คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไยสดบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง

ปณธร จันทนพ[1] วรรณี ฉินศิริกุล[2] ชาริณี วิโนทพรรษ์[3] วิชัย ดำรงโภคภัณฑ์[4] และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์[5]*

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสภาพการแพร่ผ่านได้ของก๊าซผ่านถุงฟิล์มพอลิพรอพิลีน (PP: OTR 1126-1136 ml/m^2.day) และถุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดพิเศษ (EMA6000: OTR 5800-7200 ml/m^2.day) เปรียบเทียบกับถุงตาข่ายที่เป็นชุดควบคุมต่อการสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ ตรวจสอบคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 2°C เป็นเวลา 26 วัน หลังจากนั้นเก็บรักษาที่ 8°C เป็นเวลา 15 วัน ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้สภาวะของก๊าซภายในถุงที่บรรจุลำไยมีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยในถุงฟิล์ม PP บรรจุลำไย มีปริมาณก๊าซออกซิเจนน้อยสุดและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากที่สุดเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล คุณภาพผลลำไยสดที่บรรจุในถุงฟิล์ม EMA6000 มีคุณภาพดีคือ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ผลลำไยสดมีความหวานเพิ่มขึ้น ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างบริเวณเปลือกและเนื้ออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ค่าสี *L และค่า ΔE เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากวันแรกของการเก็บรักษาและสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 41 วัน ในขณะที่ลำไยบรรจุถุง PP เก็บรักษาได้เพียง 24 วันและถุงตาข่าย 38 วันจึงสรุปได้ว่าถุงฟิล์ม EMA 6000 สามารถนำไปใช้ยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดเพื่อการส่งออกได้

คำสำคัญ: อายุการเก็บรักษา ลำไย การแพร่ผ่านของฟิล์ม สภาวะบรรยากาศดัดแปลง

[1] นักศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] นักวิจัย หน่วยโพลิเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

[3] ผู้ช่วยนักวิจัย หน่วยโพลิเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

[4] อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[5] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 4709 อีเมล: btr@kmutnb.ac.th

รับเมื่อ 6 มิถุนายน 2557 ตอบรับเมื่อ 1 ตุลาคม 2557

Quality and Shelf-life of Fresh Longan under Modified Atmosphere Packaging

Panatorn Chantanop[1] Wannee Chinsirikul[2] Charinee Winotapun[3] Vichai Domrongpokkaphan[4] and Benjawan Thumthanaruk[5]*

Abstract

This study was aimed to determine the gas permeability through polypropylene (PP: OTR 1126-1136 ml/m^2.day) and special polyethylene packaging films (EMA6000: OTR 5800-7200 ml/m^2.day) compared to the net package (the control group) under modified atmosphere. Quality and shelf-life of fresh longan under modified atmosphere at 2°C for 26 days and at 8°C for the next 15 days were examined. The results showed that the long-term storage affected lower O_2 and relatively higher CO_2 concentrations. The lowest O_2 and highest CO_2 concentrations were found in PP, followed by EMA and net package, respectively. At steady state, longans packed in the EMA6000 film were of high quality: lowest mass loss, and increased firmness and sweetness. Sulfur dioxide residues in the peel and flesh were also in the acceptable range and the colors of *L and ΔE were slightly changed from the first day of storage. The shelf-life of longan was 41 days in EMA6000, 24 days in PP and 38 days in net package. Therefore, the EMA6000 package can be used to extend the shelf life of longan for export.

Keywords: Shelf-life, Longan, Film Permeability, Modified Atmosphere Package

[1] Student, Department of Agro-Industrial, Food and Environmental Technology, Faculty of Science and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[2] Researcher of Polymers Research Unit, National Metal and Materials Technology Center (MTEC).

[3] Assistant Researcher of Polymers Research Unit, National Metal and Materials Technology Center (MTEC).

[4] Lecturer, Department of Agro-Industrial, Food and Environmental Technology, Faculty of Science and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[5] Assistant Professor, Department of Agro-Industrial, Food and Environmental, Technology, Faculty of Science and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext. 4709 E-mail: btr@kmutnb.ac.th

