วารสารเกษตร 18 (3) : 250-260 (2545)

Journal of Agriculture 18 (3) : 250-260 (2002)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค

Factors Affecting The Quality of Fresh-cut Lettuce.

ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย[1/] และ ดนัย บุณยเกียรติ[2/]

Teerasak Punvichai[1/] and Danai Boonyakiat[2/]

Abstract: A study on factors affecting the quality of fresh-cut lettuce was conducted. The head lettuce was longitudinal cut into 1.5-2.5 centimeter wide using a sharp knife. Fresh-cut lettuces that were dipped in 1.0 % citric acid solution for 5 seconds, were packed in 40 and 50 micron polypropylene bags. These vegetables were stored at 2, 5 and 10 °C. It was found that fresh-cut lettuce packed in 40 and 50 micron polypropylene bags and stored at 2, 5 and 10 ° had the storage life of 13, 10 and 5 days respectively. 40 and 50 micron polypropylene bags were not affected storage life. Polyphenol oxidase activity of fresh-cut lettuce that was dipped in 1.0 % citric acid solution for 5 seconds, packed in 50 micron polypropylene bags and stored at 2 °C was determined. It was found that brown colour development of cutting surface and leaf rib related to increasing of the polyphenol oxidase activity. 1.0 % citric acid solutions reduced the total pre-and post-storage microbial count for 3.10 - 4.76 % in the fresh-cut lettuce. The respiration rate of the fresh-cut lettuce was higher than the head lettuce for 52 % and dipping in 1.0 % citric acid solution increased the respiration rate of the fresh-cut lettuce for 64 %.

[1/]สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

[2/]ภาควิชาพืชสวน คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

[1/] Postharvest Technology Institute, Chaing Mai University, Chaing Mai 50200, Thailand.

[2] Department of Agricultural Economic, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

บทคัดย่อ : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยนำผักกาดหอมห่อมาหั่นชิ้นตามความยาวของก้านใบให้มีขนาดกว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร แล้วแช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นนาน 5 วินาที บรรจุในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 40 และ 50 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 40 และ 50 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 13, 10 และ 5 วัน ตามลำดับ โดยที่ความหนาของถุงโพลีโพรไพลีน 40 และ 50 ไมครอน ไม่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา และเมื่อวัดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 วินาที บรรจุใส่ถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดและก้านใบเพิ่มมากขึ้นสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การแช่ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองได้ประมาณ 3.10 – 4.76 เปอร์เซ็นต์ ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัวประมาณ 52.0 เปอร์เซ็นต์ และการแช่ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 64.0 เปอร์เซ็นต์

Index Words : การตัดแต่ง โพลีฟีนอล ออกซิเดส การเกิดสีน้ำตาล ผักกาดหอมห่อ
Fresh-cut lettuce, Polyphenol oxidase , Brown colour, lettuce

คำนำ

ปัจจุบันมีการนำเอาผักกาดหอมห่อ (*Lactuca sativa* L.) มาแปรรูปบางส่วน เพื่อความสะดวกของผู้บริโภค ซึ่งแนวโน้มของตลาดมีความต้องการเพิ่มสูง การแปรรูปผักบางส่วนหรือการตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นธุรกิจที่กำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว สาเหตุเกิดจากผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิต และแนวทางการบริโภคอาหารเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากปัญหาค่าครองชีพที่สูงขึ้น ทำให้สมาชิกในครอบครัวต้องออกไปทำงานนอกบ้าน รวมทั้งปัญหาจราจรทำให้ผู้บริโภคไม่มีเวลาซื้อวัตถุดิบมาปรุงอาหารเองที่บ้านเหมือนในอดีต จึงนิยมซื้ออาหารสำเร็จรูปและอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่วางจำหน่ายในตลาดสดและซุปเปอร์มาร์เก็ตไปบริโภคกันมากขึ้น (Kim *et al.*, 1993) สำหรับประเทศไทยมีการผลิตผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคจำหน่ายอย่างแพร่หลายทั้งในตลาดสดและซุปเปอร์มาร์เก็ต แต่ยังมีปริมาณไม่มากนัก คาดว่าปริมาณการผลิตและจำหน่ายจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนากรรมวิธีการผลิต และหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เป็นการประกันความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค ปัญหาที่สำคัญของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมมีสาเหตุมาจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) (Fujita *et al.*, 1991) ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ การเกิดสีน้ำตาลสามารถลดลงได้โดยการแช่ในกรดชนิดต่างๆ เนื่องจากค่าพีเอชที่ต่ำทำให้พันธะไฮโดรเจน ในโมเลกุลของโปรตีนแยกออก เป็นผลให้โครงสร้างโมเลกุล ของโปรตีนเกิดการ

