KHON KAEN AGR. J. 48 (3): 557-566 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.51.

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

Effects of Vacuum Cooling on Quality of Ready-to-Eat Lettuces

กฤติยาณี วรรณภิระ[1], ดนัย บุณยเกียรติ[1,3*] และ พิชญา พูลลาภ[2,3]

Krittiyanee Wannapira[1], Danai Boonyakiat[1,3*] and Pichaya Poonlarp[2,3]

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและคุณภาพตลอดจนอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค (ผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮต และผักกาดหอมเรดคอรัล) ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ โดยผักมีอุณหภูมิเริ่มต้น 22 - 25 °ซ ลดอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4 ± 1 °ซ ในการทดลองกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 6.0, 6.5 และ 7.0 มิลลิบาร์ ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 2 ระดับ คือ 5 และ 10 นาที จากนั้นนำผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศบรรจุในถุงพอลิโพรพิลีน (PP) และถุงพอลิเอทิลีน (PE) ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 °ซ เพื่อศึกษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษา จากการศึกษา พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิด คือ กำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิที่ 6.5 มิลลิบาร์ อยู่ภายใต้ความดันนาน 5 นาที ส่งผลให้ผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮต และผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 18, 19 และ 19 นาที ตามลำดับ ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีคุณภาพดีกว่าและมีอายุการเก็บรักษานานกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีคุณภาพดีกว่าและมีอายุการเก็บรักษานาน 6.2 วัน ซึ่งนานกว่าตัวอย่างที่บรรจุในถุง PE ที่มีอายุการเก็บรักษา 4.7 วัน

คำสำคัญ: ผักกาดหอมห่อ, ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮต, ผักกาดหอมเรดคอรัล, บรรจุภัณฑ์, อายุการเก็บรักษา

ABSTRACT: This research was aimed to study the optimum process parameters for vacuum cooling of 3 ready-to-eat lettuces namely, crisphead, butterhead and red coral. Furthermore, the storage life of vacuum cooled lettuces with initial temperature of 22 - 25 °C were also investigated. Lettuces were precooled using three final pressures of 6.0, 6.5 and 7.0 millibar with holding times of 5 and 10 minutes. Subsequently, vacuum cooled (4 ± 1 °C) and non-vacuum cooled ready-to-eat lettuce were packed in 2 different types of packaging: polypropylene bags (PP) and polyethylene bags (PE) in the ratio of 1 : 1 : 1, then stored at 4 ± 1 °C to observe quality and storage life. The results illustrated that the optimum parameters of 3 ready-to-eat lettuces were at the final pressure 6.5 millibar with holding

Received September 4, 2019

Accepted November 20, 2019

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

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

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

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

[3] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

[3] Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

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

time of 5 minutes. The average overall cycle times of ready-to-eat crisphead, butterhead and red coral lettuces were 18, 19 and 19 minutes, respectively. Vacuum cooled ready-to-eat lettuces had better quality and longer storage life than the non-vacuum cooled samples. Ready-to-eat lettuces packed in PP packaging exhibited better quality compared to the samples packed in PE sample. Lettuces packed in PP packaging had a longer storage life of 6.2 days compared to a storage life of 4.7 days for the sample packed in PE packaging.
Keywords: crisphead lettuce, butterhead lettuce, red coral lettuce, packaging, storage life