Received 6 June 2014; Accepted 1 October 2014

1. บทนำ

การยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผักผลไม้สดเพื่อการส่งออกมีความสำคัญต่อเกษตรกร และเศรษฐกิจของประเทศ ช่วยลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจและลดการเสื่อมเสียของคุณค่าทางโภชนาการได้ ลำไย (*Dimocarpus longan Lour.*) เป็นไม้ผลเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน มีชื่อสามัญว่า Longan อยู่ในวงศ์ Sapindaceae [1] ผลลำไยเป็นผลเดี่ยว ระยะจากเริ่มติดผลจนเก็บเกี่ยวผลได้ใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือนขึ้นกับพันธุ์และสภาพแวดล้อม มาตรฐานของผลลำไยสดเชิงการค้าที่มีคุณภาพดีนั้นจะต้องมีลักษณะผิวสีเหลืองปนน้ำตาล มีผิวเปลือกเรียบ การแบ่งเกรดลำไยแบ่งตามน้ำหนักเป็นเกรดเอ บี ซี โดยมีจำนวนผลอยู่ในช่วง 55-75, 76-80 และ 80 ผลขึ้นไปต่อน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม ประเทศไทยจัดเป็นผู้ส่งออกลำไยอันดับหนึ่งไปยังประเทศจีน [1]-[3] คิดเป็น 50% ของปริมาณที่ส่งออกทั้งหมดมีปริมาณมากถึง 227,979 ตัน ในปี ค.ศ. 1997 [3] ลำไยเป็นผลไม้ที่ไม่พบการสุกหลังการเก็บเกี่ยว (Non-climacteric Fruit) พบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งละลายได้ (Soluble Solids Concentration, SSC) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity, TA) เล็กน้อย โดยปัญหาของลำไยที่ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นและปัญหาทางการตลาดของลำไยคือ การเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์และการเกิดสีน้ำตาลที่ผลลำไย ดังนั้นวิธีการที่ใช้หลังการเก็บเกี่ยวคือการเก็บรักษาลำไยที่อุณหภูมิต่ำ 1-5°C สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ และการใช้สารรมควันซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ผลลำไยได้ [3] บรรจุภัณฑ์ที่ดีมีความสำคัญช่วยในการป้องกันผลลำไยสดได้ ลำไยสดนิยมบรรจุใส่ลังพลาสติกหรือตะกร้าสำหรับการจัดจำหน่ายภายในประเทศ ส่วนการส่งออกนั้น จะบรรจุใส่กล่องกระดาษโดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 3-30°C [4] ในสภาวะอุณหภูมิที่ 3°C สามารถเก็บรักษาโดยมีลักษณะปรากฏที่ยอมรับได้นานถึง 48, 30 และ 20 วันในถุงปิดสนิท ถุงตาข่ายและไม่บรรจุถุงตามลำดับ [5]

เทคนิคที่นิยมใช้และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ คือการบรรจุแบบดัดแปรบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging, MAP) ทำให้ช่วยลดการสูญเสีย ลดการเกิดสีน้ำตาล และลดผลกระทบจากความเย็นในการเก็บรักษา [6] ดังนั้นการเลือกใช้ฟิล์มที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในระบบนี้ โดยการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ปรับสมดุลบรรยากาศ ที่มีคุณสมบัติในการให้การแพร่ผ่านของก๊าซที่เหมาะสมกับผลิตผลนั้น ทำให้ภายในบรรจุภัณฑ์มีสภาวะสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) ทางหน่วยโพลิเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติได้มีการพัฒนาและผลิตฟิล์มที่คุณสมบัติให้เกิดการแพร่ผ่านของก๊าซได้ในปริมาณที่เหมาะสมได้ [7] สามารถช่วยชะลอการหายใจ ลดการคายน้ำ ลดการเสื่อมสภาพและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ [8] ในการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ปรับสมดุลบรรยากาศ นั้นอาศัยการใช้เทคนิคการเจาะรูให้มีขนาดเล็กๆ ลงบนฟิล์ม เช่น การใช้เลเซอร์เพื่อให้มีอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงขึ้น หรือการพัฒนาโครงสร้างด้วยกระบวนการแปรรูปและใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดใหม่ที่สามารถผลิตเป็นฟิล์มที่มีสภาพให้แพร่ผ่านได้ของก๊าซสูงกว่าฟิล์มทางการค้าทั่วไป งานวิจัยนี้ใช้ฟิล์มพอลิเอทิลีน (PE) ที่ได้ขึ้นรูปจากการพัฒนาโครงสร้างของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุลโดยการควบคุมการกระจายตัวของสารเติม (Additives) เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟสทำให้มีผลกระทบต่อการผ่านของก๊าซสามารถทำให้ก๊าซออกซิเจนผ่านสูงและการควบคุมโครงสร้างรูพรุนรัศมีรูพรุนและการเชื่อมต่อกันของรูพรุนที่มีผลต่อสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านฟิล์มได้จึงสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุให้เป็นสภาวะสมดุล สำหรับผลลำไยสด โดยทั่วไปเมื่อถูกบรรจุในถุงฟิล์มจะพบปัญหาของการคายน้ำ และการเกิดฝ้าขึ้นบนถุงฟิล์มเมื่อแช่เย็น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาฟิล์ม PE ชนิดพิเศษที่มีการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำสูง กำหนดชื่อฟิล์ม PE นี้ว่าฟิล์ม EMA6000 โดย

