

ผลของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานสองสี

Effect of active package on postharvest quality of bi-color sweet corn

นพพล จันทรหอม¹, ดนัย บุญเกียรติ^{1,3*} และ พิชญา บุญประสม พูลลาภ^{2,3}
Noppol Chanhom¹, Danai Boonyakiat^{1,3*} and Pichaya Boonprasom Poonlarp^{2,3}

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานสองสีเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยบรรจุข้าวโพดหวานสองสีในถุงพอลิเอทิลีนเจาะรู ถุงพอลิโพรพิลีน ถุงแอคทีฟชนิดที่ 1 (oxygen transmission rate (OTR) of 10,000-12,000 ml/m²-day) ถุงแอคทีฟชนิดที่ 2 (OTR of 12,000-14,000 ml/m²-day) และถุงแอคทีฟชนิดที่ 3 (OTR of 14,000-16,000 ml/m²-day) พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนในถุงแอคทีฟมีค่าอยู่ในช่วง 1.10-3.87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 7.03-9.97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในถุงพอลิโพรพิลีนมีปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.00 และ 42.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (วันที่ 6) โดยถุงแอคทีฟชนิดที่ 1 สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดได้ดีที่สุด และชะลอการสูญเสียวิตามินซี ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด เท่ากับ 19 วัน ในขณะที่ข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนมีอายุเก็บรักษานาน 13 วัน

คำสำคัญ: อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (OTR), บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, อายุการเก็บรักษา

ABSTRACT: The study showed the effects of different active packaging on the quality of bi-color sweet corn. Bi-color sweet corn was packed in perforated polyethylene bag, polypropylene bag, active package type 1 (OTR of 10,000-12,000 ml/m²-day), active package type 2 (OTR of 12,000-14,000 ml/m²-day), and active package type 3 (OTR of 14,000-16,000 ml/m²-day) prior to storage at 4°C. The results showed that O₂ concentration in active packaging ranged between 1.10-3.87% while CO₂ concentration ranged from 7.03-9.97%. The concentrations of O₂ and CO₂ in polypropylene bag were 0.00% and 42.10%, respectively (day 6). In addition, active package type 1 could slow the loss of fresh weight, delay vitamin C and total soluble solids degradation, and extend the maximum shelf life up to 19 days. In contrast, bi-color sweet corn packed in perforated polyethylene bag had only 13 days of shelf life.

Keywords: oxygen transmission rate (OTR), active packaging, shelf life

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

¹ Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 5200

² สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

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

³ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

³ Postharvest Technology Research Institute, Chiang Mai University, 50200

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

บทนำ

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L. var *saccharata*) เป็นพืชผักและพืชอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรตสูง ผักสดนิยมนำมาบริโภคโดยการนึ่งหรือต้ม และนำไปแปรรูปบรรจุกระป๋อง รวมถึงทำเป็นน้ำนมข้าวโพด ปัจจุบันข้าวโพดมีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับสองของประเทศไทย รองจากข้าวโพดฝักอ่อน (ปริญญาวดี, 2553) ในปี พ.ศ.2555 ประเทศไทยส่งออกข้าวโพดหวานจำนวนกว่า 12,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 475,515,741 บาท และในปี พ.ศ.2556 กระทรวงพาณิชย์ประเมินว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวโพดหวานเพื่อส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก (กระทรวงพาณิชย์, 2556) ข้าวโพดหวานที่นำมาบริโภคเก็บเกี่ยวในระยะที่มีน้ำตาลในเมล็ดสะสมมากที่สุดซึ่งเป็นระยะที่ไม่แก่ เพื่อให้ได้รสชาติที่หวาน ระยะดังกล่าวของข้าวโพดหวานมีอัตราการหายใจสูง และกระบวนการเมแทบอลิซึมสูง จึงทำให้คุณภาพลดลงได้อย่างรวดเร็ว (Wills et al., 1998) การใช้บรรจุภัณฑ์ช่วยลดอัตราการหายใจและกระบวนการเมแทบอลิซึมของข้าวโพดหวานได้ เช่น การหุ้มด้วยฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถยืดอายุ และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ (Aharoni et al., 1996) การเก็บรักษาโดยใช้บรรจุภัณฑ์ควบคุมสภาพบรรยากาศให้มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงมีผลทำให้อัตราการหายใจลดลง ช่วยชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ของผลิตภัณฑ์ ลดการสังเคราะห์และการทำงานของเอนไซม์ รวมทั้งช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เก็บรักษาสภาพได้นานขึ้น (दनัย และนินยา, 2548) ปัจจุบันการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศสามารถทำได้ง่ายโดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แอ็กทีฟ บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวสามารถควบคุมสภาพบรรยากาศรอบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม โดยอาศัยคุณสมบัติของฟิล์มที่นำมาผลิตบรรจุภัณฑ์ซึ่งยอมให้แก๊สซึมผ่านได้มากขึ้น และสามารถเลือกประเภทของแก๊สที่ผ่านเข้าออกได้ เมื่อผลิตภัณฑ์หายใจทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นภายใน ฟิล์มจะยอมให้มีการ

