

ผลของอุณหภูมิและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

สุนัน ปานสาคร^{1*} และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์²
sunan.p@en.rmutt.ac.th^{1*}, Jaturoung.L@en.rmutt.ac.th²

^{1*2} ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received	: 7-Nov-2018
Revised	: 5-May-2019
Accepted	: 12-May-2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง โดยบรรจุรากบัวสดตัดแต่งความหนา 1 cm บนถาด (150 g ต่อถาด) และบรรจุในถุงชนิดโพลีโพรพิลีนที่มีการปรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิการเก็บรักษา ประกอบด้วย 28% CO₂ เก็บรักษาที่ 4±1°C และ 28% CO₂ เก็บรักษาที่ 27±1°C และตัวอย่างควบคุมบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น 0.6% และจัดเก็บที่อุณหภูมิเดียวกัน (0.6% CO₂, 4±1°C storage และ 0.6% CO₂, 27±1°C storage) ระหว่างการเก็บรักษา 15 วัน ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของรากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งที่ 27±1°C ในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4±1°C) ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ บรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการเก็บที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย (28-31%) ในช่วง 9 วัน และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งที่ 15 วัน ให้ค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์เป็น 40% การเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งพบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าความแข็ง ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีแนวโน้มลดลงและในทางตรงกันข้ามค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการทดสอบ ดังนั้นการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งที่อุณหภูมิต่ำ (4±1°C) ร่วมกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีได้

คำสำคัญ : รากบัว การดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ คาร์บอนไดออกไซด์ การเก็บรักษา

Effects of Temperature and Modified Atmosphere Packaging (MAP) on Storage Life of Fresh Cut Lotus Root

Sunan Parnsakhorn^{1*} and Jaturong Langkapin²
sunan.p@en.rmutt.ac.th^{1*}, jaturong.l@en.rmutt.ac.th²

^{1*2} Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 7-Nov-2018
Revised	: 5-May-2019
Accepted	: 12-May-2019

Abstract

This research aimed to study the effects of temperature and modified atmosphere packaging (MAP) on storage life of fresh cut lotus root. The Fresh cut of lotus roots was sliced into 1 cm in thickness, placed on trays (150 g/tray) and packed in polypropylene bags after that filled with different carbon dioxide composition and different storage temperature, i.e. 28% CO₂, 4±1°C storage and 28% CO₂, 27± 1 °C storage. Other slices of sample were packed at non-modified atmospheres packaging as a control (0.6% CO₂) and stored at same temperature (0.6% CO₂, 4±1°C and 0.6% CO₂, 27±1°C). At 15 days of storage, the physicochemical properties of fresh cut lotus root were analyzed. Storage fresh cut of lotus roots at 27±1°C (Control) was found that carbon dioxide concentration significantly increased ($P \leq 0.05$) whereas storage at low temperatures (4±1°C) the slowdown in the rise of CO₂ was observed. Modified atmosphere packaging (MAP) with storage in low temperature was showed a slight change in CO₂ (28-31%) over a 9 days period, whereas CO₂ increased to 40% at the end of storage with 15 days. The lightness, hardness, moisture content and pH value of treatments were decreased when the level of redness and yellowness were increased in all test conditions. Low temperatures storage (4 ±1 °C) combined with modified atmosphere packaging (MAP) of fresh cut lotus root retarded with a change in physical and chemical properties.

Keywords: Lotus root, Modified atmosphere packaging, Carbon dioxide, Storage

1. คำนำ

ผักผลไม้มักเกิดการเสื่อมเสียได้อย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อค่อนข้างสูง มีสารอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ และมีลักษณะอวบน้ำ ดังนั้นเทคโนโลยีการบรรจุผักผลไม้ภายใต้การดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ (Modified atmosphere packaging, MAP) จึงถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสีย ลดการเกิดสีน้ำตาล ลดผลกระทบจากความเย็นในการเก็บรักษาและที่สำคัญช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ได้ [1] ประกอบกับอุณหภูมิเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางเคมีภายในผลผลิต ตลอดจนการเจริญของจุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราของปฏิกิริยาแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง อัตราปฏิกิริยาหรืออัตราการเจริญจะสูงตามไปด้วย และส่งผลให้อายุการเก็บรักษาลดลง ดังนั้นการบรรจุผักผลไม้ภายใต้การดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์จึงมักจะทำควบคู่ไปกับการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมด้วย ทั้งนี้บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ โดยทั่วไปจะทำการปรับสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ด้วยการดูดอากาศออกจากภาชนะบรรจุแล้วเติมก๊าซส่วนผสมใหม่ลงไปตามความเหมาะสม จากนั้นปิดภาชนะบรรจุให้สนิท และเก็บรวมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ระหว่างการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของบรรยากาศไปตามอัตราการหายใจและอัตราการซึมผ่านเข้าออก (Permeability) ของก๊าซผ่านฟิล์มของภาชนะบรรจุที่ใช้ วิธีการดังกล่าวนี้จึงสามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหายใจตามธรรมชาติของพืชผัก ยับยั้งการสร้างเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในระหว่างการเก็บรักษาได้ [2] ซึ่งผักผลไม้ที่ไม่เกิดการเสื่อมเสียย่อมเป็นผลดีต่อผู้ที่จะนำมาบริโภคต่อไป