ยังไม่ปรากฏผลการทดลองนำฟิล์มชนิดนี้มาใช้ทดสอบกับผลิตผลลำไยสด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลลำไยสดบรรจุในถุงฟิล์มต่างกัน โดยจำลองสภาวะการศึกษาเช่นเดียวกับสภาวะการเก็บรักษาที่ใช้สำหรับการส่งออก

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

ลำไยพันธุ์อีดอ เกรด A ตัดขั้วสั้นประมาณ 0.5 มิลลิเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7-2.8 เซนติเมตร) จากบริษัทมาโนชการค้า (อู้-ราณี) จังหวัดลำพูน สำหรับฟิล์ม PP ถุงตาข่ายซื้อจากร้านค้า และฟิล์ม EMA6000 ได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยโพลิเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ การเตรียมวัตถุดิบลำไยที่ผ่านกระบวนการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมตามวิธีปฏิบัติของบริษัทส่งออกที่มีความสุกเหมาะสม ขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิ ไม่มีรอยแผลและไม่มีเชื้อรา นำมาบรรจุในถุงตาข่าย ถุงฟิล์ม PP และถุงฟิล์ม EMA6000 ขนาด 7×11 เซนติเมตร น้ำหนักบรรจุ 450 กรัม และซิลปิดปากถุงสนิท เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ จากนั้นบรรจุลงบนกล่องเพื่อจำลองสถานการณ์การส่งออกจริง

ในขั้นตอนการศึกษามีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD)

2.1 ปัจจัยด้านฟิล์ม

โดยศึกษาฟิล์มทั้งหมด 2 ชนิดเป็นฟิล์มที่มีสภาพให้แพร่ผ่านได้ของก๊าซคือ ฟิล์ม PP และฟิล์ม EMA6000 โดยเปรียบเทียบกับผลลำไยสดที่บรรจุถุงตาข่าย

2.2 ปัจจัยด้านอุณหภูมิสำหรับการเก็บรักษา

ผลลำไยสดที่บรรจุในถุงฟิล์มจำลองสภาวะในการเก็บรักษาเช่นเดียวกับสภาวะที่ใช้ในการส่งออกผลลำไยสด โดยนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C เป็นเวลา 26 วัน เปลี่ยนอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 15°C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°C นาน 15 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกๆ 6 วัน ถึงวันที่ 18 (0, 6, 12, 18) หลังจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกๆ 3 วันจนถึงวันที่ 24 (21และ 24) วันที่ 26 ของการเก็บรักษาจะทำการเปลี่ยนสภาวะการเก็บรักษาเป็นที่อุณหภูมิ 8°C จากนั้นจึงทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกๆ 3 วัน จนถึงวันที่ 41 (26, 29, 32, 35, 38, 41) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ทรีทเมนต์ๆ ละ 4 ซ้ำ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

2.3.1 สมบัติของถุงฟิล์ม PP ถุงฟิล์ม EMA 6000

2.3.1.1 ความหนา (Thickness) ด้วยเครื่องวัดความหนา (Digimatic Thickness Gauge) รุ่น ID-C112BS บริษัท Mituitoyo Corp. ประเทศญี่ปุ่น

2.3.1.2 อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVTR) ด้วยเครื่อง Vapor Permeation Analyzer รุ่น 7002 บริษัท Illinois Instrument, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3.1.3 อัตราการแพร่ผ่านก๊าซออกซิเจน ด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Analyzer รุ่น 2/21ยี่ห้อ MOCON OXTRAN® ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3.1.4 อัตราการแพร่ผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง Carbon Dioxide Permeation Analyzer รุ่น 4/41 ยี่ห้อ MOCON OXTRAN-C® ประเทศสหรัฐอเมริกา และคำนวณหาค่าสมบัติต่าง ๆ [7]

$$WVR = WVTR \times thickness\ (mm)$$
$$PO_2 = OTR \times thickness\ (mm)$$
$$PCO_2 = CO_2\ TR \times thickness\ (mm)$$
$$\beta = PCO_2/PO_2$$

2.3.2 คุณภาพลำไยบรรจุถุง ตรวจสอบ

2.3.2.1 สี วัดด้วยเครื่อง Chroma Meter รุ่น JR-103 ยี่ห้อ Hunter Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าสีวัดค่า L* เป็นค่าความสว่าง 0-100, a* ค่าสีแดง (+), b* ค่าสีเหลือง (+) คำนวณค่า $\Delta E = (\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2})1/2$

2.3.2.2 การสูญเสียน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักผลของลำไยก่อนและหลังการทดลอง นำมาคำนวณดังสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

2.3.2.3 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น Testometric Micro 350 ประเทศอังกฤษ ด้วยแรงเฉือนขนาดมุม 70 องศา ที่อัตราเร็ว 200 มิลลิเมตรต่อนาที บริเวณด้านกลางและด้านข้างของผล กำหนดหัววัดกดที่ผลระยะ 5 มิลลิเมตร แล้วหยุด