คลายตัว ซึ่งจะทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดน้อยลง (King and Bolin, 1989) และค่าพีเอชของผักที่ต่ำกว่า 4.6 สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตสารพิษซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ เช่น *Clostridium botulinum* (Brackett, 1994) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อที่จะศึกษากระบวนการผลิตของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีคุณภาพดี สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด เพื่อให้ได้ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภค สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น นำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในทางการค้า และเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการศึกษาต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ผักกาดหอมห่อ (*Lactuca sativa* L.) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12-15 เซนติเมตร จากแหล่งปลูกศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย จังหวัดเชียงใหม่ คัดเลือกเฉพาะหัวที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการ ล้างด้วยน้ำสะอาด แกะใบนอกออก 2-3 ใบ หั่นชิ้นตามความยาวของก้านใบให้มีความกว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร และแยกบริเวณใจกลางผักทิ้ง เนื่องจากเป็นส่วนของเนื้อเยื่อเจริญ มีอัตราการหายใจสูงกว่าปรกติ

ผลของอุณหภูมิและภาชนะบรรจุต่ออายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค

วางแผนการทดลอง แบบแฟคเตอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) มี 3 X 2 กรรมวิธี (อุณหภูมิ X วัสดุที่ใช้บรรจุ) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ผักกาดหอมห่อ 50 กรัม

นำผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคแช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 วินาที ทำให้สะเด็ดน้ำ บรรจุใส่ในถุงโพลีโพรไพลีนแบบมีแถบกาวฝาปิดหนา 40 และ 50 ไมครอน น้ำหนัก 50 กรัมต่อถุง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ผลการทดลองทุกวัน วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) โดยวิธีการไตเตรทด้วยสารละลาย 2,6 – dichlorophenol Indophenol ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้ Hand refractometer ปริมาณของคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Whitham *et al.* (1971)

การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค

วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ผักกาดหอมห่อ 50 กรัม

นำผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคแช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 วินาที ทำให้สะเด็ดน้ำ บรรจุใส่ในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน น้ำหนัก 50 กรัมต่อถุง เปรียบเทียบกับ ชุดควบคุมที่เตรียมโดยไม่แช่ในสารละลาย บรรจุในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน นำตัวอย่างที่เตรียมได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลองทุก 2 วัน วัดค่าพีเอชของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้โดยการไตเตรทกับสารละลายด่างมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total microbial count) เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของชุดควบคุมโดยดัดแปลงตามวิธีของ Kiss (1984) สุ่ม

ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค 50 กรัม ใส่ในเครื่องปั่นที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่ฆ่าเชื้อแล้ว 200 มิลลิลิตร ปั่นนาน 2 นาที และเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้สารละลายที่มีความเจือจาง 2 x 10^{-3} ถึง 2 x 10^{-6} ดูดสารละลายตัวอย่างแต่ละความเจือจาง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Method Agar (พีเอช 7.0) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วลงในจานซึ่งมีสารละลายตัวอย่างผักบ่มในตู้อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส นาน 48 $\pm$ 3 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีเฉพาะจานที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี รายงานผลในรูป $\log_{10}$ CFU/g และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดัดแปลงจากวิธีการของ Selvaraj and Kumar (1989) โดยสุ่มตัวอย่างผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค 10 กรัม แช่ในไนโตรเจนเหลวบดให้เป็นเนื้อเดียวกันในโกร่งบด ชั่งตัวอย่างที่บดได้ 500 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม phosphate buffer 0.05 M ซึ่งมี pH 6.8 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เก็บไว้ 1 คืน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการบีบผ่านผ้ากรอง 4 ชั้น และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงอุณหภูมิต่ำ ที่ความเร็วรอบ 14,000 x g นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สารละลายส่วนที่ใส คือ เอนไซม์ (crude enzyme) นำไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยผสม citrate phosphate buffer 0.05 M ซึ่งมี pH 6.8 ปริมาตร 3.4 มิลลิลิตร pyrogallol 1.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และเอนไซม์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectophotometer คำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ แสดงเป็นหน่วยของเอนไซม์ โดยกำหนดให้ 1 หน่วยของเอนไซม์เท่ากับ 0.05 $Absorbance_{450}$ ที่เปลี่ยนไป/นาที/มิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Bradford โดยใช้ Bovine serum albumin เป็นโปรตีนมาตรฐาน

อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคและผักกาดหอมห่อทั้งหัว

วัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน ที่ใช้บรรจุผักกาดหอมห่อทั้งหัวและผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคทุกวัน นาน 7 วัน โดยเก็บตัวอย่างก๊าซในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน ฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography คำนวณอัตราการหายใจ (Respiration rate) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง และค่า Respiratory quotient (R.Q.) ของผักกาดหอมห่อจากสมการดังนี้

$$\text{Respiration rate} = \frac{\text{difference in } CO_2 \text{ (\%) x free volume (ml) x 321.75}}{\text{sample wt (kg) x Time sealed (min) x (273 + store temp °C)}}$$

$$\text{R.Q.} = \frac{\text{Volume of } CO_2 \text{ produced}}{\text{Volume of } O_2 \text{ taken up}}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณภาพทางเคมีของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.93 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษานาน 14 วัน ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ลดลงมีค่าเท่ากับ 1.56, 1.55 และ 1.51 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และความหนาของถุงโพลีโพรไพลีนที่ใช้บรรจุผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ตลอดอายุการเก็บรักษานาน 14 วัน เช่นเดียวกัน และปัจจัยทั้ง 2 ที่ใช้เก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 1) และจากผลการทดลองเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นเวลานานขึ้นพบว่าผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ลดลง เนื่องจากเซลล์ของผักกาดหอมห่อยังมีการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวหรือยังมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้นภายในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ โดยส่วนใหญ่สารตั้งต้นที่ใช้ คือ น้ำตาลและกรดอินทรีย์ต่างๆ ทำให้ปริมาณน้ำตาลและกรดที่สะสมอยู่ลดลง (Wills *et al.*, 1998) ปริมาณวิตามินซีของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษานาน 14 วัน ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 2.04, 2.06 และ 2.05 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 1) และความหนาของถุงโพลีโพรไพลีนที่ใช้บรรจุผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีตลอดอายุการเก็บรักษานาน 14 วัน เช่นเดียวกัน และปัจจัยทั้ง 2 ที่ใช้เก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 1) Albrecht (1993) รายงานว่าการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อทั้งหัวในภาชนะบรรจุมีการสูญเสียวิตามินซีที่อยู่ในรูป L-ascorbic acid โดยถูกออกซิไดซ์ไปเป็น dehydroascorbic acid หลังจากเก็บรักษานาน 6 วัน และการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันการสูญเสียวิตามินซีสำหรับผักที่ใช้ส่วนของใบบริโภค (สายชล, 2528) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.05 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษานาน 14 วัน ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.04, 0.03 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และคลอโรฟิลล์บีลดลงมีค่าเท่ากับ 0.03, 0.02 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และความหนาของถุงโพลีโพรไพลีนที่ใช้บรรจุผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีตลอดอายุการเก็บรักษานาน 14 วัน เช่นเดียวกัน และปัจจัยทั้ง 2 ที่ใช้เก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน

(ตารางที่ 1) สำหรับผักใบการเสื่อมคุณภาพที่สำคัญคือการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ (Lipton, 1987) การใช้ถุงพลาสติกบรรจุผักกาดหอมห่อสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมห่อได้ (Lopez-Galvez *et al.*, 1996)

ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ บรรจุถุงโพลีโพร-ไพลีนหนา 40 และ 50 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส สิ้นสุดอายุการเก็บรักษาพร้อมกันวันที่ 13, 10 และ 5 ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) โดยที่ความหนาทั้ง 2 ของถุงโพลีโพรไพลีนสภาพไม่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาคือ สิ้นสุดอายุการเก็บรักษาพร้อมกัน ดังนั้นการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ PPO และอัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค จึงเลือกใช้ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ บรรจุถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน ซึ่งมีราคาต่ำกว่าถุงโพลีโพรไพลีนหนา 40 ไมครอน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส

Table 1 Chemical quality of fresh-cut lettuce dipped in 1.0 % citric acid solution and stored at 2, 5 and 10 °C for 6 days.

Temperature (A)	TSS (%)	Vitamin C (mg/100g fw.)	Chlorophyll a (mg/100g fw.)	Chlorophyll b (mg/100g fw.)
Initial (0 day)	1.93	7.13	0.05	0.04
6 days				
2 °C	1.56	2.04	0.04	0.03
5 °C	1.55	2.06	0.03	0.02
10 °C	1.51	2.05	0.03	0.02
Polypropylene (B)	**TSS (%)**	**Vitamin C (mg/100g fw.)**	**Chlorophyll a (mg/100g fw.)**	**Chlorophyll b (mg/100g fw.)**
Initial (0 day)	1.93	7.13	0.05	0.04
6 days				
40 micron	1.55	2.13	0.03	0.03
50 micron	1.53	1.97	0.02	0.03
Factor A	ns	ns	ns	ns
Factor B	ns	ns	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns
% CV	1.81	14.05	49.12	43.55

Means within the same column followed by different letter differ significantly at $p<0.05$.

s : significant ns : non significant

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ และไม่แช่ในสารละลายกรดซิตริก (ชุดควบคุม) เมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีค่าเท่ากับ 18.6 และ 17.2 หน่วย ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 10 วัน (ตารางที่ 2) ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดและก้านใบของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค กล่าวคือ เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคระยะเวลานานขึ้น การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดและก้านใบเพิ่มมากขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้แช่ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลงอยู่ระหว่าง 3.12 – 12.12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายกรดซิตริก และหลังจากเก็บรักษานาน 2 วัน ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ และไม่แช่ในสารละลายกรดซิตริกมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เท่ากับ 17.31 และ 18.06 หน่วย ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 2) สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้แช่ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีผลทำให้ค่าพีเอชของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลง และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 2) การเกิดสีน้ำตาลของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ ซึ่งมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลโดยมีเอนไซม์ PPO เร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาล (Meteos *et al.*, 1993) และเอนไซม์ PPO ในผักกาดหอมห่อทำงานได้ดีที่ระดับพีเอช 5 ถึง 8 (Fujita *et al.*, 1991) ซึ่งค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 4 สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ทำให้สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ (Siriphanich and Kader, 1986 ; Vamos-Vigyazo, 1981) ซึ่งในการทดลองนี้สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ เนื่องจากสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าพีเอชที่ผิวของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคลงต่ำกว่า 4 ซึ่งส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของโปรตีนแยกออกจากกันเป็นผลให้โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายตัวทำให้เอนไซม์ PPO มีกิจกรรมลดน้อยลง (King and Bolin, 1989) เอนไซม์ PPO ในผักกาดหอมห่อทำงานได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส (Fujita *et al.*, 1991) ดังนั้นการชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดและก้านใบของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคสามารถควบคุมได้โดยการแช่ในสารละลายกรดและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (Bolin *et al.*, 1977)

ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเมื่อเริ่มต้นการทดลองก่อนแช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) มีค่าเท่ากับ 5.25 $\log_{10}$ CFU/g หลังจากนำมาแช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 วินาที พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง 4.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.05 $\log_{10}$ CFU/g เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคจนสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาพบว่าชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษานาน 7 วัน และมีระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบเท่ากับ 5.00

ส่วนผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบเท่ากับ 6.75 (ตารางที่ 3) และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ และชุดควบคุมเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 5.32 และ 5.49 $\log_{10}$ CFU/g ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลออัตราการเจริญของจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาได้เพียงเล็กน้อยประมาณ 3.10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Table 2 Polyphenol oxidase activity, pH and titratable acidity of fresh-cut lettuce packed in 50 micron polypropylene bag and stored at 2 °C.

	Unit of enzyme PPO				
Treatment	**0 day**	**2 day**	**4 day**	**6 day**	**8 day**
Citric acid 1.0 %	**18.16**	**17.31^{b}**	**25.56**	**26.73**	**29.06**
Control	**17.20**	**18.06^{a}**	**26.44**	**27.59**	**33.07**
	pH				
Treatment	**0 day**	**2 day**	**4 day**	**6 day**	**8 day**
Citric acid 1.0 %	**4.63^{b}**	**4.42^{b}**	**5.12^{b}**	**4.39^{b}**	**5.26^{b}**
Control	**5.55^{a}**	**5.98^{a}**	**5.80^{a}**	**5.99^{a}**	**6.03^{a}**
	TA (%)				
Treatment	**0 day**	**2 day**	**4 day**	**6 day**	**8 day**
Citric acid 1.0 %	**0.13^{a}**	**0.12^{a}**	**0.11^{a}**	**0.12^{a}**	**0.12^{a}**
Control	**0.07^{b}**	**0.09^{b}**	**0.08^{b}**	**0.08^{b}**	**0.09^{b}**

Means within the same column followed by different letter differ significantly at $p<0.05$.

อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคและผักกาดหอมห่อทั้งหัวที่บรรจุในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษานาน 7 วัน (ตารางที่ 4) การหั่นผักกาดหอมห่อมีผลทำให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น 52.0 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษานาน 1 วัน ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคและผักกาดหอมห่อทั้งหัวมีอัตราการหายใจเท่ากับ 19.0 และ 9.3 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคและผักกาดหอมห่อทั้งหัวนาน 7 วัน พบว่าอัตราการหายใจลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 9.1 และ 4.8 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4) ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัวเนื่องจากรอยแผลที่เกิดจากการตัดและหั่นชิ้นของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีผลในการเร่งอัตราการหายใจและการเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้น อัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้มีการใช้ก๊าซออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในกระบวนการหายใจออกซิเจน เป็นตัวรับอิเล็กตรอนสุดท้ายในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเพื่อให้ได้พลังงานใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ (Wills *et al.*, 1998) อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ และผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่แช่ในสารละลายกรดซิตริก (ชุดควบคุม) บรรจุในถุงโพลีโพรไพลีนหนา 50 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษานาน 7 วัน (ตารางที่ 4) สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเพิ่มสูงขึ้น 64.0 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษานาน 7 วัน โดยผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ และผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ไม่แช่ในสารละลายกรดซิตริกมีอัตราการหายใจเท่ากับ 13.1 และ 4.7 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4) ผักกาดห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคและผักกาดหอมห่อทั้งหัวตลอดอายุการเก็บรักษานาน 7 วัน มีค่า Respiratory Quotient (R.Q.) อยู่ในช่วง 0.9-1.2 (ตารางที่ 4) ซึ่งหมายความว่าผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีการหายใจที่ใช้ก๊าซออกซิเจน และใช้กรดอินทรีย์ต่างๆ เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ (Wills *et al.*, 1998)

Table 3 Total microbial count and visual score of fresh-cut lettuce dipped in 1.0 % citric acid solution and stored at 2 °C for 7 days.

