วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

การประยุกต์ใช้แถบอินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสดเพื่อติดตามการเสื่อมสภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

Application of a freshness indicator for monitoring deterioration of fresh-cut lettuce

ปุณยาพร กาศทิพย์[1]*, ดนัย บุณยเกียรติ[2], สุฐพัศ คำไทย[3] และ พิชญา พูลลาภ[4]

Punyaphorn Katthip[1]*, Danai Boonyakiat[2], Suthaphat Kamthai[3] and Pichaya Poonlarp[4]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100
[1] Division of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200
[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
[3] Devision of Packaging Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100
[4] Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้อินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสดเพื่อติดตามการเสื่อมสภาพของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยทดสอบอินดิเคเตอร์กับบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1°C พบว่า แถบอินดิเคเตอร์มีสีเริ่มต้นคือสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดเกิดการเสื่อมสภาพในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา โดยสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 7 มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.34±0.11% ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total aerobic bacteria) ของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ Total aerobic bacteria ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และยังสอดคล้องกับเกณฑ์คุณภาพโดยรวมที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับซึ่งมีค่าต่ำกว่า 5 ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา การใช้แถบอินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสดจะช่วยบ่งบอกคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค
คำสำคัญ: อินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสด; ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด; บรรจุภัณฑ์อัจริยะ

ABSTRACT: This research aimed to study the application of a freshness indicator for monitoring the deterioration of fresh-cut butterhead Lettuce. The indicator was tested on packages containing fresh-cut butterhead lettuce and stored at a temperature of 4±1°C. It was found that the spoilage indicator has an initial color of green and will turn yellow when the butterhead lettuce becomes deteriorated on the 7th day of storage. Corresponding to the increase in carbon dioxide content over the storage period, on the 7th day, the carbon dioxide content was 1.34±0.11%. The total aerobic bacteria of fresh-cut butterhead lettuce increases according to the storage period. Throughout the storage period of packaged lettuce, the total aerobic bacteria content did not exceed the specified standard and align with its standard. It conformed to the overall quality criteria that the consumer did

* Corresponding author: punyaphorn.k@gmail.com
Received: date; May 25, 2023 Revised: date; March 18, 2024
Accepted: date; May 2, 2024 Published: date;

not accept, which was lower than 5 on the 7th day of storage. The spoilage indicator will help determine whether fresh-cut butterhead lettuce is of quality and food safety for consumers.
Keywords: spoilage indicator, butterhead lettuce, intelligent packaging

บทนำ

ผักกาดหอม หรือ ผักสลัด เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบยุโรป และเอเชีย มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lactuca sativa* เป็นพืชในวงศ์ Asteraceae ลำต้นเตี้ย แต่ส่วนที่เจริญมากที่สุดคือใบ มนุษย์นำใบของผักกาดหอมมาบริโภค ผักกาดหอมถือเป็นผักที่นิยมกันทั่วโลก (Kuete, 2017) ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา สังคมของเราได้เปลี่ยนรูปแบบการบริโภค ส่งผลให้มีความต้องการอาหารที่สดใหม่ ดีต่อสุขภาพ ปลอดภัย และง่ายต่อการเตรียม จึงทำให้ผักสดและผักที่มีการแปรรูปน้อยได้รับความนิยมทั่วโลก (Cuggino et al., 2023) ผักตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นผักที่มีการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยวผักอย่างรวดเร็ว โดยกระบวนการแปรรูปผัก ได้แก่ คัดเลือก ตัดแต่งล้าง ทำความสะอาด และการบรรจุในบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ผักอยู่ในรูปแบบที่สามารถบริโภคได้ทันที โดย The International Fresh-cut Produce Association (IFPA) ให้คำนิยามแก่ผักตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ ผักที่ได้รับการตัดแต่งและหรือปอกเปลือกและหรือหั่น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ทันที ซึ่งบรรจุถุงบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารสูงและสะดวกสบาย โดยยังคงรสชาติความสดไว้ (Lamikanra, 2002) วัตถุประสงค์หลักของการผลิตผักพร้อมบริโภคเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น และด้วยวิถีการใช้ชีวิตที่เร่งรีบ โดยเฉพาะในสังคมเมืองใหญ่ ต้องการความสะดวกสบายโดยเฉพาะการเตรียมอาหาร ผักพร้อมบริโภคเป็นอาหารที่ช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมหรือการประกอบอาหารได้ (สิริลักษณ์, 2554) ผักที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผักพร้อมบริโภคได้แก่ ผักสลัดชนิดต่างๆ นอกจากนี้ผักพร้อมบริโภคเป็นผลิตผลสดที่ผ่านขบวนการแปรรูป โดยเฉพาะการตัดหรือการหั่น ซึ่งในสภาพดังกล่าวเซลล์หรือเนื้อเยื่อของพืชจะถูกทำลาย ทำให้มีลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์เนื่องจากการขาดน้ำของเซลล์ที่ถูกทำลายและทำให้ผิวที่ถูกตัดเกิดสีน้ำตาลได้ง่าย (Watada and Qi, 1999) ผักพร้อมบริโภคมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่รวดเร็วและมีอัตราสูงกว่าผักที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป เช่น การหายใจ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาล (Browning) และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยเป็นการปนเปื้อนตามธรรมชาติของผลิตผลสดและผลิตภัณฑ์ตัดแต่งที่ผ่านกระบวนการน้อยที่สุด การปนเปื้อนเกิดขึ้นจากหลายแหล่งรวมถึงการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูป (Beuchat, 1996) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีสภาพแวดล้อมและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่เน่าเสียและจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อสุขลักษณะของผู้บริโภค (Ahvenainen, 1996; Francis and O'Beirne, 2002) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว มีผลทำให้ผักพร้อมบริโภคเกิดการเสื่อมคุณภาพได้เร็ว และมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นการใช้อินดิเคเตอร์บ่งชี้การเน่าเสีย (spoilage indicators) ช่วยบ่งบอกว่าผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคหรือไม่ โดยอินดิเคเตอร์หรือตัวชี้วัดการเน่าเสียของอาหาร เป็นส่วนของบรรจุภัณฑ์ประเภท diagnostic packaging เพื่อแสดงข้อมูลภายในบรรจุภัณฑ์ซึ่งบ่งชี้ถึงสารที่เกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ซึ่งเป็นสารเมแทบอไลต์ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอมโมเนีย หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ กรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแอซีติก หรือกรดแลคติก เอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอมีน ไทรามีน เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2547) สารที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจะทำปฏิกิริยากับสารบางชนิด เช่น เอนไซม์ แล้วจึงทำปฏิกิริยาต่อเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของตัวบ่งชี้ ทำให้ผู้บริโภคสามารถรับทราบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวว่ามีผลต่อคุณภาพอาหาร โดยการใช้อินดิเคเตอร์หรือตัวชี้วัดการเน่าเสียของอาหารจะช่วยบ่งบอกถึงคุณภาพและบ่งชี้การเน่าเสียเพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้บริโภคไม่ให้ผู้บริโภครับประทานอาหารที่มีเชื้อจุลินทรีย์มากจนสามารถเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ และยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต ซึ่งจะบอกถึงกระบวนการผลิต การขนส่ง และการเก็บรักษาเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้อินดิเคเตอร์บ่งชี้การเสื่อมสภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค เพื่อให้ผู้บริโภครับรู้ถึงคุณภาพหรือการเปลี่ยนแปลงของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคบรรจุในบรรจุภัณฑ์ผ่านตัวชี้วัด