2.3.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids, TSS) โดยคั้นน้ำลำไยแล้ววัดด้วยเครื่อง Refractometer ยี่ห้อ ATAGO® ประเทศญี่ปุ่น

2.3.2.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity, TA) โดยคั้นน้ำลำไยแล้วมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ใช้สารฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณปริมาณกรดที่ได้ (%TA) ดังนี้

$$\%TA = \frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaoH})(\text{meq wt of citric acid})}{\text{ml of sample}} \times 100$$

2.3.2.6 ความเป็นกรดด่าง นำน้ำลำไยมาวัดด้วยเครื่อง pH Meter รุ่น Eutech Instruments pH510 บริษัท Thermo Fisher Scientific Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3.2.7 การวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างบริเวณเปลือกและเนื้อลำไยใช้วิธี AOAC [9]

2.3.2.8 การวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในถุงบรรจุลำไย โดยเก็บตัวอย่างก๊าซจำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography โดยใช้ Thermal Conductivity Detector (รุ่น 6890 ยี่ห้อ Agilant ประเทศสหรัฐอเมริกา) [7]

2.3.2.9 การประเมินความเสียหายจากเชื้อจุลินทรีย์ (Fungal Index) โดยประเมินจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับพื้นผิวทั้งหมด ให้คะแนนเป็น 1-5 โดยที่คะแนน 1 ไม่ปรากฏเชื้อจุลินทรีย์ คะแนน 2 พบปริมาณเชื้อ 1-10% คะแนน 3 พบปริมาณเชื้อ 11-30% คะแนน 4 พบปริมาณเชื้อ 31-70% คะแนน 5 พบปริมาณเชื้อ 71-100% [10]

2.3.2.10 การวิเคราะห์ทางสถิตินำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

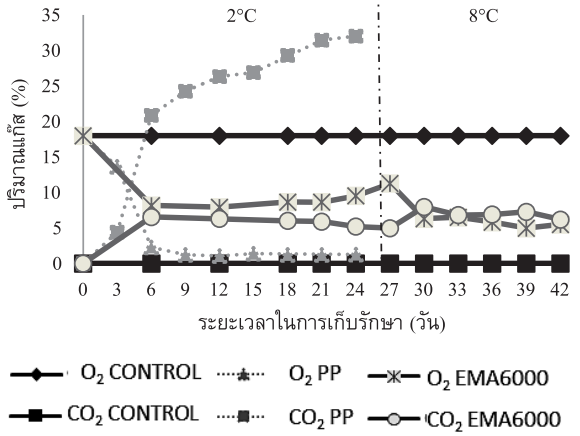
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติของถุงฟิล์ม PP และ EMA6000 ที่ใช้ในการทดลอง พบว่าถุงฟิล์ม PP มีสภาพให้แพร่ผ่านของไอน้ำ (WVP) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (PCO_2) และก๊าซออกซิเจน (PO_2) ต่ำเมื่อเทียบกับถุงฟิล์ม EMA6000 ที่มีการแพร่ผ่านได้ของก๊าซสูงกว่า (ตารางที่ 1) ซึ่งฟิล์มที่มีค่า Permeability และ Permselectivity จะมีผลกับการแพร่ผ่านของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหายใจดังนั้นถุงฟิล์ม EMA6000 จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้บรรจุผลิตผลสด เช่น ลำไย โดยมีผลการศึกษาเก็บลำไยที่ 4°C พบว่าสามารถชะลอการหายใจได้ [5]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของฟิล์มที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	หน่วย	PP	EMA6000
ความหนา	μm	69.1-79.1	53.5-64 .5
Water Vapor Transmission rate (WVTR[1])	$Kg/m^2.d$ ($\times 10^{-2}$)	2.4-2.6	7.89-8.07
Water Vapor Permeability (WVP[1])	$Kg.m/m^2.d.Pa$ ($\times 10^{-7}$)	0.16-0.21	0.41-0.43
Oxygen Tranmission Rate (OTR[2])	$ml/m^2.d.$ atm	1,126-1,136	5,800-7,200
Oxygen Transmission Permeability (PO_2[2])	$ml.m/m^2.$ d. atm	85-95	313-388
Carbon Dioxide Transmission Rate (CO_2TR[2])	$ml/m^2.$ d.atm	2,400-2,700	27,000-29,000
Carbon Dioxide Tranmission Permeability (PCO_2[2])	$ml.m/m^2.$d.atm	165-213	1,458-1,566
Perm Selectivity, β (PCO_2/PO_2)		1.5-2.2	4.02-4.65

หมายเหตุ [1] อุณหภูมิ 37°C ความชื้นสัมพันธ์ 90%
[2] อุณหภูมิ 23°C ความชื้นสัมพันธ์ 0%