Treatment	Total microbial count ($\log_{10}$ CFU/g)		Visual score (day 7)
	day 0	day 7	
Citric acid 1.0 %	5.05	5.32	6.75
Control	5.25	5.49	5.00

Table 4 Respiration rate and R.Q. of fresh-cut and head lettuce packed in 50 micron polypropylene bags stored at 2 °C.

	Respiration rate ($mgCO_2.kg^{-1}.hr^{-1}$)		R.Q.	
Treatment	**day 1**	**day 7**	**day 1**	**day 7**
Head	**9.3[b]**	**4.8[b]**	**1.1[a]**	**1.1**
Fresh-cut	**19.0[a]**	**9.1[a]**	**0.9[b]**	**1.2**
Treatments	**day 1**	**day 7**	**day 1**	**day 7**
Citric acid 1.0 %	**27.0**	**13.1[a]**	**1.0[b]**	**1.3**
Control	**21.8**	**4.7[b]**	**1.3[a]**	**1.2**

Means within the same column followed by different letter differ significantly at $p<0.05$.

สรุปผลการทดลอง

1. การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดและก้านใบของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

2. ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัว และสารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้แช่ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีผลทำให้อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคเพิ่มสูงขึ้น

3. สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้แช่ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นการทดลองได้ประมาณ 4.76 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค สารละลายกรดซิตริก 1.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคได้เพียงเล็กน้อยประมาณ 3.10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 364 น.

Albrecht, J.A. 1993. Ascorbic acid and retention in lettuce. J. Food Quality 16 : 311-316.

Brackett, R.E. 1994. Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. pp. 269-312. *In* R.C. Wiley (Ed.). Minimally Processed Refrigerated Fruit & Vegetables. Chapman & Hall Inc. New York.

Bolin, H.R., A.E. Stafford, J.R. King and C.C. Huxsoll. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. J. Food Sci. 42(5) : 1319-1321.

Fujita, S., T. Tono. and H. Kawahara. 1991. Purification and properties of polyphenol oxidase in head lettuce (*Lactuca sativa*). J. Sci. Food Agric. 55 : 643-651.

King, A.D. and H.R. Bolin. 1989. Physiological and microbiological storage stability of minimally of processed fruits and vegetables. Food Technol. 43(2) : 132-139.

Kiss, I. 1984. Testing Method in Food Microbiology. Amsterdam, Elsevier Science. 447 p.

Lipton, W.J. 1987. Senescence of leafy vegetables. HortScience. 22 : 854-859.

Lopez-Galvez, G., M. Saltveit and M. Cantwell. 1996. The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types. Postharvest Biol. Technol. 8 : 179-190.

Selvarai, Y. and R. Kumar. 1989. Studies on fruit softening enzymes and polyphenol oxidase activity in ripening mango (*Mangifera indica.* L.) fruit. J. Ed. Sci Technol. 26(4) : 218-22.

Siriphanich, J. and A.A. Kader. 1986. Effects of CO_2 on total phenolics, phenylalanine ammonia-lyase, polyphenol oxidase in lettuce tissue. J. Amer. Soc. Hort Sci. 110 : 249-253.

Vamos-Vigyazo, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 15 : 49-127.

Whitham, F.H., D.H. Blaydes, R.M. Devin and D. Van. 1971. Experiments in Plant Physiology. Nostrand company, New York., 245 p.

Wills, R.B.H., W.B. McGlasson, D. Graham and D. Joyce. 1998. Postharvest : An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits, Vegetables and Ornamentals. 4th ed. New South Wales University Press, New South Wales, 262 p.