

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานสองสี
Effect of Vacuum Cooling on Postharvest Quality of Bi-color Sweet Corn

นพพล จันทร์หอม¹, ดนัย บุญเกียรติ^{1,3} และ พิชญา บุญประสม พูลลาภ^{2,3}
Noppol Chanhom¹, Danai Boonyakiat^{1,3} and Pichaya Boonprasom Poonlarp^{2,3}

Abstract

This research was aimed at studying optimum parameters of the vacuum cooling process for bi-color sweet corn with an initial core temperature of 20-23°C in order to obtain the final temperature of 4±1°C. A study on quality of precooled bi-color sweet corn during storage was also conducted. The produce was subjected to vacuum cooling using final pressure of 6.0 millibar with 3 holding periods: 15, 20 and 25 minutes. The results showed that the optimum parameter of the vacuum cooling process for bi-color sweet corn was set by the final pressure of 6.0 millibar with the holding time of 20 minutes. The total cooling time was 38 minutes and the cooling rate was 0.48 °C/min. The electrical energy consumption was 5.8 kWhr. The cost of electricity was 18.56 baht/cycle or 0.033 baht/kg of fresh produce. During the vacuum cooling process with this optimum parameter, the bi-color sweet corn had weight loss of 2.59%. Bi-color sweet corn was packaged in perforated polyethylene bag (0.04 mm thick) prior to storage at 4°C with 80-85% relative humidity and the cooling rate of 0.07 °C/min. The results revealed that the vacuum cooling process had no effect on changes in kernels color, weight loss percentage, total soluble solids, vitamin C content, total sugar content and starch content. However, the produce subjected to vacuum cooling process had a storage life of 11 days, which was shorter than the control produce that could be stored for 13 days. On the last day of storage, the kernels of bi-color sweet corn in all the treatments became shriveled.

Keywords: bi-color sweet corn, vacuum cooling, physical and chemical quality

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของข้าวโพดหวานสองสีที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 20-23 องศาเซลเซียส ให้ได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±1 องศาเซลเซียส และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยกำหนดความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และอยู่ใต้สภาวะความดันที่กำหนดเป็นเวลา 15, 20 และ 25 นาที พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของข้าวโพดหวานสองสีคือ การกำหนดความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และให้อยู่ใต้สภาวะความดันที่กำหนดเป็นเวลา 20 นาที โดยใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 38 นาที มีอัตราการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.48 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5.8 กิโลวัตต์ ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 18.56 บาทต่อรอบการทำงาน หรือ 0.033 บาทต่อกิโลกรัมผลผลิต ระหว่างการลดอุณหภูมิข้าวโพดหวานสองสีสูญเสียน้ำหนักสด 2.59 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำผลผลิตไปบรรจุถุงพอลิเอทิลีนเจาะรูหนา 0.04 มิลลิเมตร แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.07 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ด การสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ วิตามินซี น้ำตาลทั้งหมด และสตาร์ช อย่างไรก็ตามผลผลิตที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอายุการเก็บรักษา 11 วัน สั้นกว่าผลผลิตชุดควบคุมที่เก็บรักษาได้ 13 วัน และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาข้าวโพดหวานสองสีทุกชุด การทดลองเมล็ดมีลักษณะเหี่ยวยุบ

คำสำคัญ: ข้าวโพดหวานสองสี, การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ, คุณภาพทางกายภาพและเคมี

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

² Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 5200

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

⁴ Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50100

⁵ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

⁶ Postharvest Technology Research Institute, Chiang Mai University, 50200

คำนำ

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L. var *saccharata*) อยู่ในวงศ์ Gramineae (Poaceae) เป็นพืชผัก และพืชอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ในประเทศไทยข้าวโพดหวานปลูกเพื่อจำหน่ายฝักสดและส่งโรงงานอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋อง มีปริมาณการส่งออกในปี 2556 เป็นจำนวน 179,234,766 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 5,857,993,818 บาท (กระทรวงพาณิชย์, 2557) แต่ข้าวโพดหวานที่นำมาบริโภคเก็บเกี่ยวในระยะที่ไม่แก่และมีน้ำตาลในเมล็ดสะสมมากที่สุด เพื่อให้ได้รสชาติที่หวาน ระยะดังกล่าวของข้าวโพดหวานมีกระบวนการเมแทบอลิซึมสูง จึงทำให้คุณภาพลดลงอย่างรวดเร็ว (Wills et al., 1998) การลดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ของผลิตผลให้เกิดช้าลง ทำได้โดยลดอุณหภูมิของผลิตผลให้ต่ำและรวดเร็วหลังจากนำออกจากแปลงปลูกซึ่งส่งผลให้การเสื่อมสลายเกิดขึ้นช้าลง และชะลอการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นการลดความสูญเสีย และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (दनัย และนิธิยา, 2548)

การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ หรือ vacuum cooling เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่เร็วที่สุด อาศัยความร้อนที่ติดอยู่ในผลิตผลทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะที่ความดันต่ำกลายเป็นไอน้ำ ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ (Kays, 1991) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของข้าวโพดหวานสองสี และศึกษาคุณภาพของข้าวโพดหวานสองสีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของข้าวโพดหวานสองสี

ข้าวโพดหวานสองสีจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงปางตะ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ขนส่งด้วยรถบรรทุก นำมาตัดแต่งมีลักษณะพร้อมจำหน่าย แล้วบรรจุในตะกร้าพลาสติกน้ำหนัก 15 กิโลกรัมต่อตะกร้า จำนวน 40 ตะกร้า จัดเรียงในห้องลดความดัน (vacuum chamber) ของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (vacuum cooling) บริษัท Hussmann จากนั่นเปิดเครื่องลดอุณหภูมิ เพื่อลดอุณหภูมิของผลิตผลให้มีอุณหภูมิต่ำเท่ากับ 4 ± 1 องศาเซลเซียส โดยกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ เท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 นาที บันทึก น้ำหนักข้าวโพดหวานสองสีก่อนและหลังการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิของผลิตผล อุณหภูมิภายในห้องลดความดัน ความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ และบันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

2. การศึกษาคุณภาพของข้าวโพดหวานสองสีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา

นำข้าวโพดหวานสองสีที่ผ่านการตัดแต่งพร้อมจำหน่ายมาลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศ (ใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิ) เปรียบเทียบกับผลิตผลที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (ชุดควบคุม) และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณภาพ และบันทึกข้อมูลทุก 2 วัน ตลอดอายุการเก็บรักษา นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์แบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (จำนวน 5 ซ้ำ) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ดข้าวโพดหวานสองสี รายงานผลเป็นค่า hue angle (h°) การสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณวิตามินซี ตามวิธี 2,6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ไทเทรชัน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามวิธี phenol-sulfuric method ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีการของ Chinmasamy and Bal (2003) และอายุการเก็บรักษาจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค โดยใช้เงื่อนไข คือ ความสด สีของเมล็ดและเปลือกหุ้มฝัก ตลอดจนกลิ่นผิดปกติ

ผล

การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของข้าวโพดหวานสองสี พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ การกำหนดความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ อยู่ได้สภาวะความดันที่กำหนดเป็นเวลา 20 นาที ใช้เวลาในกระบวนการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 38 นาที มีอัตราการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.48 องศาเซลเซียสต่อนาที พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 5.8 กิโลวัตต์ ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 18.56 บาทต่อรอบการทำงาน หรือ 0.033 บาทต่อกิโลกรัมผลิตผล โดยผลิตผลมีอุณหภูมิเริ่มต้น 22.3 องศาเซลเซียส และหลังการลดอุณหภูมิมียุณหภูมิเท่ากับ 4.0 องศาเซลเซียส ระหว่างการลดอุณหภูมิข้าวโพดหวานสองสีสูญเสียน้ำหนักสด 2.59 เปอร์เซ็นต์ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของผลิตผล อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ และความดัน ระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศดังแสดงใน Figure 1