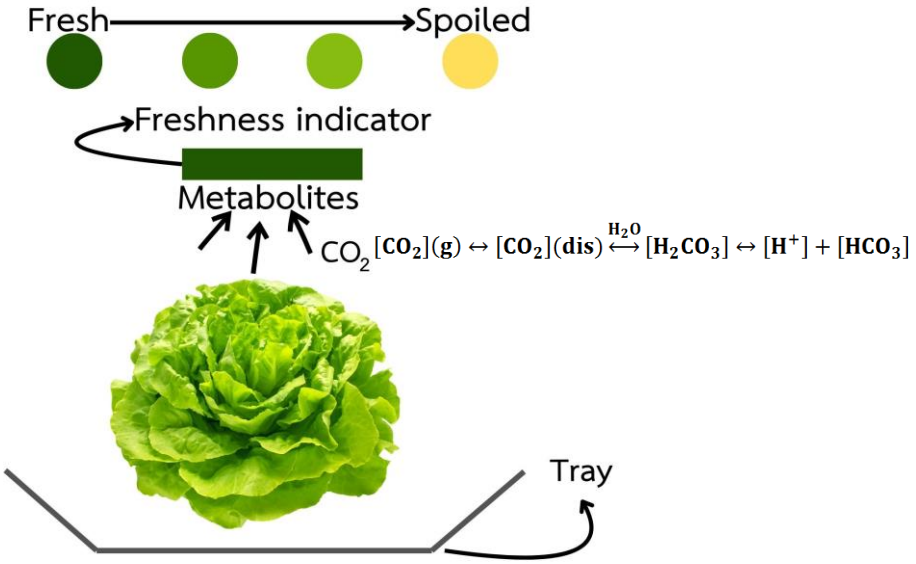

Figure 1 The mechanism of spoilage indicator.

วิธีการศึกษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในบรรณจุภัณฑ์ของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด (*Lactuca sativa* L.) ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 75-90 วัน หลังหยอดเมล็ด จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงดอยแม่โถมาตัดแต่งใบให้มีขนาด 5x8 เซนติเมตร จากนั้นแช่ผักด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม 30 วินาที และนำมาสะเด็ดน้ำด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง นำผักไปบรรจุใส่ถุง Polypropylene (PP) ขนาด 9x14 นิ้ว ความหนา 50 ไมโครเมตร ถุงละ 100 กรัม ในถาดพลาสติก polyethylene terepterate (PET) ปิดผนึกถุงด้วยเครื่องซีล จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในบรรจุภัณฑ์ดังนี้

วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ทำวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในบรรณจุภัณฑ์ด้วยเครื่อง Three Gas analyzer (F-950, Felix instruments, Camas,WA, USA) โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงทุกวันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85%

ทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale ทดสอบการยอมรับของผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ โดยผักสลัดบัตเตอร์เฮดจะหมดอายุการวางจำหน่ายเมื่อมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสน้อยกว่า 5 คะแนน โดยแบ่งสเกลวัดระดับการยอมรับออกเป็น 9 ระดับดังนี้ ระดับ 9 หมายถึง มีลักษณะปรากฏดีมาก ใบมีสีเขียว กรอบ ไม่มีกลิ่น, ระดับ 8 หมายถึง มีลักษณะปรากฏดี-ดีมาก ใบมีสีเขียว เหี่ยวเล็กน้อย ไม่มีกลิ่น, ระดับ 7 หมายถึง มีลักษณะปรากฏดี ใบมีสีเขียว เริ่มมีรอยสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด ใบเหี่ยวเล็กน้อย ไม่มีกลิ่น, ระดับ 6 หมายถึง มีลักษณะปรากฏค่อนข้างดี ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย ใบเหี่ยว มีสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด เริ่มมีกลิ่นผิดปกติ, ระดับ 5 หมายถึง เฉยๆ ใบมีสีเหลืองเล็กน้อย ผักเหี่ยว เกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด มีกลิ่นผิดปกติ, ระดับ 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย ใบเริ่มมีสีเหลืองมากขึ้น ผักเหี่ยว เกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด มีกลิ่นผิดปกติ, ระดับ 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง ใบมีสีเหลืองมากขึ้น ผักเหี่ยว เกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดมากขึ้น มีกลิ่นผิดปกติ, ระดับ 2 หมายถึง มีลักษณะปรากฏเริ่มไม่เป็นที่ยอมรับ ไม่ชอบมาก ใบมีสีเหลืองและมีสีน้ำตาล

เข้มบริเวณรอยตัด มีกลิ่นผิดปกติ, ระดับ 1 หมายถึง มีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ ไม่ชอบมากที่สุด ใบมีสีเหลือง เน่า มีกลิ่นผิดปกติรุนแรง

วิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ทำการเจือจางตัวอย่างโดยใช้ 0.1% peptone water ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้น 10^{-1} ถึง 10^{-10} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (3M™ Petrifilm™ Aerobic Count Plate) ความเข้มข้นละ 3 แผ่น รอจนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญบนแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปในช่วงที่มีโคโลนี 25-250 โคโลนี บันทึกผลเป็น log CFU/g sample

ทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์

เตรียมสารละลายสีย้อมพีเอชผสม เลือกสารละลายอินดิเคเตอร์ 3 ชนิด ผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:2:1 (เมทิลเรด : โบรโมไทมอลบลู : ฟีนอล์ฟทาลีน) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอทานอล 99% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีย้อมพีเอชผสม pH 5.6 จากนั้นทำการทดสอบความไวของสารละลายสีย้อมพีเอชผสม นำสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาทดสอบโดยหยดลงในสารละลายสีย้อมพีเอชผสมปริมาณที่แตกต่างกัน จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายสีย้อมพีเอชผสม และทำการบันทึกผลการวัดค่าสี L*, chroma, hue angle (°) และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ pH 4.6 ถึง 7.0

ทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสีของแถบอินดิเคเตอร์

เตรียมสารละลายสีย้อมพีเอชผสม 1 กรัม/ลิตร ใน 50% ethanol โดยใช้สารละลายอินดิเคเตอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลเรด, โบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาลีน ผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:2:1 จากนั้นทำการเตรียมสารเคลือบอินดิเคเตอร์โดยละลายเมทิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose, CMP, Thailand) 10 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิลิตร เติมเอทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร และเติมพอลิเอททิลีนไกลคอล-400 3.3 กรัม ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ หลังจากนั้นเติมสารละลายสีย้อม pH ที่เตรียมไว้ผสมลงในสารเคลือบอินดิเคเตอร์ ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 8 โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer) จากนั้นผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อขจัดฟองอากาศ ทำการขึ้นรูปฟิล์มอินดิเคเตอร์เป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.3 เซนติเมตร จากนั้นวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง ให้ฟิล์มอินดิเคเตอร์แห้ง นำฟิล์มอินดิเคเตอร์ที่ได้รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 และนำไปติดในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแถบอินดิเคเตอร์ด้วยเครื่องวัดสี chroma meter รุ่น CR-300 ค่าที่ได้จะแสดงออกมาคือ hue angle (°)

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าแสดงความผิดพลาด Mean ± S.E. และทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในบรรณจุภัณฑ์ของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค

ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนภายในบรรณจุภัณฑ์ที่บรรจุผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดภายใต้อุณหภูมิการเก็บรักษา 4±1°C เป็นเวลา 7 วัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นจากวันแรกของการเก็บรักษา วันแรกของการเก็บรักษามีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.88±0.07% และมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.34±0.11% ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลงจากวันแรกของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) วันแรกของการเก็บรักษามีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 20.08±0.13% และมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 19.35±0.17% ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา เนื่องมาจากผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดถูกนำมาผ่านกระบวนการตัดแต่งซึ่งทำให้เกิดบาดแผล และบาดแผลเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นการหายใจของผลิตผลให้สูงขึ้น (วรภัทร และ อรรถวุทธิ์, 2549) โดยการหายใจของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมี ผลิตผลเหล่านั้นจะใช้ก๊าซออกซิเจนเพื่อหายใจและสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