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการบริโภคอาหารรวมถึงผักและผลไม้จึงนิยมเลือกรับประทานผักผลไม้ที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งนักวิจัยพบว่าบัวหลวง เป็นพืชที่มีประโยชน์แทบทุกส่วน โดยเฉพาะรากบัว (*Nelumbo nucifera* Gaerth) มีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งยา ช่วยคลายความเครียด บำรุงเลือด ช่วยดับร้อน ช่วยรักษาโรคความดันโลหิตสูง เบาหวาน ท้องผูก [3] และมีคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากอุดมไปด้วยโปรตีน กรดอะมิโน ไฟเบอร์ แปะ วิตามินซี วิตามิน B1 และวิตามิน B2 [4] นอกจากนี้รากบัวยังอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอล (Polyphenolic compound) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ [5,6] ประกอบกับรากบัวสดมีเนื้อสัมผัสที่กรอบมีกลิ่นหอมรสชาติดีจึงได้มีการนำมาประกอบอาหารหลากหลาย เช่น สลัด น้ำรากบัว รากบัวทอด เป็นต้น ถึงแม้รากบัวสดจะเป็นพืชที่มีประโยชน์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วแต่มีข้อจำกัดในเรื่องอายุการเก็บรักษาสั้นโดยเฉพาะรากบัวสดที่ผ่านการตัดแต่งแล้ว พบว่าเกิดความเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวมีอิทธิพลต่อสารประกอบฟีนอล [7] ทั้งนี้มีรายงานวิจัยพบว่าการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง โดยการใช้สารที่ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับการเก็บรักษาโดยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ระดับ 100% CO₂ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C สามารถยืดอายุการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งได้เป็นเวลา 21 วัน [8] แต่ข้อมูลที่มีรายงานผลยังค่อนข้างจำกัด ดังนั้นเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ช่วยลดการสูญเสีย ลดการเกิดสีน้ำตาลของรากบัวสดตัดแต่ง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ : นำรากบัวหลวงมาล้างทำความสะอาด แล้วทำการปอกเปลือกกรากบัวออก นำไปตัดแต่งรากบัวโดยการหั่นตามขวางลักษณะเป็นแว่น กำหนดขนาดความหนาประมาณ 1 cm นำรากบัวที่ตัดแต่งเรียบร้อยแล้วมาแช่น้ำหนัก โดยวางรากบัวที่เตรียมไว้ลงบนถาดโฟมซึ่งทำมาจากโพลีโพรพิลีนขนาด 10x19 cm น้ำหนักบรรจุประมาณ 150 g และนำถาดโฟมที่มีรากบัวที่ผ่านการตัดแต่งแล้ว มาบรรจุในถุงพลาสติกปิดชนิดโพลีโพรพิลีนและซีลปิดปากถุงสนิทเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

2.2 การเตรียมบรรจุภัณฑ์ตัดแปลงสภาพบรรยากาศ : เตรียมตัวอย่างรากบัวสดตัดแต่งตามขั้นตอนดังที่กล่าวมา จากนั้นแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ บรรจุภัณฑ์เริ่มต้นที่ไม่ผ่านการเติมก๊าซ ตรวจสอบพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 0.6% (ควบคุม) และอีกกลุ่มตัวอย่างทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ในปริมาณ 28%