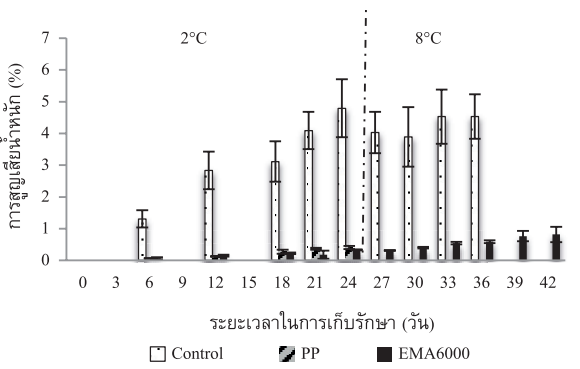


หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งคือเส้นแบ่งอุณหภูมิการเก็บรักษา

รูปที่ 1 ปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงบรรจุลำไยในถุงตาข่าย ถุงฟิล์ม PP และถุงฟิล์ม EMA6000

ผลจากการวิเคราะห์หลังการบรรจุลำไยในถุงบรรจุภัณฑ์พบว่าก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงมีการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงพร้อมกับการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเมื่อสภาพการแพร่ของก๊าซในฟิล์มลดลงในทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 1) สำหรับผลลำไยสดที่บรรจุในถุงตาข่ายพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับบรรยากาศทั่วไปเท่ากับ 18.00% และ 0.00% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสภาพการแพร่ผ่านได้ของก๊าซทั้งสองแตกต่างกัน ซึ่งฟิล์มที่มีสภาพการให้แพร่ผ่านได้ของก๊าซที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ และสร้างสภาวะบรรยากาศแบบสมดุลที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลลำไยสด สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ ขณะที่ถุงฟิล์ม PP ให้สภาวะไม่เหมาะสมกับความต้องการของผลิตผล เพราะเมื่อนำไปบรรจุผลิตผลทำให้ขาดก๊าซออกซิเจน และเกิดสภาวะสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุง ทำให้ผลิตผลหายใจแบบไม่ใช่ออกซิเจนเกิดกลิ่นหมักขึ้น

คุณภาพชี้วัดที่สำคัญของผลลำไยสดหลังการเก็บรักษาคือการสูญเสียน้ำหนักพบว่าในแต่ละทรีทเมนต์

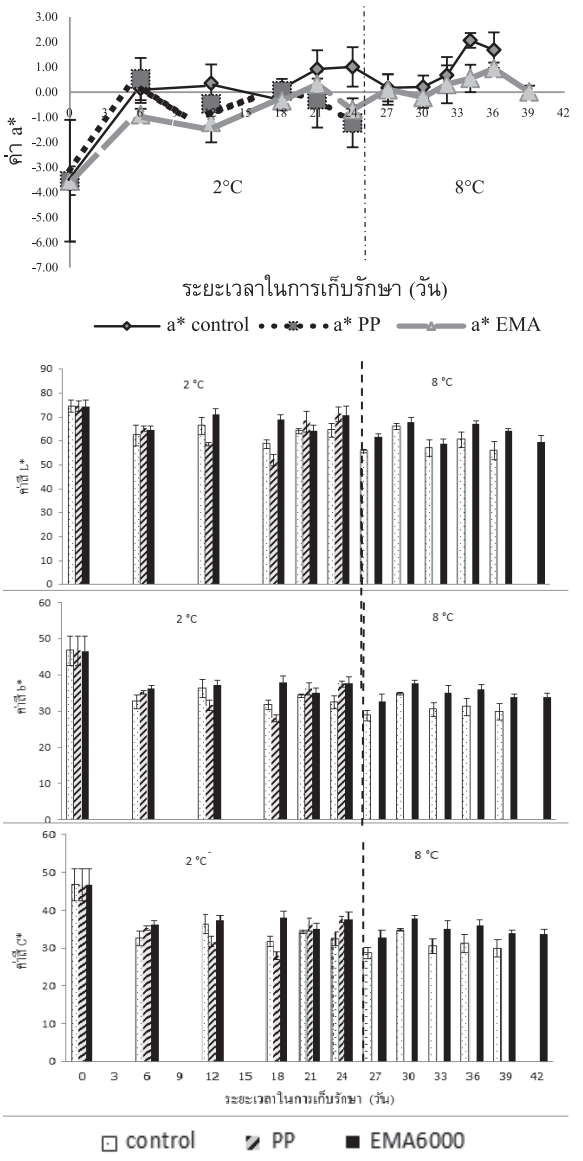


หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งคือเส้นแบ่งอุณหภูมิการเก็บรักษา

รูปที่ 2 ผลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ต่อการสูญเสียน้ำหนัก

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดไอน้ำ (หรือการคายน้ำ) สูงขึ้นด้วย จึงทำให้ถุงบรรจุมีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน ซึ่งก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนจึงทำให้ถุงที่มีความชื้นสูงจะพบเชื้อราได้ง่าย