บทนำ

ผักกาดหอมหรือผักสลัด (Lettuce) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lactuca sativa* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) นอกจากการบริโภคสด การแปรรูปเป็นผักตัดแต่งพร้อมบริโภคยังได้รับความสนใจจากผู้บริโภคเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถคงความสดและบริโภคหรือประกอบอาหารได้ทันที (Ahvenainen, 1996) นอกจากนี้ ยังมีการนำผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคมาผสมกันให้เกิดความหลากหลายที่เรียกกันว่า mixed salad ซึ่งได้รับความสนใจจากผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ ในขั้นตอนการผลิตผักตัดแต่งพร้อมบริโภค ผักจะถูกนำไปผ่านกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวหลายขั้นตอน ได้แก่ การทำความสะอาด การตัดแต่ง และการบรรจุ (Alzamora et al., 2000) จากกระบวนการดังกล่าวเป็นทำให้ผักเกิดบาดแผลส่งผลให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น มีการผลิตเอทิลีนสูง และมีสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด นอกจากนี้บาดแผลยังเป็นช่องทางให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย (Fillion and Kilcast, 2002; Artes and Allende, 2014) จึงอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ เช่น เน่าเสีย มีกลิ่น ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีอายุการเก็บรักษาสั้น การป้องกันความเสียหายของผักตัดแต่งพร้อมบริโภค ได้แก่ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Toivonen, 1997) สามารถช่วยแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ โดยการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิที่รวดเร็ว สม่ำเสมอ และใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีการอื่น และกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิภายใต้สภาพที่มีความดันต่ำโดยดูดอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ เมื่อความดันบรรยากาศลดต่ำลงแล้วน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอโดยใช้ความร้อนจากผลิตผลเอง ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลต่ำลง เหมาะกับผักบริโภคใบเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก สามารถคายความร้อนออกไปได้มาก ซึ่งปริมาตรของน้ำที่ระเหยจะเร็วกว่าวิธีอื่นถึง 200 เท่า การลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้ผลิตผลจะสูญเสียน้ำประมาณ 1 % ต่ออุณหภูมิที่ลดลงทุก ๆ 6 °ซ (นิธิยา และดนัย, 2548) และการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศจะช่วยลดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เช่น การหายใจ การคายความร้อน การคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาให้ช้าลงได้ ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพของผักและมีอายุการเก็บรักษานานยิ่งขึ้น (นิธิยา และดนัย, 2548) โดยวัสดุที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ควรมีคุณสมบัติในการให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้มากพอที่ผลิตผลใช้ในการหายใจแบบใช้ออกซิเจนในระดับต่ำที่สุดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (จริงแท้, 2541) ซึ่งการผลิตผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคส่วนใหญ่พบปัญหาการเน่าเสียง่าย มีสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และมีอายุการเก็บรักษาสั้น การใช้กระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศจะช่วยให้ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคมีคุณภาพและมีอายุการวางจำหน่ายนานขึ้น แต่ยังไม่มีการศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและศึกษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

วิธีการศึกษา

การศึกษาพารามิเตอร์ทีเหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผักกาดหอมห่อจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดและผักกาดหอมเรดคอรัลจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สะเรียง มูลนิธิโครงการหลวง มาตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยให้มี

ขนาด 5 × 8 ซม. ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำด้วยเครื่องเหวี่ยงผัก และบรรจุผักแต่ละชนิดแยกกันลงในถุง PE เจาะรู ขนาด 63.50 x 57.15 ซม. ประมาณ 2.5 - 3.5 กิโลกรัมต่อถุง บรรจุลงในตะกร้าพลาสติก นำไปลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum cooling) บริษัท Hussmann ประเทศจีน ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4 ± 1 °ซ โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิ ดังนี้ กำหนดค่าความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 6, 6.5 และ 7 มิลลิบาร์ โดยเครื่องลดอุณหภูมิสุญญากาศมีค่าความละเอียดเท่ากับ ± 0.5 มิลลิบาร์ และกำหนดเวลาที่ใช้ภายใต้ความดัน 2 ระดับ คือ 5 และ 10 นาที โดยการทดลองแต่ละความดันและแต่ละเวลา ทำจำนวน 3 ซ้ำ และในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิบันทึกน้ำหนัก อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิใจกลางผัก เวลาในการลดอุณหภูมิ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณการสูญเสียน้ำหนักและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ โดยมีเกณฑ์การเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ สามารถลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายได้ตามที่กำหนด ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และมีการใช้พลังงานต่ำที่สุด

การศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิดที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศโดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดลองแรกมาเปรียบเทียบกับผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ โดยบรรจุผักกาดหอมห่อ : ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮต : ผักกาดหอมเรดคอรัลที่ตัดแต่งพร้อมบริโภคในอัตรา 1 : 1 : 1 ถุงละ 120 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุง PP และถุง PE โดยถุงทั้งสองมีขนาด 25.40 x 30.48 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial in CRD ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 คือ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ได้แก่ ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ถุง PP และ ถุง PE ทำจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ถุง จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 °ซ บันทึกการสูญเสียน้ำหนัก และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic scale โดยผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝน (trained panel) คะแนนการยอมรับที่น้อยกว่า 5 คะแนน ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าแสดงความผิดพลาด; Mean ± S.E. และทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮต และผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภค ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 22 - 25 °ซ พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิดโดยใช้ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิที่ 6.5 มิลลิบาร์ และใช้ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 5 นาที โดยผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนด คือ 4.3 °ซ ใช้เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 18 นาที และมีการสูญเสียน้ำหนักสด 2.51 % ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนด คือ 4.3 °ซ ใช้เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 19 นาที และมีการสูญเสียน้ำหนักสด 3.13 % และผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนด คือ 3.9 °ซ ใช้เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 19 นาที และมีการสูญเสียน้ำหนักสด 2.84 % โดยผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิดใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 2.6 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.04 บาท/กิโลกรัม (Table 1)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิสุญญากาศกับเวลา และความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อม

บริโภคทั้งสามชนิดแสดงใน Figure 1 - 3 (A) พบว่า ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 6.5 มิลลิบาร์ ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่กำหนดภายในระยะเวลา 12 - 13 นาที อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิและอุณหภูมิของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิดลดลงเล็กน้อย จนกระทั่งในนาทีที่ 6 ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลงถึง 34.6 มิลลิบาร์ และในนาทีที่ 7 ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิของผักกาดหอมบัตเตอร์โฮดและผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลงถึง 23.3 และ 25.5 มิลลิบาร์ ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิดลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุดนี้เรียกว่า “flash point” ซึ่งเป็นเวลาที่ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนกระทั่งน้ำในผลิตผลเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ เนื่องจากการลดความดันทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงจนน้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิใกล้ 0 °ซ น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้โดยใช้ความร้อนจากผลิตผลเอง (พิชญา, 2559) ทำให้อุณหภูมิของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิลดลงไปจนถึง 6.5 มิลลิบาร์ เครื่องลดอุณหภูมิจะรักษาระดับความดันคงที่เพื่อให้ผักอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนด คือ 5 นาที ในช่วงนี้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.3 °ซ โดยมีอัตราการลดอุณหภูมิอยู่ที่ 1.00 °ซ ต่อนาที ผักกาดหอมบัตเตอร์โฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.3 °ซ โดยมีอัตราการลดอุณหภูมิอยู่ที่ 1.02 °ซ ต่อนาที และผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 3.9 °ซ โดยมีอัตราการลดอุณหภูมิอยู่ที่ 0.97 °ซ ต่อนาที

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิดแสดงใน Figure 1 - 3 (B) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีค่าเท่ากับ 89.9 % หลังจากปิดประตูห้องลดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรก และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิของผักกาดหอมบัตเตอร์โฮดและผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคมีค่าเท่ากับ 94.7 และ 94.6 % ตามลำดับ หลังจากปิดประตูห้องลดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของห้องลดอุณหภูมิผักทั้งสองลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 6 นาทีแรกเนื่องจากการลดความดันภายในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออกทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณอากาศชื้นลดลงส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ในนาทีที่ 6 ในห้องลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคและนาทีที่ 7 ของผักกาดหอมบัตเตอร์โฮดและผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำในผักเริ่มระเหยกลายเป็นไอทำให้ความชื้นในห้องสุญญากาศเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงอยู่ที่ 6.5 มิลลิบาร์ ผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมบัตเตอร์โฮด และผักกาดหอมเรดคอรัลตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการระเหยของผักลดต่ำลง ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงอยู่ในช่วง 48 - 50, 53 - 56 และ 69 - 72 % ตามลำดับ