แลกเปลี่ยนแก๊สจากภายใน และภายนอกจนเกิดภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere package) ซึ่งส่งผลต่ออัตราการหายใจ การคายน้ำ และชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (กาญจนา, 2548) ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้บรรจุภัณฑ์แอ็กทีฟต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาข้าวโพดหวาน หลังการเก็บเกี่ยวโดยการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการยืดอายุการวางจำหน่ายข้าวโพดหวานไปใช้ทางการค้าในอนาคต

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง โดยนำข้าวโพดหวานสองสี (bi-color sweet corn) พันธุ์ดีไลท์ เก็บเกี่ยวที่ระยะความแก่ทางการค้า อายุประมาณ 70 วันหลังเพาะกล้า จากแปลงเกษตรกรในพื้นที่ส่งเสริมของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงปางตะ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ บรรจุในตะกร้าพลาสติก แล้วขนส่งมายังศูนย์ผลิตโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

2. การวางแผนการทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 5 กรรมวิธี (ชนิดของบรรจุภัณฑ์) วิธีละ 3 ซ้ำ โดยนำข้าวโพดหวานสองสีที่ผ่านการตัดแต่งคัดเลือกฝักที่มีขนาดสม่ำเสมอบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน คือ กรรมวิธีที่ 1 ถุงพอลิเอทิลีนเจาะรู หรือ ถุง PE (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ถุงพอลิโพรพิลีน หรือ ถุง PP

กรรมวิธีที่ 3 ถุงแอ็กทีฟชนิดที่ 1 (OTR = 10,000-12,000 ml/m² day) หรือ MAP-1

กรรมวิธีที่ 4 ถุงแอ็กทีฟชนิดที่ 2 (OTR = 12,000-14,000 ml/m² day) หรือ MAP-2

กรรมวิธีที่ 5 ถุงแอ็กทีฟชนิดที่ 3 (OTR = 14,000-16,000 ml/m² day) หรือ MAP-3

นำข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุถุงแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ วิเคราะห์คุณภาพทุก 2 วัน

3. การวิเคราะห์

3.1 การสูญเสียน้ำหนักสด วัดโดยการใส่เครื่องชั่งแบบละเอียดเทคนิค 2 ตำแหน่ง นำผลมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

3.2 ปริมาณวิตามินซีตามวิธี 2,6-ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล ไทเทรตชัน (Ranganna, 1986) โดยนำข้าวโพดหวานสองสีปั่นละเอียด สกัดโดยใช้กรดออกซาลิก กรองผ่านกระดาษกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไทเทรตกับ 2,6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ผลที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณวิตามินซีโดยการเปรียบเทียบกับกราฟไทเทรตกับกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน

3.3 ปริมาณแก๊สออกซิเจน และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์โดยเครื่องวัดปริมาณแก๊ส ของบริษัท PBI Dansensor รุ่น Check Point แสดงผลมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยเครื่อง digital refractometer ของบริษัท Atago รุ่น PR101 โดยใช้น้ำจากเมล็ดข้าวโพดหวานสองสี เครื่องอ่านค่าแสดงหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด วิธี Phenol-Sulfuric Method (Miller, 1959) และ ปริมาณแป้ง (Chinmasamy and Bal, 2003; สุกัลยา, 2547) โดยนำเมล็ดข้าวโพดหวานสองสีไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง บดตัวอย่าง แล้วสกัดโดยใช้น้ำกลั่น ต้มในน้ำเดือด กรองผ่านกระดาษกรอง ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตร เก็บสารละลายที่ได้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ส่วนตะกอนที่ได้เติมกรดเปอร์คลอริก แล้วนำไปเหวี่ยงให้ตกตะกอน นำสารละลายที่ได้ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแป้ง

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด นำสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล เติมสารละลายฟีนอล เขย่าแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร นำค่าที่ได้คำนวณปริมาณน้ำตาล

ทั้งหมด โดยคำนวณจากสมการซึ่งได้จากการวิเคราะห์สารละลายน้ำตาลกลูโคสที่ทราบความเข้มข้น

การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง นำสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแป้ง เติม Anthrone Reagent ปิดฝาหลอด และเขย่า นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 3 นาที แล้วแช่ในภาคน้ำแข็งทันที เมื่อเย็นนำออกมาตั้งให้เป็นอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าที่ได้คำนวณปริมาณแป้ง โดยคำนวณจากสมการซึ่งได้จากการวิเคราะห์สารละลายที่ทราบความเข้มข้น