และน้ำออกมา และมีพลังงานจำนวนหนึ่งออกมาด้วย (ดนัย และ นิธิยา,2548) คุณภาพโดยรวมของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษามีคะแนนคุณภาพโดยรวมเท่ากับ 4.60±0.20 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ **(Table 1)** ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total aerobic bacteria) ของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ total aerobic bacteria เริ่มต้นเท่ากับ1.00±0.00 log cfu/g และวันที่ 7 ผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภคมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ total aerobic bacteria เท่ากับ 4.63±0.03 log cfu/g โดยปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ total aerobic bacteria ของผักพร้อมบริโภคควรจะมีปริมาณไม่เกิน 6 log cfu/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ total aerobic bacteria ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด **(Figure 2)** ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดเมื่อถูกตัดแต่ง ทำให้เกิดบาดแผล สภาพเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชถูกทำลายซึ่งเป็นช่องทางให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายและมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา (นิรมล และเนตรา, 2548) เมื่อบรรจุผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งลงในบรรจุภัณฑ์ ทำให้เกิดสภาพ passive modification ภายในบรรจุภัณฑ์ ทำให้ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดใช้ก๊าซออกซิเจนเพื่อหายใจและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Peleg, 1985) ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนที่วัดภายในบรรจุภัณฑ์มีความเข้มข้นลดลงและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และสัมพันธ์กับค่า pH ของอินดิเคเตอร์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี โดยการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อแถบสีอินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสดซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ละลายและก่อตัวเป็นกรดคาร์บอนิกเมื่อได้รับความชื้น (**Figure 1**) กรดคาร์บอนิกเป็นกรดไดโปรติก มีไฮโดรเจนสองอะตอมซึ่งอาจแยกตัวออกจากโมเลกุลหลัก ก่อตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) จากนั้นในฐานะโปรตอน ไฮโดรเจนไอออนรวมตัวกับโมเลกุลของน้ำเพื่อสร้างไฮโดรเนียมไอออน H_3O^+ ไฮโดรเนียมไอออนทำปฏิกิริยากับ In^- ของแถบอินดิเคเตอร์ ส่งผลให้เกิดรูปแบบกรด (HIn) ทำให้ค่า pH ของแถบอินดิเคเตอร์ลดลง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีของแถบอินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสด (Nopwinyuwong et al., 2010)

Table 1 Carbon dioxide, oxygen concentration (%) in package, appearance, total aerobic bacteria of butterhead lettuce and pH indicator during storage at 4±1°C

Storage time (days)	Concentration (%)		Appearance (scores)	Total aerobic bacteria (cfu/g)	pH
	CO_2	O_2			
0	0.88±0.07^{f}	20.08±0.13^{a}	9.00±0.00^{a}	1.00±0.00^{c}	7.0
1	0.85±0.09^{e}	19.93±0.18^{b}	9.00±0.00^{a}	1.39±0.06^{c}	7.0
2	0.90±0.12^{e}	19.80±0.24^{c}	8.60±0.20^{ab}	1.89±0.08^{bc}	7.0
3	0.93±0.18^{d}	19.80±0.24^{c}	7.40±0.20^{bc}	2.61±0.04^{b}	6.8
4	0.95±0.12^{d}	19.71±0.06^{d}	7.20±0.16^{bcd}	3.72±0.01^{a}	6.6
5	1.05±0.09^{c}	19.75±0.19^{e}	6.60±0.20^{cd}	3.95±0.03^{a}	6.4
6	1.23±0.07^{b}	19.48±0.25^{f}	5.80±0.31^{de}	4.61±0.04^{a}	6.2
7	1.34±0.11^{a}	19.35±0.17^{g}	4.60±0.20^{e}	4.63±0.03^{a}	6.0

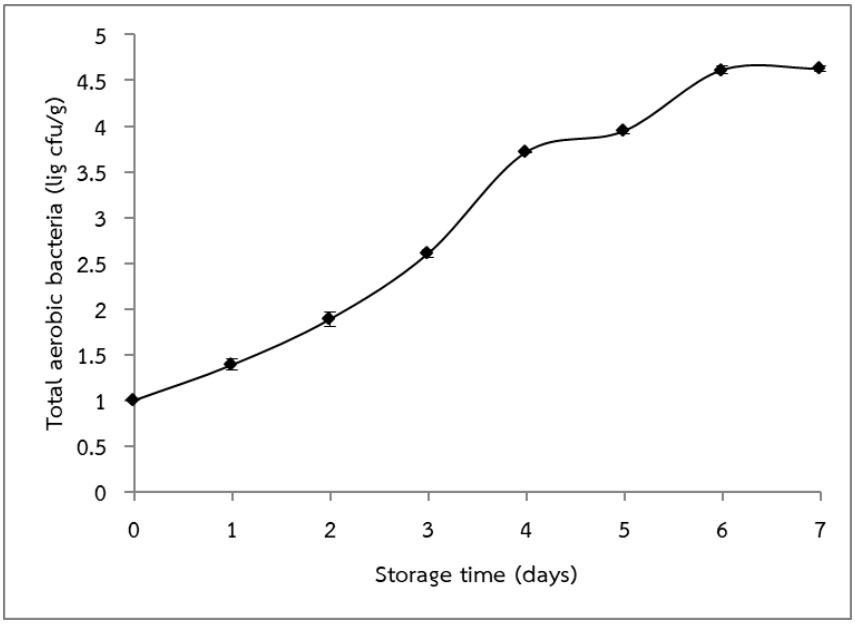

Figure 2 Total aerobic bacteria of fresh-cut butterhead lettuce stored at 4±1 °C for 7 days.

การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอินดิเคเตอร์

สารละลายอินดิเคเตอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลเรด, โบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาลีน ผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:2:1 นำมาทดสอบความไวของสารละลายสีย้อมพีเอชผสมที่ช่วง pH ตั้งแต่ 4.6-7.0 โดยแสดงค่าความสว่าง (L*) เริ่มต้นเท่ากับ 35.89 ค่าสี Chroma (ค่าความสดหรือการอิ่มตัวของสี) เท่ากับ 30.49 และแสดงค่าสีมุมฮิว (Hue angle) เท่ากับ 49.70 ซึ่งสีสารละลายอินดิเคเตอร์ที่แสดงจะมีสีส้ม สารละลายอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อมีค่า pH เท่ากับ 5.8 โดยมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 36.97 ค่าสี Chroma (ค่าความสดหรือการอิ่มตัวของสี) เท่ากับ 25.38 และแสดงค่าสีมุมฮิว (Hue angle) เท่ากับ 77.80 สารละลายอินดิเคเตอร์จะแสดงสีเขียวเมื่อมีค่า pH เท่ากับ 7.0 โดยมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 24.35 ค่าสี Chroma (ค่าความสดหรือการอิ่มตัวของสี) เท่ากับ 4.17 และแสดงค่าสีมุมฮิว (Hue angle) เท่ากับ 148.91 **(Figure 3, 4, 5 and 6)** จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอินดิเคเตอร์เมทิลเรด : โบรโมไทมอลบลู : ฟีนอล์ฟทาลีน ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.6 ถึง 7.0 พบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.6 อินดิเคเตอร์มีสีส้ม ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 430 ถึง 450 nm ที่ค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 6.0 อินดิเคเตอร์มีสีเหลืองมีค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 430 ถึง 440 nm อินดิเคเตอร์มีสีเขียวที่ค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 6.6 มีค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 400 ถึง 470 nm โดยค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กับสีที่มนุษย์สามารถมองเห็น การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ผสมจะสามารถขยายช่วงการเปลี่ยนแปลงสีได้เมื่อเทียบกับการใช้อินดิเคเตอร์ชนิดเดียว วิธีการดังกล่าวจึงช่วยทำให้การตรวจสอบการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์เป็นไปโดยง่ายมากขึ้น **(Figure 7)**

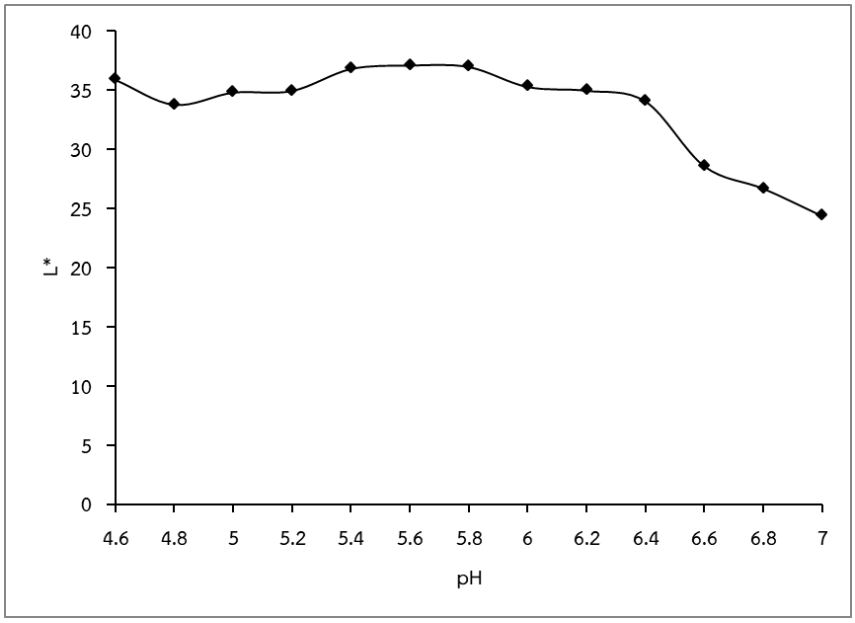

Figure 3 L* value of indicator solution Methyl red:Bromothymol blue:Phenolphthalein in ratio 1:2:1 at pH 4.6–7.0.