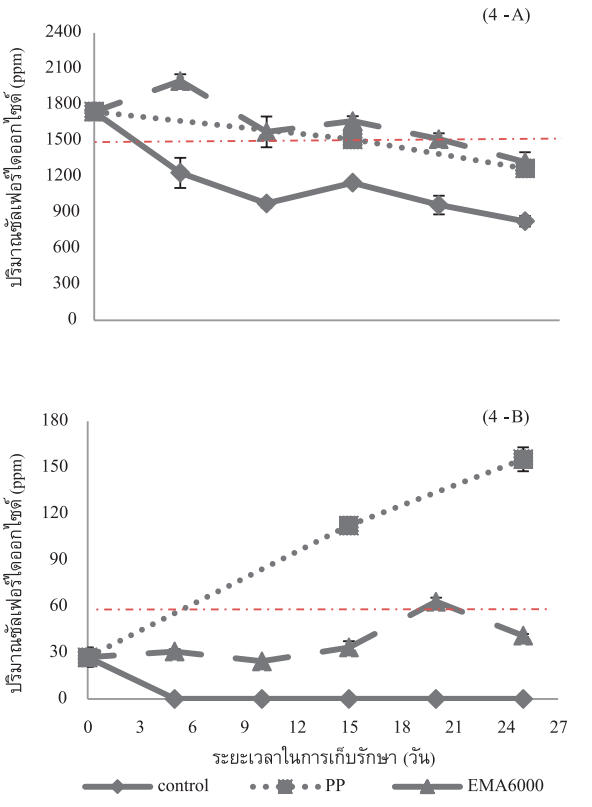
จากการตรวจสอบคุณภาพของผลลำไยสดเมื่อบรรจุถุง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีผลลำไยสดที่บรรจุในถุง PP มีแนวโน้มค่าสี L* สูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), (L* คือค่าความสว่างมีค่า 0 (ดำ) -100 (ขาว) และค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ต่ำสุด ในขณะที่ชุดควบคุม (ถุงตาข่าย) มีค่า L* ต่ำสุดและมีค่า ΔE สูงสุด ซึ่งพบว่าค่าทั้งสองให้ผลที่สอดคล้องกันและมีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าความสว่าง L* ลดต่ำลงจะส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีเพิ่มสูงขึ้นจากวันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง โดยค่า a* ของชุดควบคุม (ถุงตาข่าย) ที่แสดงถึงความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุด และค่า b*ที่แสดงถึงความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลงต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 3) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นที่ผลลำไยสด ซึ่งการที่ผลลำไยเกิดสีน้ำตาลจะมีผลต่อราคาที่ลดต่ำลง และการยอมรับของผู้บริโภคลดลง การเกิดสีน้ำตาล



หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งคือเส้นแบ่งอุณหภูมิการเก็บรักษา

รูปที่ 3 ค่าสี a*, L*, b* และ c* ของผลลำไยในถุงตาข่าย ถุงฟิล์ม PP และถุงฟิล์ม EMA6000

เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) ซึ่งถูกกระตุ้นเมื่อความชื้นของผลลำไยลดลง ดังนั้นหากสภาวะการเก็บลำไยยังคงมีความชื้นอยู่ก็จะทำให้การเกิดสีน้ำตาลลดลง [3]



หมายเหตุ เส้นประแนวนอนคือค่ามาตรฐานที่กำหนดสำหรับการส่งออก

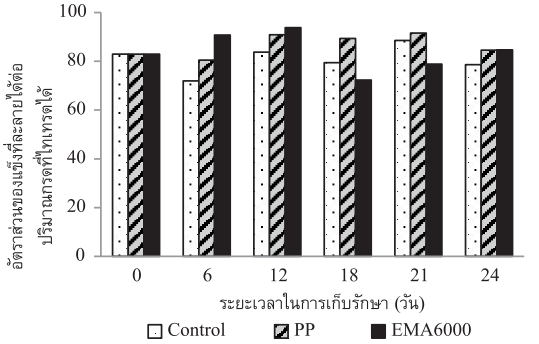
รูปที่ 4 ผลของฟิล์มต่อปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (4-A) บริเวณเปลือก (4-B) เนื้อลำไย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อและเปลือกของผลลำไยสดที่ใช้ทดลองนั้น พบว่าบริเวณเปลือกในทุกทรีทเมนต์มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานต่ำกว่า 1500 ppm (รูปที่ 4-A) แต่บริเวณเนื้อผลพบว่าลำไยบรรจุถุงฟิล์ม PP มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินมาตรฐานกำหนดมากกว่า 50 ppm ตามมาตรฐานการส่งออกไปยังประเทศจีน ในขณะที่ถุงฟิล์ม EMA6000 มีค่าใกล้เคียงมาตรฐานหรือต่ำกว่า (รูปที่ 4-B) แสดงให้เห็นว่าถุงตาข่ายซึ่งมีลักษณะโปร่งเป็นรูพรุน สามารถเกิดการแพร่ผ่านของก๊าซได้ดีกว่าในถุงฟิล์มชนิดอื่นๆ แต่การเก็บรักษาในถุงตาข่ายที่มีค่าการ

แพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับสภาพบรรยากาศทั่วไป ส่งผลทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระเหยออกไปจากผลลำไยและทำให้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยในถุงฟิล์ม EMA6000 พบว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างบริเวณเปลือกและเนื้ออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ในขณะที่ถุงฟิล์ม PP ที่มีค่าการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำและมีความหนามากกว่าถุงฟิล์ม EMA6000 ด้วยคุณสมบัติของถุงฟิล์ม EMA6000 ที่มีความบางกว่า มีค่าการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง แต่ก็สามารถมีการแพร่ผ่านระเหยออกของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ในระดับที่ต่ำกว่าถุงตาข่ายส่งผลให้ค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเนื้อและเปลือกและผลลำไยสดจะมีสีเหลืองมากกว่าลำไยสดบรรจุถุงตาข่าย เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นมีสมบัติเป็นสารที่ระเหยได้ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ [11] ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีอันตรายต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะผู้ที่เป็นโรคหอบหืด ดังนั้นมาตรฐานการส่งออกในแต่ละประเทศเช่น กลุ่มประเทศยุโรป ออสเตรเลีย และญี่ปุ่นจึงกำหนดให้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างได้ไม่เกิน 10 ppm [12]

ผลการทดลองหลังจากเก็บรักษาลำไยสดพบว่าผลลำไยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ลดลงเล็กน้อยในทุกทรีทเมนต์เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น โดยพบว่าอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อลำไย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเปลือกและเนื้อลำไยโดยอัตราส่วนTSS/TA พบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าผลลำไยสดมีรสหวานเพิ่มขึ้นและมีรสเปรี้ยวลดลงเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 5) ซึ่งลำไยจัดเป็นผลไม้ที่มีปริมาณ TSS และ TA เพิ่มสูงขึ้นในช่วงสุกแต่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยค่าดังกล่าวจะเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพทางด้านรสชาติของผลลำไย [3]

ค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อลำไยบรรจุถุงฟิล์ม

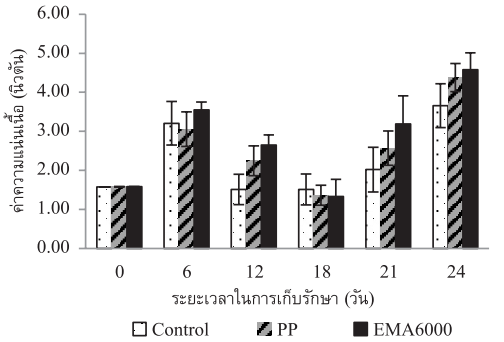


รูปที่ 5 ผลของฟิล์มต่ออัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

EMA6000 เท่ากับ 7.40 และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเก็บรักษา โดยในทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ขณะที่ชุดควบคุม (ถุงตาข่าย) และถุงฟิล์ม PP มีค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 7.53 และ 7.55 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไทเทรตได้ที่มีค่าลดลง

ผลการทดลองประเมินความเสียหายที่เกิดโรคจากเชื้อจุลินทรีย์พบว่า ลำไยบรรจุในถุงฟิล์ม EMA6000 มีแนวโน้มดัชนีการเกิดโรคจากเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าชุดควบคุม (ถุงตาข่าย) ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของผู้บริโภคคือไม่เกินร้อยละ 30 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด โดยที่ลำไยเป็นผลไม้ที่เกิดการเน่าเสียได้ง่ายจากเชื้อแบคทีเรีย รา และยีสต์ เชื้อที่ก่อให้เกิดปัญหาบริเวณขั้วผลและผลมากคือ *Botryodiplodia* sp. และ *Geotrichum candidum* [13] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ จึงกำหนดการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับลำไย [14] เพื่อลดการปนเปื้อน ป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมีซึ่งจะสามารถช่วยรักษาคุณภาพและความปลอดภัยในการบริโภคลำไย

ผลการตรวจสอบความแน่นเนื้อหลังการเก็บรักษาลำไยสดในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ ในผลการทดลองนี้เป็นการเก็บรักษาที่ 2°C พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของผลลำไยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 ผลของฟิล์มต่อค่าความแน่นเนื้อของผลลำไย

โดยที่ความแน่นเนื้อหรือลักษณะฉ่ำน้ำของเนื้อลำไยมาจากผลของกิจกรรมเอนไซม์ pectin methylesterase และ polygalacturonase ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการสุกเพิ่มขึ้น [15] แต่การที่เปลือกของลำไยมีความแข็งแรงมากขึ้น นั้นเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำความชื้นของผลลำไยสด เมื่อเนื้อเยื่อถูกดึงน้ำออกไปจะส่งผลทำให้เปลือกมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [5]