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิด พบว่า สามารถลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายได้ตามที่กำหนด ใช้เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิสั้นที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และมีการใช้พลังงานต่ำที่สุด โดยพบว่า หากกำหนดความดันสุดท้ายให้ต่ำกว่าผลที่ได้ในครั้งนี้และเพิ่มเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันจะส่งผลให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมินานขึ้น มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น มีการใช้พลังงานสูงขึ้น ขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากกำหนดความดันสุดท้ายให้สูงกว่าผลที่ได้ในครั้งนี้และลดเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันจะส่งผลให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิสั้น มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อย มีการใช้พลังงานต่ำ แต่ไม่สามารถลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายได้ตามที่กำหนด ซึ่งการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศถึงแม้มีต้นทุนในการลงทุนที่สูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่น แต่ในการลดอุณหภูมิแบบ

สุญญากาศในแต่ละครั้งมีค่าไฟและต้นทุนต่ำกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิของผลิตผลได้ปริมาณมากต่อครั้ง โดยใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้น ส่งผลให้ประหยัดพลังงาน และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (McDonald and Sun, 2000)

Table 1 Optimum parameters for vacuum cooling of ready-to-eat crisphead, butterhead and red coral lettuces packed in perforated polyethylene bags and measuring indices of vacuum cooling processes

Parameters	Value		
	Ready-to-eat Crisphead lettuce	Ready-to-eat Butterhead lettuce	Ready-to-eat Red coral lettuce
Final pressure (mbar)	6.5	6.5	6.5
Holding time (min)	5	5	5
Cooling time (min)	18	19	19
Initial temperature (°C)	22.3	23.7	22.3
Final temperature (°C)	4.3	4.3	3.9
Weight loss (%)	2.51	3.13	2.84
Energy consumption (kWh)	2.6	2.6	2.6
Electrical expense (baht/kg)	0.04	0.04	0.04

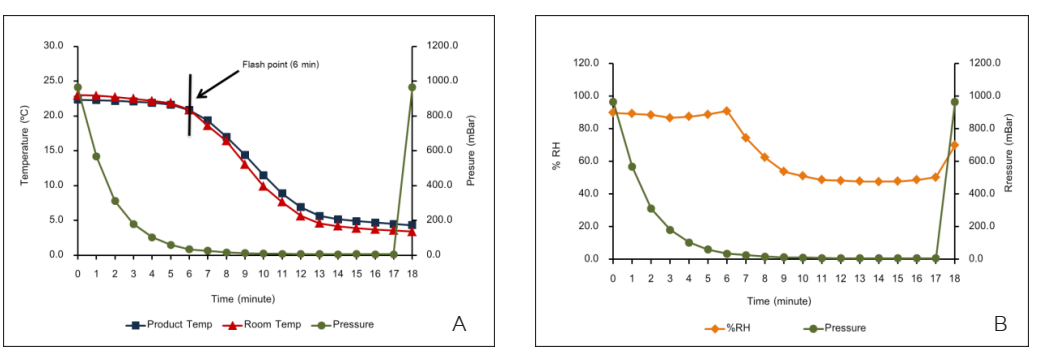

Figure 1 The temperature curve and the vacuum chamber pressure curve (A) and changes of chamber relative humidity during vacuum cooling process (B) of ready-to-eat crisphead lettuce packed in perforated PE bags during vacuum cooling at 6.5 millibar with 5 minutes holding time