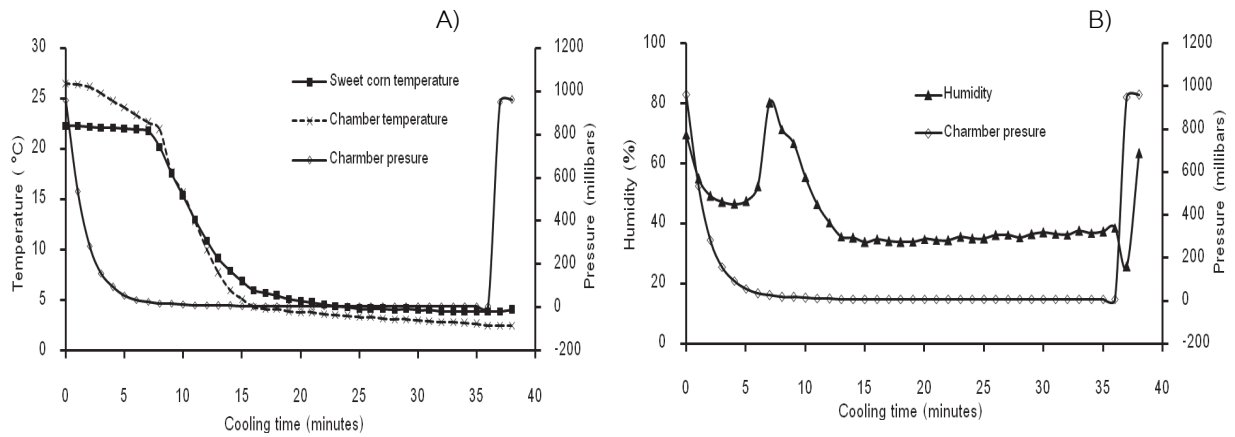


Figure 1 Changes in bi-color sweet corn temperature, chamber temperature, chamber pressure (A), and dynamics of humidity and pressure (B) within the vacuum chamber during vacuum cooling process

เมื่อนำข้าวโพดหวานสองสีที่ผ่านการตัดแต่ง และบรรจุถุงพอลิเอทิลีนเจาะรู แล้วนำไปลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ กำหนดความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ อยู่ในสภาวะความดัน 6.0 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 20 นาที และข้าวโพดหวานสองสีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ได้แก่ ค่า hue angle การสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณสตาร์ช ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (Figure 2) และมีอายุการเก็บรักษานาน 11 และ 13 วัน ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานผลผลิตที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่า โดยวันสุดท้ายของการเก็บรักษาข้าวโพดหวานสองสีทั้งสองชุดมีลักษณะปรากฏคือ เมล็ดยุบและเหี่ยว焉 ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

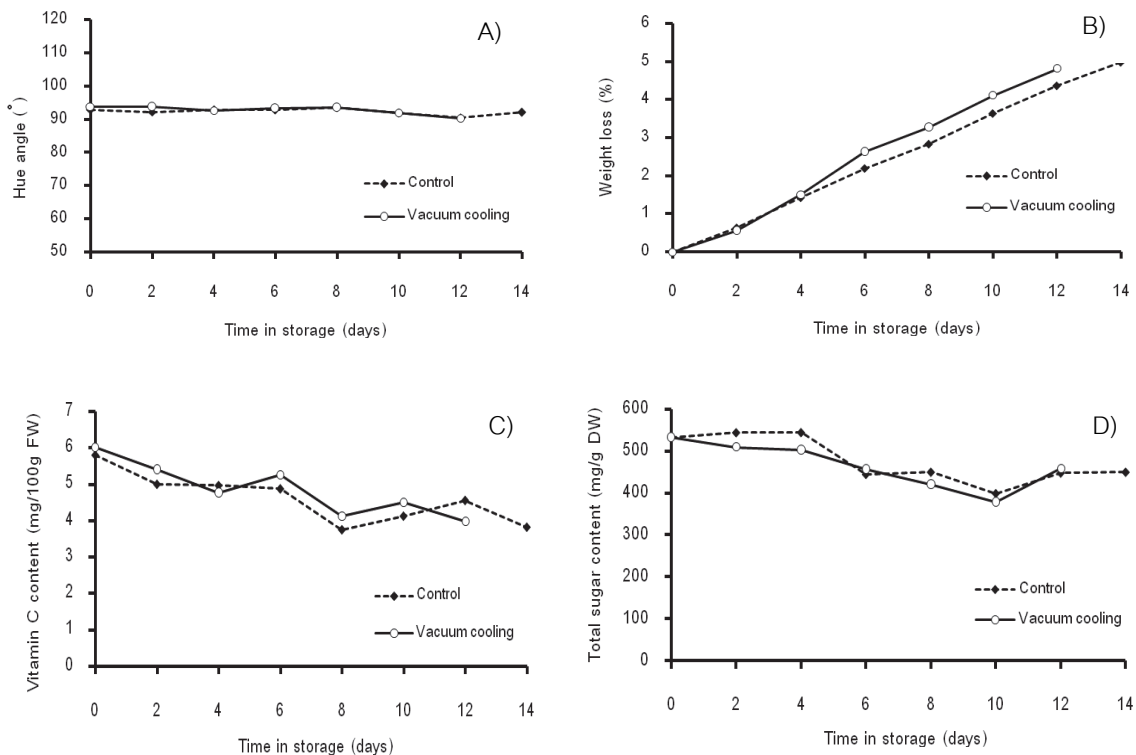


Figure 2 Hue angle (A), weight loss (B), vitamin C content (C) and total sugar content (D) of cooled and noncooled (control) bi-color sweet corn