4. สรุป

การบรรจุผลลำไยสดในถุงฟิล์ม EMA6000 สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงและยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 41 วัน ผลลำไยมีคุณภาพดีคือ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย การเปลี่ยนแปลงค่าสีเล็กน้อย สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานกว่าผลลำไยสดที่บรรจุถุงตาข่าย (ชุดควบคุม) ที่เก็บรักษาได้ 38 วัน และถุงฟิล์ม PP ได้ 24 วัน เนื่องจากการภายในถุงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้รสชาติของผลลำไยสดเปลี่ยนไปและมีน้ำในผลมาก ดังนั้นการบรรจุผลลำไยสดในถุงฟิล์ม EMA6000 จึงมีความเหมาะสมและสามารถใช้สำหรับการบรรจุเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์ลำไยสดไปต่างประเทศได้ตามความต้องการของทางบริษัทส่งออก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วาณี ชนเห็นชอบ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ทำการทดลอง ขอบคุณ Mr. Rafi Ullah นักศึกษาโครงการแลกเปลี่ยน และ Ms. Caroline Karina Chandra นักศึกษาฝึกงานที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Food and Agriculture Organization of The United Nations, Regional Office for Asia and Pacific, (2000). *Longan Production in Asia* Rap publication 20. [Online]. Available:http://www.fao.org/docrep/003/x6908e/ x6908e01.htm#

[2] S. Subhadrabandhu and C. Yapwattanaphun, "Lychee and longan production in Thailand," presented at the first International Symposium on Litchi and Longan, Guangzhou, China, 19-23 June, 2000.

[3] Y. Jiang, Z. Zhang, D.C. Joyce, and S. Ketsa, "Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.)," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 26, pp. 241-252, 2002.

[4] Y.R. Su and B.D.Yang, "Experiments on storage of postharvest longan fruit at ambient temperature," *Fujian Fruits*, vol. 24, pp. 14-17, 1996.

[5] Y. Zhou, Z.I. Ji, and W.Z. Lin, "Study on the optimum storage temperature and chilling injury mechanism of longan fruits," *Acta Horticulture Sinica*, vol. 24, pp. 13-18. 1997.

[6] D. Zagory and A.A. Kader, "Modified atmosphere packaging of fresh produce," *Food Technology*, vol. 42(9), pp. 70-77, 1988.

[7] A. Fuongfuchat, W. Chinsirikul, N Kerddonfag, T. Trongsatitkul, S. Phiboonkulsumrit, S. Chaiwong, and V. Chonhenchob, "The utilization of simple

mathematical model in developing equilibrium modified atmosphere inside the package of fresh produce," *Agricultural Science Journal*, vol.37, no. 5, pp. 62-65, 2006.

[8] T. Al-Ati and J.H. Hotchkiss, "The role of packaging film permselectivity in modified atmosphere packaging," *Journal Agriculture and Food Chemistry*, vol. 51, pp. 4133-4138, 2003.

[9] Official Methods of Analysis of the AOAC International, *Association of Official Analytical Chemists*. Washington, D.C, 1995.

[10] W. Rimpranam and S. Sangchoed, "Preliminary investigation of postharvest diseases of longan in pong nam ron, Chantaburi," *Agricultural Science Journal*, vol. 33, no. 6, pp. 131-133, 2002.

[11] S.C.Tongdee, "Sulfur dioxide fumigation in postharvest handling of fresh longan and lychee for export," In: G.I., Johnson and E.Highley, (Eds.), *Development of postharvest Handling Technology for Tropical Tree Fruits*. Australia: ACIAR Canberra, pp. 186-189, 1994.

[12] R.E. Paull, M.E.Q. Reyes, and M.U. Reyes, "Litchi and rambutan insect disinfestation: treatments to minimize induced pericarp browning," *Postharvest Biology and Technology*, vol.6, pp. 139-148, 1995.

[13] U. Sardsud, T. Chaiwangsri, V. Sardsud, and C. Sittigul, "Effects of post-fumigation washing treatments and storage temperature on disease development in fresh longan," In G.I. Johnson, and E. Highley, (Eds.), *Development of Postharvest Handling Technology for Tropical Tree Fruits*, Australia: ACIAR, Canberra, Australia, pp. 77-79. 1994.

[14] National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Ministry of Agriculture and Cooperative, *Good Agricultural Practices for Longan*, Thai Agricultural Standard, TAS 1000-2003. [Online]. Availble:http://www.acfs.go.th/standard/download/eng/GAP_LONGANS.pdf

[15] R.X. Lu, X.L. Zhan, J.Z. Wu, R.F. Zhuang, W.N. Huang, L.X. Cai, and Z.M. Huang, "Studies on storage of longan fruits," *Subtropical Plant Research Communication*, vol. 21, pp. 9-17, 1992.