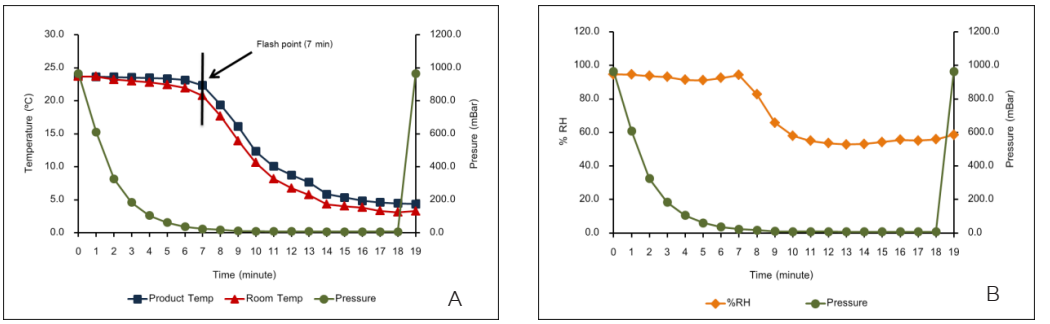

Figure 2 The temperature curve and the vacuum chamber pressure curve (A) and changes of chamber relative humidity during vacuum cooling process (B) of ready-to-eat butterhead lettuce packed in perforated PE bags during vacuum cooling at 6.5 millibar with 5 minutes holding time

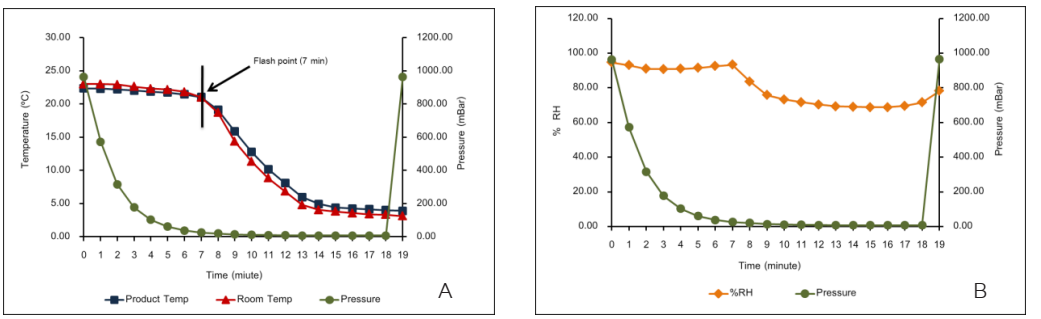

Figure 3 The temperature curve and the vacuum chamber pressure curve (A) and changes of chamber relative humidity during vacuum cooling process (B) of ready-to-eat red coral lettuce packed in perforated PE bags during vacuum cooling at 6.5 millibar with 5 minutes holding time

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 °ซ เป็นเวลา 4 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.15 ± 0.01 % ซึ่งมากกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.09 ± 0.01 % (Table 2) ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.10 ± 0.01 % ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE ที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.13 ± 0.01 % (Table 2) และตลอดอายุการเก็บรักษาการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปัจจัยทั้งสองไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน การสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคตลอดอายุการเก็บรักษาเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำซึ่งมาจากการคายน้ำและการหายใจของผลิตผล ไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศผ่านทางปากใบหรือบาดแผลบริเวณรอยตัดออกมา (ดนัย, 2558) โดยผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิเนื่องจากการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศช่วยชะลอปฏิกิริยาเคมี