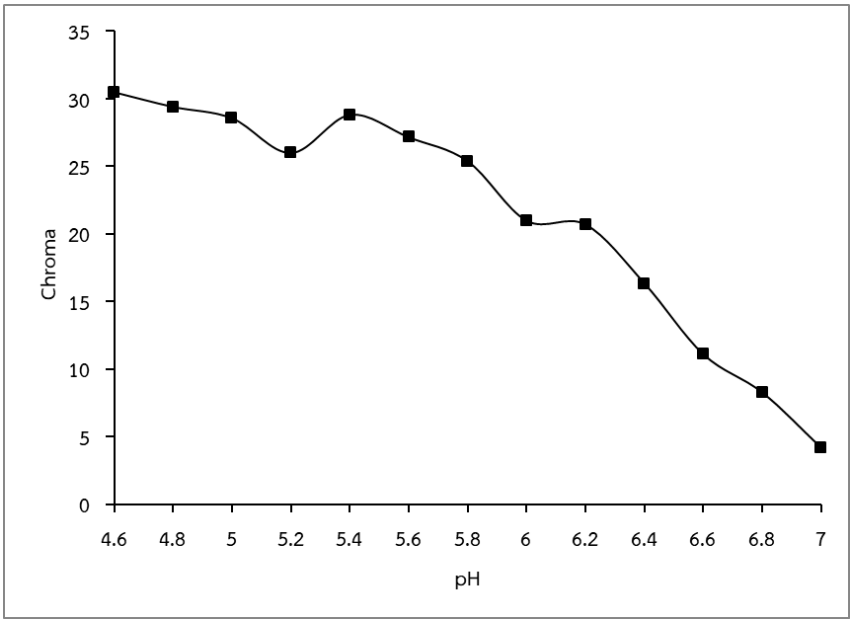

Figure 4 Chroma value of indicator solution Methyl red:Bromothymol blue:Phenolphthalein in ratio 1:2:1 at pH 4.6–7.0.

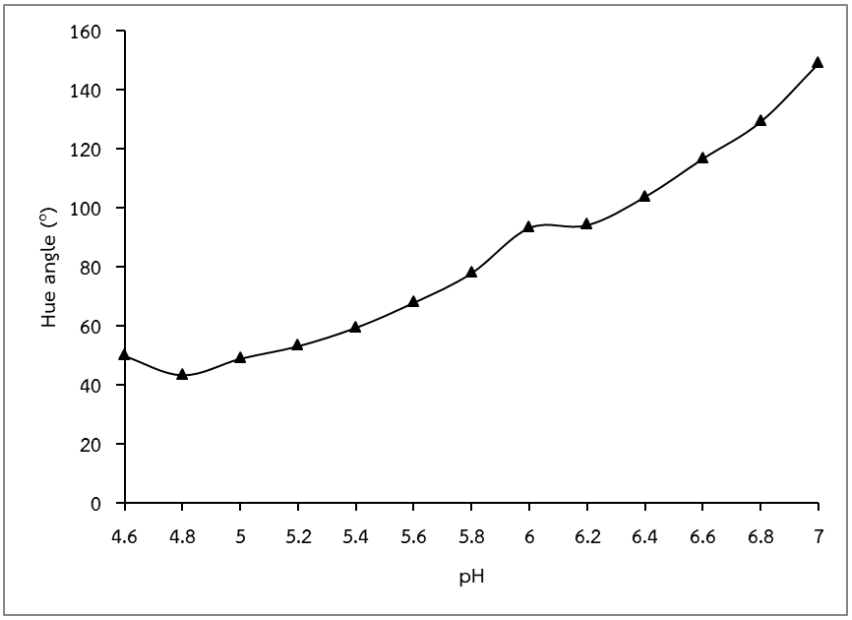

Figure 5 Hue angle (°) of indicator solution Methyl red:Bromothymol blue:Phenolphthalein in ratio 1:2:1 at pH 4.6–7.0.

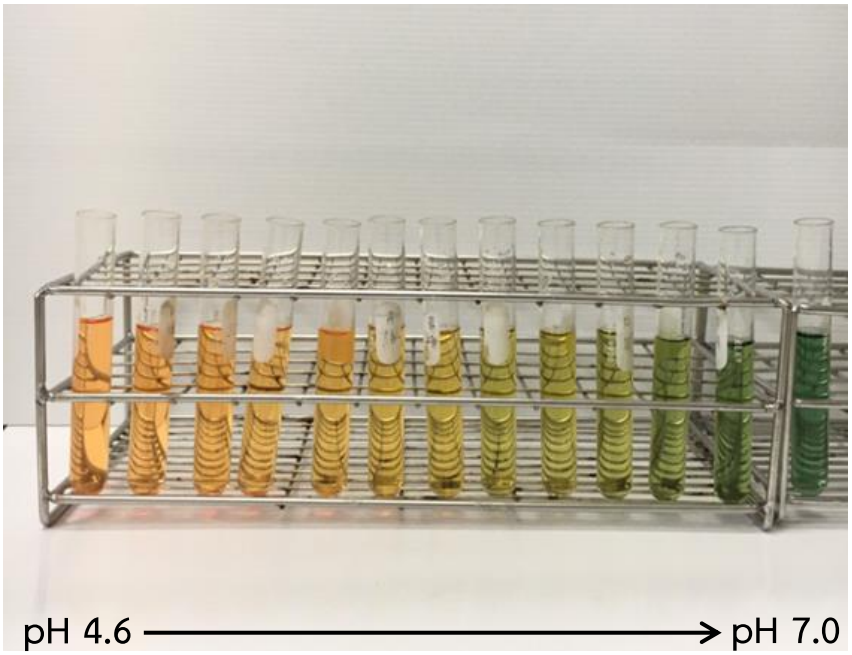

Figure 6 color changed of indicator solution methyl red:bromothymol blue:phenolphthalein in ratio 1:2:1 at pH 4.6-7.0