3.6 การเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ดข้าวโพดหวานสองสี ใช้เครื่องวัดสีของบริษัท Minolta รุ่น CR-300 วัดค่า Hue angle

3.7 อายุการเก็บรักษาจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภค โดยให้เงื่อนไข คือ การให้คะแนน 1 – 5 คือ

คะแนน 5 หมายถึง เปลือกมีลักษณะปกติ (เขียว ไม่เหี่ยว) เมล็ดสด และ/หรือ ไม่มีกลิ่นหมัก (ชอบมาก)

คะแนน 4 หมายถึง เปลือกมีลักษณะสด (เขียว-เขียวอ่อน) เมล็ดสด และ/หรือ มีกลิ่นหมักเล็กน้อย (ชอบ)

คะแนน 3 หมายถึง เปลือกมีลักษณะไม่สด เริ่มเหี่ยว (เขียว-เขียวอ่อน) พบเมล็ดเริ่มเหี่ยว และ/หรือ มีกลิ่นหมักเล็กน้อย (เฉยๆ)

คะแนน 2 หมายถึง เปลือกเหี่ยว (เขียวอ่อน-เหลือง) พบเมล็ดเหี่ยว และ/หรือมีกลิ่นหมักมาก (ไม่ชอบ)

คะแนน 1 หมายถึง เปลือกเหี่ยวมาก (เหลือง) พบเมล็ดเหี่ยวมากกว่า 1 เมล็ด และ/หรือ มีกลิ่นหมักมาก (ไม่ชอบมาก)

การประเมินคุณภาพการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏภายนอก และกลิ่น โดยกำหนดให้ข้าวโพดหวานที่ได้คะแนนต่ำกว่า 3 คะแนน ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ปริมาณแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรจุภัณฑ์

ปริมาณแก๊สออกซิเจนในถุงพอลิโพรพิลีนและถุงแอกทีฟทั้ง 3 ชนิด ที่บรรจุข้าวโพดหวานสองสีมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 2 วันแรกของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับถุงพอลิเอทิลีน ซึ่งมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ (Figure 1A) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนในถุงแอกทีฟและถุงพอลิโพรพิลีนมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม (Table 1)

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงพอลิโพรพิลีนที่บรรจุข้าวโพดหวานสองสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 1B) และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงพอลิโพรพิลีนมีปริมาณมากที่สุด ส่วนในถุงพอลิเอทิลีนมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงแอกทีฟทั้งสามชนิดที่มีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา (Table 1)

การบรรจุข้าวโพดหวานสองสีในถุงที่ปิดสนิทได้แก่ ถุงพอลิโพรพิลีน และถุงแอกทีฟทั้ง 3 ชนิด เป็นการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษา ข้าวโพดหวานสองสีซึ่งเป็นผลผลิตสดจะทำให้แก๊สออกซิเจนในกระบวนการหายใจทำให้ปริมาณแก๊สภายในถุงลดลง และก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นแทน (งามทิพย์, 2538) กรณีของถุงพอลิโพรพิลีนที่มีคุณสมบัติยอมให้แก๊สซึมผ่านน้อยมาก แก๊สภายในและภายนอกของถุงไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เมื่อนำมาบรรจุข้าวโพดหวานสองสี แก๊สออกซิเจนภายในถุงถูกใช้จนหมด และเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเพิ่มมากขึ้น จนทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ทำให้เกิดกลิ่นที่ผิดปกติ (Morales-Castro et al., 1994) ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ส่วนถุงแอกทีฟที่มีคุณสมบัติยอมให้แก๊สซึมผ่านในอัตรา 10,000-16,000 มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน เป็นอัตราที่เพียงพอสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊สซึ่งเท่ากับ อัตราการหายใจของผลผลิต จึงเกิดสภาพ

บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในถุง ปริมาณแก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะมีสัดส่วนที่สม่ำเสมอ (Figure 1A และ Figure 1B) หลังจากเก็บรักษาได้ระยะเวลาหนึ่ง (Day, 1993)