ต่าง ๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืช ให้ดำเนินช้าลง และช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผล ซึ่งการลดอุณหภูมิผลิตผลอย่างรวดเร็วก่อนนำมาเก็บรักษาเป็นวิธีที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผล มีผลต่อความสด และลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตผล (Wilson et al., 2009) และการใช้บรรจุภัณฑ์บรรจุผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่า ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE เนื่องจากถุง PP มีอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 2,000 - 3,000 และ 8,000 - 10,000 cm^3/m^2/day และมีอัตราการซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 6 - 12 g/cm^2/day มีอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนน้อยทำให้ออกซิเจนที่อยู่ภายในถุงน้อยซึ่งสามารถลดอัตราการหายใจและลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลลงได้ (Kader, 1997) ในขณะที่ถุง PE มีอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 7,100 - 7,800 และ 42,000 cm^3/m^2/day และมีอัตราการซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 16 - 24 g/cm^2/day ซึ่งถุง PE มีอัตราการซึมผ่านของน้ำมากกว่าถุง PP จึงมีการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมากกว่า (ปุ่น และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคประเมินจากคุณภาพโดยรวม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 °ซ เป็นเวลา 4 วัน พบว่า คะแนนคุณภาพโดยรวมของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีคะแนนเท่ากับ 5.8 ± 0.17 คะแนน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศซึ่งมีคะแนนคุณภาพโดยรวมเท่ากับ 4.7 ± 0.17 คะแนน **(Table 2)** ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีคะแนนคุณภาพโดยรวมเท่ากับ 5.6 ± 0.17 คะแนน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE มีคะแนนคุณภาพโดยรวมเท่ากับ 4.9 ± 0.17 คะแนน **(Table 2)** และตลอดอายุการเก็บรักษาคะแนนคุณภาพโดยรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจัยทั้งสองไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีคะแนนคุณภาพโดยรวมมากกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ เนื่องจากการลดอุณหภูมิมีผลต่อลักษณะปรากฏของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยผักกาดหอมที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีความสดมากกว่าผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศซึ่งในการทดลองนี้กำหนดให้ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อมีคะแนนคุณภาพโดยรวมน้อยกว่า 5 คะแนน โดยลักษณะปรากฏภายนอกมีผลอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค เช่น การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของใบ ความสดของใบ และการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด ซึ่งหลังจากการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยลดการหายใจ ลดการคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาให้เกิดช้าลง ทำให้ลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีอายุการเก็บรักษาที่นานยิ่งขึ้น (Watkins and Ekman, 2005) และผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE มีคะแนนคุณภาพโดยรวมน้อยกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP เนื่องจากถุง PP สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีกว่า มีการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำ ทำให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านในบรรจุภัณฑ์ได้น้อย ซึ่งการเก็บรักษาในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผลส่งผลให้ลักษณะปรากฏของผลิตผลเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้นานยิ่งขึ้น (Bolin et al., 1977)

อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 °ซ พบว่า ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 6.5 ± 0.2 วัน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศซึ่งมีอายุการ

เก็บรักษาเท่ากับ 4.4 ± 0.2 วัน ผักกาดหอมแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 6.2 ± 0.2 วัน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE ซึ่งมีอายุการเก็บรักษา 4.7 ± 0.2 วัน ซึ่งปัจจัยทั้งสองไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน และเมื่อคะแนนการประเมินคุณภาพการยอมรับโดยรวมน้อยกว่า 5 คะแนน ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษาเนื่องจากทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนัก โดยผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าที่ผ่านการลดอุณหภูมิ และการบรรจุผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคในถุง PP มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าบรรจุในถุง PE และยังส่งผลต่อคะแนนคุณภาพโดยรวม การนำผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคไปลดอุณหภูมิก่อนนำไปเก็บรักษาสามารถชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ผลิตผลให้เกิดช้าลงจึงสามารถรักษาคุณภาพของผักให้อยู่ในระดับที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Brosnan and Sun, 2001; Thompson et al., 2002) ซึ่งคล้ายกับงานทดลองของธันย์ชนก และคณะ (2560) รายงานว่า อายุการวางจำหน่ายของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค (ผักกาดหอมใบแดงและผักกาดหอมกรีนโอ๊ค) ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอายุการวางจำหน่ายเป็นเวลา 8 วัน ซึ่งนานกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีอายุการวางจำหน่ายเพียง 5 วัน และผักกาดหอมแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักกาดหอมแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE เนื่องจากคุณสมบัติของถุงพลาสติก PP สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีกว่าถุงพลาสติกชนิดอื่น สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และคงความสดไว้ได้ ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานยิ่งขึ้น (Yimyong and Soni, 2014)