2.3 การเก็บรักษา : นำรากบัวสดตัดแต่งจากขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์ตัดแปลงสภาพบรรยากาศ เก็บรักษา ณ ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิห้องควบคุมที่ $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ หลังจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีทุกๆ 3 วัน โดยพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างจากการตกกลิ่น การพิจารณาค่า L^* หรือค่าความสว่าง (Lightness) ที่ระดับต่ำกว่า 55 ซึ่งสีที่ได้เริ่มคล้ำ และค่าความแข็งที่ระดับต่ำกว่า 25 N พบว่าเนื้อสัมผัสของรากบัวสดเริ่มนิ่ม

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี :

- **อัตราการแพร่ผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ :** ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซีหย่อ PIB Dansensor รุ่น Check Mate II ประเทศเดนมาร์ก

- **ปริมาณความชื้น (Moisture content) :** ชั่งน้ำหนักตัวอย่างรากบัวสด 30 g อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 hr. อ้างอิงวิธีการทดสอบจาก [9]

- **ค่าสี (Color value):** วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L^*, a^*, b^* ซึ่งค่าทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีเฉพาะเจาะจงโดยที่ค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นลบ และค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^*, a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

- **ความแตกต่างของสี (ΔE) :** คำนวณหาความแตกต่างของสีรากบัวสดหลังการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับค่าสีเริ่มต้นด้วยสมการที่ (1) [10]

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

- **ค่าความแข็ง (Hardness) :** ทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่อง Instron Universal Tester Machine ใบ มีด Warner-Bratzler ความเร็ว 50 mm/min ตัดบริเวณด้านกลางของชิ้นรากบัว และพิจารณาถึงค่าความแข็ง (Hardness) ของรากบัวจากการตัดเฉือนในหน่วยนิวตัน (N) ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง [11]

- **ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) :** นำรากบัวหั่นหรือซอยเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นชั่งน้ำหนัก 10 g เติลงในบีกเกอร์ และทำการบีบคั้นน้ำกลั่น 10 ml ลงในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนรากบัวนาน

30 s แล้วพักทิ้งไว้ 3 min ทำซ้ำอย่างนี้ 5 ซ้ำ ทำการกรองรากบัวด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปวัดค่าโดยใช้เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Sartorius [12]

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ : ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One-way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ผลของการบรรจุภายใต้การตัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

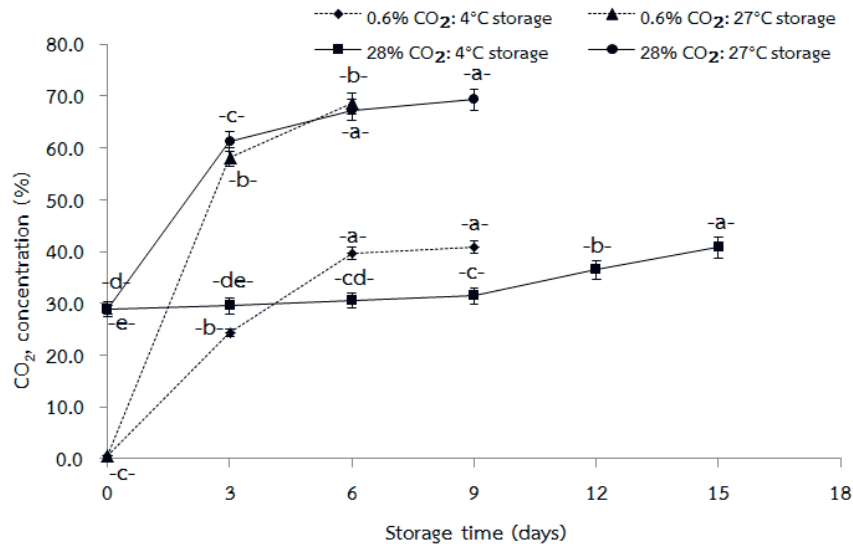
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์รากบัวสดตัดแต่งแสดงดังรูปที่ 1 พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือมีเพียงปริมาณเริ่มต้นเล็กน้อย (0.6%) เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27\pm 1^{\circ}\text{C}$) มีการเพิ่มขึ้นของก๊าซอย่างรวดเร็วที่ 58% ($P\leq 0.05$) ในช่วง 3 วันแรก และเกิดการเสื่อมสภาพของรากบัวสดตัดแต่งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวในวันที่ 6 หรือกล่าวได้ว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูงอัตราการหายใจสูง พืชจะใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ภายในทำให้ขาดก๊าซออกซิเจน และเกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ จึงทำให้ผลิตผลเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนส่งผลให้เกิดกลิ่นหมักขึ้น [13] เช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) ซึ่งพบแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) จาก 0.6% ไปยัง 40% หลังการเก็บรักษา 6 วัน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าอุณหภูมิต่ำสามารถช่วยยืดอายุของผลิตผลได้มากขึ้น ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นที่ 28%

พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของก๊าซอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) และสิ้นสุด ณ วันที่ 9 ของการเก็บรักษาให้ค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 70%

ในทางตรงกันข้ามพบว่าสภาวะดังกล่าวเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย (28-31%) ในช่วง 9 วัน และสุดท้ายสิ้นสุดการเก็บรักษาที่ 15 วัน เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของรากบัวสดและให้ค่าปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์เป็น 40% ทั้งนี้รากบัวสดมีปริมาณความชื้นที่สูงพบการเสื่อมเสียที่เกิดจากเชื้อราและจุลินทรีย์ได้ง่าย การบรรจุในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Bacteriost สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ [14,15] ที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปยังผลผลิตได้ดี [16] ทำให้ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งภายใต้การตัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการเก็บรักษาด้วยความเย็นสามารถช่วยยืดอายุผลิตผลได้ ทั้งนี้เพิ่มเติมสังเกตได้จากที่สภาวะ $0.6\%\text{CO}_2:27^{\circ}\text{C}$ storage ซึ่งถือได้ว่าเป็นสภาวะควบคุมเนื่องจากไม่มีการปรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และเป็นการเก็บรักษาเทียบเท่าอุณหภูมิห้อง สภาวะดังกล่าวนี้สามารถเก็บรักษารากบัวสดได้เป็นเวลา 6 วัน โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการแพร่ผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณความชื้น ค่าสี ความแตกต่างของสี (ΔE) ค่าความแข็ง ค่าความเป็นกรดต่าง และลักษณะปรากฏภายนอก (ได้แสดงผลการทดสอบในหัวข้อต่อไป) ในขณะที่เมื่อทำการตัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะ $28\%\text{CO}_2:4^{\circ}\text{C}$ storage และทำการทดสอบปัจจัยชุดเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าวที่เวลา

การเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์นั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพจากเริ่มต้นจน

กระทั่งเกิดการเสื่อมเสียโดยมีลักษณะใกล้เคียงกับการเก็บรักษาที่สภาวะควบคุม แต่ปรากฏว่าได้ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 15 วัน



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

3.2 ผลของการบรรจุภายใต้การดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

จากการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของรากบัวสดตัดแต่งภายใต้สภาวะการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 1 พบว่ารากบัวสดตัดแต่งก่อนการบรรจุมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 65.97 ± 0.63 , 2.77 ± 0.02 , 11.91 ± 0.08 ตามลำดับ ทั้งนี้ในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าค่า L* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกสภาวะการทดสอบและในทางตรงกันข้ามกลับพบว่าค่า a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกสภาวะการทดสอบเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาพบว่าอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าสี เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างรากบัวสดตัดแต่งโดยการดัดแปลง

สภาพบรรยากาศ (ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 28%) พบว่าสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนค่าสีเช่นเดียวกัน จากสีขาวขุ่นในช่วงแรกและกลายเป็นสีน้ำตาลเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษา สภาวะบรรยากาศ และอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีดังกล่าว ทำให้ค่า a* ที่แสดงถึงความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิสูงและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากรากบัวสดมีการตัดแต่งจึงเกิดการฉีกขาดของเซลล์ ดังนั้นเมื่อเซลล์เกิดแผลทำให้เอนไซม์ และออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกับสารโมโนฟีนอลและถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีโนล ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นโอควิโนน (o-quinone) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดแอมิโนหรือโปรตีนทำให้เกิดเป็นสารสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงสีของรากบัวสดตัดแต่งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยหลายงานที่พบว่าพืชที่ผ่านการตัดแต่งจะมีค่าความสว่างลดลง ความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น [17,18] เมื่อพิจารณาการ