2. การสูญเสียน้ำหนักสด

เมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนจะรู้มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (Table 1) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ข้าวโพดหวานสองสีสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 4.4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การบรรจุกรรมวิธีอื่นมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ข้าวโพดหวานสองสีในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น (Figure 2) การที่ข้าวโพดหวานสองสีบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนจะรู้มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าในชุดทดลองอื่นเนื่องจากถุงพอลิเอทิลีนจะรู้มีการไหลเวียนของอากาศภายใน และภายนอกถุงได้สะดวก อากาศรอบๆ ผลผลิตที่มีไอน้ำอึดตัวอยู่ในลักษณะของ diffusion shell จะสูญเสียน้ำหนักออกไปพร้อมกับอากาศสู่ภายนอกถุง อากาศรอบผลผลิตจะมีความชื้นต่ำลง ทำให้น้ำระเหยออกจากผลผลิตเกิดการสูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้น (दनัย, 2556) ส่วนถุงที่มีลักษณะปิดสนิทอากาศจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ทำให้ผลผลิตมีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่า

3. การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันพบว่า เฉดสีของเมล็ดข้าวโพดที่วัดได้ค่อนข้างคงที่ (Figure 3) การที่ข้าวโพดหวานสองสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี เนื่องจากสารสีแคโรทีนอยด์ ในเมล็ดข้าวโพด ซึ่งเป็นสารสีที่มีสภาพค่อนข้างคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลง หรือเสื่อมสลายน้อย การเสื่อมสลายสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิสูง (กฤติกา, 2551) สีของข้าวโพดหวานสองสีจึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

4. ปริมาณวิตามินซี

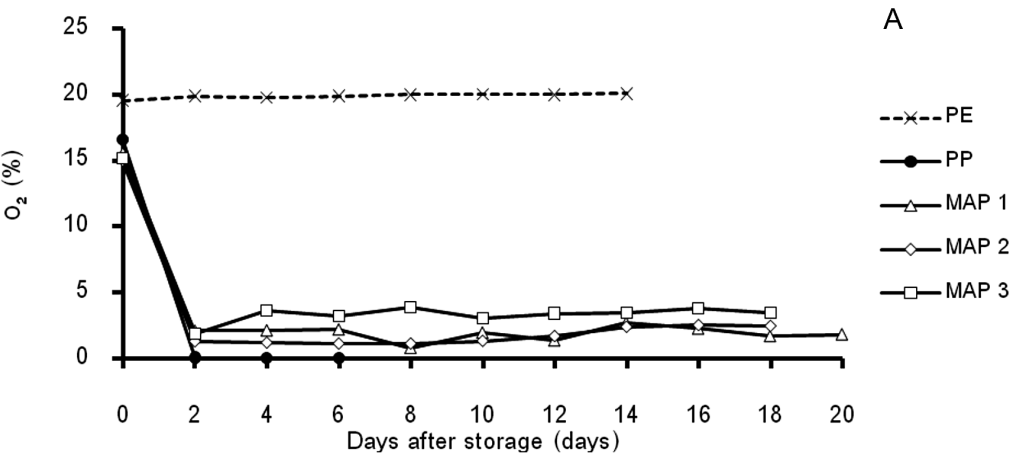
ปริมาณวิตามินซีของข้าวโพดหวานสองสีในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 2 ของการเก็บรักษา (Figure 4A) โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีของข้าวโพดหวานสองสีในถุงพอลิเอทิลีนเจาะรูมีค่าน้อยที่สุด (Table 1) วิตามินซีในผักและผลไม้มีปริมาณลดลงตามอายุการเก็บรักษาและมีปัจจัยอื่นๆ กระตุ้นการลดลงของ

วิตามินซี ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และการได้รับความเสียหายทางกายภาพ การชะลอการสูญเสียวิตามินซี Lee and Kader (2000) รายงานว่า การสูญเสียวิตามินซีสามารถทำให้ลดลงได้ โดยการลดกระบวนการออกซิเดชันวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ ด้วยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงทำให้ผลิตภัณฑ์รับแก๊สออกซิเจนน้อยลงจึงสามารถชะลอการลดลงของวิตามินซีได้

Table 1 Headspace gas concentration, weight loss and color of sweet corn packed in different packages and stored at 4°C for 6 days.

Method	Gas concentration		Weight loss (%)	Hue angle (°)
	O ₂ (%)	CO ₂ (%)		
PE	19.87±0.58 ^a	1.67±0.12 ^c	2.14±0.22 ^a	92.67±0.93
PP	0.00±0.00 ^b	42.10±6.03 ^a	0.26±0.07 ^b	94.07±1.29
Active Packaging 1 (MAP 1)	2.20±2.77 ^b	9.10±0.98 ^b	0.17±0.01 ^b	92.03±1.86
Active Packaging 2 (MAP 2)	1.10±0.17 ^b	8.43±0.30 ^b	0.18±0.01 ^b	92.50±1.18
Active Packaging 3 (MAP 3)	3.17±3.14 ^b	8.97±0.55 ^b	0.20±0.03 ^b	91.70±2.52
LSD	3.41	5.00	0.19	3.02
CV (%)	35.60	19.56	12.25	1.79