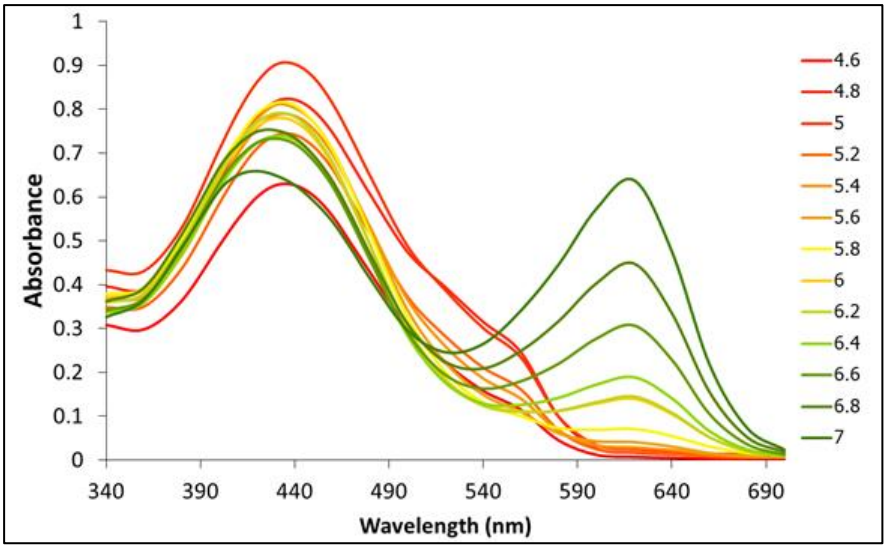

Figure 7 The absorbance of the indicator methyl red : bromothymol blue : phenolphthalein in a ratio of 1 : 2 : 1 at a pH of 4.6 to 7.0.

ทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสีของแถบอินดิเคเตอร์

การเปลี่ยนแปลงของแถบอินดิเคเตอร์เมื่อนำมาทดสอบกับผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค ผลการทดลองพบว่าค่าสีมุมฮิว (Hue angle) ซึ่งเป็นค่าแท้จริงที่จะแสดงคุณสมบัติที่ระบุว่าเป็นสีใดสีหนึ่งที่มีความแตกต่างจากสีอื่น ในวันแรกของการเก็บรักษาแถบอินดิเคเตอร์มีสีเขียว โดยมีค่าสีมุมฮิวเท่ากับ 127.05±0.24 จากนั้น แถบอินดิเคเตอร์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองในวันที่ 6 และ 7 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าสีมุมฮิวเท่ากับ 98.44±0.22 และ 88.26±0.09 ตามลำดับ **(Figure 8 and 9)** โดยการเปลี่ยนแปลงสีของแถบอินดิเคเตอร์มีความสอดคล้องกัน ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดในวันที่ 6 และ 7 มีสภาพใบเหี่ยวและบริเวณรอยตัดมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น (**Figure 9**) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของแถบอินดิเคเตอร์เป็นผลสอดคล้องกับการหายใจของผลิตผลภายในบรรจุภัณฑ์ ผลิตผลเมื่อถูกตัดแต่ง จะเกิดบาดแผลและกระตุ้นการหายใจและการเสื่อมสภาพ (senescence) (Kader, 1992) หากการบรรจุและการเก็บรักษาไม่ดีพอหรือไม่ถูกต้องแล้ว ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจะหมดอายุการบริโภคก่อนวันที่กำหนดไว้อย่างรวดเร็ว โดยผลิตผลเหล่านั้นจะใช้ก๊าซออกซิเจนเพื่อหายใจและสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Peleg, 1985) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นจะละลายในน้ำที่เกิดขึ้นจากความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์และก่อตัวขึ้นเป็นกรดคาร์บอนิก ส่งผลให้บรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มีสภาพเป็นกรดและเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของแถบอินดิเคเตอร์ขึ้น (Nopwinyuwong et al., 2010) โดยแถบอินดิเคเตอร์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในค่า pH ด้วยการเปลี่ยนสี ทำให้ผู้บริโภคสามารถรับทราบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวว่ามีผลต่อคุณภาพอาหาร

