figure 1) ในช่วงนี้อัตราการลดลงของความดันมีค่าเท่ากับ 122 มิลลิบาร์ต่อนาที หลังจากนั้นความดันจะเริ่มคงที่ ซึ่งความดันสุดท้ายที่ควบคุมคือ 6.0 มิลลิบาร์ ในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศความดันภายในห้องสุญญากาศจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงความดันไออิ่มตัวของผักกาดขาวปลี น้ำในผักกาดขาวปลีจะเริ่มเดือดในนาทีที่ 7 ทำให้อุณหภูมิของผักกาดขาวปลีจะลดลงอย่างรวดเร็ว การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้มีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Sun and Zheng, 2006; Boonprasom and Boonyakiat, 2009)

สรุป

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีภายใต้ระบบสุญญากาศที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 16-19 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลผลิตอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 44 นาที และใช้พลังงานเท่ากับ 0.22 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลีทั้งหมด 538 กิโลกรัม คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.035 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด โดยผักกาดขาวปลีมีการสูญเสียน้ำหนัก 2.29 % ในระหว่างการลดอุณหภูมิ

คำขอบคุณ

โรงงานคัดบรรจุศูนย์ผลิตผลมูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์, กรุงเทพฯ. 389 น.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 น.

ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครูซิเฟอร์. สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ. 195 น.

เด่น ดอกพิมาย. 2542. การออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดน้ำไอน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 122 น.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2541. สวนผักรักษ์ไทย. โรงพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้ง. กรุงเทพฯ. 171 น.

Boonprasom, P and D. Boonyakiat. 2009. Effect of vacuum cooling operation parameters on cooling time and weight loss of 'red' Holy Basil. Acta Hort. 877(2): 827-834.

Boonyakiat, D. and P. Boonprasom. 2009. Effect of vacuum cooling and packaging on physico-chemical properties of 'red' Holy Basil. Acta Hort. 877(1): 419-426.

McDonald, K., D.W. Sun and T. Kenny. 2000. Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum cooling and by conventional cooling. LWT-Food Science and Technology 33: 21-29.

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.