Different letters in the same column denote significant difference at $p \leq 0.05$ (presented in Mean±S.D.)
LSD : Least significant different, SD : Standard deviation



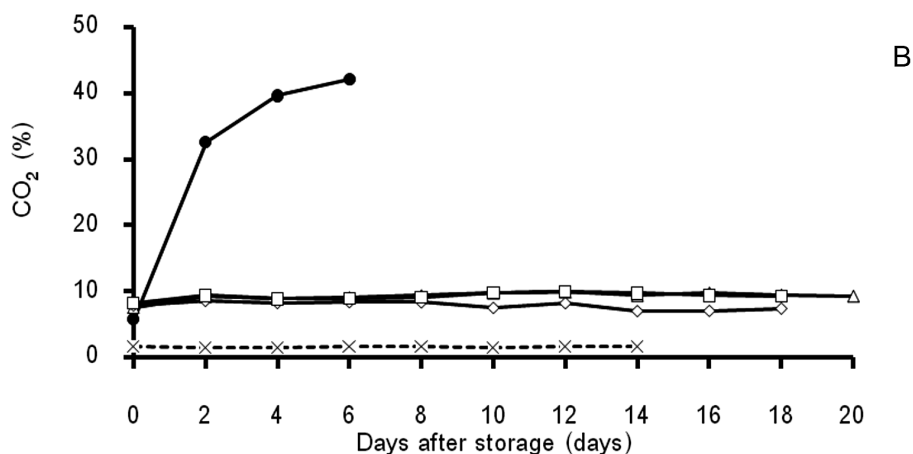


Figure 1 Oxygen (A) and carbon dioxide (B) concentration in different packaging treatments at 4°C for 20 days.

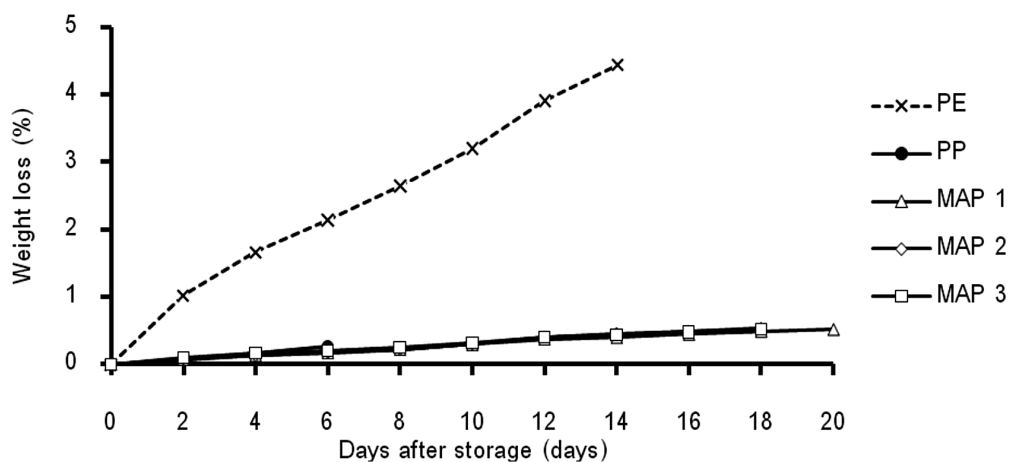


Figure 2 Weight loss of sweet corn packed in different packages and stored at 4°C for 20 days.

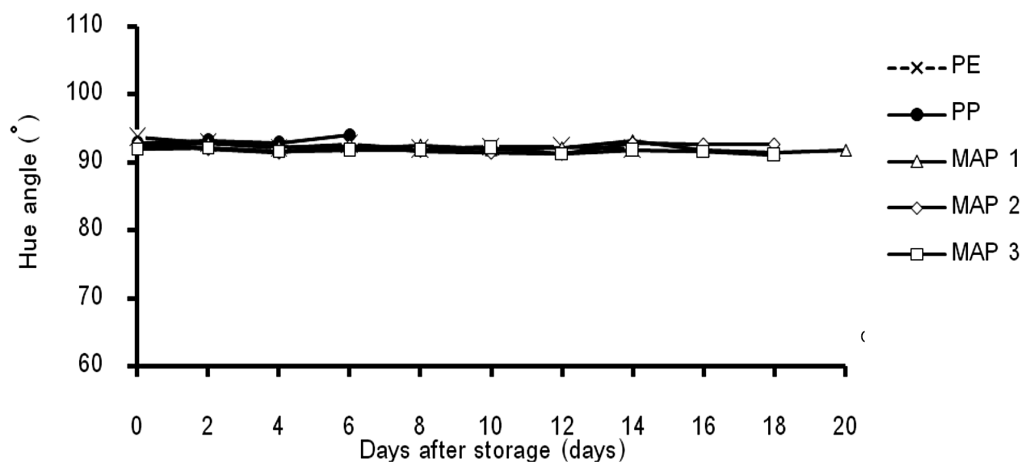


Figure 3 Hue angle of sweet corn packed in different packages and stored at 4 °C for 20 days.

5. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของข้าวโพดหวานสองสีในทุกกรรมวิธีพบว่า มีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยวันที่ 6 ของการเก็บรักษาพบว่า ข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนเจาะรูมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าชุดทดลองอื่น (Table 2 และ Figure 4B) ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะของถุงที่ไม่สามารถลดอัตราการหายใจของผลผลิตภายในได้ ทำให้ข้าวโพดหวานสองสีมีอัตราการหายใจที่สูงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมาก จึงทำให้เกิดความแตกต่างจากชุดทดลองอื่น ที่บรรยากาศในถุงมีแก๊สออกซิเจนน้อยส่งผลให้อัตราการหายใจของข้าวโพดหวานสองสีลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Risse and McDonald (1990) ที่พบว่า ข้าวโพดหวานที่บรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยการหุ้มข้าวโพดหวานด้วยฟิล์มยืดสามารถชะลอการลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์ม

6. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณแป้ง

ข้าวโพดหวานสองสีในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Figure 4C) และในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่ามีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดข้าวโพดหวานสองสีไม่แตกต่างกันทุกชุดทดลอง (Table 2)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้งของข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนถึงวันที่หมดอายุการเก็บรักษาพบว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ปริมาณแป้งของข้าวโพดหวานสองสี

ไม่มีความแตกต่างกัน (Figure 4D)

โดยทั่วไปปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของข้าวโพดหวานสองสีภายหลังการเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากข้าวโพดหวานสองสีใช้น้ำตาลในกระบวนการหายใจ และบางส่วนถูกนำไปสังเคราะห์เป็นแป้ง วิษณุ (2542) รายงานว่าการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสูญเสียน้ำตาล และลดปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้ บรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำตาล และแป้ง อาจเนื่องจากความแตกต่างทางพันธุกรรมของข้าวโพดหวาน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งกำหนดปริมาณน้ำตาลที่มีในเมล็ดและอัตราการลดลงของปริมาณน้ำตาลรวมถึงการสังเคราะห์แป้ง (Brecht et al., 1990)

7. คุณภาพจากการประเมิน

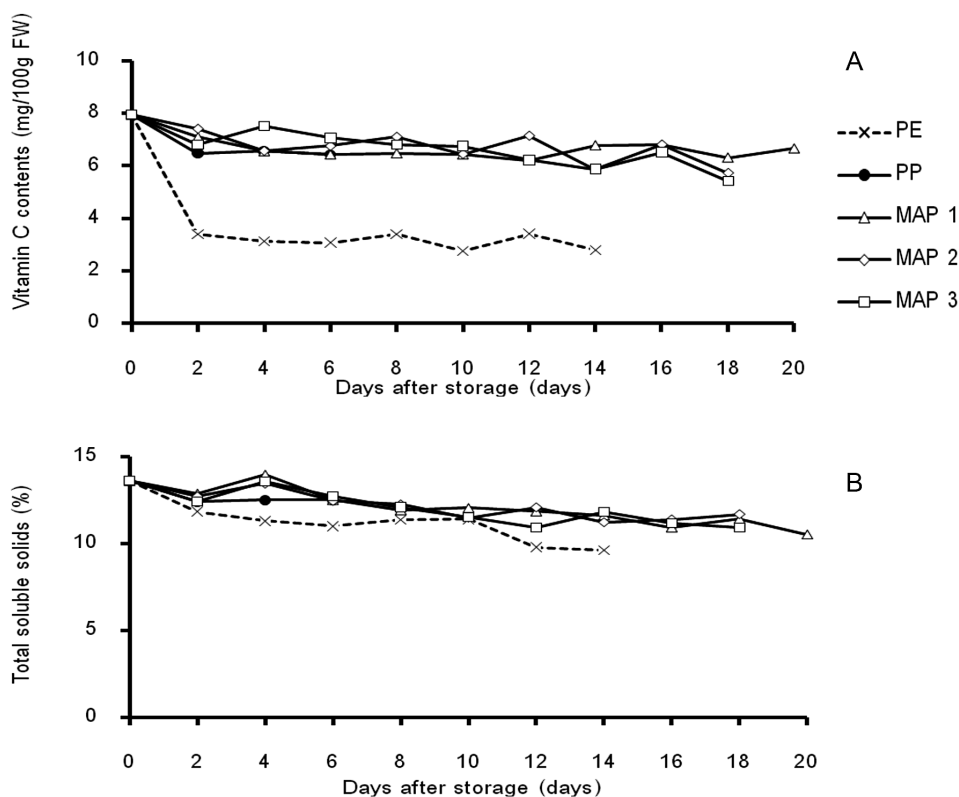
การประเมินคุณภาพข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน พบว่า ข้าวโพดหวานสองสีบรรจุในถุงพอลิโพรพิลีนมีกลิ่นหมักเกิดขึ้นมาก ซึ่งมีคะแนนประเมิน เท่ากับ 2.00 คะแนน ในขณะที่การบรรจุกรรมวิธีอื่นมีคะแนนประเมิน 4.75-5.00 คะแนน จึงทำให้ข้าวโพดหวานสองสีในถุง พอลิโพรพิลีนหมดอายุในการเก็บรักษาก่อน และในวันที่ 16 ของการเก็บรักษาพบว่า ข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนเจาะรูมีเมล็ดยุบชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้ประเมินไม่ต้องการทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าถุงเอกทิฟทั้ง 3 ชนิด จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์ที่ต่างกันมีผลต่อลักษณะปรากฏของข้าวโพดหวานสองสี