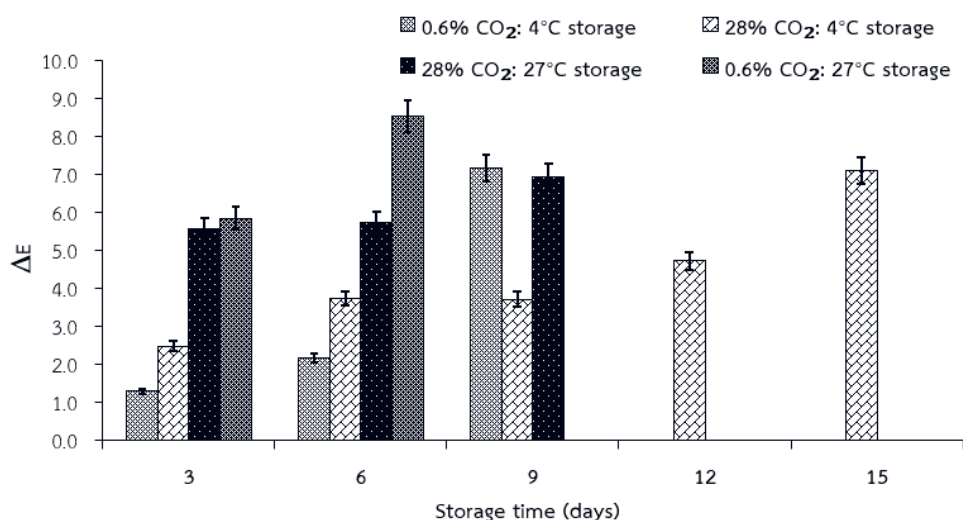
เปลี่ยนแปลงความแตกต่างของสี (ΔE) ให้ผลสอดคล้องกันแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นความแตกต่างของสี (ΔE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่การดัดแปลงสภาพ

บรรยากาศ (ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 28%) ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนค่าความแตกต่างของสี

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^*, a^*, b^*) รากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

Treatments	Color value	Storage time (days)					
		0	3	6	9	12	15
0.6% CO ₂ : 27°C storage	L*	65.97±0.63 ^a	62.02±1.18 ^b	56.57±0.89 ^c	-	-	-
	a*	2.77±0.02 ^c	4.27±0.10 ^b	5.65±0.57 ^a	-	-	-
	b*	11.91±0.08 ^c	15.95±0.19 ^b	19.69±0.88 ^a	-	-	-
0.6% CO ₂ : 4°C storage	L*	65.97±0.63 ^{ab}	64.69±0.82 ^b	67.06±0.48 ^a	55.32±1.24 ^c	-	-
	a*	2.77±0.02 ^c	2.90±0.05 ^c	3.68±0.04 ^b	4.33±0.13 ^a	-	-
	b*	11.91±0.08 ^c	12.05±0.12 ^c	13.77±0.08 ^b	18.87±0.49 ^a	-	-
28% CO ₂ : 27°C storage	L*	65.97±0.63 ^a	62.39±0.12 ^b	59.02±0.76 ^c	58.75±1.06 ^c	-	-
	a*	2.77±0.02 ^c	5.12±0.02 ^b	5.18±0.04 ^b	6.64±0.08 ^a	-	-
	b*	11.91±0.08 ^c	15.46±0.46 ^b	16.80±0.50 ^a	17.39±0.39 ^a	-	-
28% CO ₂ : 4°C storage	L*	65.97±0.63 ^{ab}	67.06±0.48 ^a	65.03±0.53 ^{bc}	63.62±1.86 ^{cd}	63.28±0.21 ^d	60.34±0.46 ^e
	a*	2.77±0.02 ^e	3.21±0.08 ^d	3.38±0.05 ^{cd}	3.41±0.17 ^c	5.86±0.13 ^a	5.62±0.06 ^b
	b*	11.91±0.08 ^d	14.09±0.12 ^c	15.56±0.36 ^b	15.53±0.57 ^b	15.41±0.08 ^b	18.39±0.01 ^a

^{abc} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean± SD)



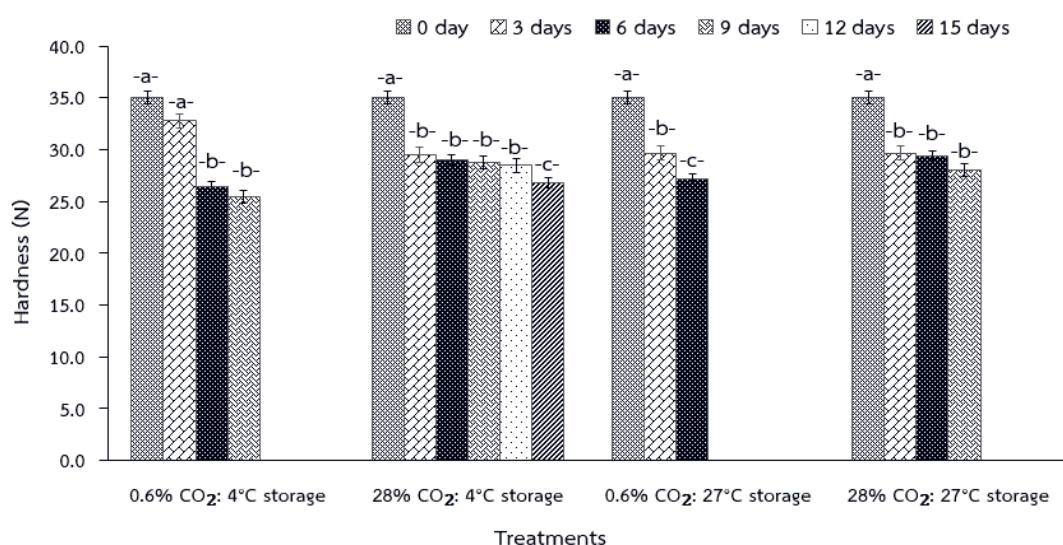
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของสี (ΔE) รากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