Table 2 Effects of vacuum cooling using final pressure of 6.5 millibar for 5 minutes on weight loss, appearance of ready-to-eat lettuces compared with non-vacuum cooling for 4 days and storage life of ready-to-eat lettuces stored at 4°C (all three types of ready-to-eat lettuces are packed in the same bag)

Method	Weight loss (%)	Appearance (score)	Storage life (days)
Factor 1: Precooling			
Non-vacuum cooling	0.15 ± 0.01[a]	4.70 ± 0.17[b]	4.4 ± 0.2[b]
vacuum cooling	0.09 ± 0.01[b]	5.80 ± 0.17[a]	6.5 ± 0.2[a]
Factor 2: Packaging			
Polypropylene bag	0.10 ± 0.01[b]	5.60 ± 0.17[a]	6.2 ± 0.2[a]
Polyethylene bag	0.13 ± 0.01[a]	4.90 ± 0.17[b]	4.7 ± 0.2[b]
Factor 1	*	*	*
Factor 2	*	*	*
Factor 1*2	ns	ns	ns

Values are means ± S.E. followed by different letters denote group according to Duncan's Multiple Range Test ($p \leq 0.05$)

*: indicate significantly different

ns: indicate non-significantly different

สรุป

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งสามชนิด (ผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด และผักกาดหอมเรดคอรัล) คือ การใช้ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิที่ 6.5 มิลลิบาร์ ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 5 นาที นอกจากนี้ เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 4 ± 1 °ซ พบว่า ผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและผักกาดหอมแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PP มีคุณภาพดีกว่าและมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุง PE

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2558. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักบนพื้นที่สูง. วนิดาการพิมพ์, เชียงใหม่.

ธันย์ชนก ยอเสน, พิชญา พูลลาภ, และดนัย บุณยเกียรติ. 2560. ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของสลัดผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48 พิเศษ: 379-382.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และดนัย บุณยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. สำนักพิมพ์แพคเมทส์, กรุงเทพฯ.

พิชญา บุญประสม. 2559. การลดอุณหภูมิผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา. นพบุรีการพิมพ์, เชียงใหม่.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. Trends in Fruit Science and Technology. 7: 179-187.

Alzamora, S. M., M. S. Tapia, and A. Lopez-Malo. 2000. Minimally processed fruits and vegetables. Fundamental Aspects and Applications. Aspen Publishers. Inc. Gaithersburg, USA.

Artes, F. and A. Allende. 2014. Minimal processing of fresh fruit, vegetables, and juices. In: Sun, D. W. ed. Emerging technologies for Fruit Processing. Academic Press. Elsevier, UK.

Bolin, H. R., A. E. Stafford., A. D. Jr. King, and C. C. Huxsoll. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. J. Food Sci. 42: 1319-1321.

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

Fillion, L. and D. Kilcast. 2002. Consumer perception of crispiness and crunchiness in fruits and vegetables. Food Quality and Preference. 13: 23-29.

Kader, A. A. 1997. Biological bases of O_2 and CO_2 effects on postharvest-life of horticultural perishable. p.160-163. In: Proceedings of the 7th International Controlled Atmosphere Research Conference. Vol. 4: Vegetables and ornamentals. July 13-18, 1997, University of California, Davis, USA.

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

55-56.

Rubatzky, E. V. and M. Yamaguchi. 1997. World vegetables: principles. Production and Nutritive Values. 2nd ed. International Thomson Publishing, New York.

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

Toivonen, P. M. A. 1997. Quality changes in packaged. diced onions (*Allium cepa* L.) containing two different absorbent materials. Proc. Seventh Inter. Controlled Atmosphere Research Confer. University of California. Davis. 5: 1-6.

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

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. Department of Horticulture Science. North Carolina State University and North Carolina A&T State University Cooperative Extension Helping People Put Knowledge to Work, USA

Yimyong, W. and P. Soni. 2014. Effects of modified atmosphere packaging on quality of cut Dendrobiumorchid.Journal of Food, Agriculture and Environment. 12: 408-411.