Table 2 Vitamin C contents, total soluble solids and total sugar of sweet corn packed in different packaging and stored at 4°C for 6 days.

Method	Vitamin C (mg/100 g. FW)	TSS (%)	Total sugar (mg/g DW)	Storage life (days)
PE	3.07±0.53 ^b	11.00±0.10 ^b	413.42±84.55	13.50±1.00 ^c
PP	6.44±0.92 ^a	12.50±0.46 ^a	431.96±76.74	5.00±1.15 ^d
Active Packaging 1 (MAP 1)	6.44±0.00 ^a	12.50±0.36 ^a	434.65±44.78	19.50±1.00 ^a
Active Packaging 1 (MAP 2)	6.75±0.53 ^a	12.43±0.06 ^a	412.75±29.85	17.00±1.15 ^b
Active Packaging 1 (MAP 3)	7.06±0.53 ^a	12.07±0.53 ^a	449.14±58.39	17.05±1.00 ^b
LSD	1.06	0.65	113.12	1.6
CV (%)	9.78	2.91	14.53	7.34

Different letters in the same column denote significant difference at $p \leq 0.05$ (presented in Mean±S.D.)

LSD : Least significant different, S.D. : Standard deviation



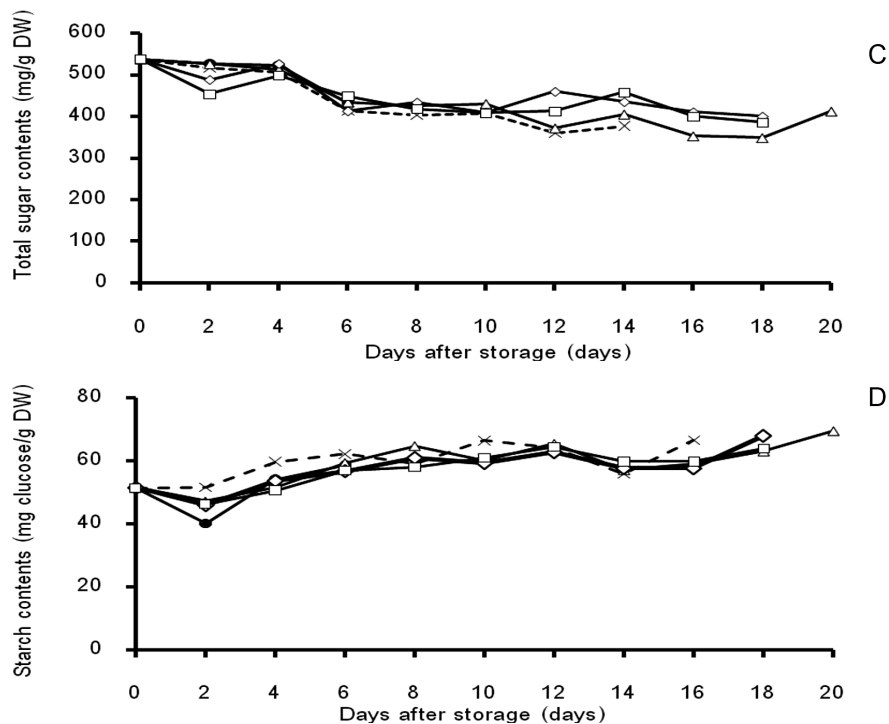


Figure 4 Vitamin C contents (A), total soluble solids (B), total sugar contents (C) and starch contents (D) of sweet corn packed in different packaging and stored at 4 °C for 20 days.