3.3 ผลของการบรรจุภายใต้การ ดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่อ การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งในระหว่างการ เก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

ค่าความแข็งของรากบัวสดตัดแต่งมีอิทธิพลจากสภาวะการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และระยะเวลาการเก็บรักษา จากรูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งของรากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษายาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการลดลงของค่าความแข็ง การเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งที่สภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^\circ\text{C}$ มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของค่าความแข็งในช่วง 3 วันแรก (35 N เป็น 29 N) จากนั้นค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่าง 28-29 N ($P > 0.05$) ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 12 วัน จนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 15

วัน พบว่าเนื้อสัมผัสของรากบัวสดตัดแต่งมีลักษณะนิ่ม เกิดสีน้ำตาลชัดเจน ทั้งนี้สภาวะดังกล่าวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาวะการเก็บประคองสามารถเก็บได้เพียง 6 วัน

การลดลงของค่าความแข็ง (เนื้อสัมผัสมีลักษณะนิ่มขึ้น) สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีที่ไม่มีมีการปรับสภาพบรรยากาศ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้รากบัวสดตัดแต่งมีการสูญเสียน้ำทำให้แรงดันเต่ง (Turgor pressure) ในเซลล์ของรากบัวสดตัดแต่งลดลงส่งผลให้ความความแข็งลดลงซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่ารากบัวสดมีการลดลงของค่าความแข็งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ประกอบกับสภาวะดังกล่าวเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ส่งผลให้มีการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีค่าความแข็งที่ลดลง [19,20] ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นการช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์



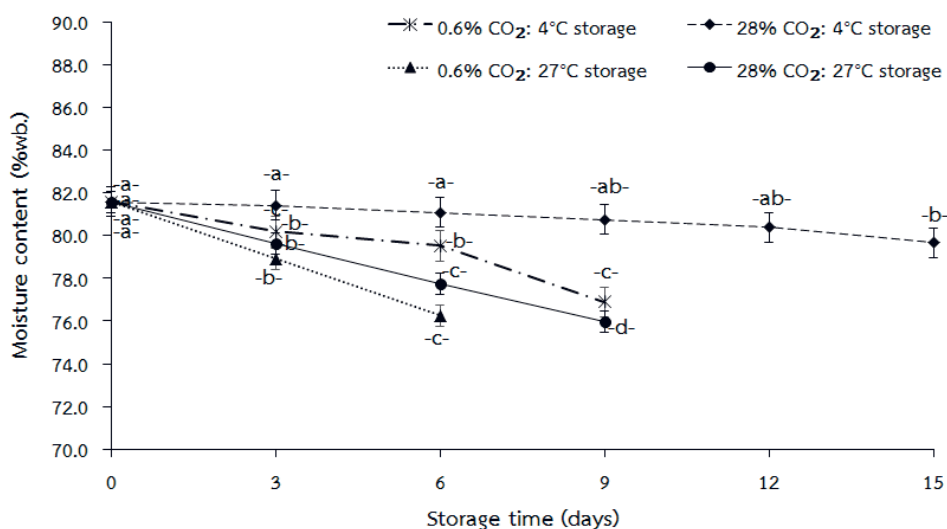
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อรากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

^{a,b} อักษรต่างกันในแต่ละตัวอย่างหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P < 0.05$)