วิจารณ์ผล

การลดอุณหภูมิข้าวโพดหวานสองสีแบบสุญญากาศสามารถทำได้โดยกำหนดความดัน และระยะเวลาที่ให้ผลผลิต อยู่ภายใต้ความดันที่เหมาะสม การเพิ่มระยะเวลาที่ให้ผลผลิตอยู่ใต้ความดันนานขึ้นจะสามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำลง แต่ต้องใช้ เวลาต่อรอบของการลดอุณหภูมิมากขึ้น และสูญเสียน้ำหนักสดของผลผลิตเพิ่มขึ้นรวมถึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้น

การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของข้าวโพดหวานสองสีระหว่างการเก็บ รักษา อาจเนื่องจากผลผลิตมีพื้นที่ผิวต่อปริมาณต่ำซึ่งไม่เหมาะสมต่อการระเหยของน้ำในกระบวนการลดอุณหภูมิแบบ สุญญากาศ (Golob *et al.*, 2002) นอกจากนี้เมล็ดข้าวโพดหวานเป็นผลแบบ caryopsis ที่มีเปลือกและเยื่อหุ้มที่หนาป้องกันการ สูญเสียน้ำได้ดี แต่การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีผลต่อลักษณะปรากฏ โดยทำให้ผลผลิตเกิดลักษณะเหี่ยวแห้งเร็วขึ้น ผู้บริโภคมองว่าเป็นผลผลิตที่เสื่อมคุณภาพและไม่เป็นที่ต้องการ การสูญเสียของข้าวโพดหวานสองสีเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ เกิดลักษณะดังกล่าว ผลผลิตที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีการสูญเสียน้ำมากกว่าชุดควบคุม โดยเกิดตั้งแต่ กระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และในกระบวนการเก็บรักษา การที่ข้าวโพดหวานสองสีมีการสูญเสียน้ำหนักสดมาก เมื่อเก็บรักษานานอาจเนื่องมาจาก โครงสร้างของผนังเซลล์ถูกทำลายจากความดันต่ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิทำให้เกิดช่องเปิด และสูญเสียน้ำได้เพิ่มขึ้น การเกิดบาดแผลหรือช่องเปิดบนผลผลิตโดยตรงจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น (จิ่งแท้, 2541) การสูญเสียน้ำของผลผลิตอาจแก้ไขโดยการพ่นน้ำให้ผลผลิตเปียกก่อนที่จะทำการลดอุณหภูมิเพื่อให้เกิดการสูญเสียน้ำจาก เมล็ดและเปลือกข้าวโพดหวานน้อยที่สุด (Nunes, 2008; Nirmal and Hui, 2011)

สรุป

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิข้าวโพดหวานสองสีที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 20-23 องศาเซลเซียส ให้ได้ อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4 องศาเซลเซียส คือกำหนดพารามิเตอร์ให้มีสภาวะความดันเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และอยู่ใต้สภาวะ ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 20 นาที การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางกายภาพและ เคมีของผลผลิต แต่มีผลต่อลักษณะปรากฏทำให้เกิดเมล็ดเหี่ยวแห้งเร็วขึ้น และมีอายุการเก็บรักษานาน 11 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับ ข้าวโพดหวานสองสีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีอายุการเก็บรักษานาน 13 วัน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวง และหน่วยวิจัยหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เชื้อเพื่อสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทดลอง และขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และ บัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพาณิชย์ . 2556. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย: ข้าวโพดหวาน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www2.moc.go.th/main.php?filename=index_design4 (15 พฤษภาคม 2557).
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 น.
- दनัย บุญเกียรติ และนิธยา รัตนานนท์. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์. กรุงเทพฯ. 236 น.
- Chinmasamy, G. and A.K. Bal. 2003. Seasonal change in carbohydrates of perennial root nodules of beach pea. *Journal Plant Physiology* 160: 1185-1192.
- Golob, P., G. Farrell and J.E. Orchard. 2002. *Postharvest Science and Technology, Principles and Practices*. Blackwell Science. Malden. 554 p.
- Kays, J.S. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. The AVI Publishing Company. Westport. 532 p.
- Nirmal, K.S. and Y.H. Hui. 2011. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Blackwell Publishing. Iowa. 722 p.
- Nunes, M.C.N. 2008. *Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables*. Blackwell Publishing. Iowa. 634 p.
- Will, R.B.H., B. McGlasson, D. Graham and D. Joyce. 1998. *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables*. New South Wales University Press. New South Wales. 262 p.