8. อายุการเก็บรักษา

ข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในถุงแวกที่ฟชนิดที่ 1 มีอายุเก็บรักษานานที่สุดเท่ากับ 19 วัน และข้าวโพดหวานสองสีที่บรรจุในถุงพอลิโพรพิลีนมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดเท่ากับ 5 วัน เนื่องจากมีกลิ่นผิดปกติ ส่วนข้าวโพดหวานสองสีในถุงพอลิเอทิลีนมีอายุเก็บรักษานาน 13 วัน และถุงแวกที่ฟชนิดที่ 2 และชนิดที่ 3 มีอายุการเก็บรักษานานเท่ากัน คือ 17 วัน (Table 2) โดยลักษณะที่พบในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือ พบเมล็ดข้าวโพดหวานสองสีบนฝักเหี่ยวและยุบตัว เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค จากคุณสมบัติของถุงที่สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สภายในและภายนอกถุงที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สสูงส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมาก เกิดการเหี่ยวของผลิตผลก่อนเมื่อเปรียบเทียบกับถุงที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ต่ำกว่า

สรุป

บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวานสองสี คือ บรรจุภัณฑ์แวกที่ฟชนิดที่ 1 จากผลการทดลองพบว่าบรรจุภัณฑ์แวกที่ฟชนิดที่ 1 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาข้าวโพดหวานสองสีได้นาน 19 วัน เนื่องจากช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และไม่ก่อให้เกิดกลิ่นผิดปกติ โดยไม่มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำตาลทั้งหมด และการเพิ่มของปริมาณแป้ง ส่วนถุงพอลิโพรพิลีนทำให้ข้าวโพดหวานสองสีมีกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 5 วัน ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์สำหรับผู้บริโภค และถุงพอลิเอทิลีนเก็บรักษาข้าวโพดหวานสองสีนานเพียง 13 วัน โดยพบว่าเมล็ดมีลักษณะเหี่ยว

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวง และหน่วยวิจัยหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เชื้อเพื่อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทดลอง ขอขอบคุณบริษัททานตะวันอุตสาหกรรมจำกัดที่สนับสนุนถุงสำหรับทดลอง ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กฤติยา บุรณโชคไพศาล. 2551. ผลของสารต้านอนุมูลอิสระต่ออายุการเก็บรักษาและความคงตัวของสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- กระทรวงพาณิชย์ . 2556. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย: ข้าวโพดหวาน. แหล่งข้อมูล <http://goo.gl/zaCl8X>. ค้นเมื่อ 9 กันยายน 2556.
- กาญจนา สุทธิกุล. 2548. การพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอ็กทีฟสำหรับยืดอายุผักและผลไม้สดของไทย. เกษตรเกษตร. 29(11): 105-108.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2556. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชสวน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ปริญญาวดี ศรีธนทิพย์. 2553. การปลูกข้าวโพดหวานให้ผลผลิตสูงและปลอดภัยจากสารพิษ. ศิลปะการพิมพ์, ลำปาง.
- วิชณุ นิยมเหลา. 2542. ผลของการทำ Hydrocooling และสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพการเก็บรักษาและอายุการวางจำหน่ายของข้าวโพดหวาน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สุกัลยา ภูทอง. 2547. การยืดอายุการเก็บรักษาข้าวโพดหวานโดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Aharoni Y., A. Copel, M. Gil, and E.Fallik. 1996. Polyolefin stretch films maintain the quality of sweet corn during storage and shelf life. *Postharvest Biology and Technology*. 7: 171-176.
- Brecht, J.K., S.A. Sargent, R.C. Hochmuth, and R.S. Tervola. 1990. Postharvest quality of supersweet (SH2) sweet corn cultivars. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 103: 283-288.
- Chinmasamy G., AK Bal. 2003. Seasonal change in carbohydrates of perennial root nodules of beach pea. *Journal Plant Physiology*. 160: 1185-1192.
- Day, B.P.F. 1993. Fruit and Vegetables. 114-133 p. In R.T. Parry (ed.). *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*. Blackie Academic & Professional, Suffolk.
- Lee, S.K., and A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*. 20: 207-220.
- Miller, G.L.1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*. 31: 426-428.
- Morales-Castro, J., M.A. Rao, J.H. Hotchkiss, and D.L. Downing. 1994. Modified atmosphere packaging of sweet corn on cob. *J. Food Processing and Preservation*. 18: 279-293.
- Ranganna, S. 1986. *Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Inc., New Delhi.
- Risse L.A., and R.E. McDonald. 1990. Quality of supersweet corn film-overwrapped in trays. *HostScience*. 25(3): 322-324.
- Wills, R.B.H., B. McGlasson, D. Graham, and D. Joyce. 1998. *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetable*. New South Wales University Press, New South Wales.