3.4 ผลของการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ชัดเจนระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งนอกจากการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและสีแล้ว คือ รากบัวสดตัดแต่งเกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา เกิดขึ้นเนื่องจากการหายใจส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ทั้งนี้คาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำ ดังนั้นจึงละลายไปในน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์จึงทำให้โปรตีนในรากบัว [21] เกิดการเสียสภาพธรรมชาติและเสียคุณสมบัติในการจับน้ำ โดยเฉพาะอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดไอน้ำ (หรือการคายน้ำ)

สูงขึ้นด้วย จึงทำให้ถุงบรรจุมีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบค่าความชื้นจึงพบว่าการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการเก็บรักษา $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ระหว่าง 0-9 วัน แสดงดังรูปที่ 4 ทั้งนี้ส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน ในขณะที่การเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งที่สภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นการลดอัตราการหายใจและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงพบว่าในช่วง 0-12 วัน แรกของการเก็บรักษามีค่าปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่ 80-81%wb. และลดลงเล็กน้อยในวันที่ 15 (78%wb.)



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นรากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

^{a,b} อักษรต่างกันในแต่ละตัวอย่างหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P < 0.05$)

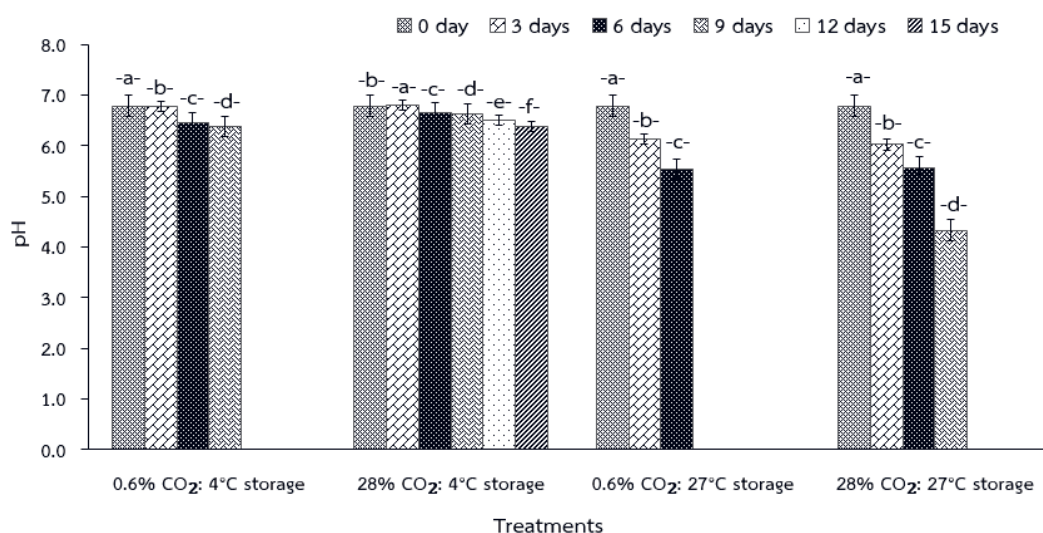
3.5 ผลของการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่ง

จากรูปที่ 5 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของรากบัวสดตัดแต่งจากการบรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงในทุกสภาวะการเก็บ

รักษามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเจริญของจุลินทรีย์ [19] ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^\circ\text{C}$ มีแนวโน้มของการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้อยที่สุด หรือลดลง

จาก 6.79 เป็น 6.38 ระหว่าง 0-15 วัน ทั้งนี้จากที่กล่าวมา คือ คาร์บอนไดออกไซด์ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ($27\pm 1^{\circ}\text{C}$) พบว่าเกิดการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อย่างรวดเร็วในช่วงการเก็บรักษาระหว่าง 0-9 วัน โดยลดลงจาก 6.79 เป็น 4.33 เนื่องจากอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญ

ของจุลินทรีย์ ซึ่งการลดลงดังกล่าวให้ผลการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับกรณีที่ไม่ได้มีการปรับสภาพบรรยากาศ ดังนั้นการบรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของรากบัวสดตัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษาได้



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) รากบัวสดตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

^{a,b} อักษรต่างกันในแต่ละตัวอย่างหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P<0.05$)

4. สรุปผลการวิจัย

บรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ มีการเพิ่มขึ้นของก๊าซอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรณีบรรจุภัณฑ์ที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นร่วมกับการเก็บที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเพียงเล็กน้อย (28-31%) ในช่วง 9 วัน และสิ้นสุดการเก็บรักษาที่ 15 วัน ให้ค่าปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์เป็น 40% การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของรากบัวสดตัดแต่งในระหว่าง

การเก็บรักษาพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าความแข็ง ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีแนวโน้มลดลง และในทางตรงกันข้ามค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการทดสอบ ทั้งนี้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาและการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นในบรรจุภัณฑ์ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้ ดังนั้นการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยยืดอายุการเก็บรักษารากบัวสดตัดแต่งได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ สถานที่ในการทำวิจัย และทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Zagory D, Kader A.A. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technology. 1988; 42(9):70-77.
- [2] Jacxsens L, Devlieghere F, Debevere J. Validation of systematic approach to design equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut produce. Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie. 1999; 32(7):425-432.
- [3] Michael J. Amazing Health Benefits of Lotus Root. [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 4]; Available Source: <https://www.naturalfoodseries.com/11-health-benefits-lotus-root/>.
- [4] Chiang P.Y, Luo Y.Y. Effect of pressurized cooking on the relationship between the chemical compositions and texture change of lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth). Food Chemistry. 2006; 105(2): 480-484.
- [5] Hu M, Skibsted. Antioxidation capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nucifera*). Food Chemistry. 2002;76(3):327-333.
- [6] Yans S, Wang Q, Peng G, Gao Z. Study on the extraction of lotus root polyphenol. Food Res Dev. 2006;127:55-58.
- [7] Liu J, Zhang M, Wang S. Processing characteristics and flavor of full lotus root powder beverage. Journal Sci Food Agricultural. 2010;90(4): 2482-2489.
- [8] Son J, Hyun JE, Lee JW, Lee SY, Moon B. Combined Application of Antibrowning, Heat Treatment and Modified-Atmosphere Packaging to Extend the Shelf Life of Fresh-Cut Lotus Root. Journal of Food Science. 2015;80(6):1178-1187.
- [9] AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed. Arlington, Virginia, USA; 1990.
- [10] Mokrzycki W.S, Tatol M. Colour difference ΔE - A survey. Faculty of Mathematics and Informatics University of Warmia and Mazury. Poland; 2012.
- [11] Phuangsombut A, Terdwongworakul A, Kasikanlapapriuk J, Chanin P. The study and design of a device for automatic measurement of papaya crispiness. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 2019;25(1):8-13. (in Thai)
- [12] Phromphakdee C, Vejaphan O. Treatment of straw mushroom under modified atmospheric conditions in packaging with freezing. Thesis of Engineering. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2008. (in Thai)

- [13] Chantanop P, Chinsirikul W, Winotapun C, Domrongpakkaphan V, Thumthanaruk B. Quality and Shelf-life of Fresh Longan under Modified Atmosphere Packaging. The Journal of KMUTNB. 2014;24(3):614-623. (in Thai)
- [14] Phuparodom N. Gas and food product packaging. Kasetsart University. Bangkok; 1992. p.173 .
- [15] Gill C.O, Tan K.H. Effect of Carbon dioxide on Growth of Meat Spoilage Bacterial. J. Applied and Environmental Microbiology. 1980; 39(2):317-319.
- [16] Daniels F.A, Rishamurthi R.K, Rizvi S.H. A Review of Effect of Carbon dioxide on Microbial Growth and Food Quality. J. Food Protection. 1985;48(6):532-537.
- [17] Dea S, Brecht J.K, Nunes M.C.N, Baldwin E.A. Quality of fresh-cut “Kent” mango slices prepared from hot water or non-hot water-treated fruit. Postharvest Biol. Tec. 2010;56(2):171-180.
- [18] Siddiq M, Dogi D.S, Dolan K.D. Antioxidant properties, total phenolics and quality of fresh-cut “Tommy Atkins” mangoes as affected by different pre-treatments. LWT Food Sci. and Technol. 2013;53(1):156-162.
- [19] Meechai P, Vongsawasdi P. Effect of Carbon Dioxide and Nitrogen Ratios on Shelf-life of Fish Balls Packed under Modified Atmosphere Condition. KMUTT Research and Development Journal. 2007;30(3): 449-461. (in Thai)
- [20] Sirijariyawat A, Kumsripool K, Kamnerdphant S. Quality change of fresh-cut ripe mango during cold storage. Khon Kaen Agriculture Journal. 2015; 43(1) : 851-856. (in Thai)
- [21] Shad MA, Nawaz H, Hussain M, Yousaf B. Proximate composition and functional properties of rhizomes of lotus (*Nelumbo nucifera*) from Punjab. Pakistan Journal of Botany. 2011; 43(2): 895-904.