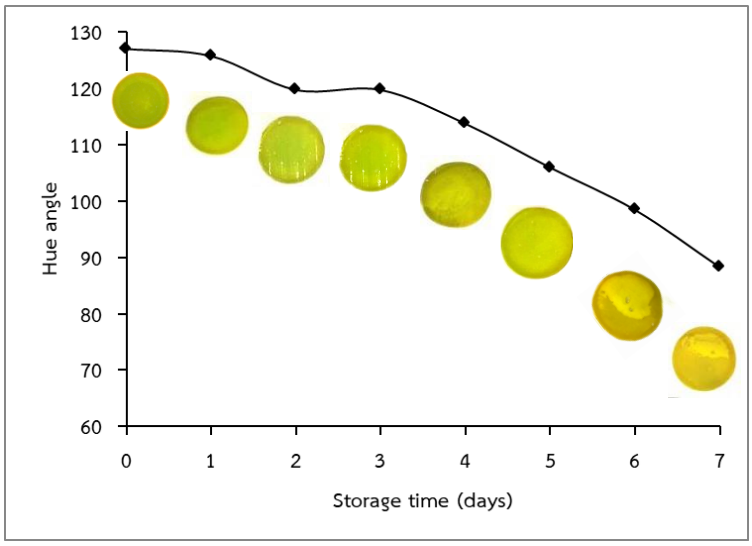

Figure 8 Hue angle of i ndicator formonitoring of fresh-cut butterhead lettuce stored at 4±1°C**.**

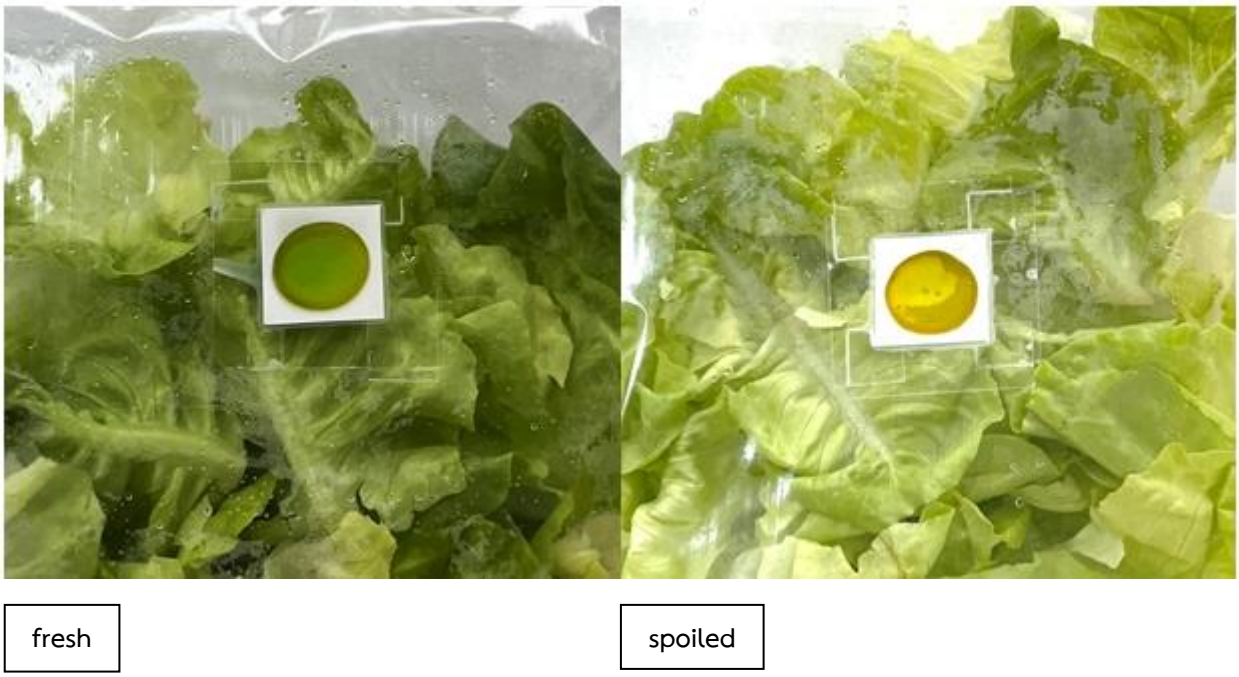

Figure 9 Photographs of spoilage indicator formonitoring of fresh-cut butterhead lettuce stored at 4±1°C**.**

สรุป

อินดิเคเตอร์บ่งชี้ความสดและติดตามการเสื่อมสภาพของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภค พัฒนาจากสารละลายอินดิเคเตอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลเรด, โบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาลีน ในอัตราส่วน 1:2:1 เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดตัดแต่งพร้อมบริโภคจะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ชัดเจน โดยเริ่มต้นแถบอินดิเคเตอร์จะเป็นสีเขียวและเมื่อผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดหมดอายุการเก็บรักษาแถบอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 4±1°C โดยสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ Total aerobic bacteria ที่เพิ่มขึ้น และเกณฑ์คุณภาพโดยรวมที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงหากนำอินดิเคเตอร์ไปพัฒนาในขั้นต่อไป ควรคำนึงถึงขนาดบรรจุภัณฑ์ ขนาดผลิตผลต่อบรรจุภัณฑ์ที่นำมาทดลอง, และควรทดลองในสภาวะ Cold chain system เนื่องจากอาจส่งผลโดยตรงกับอัตราการหายใจของผลผลิต

คำขอบคุณ

ขอกราบขอบพระคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2560. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร**.** แหล่งข้อมูล**:** http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/e-book/dmsc-micro3.pdf. ค้นเมื่อ 11 มกราคม 2567.

ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 236.

นิรมล สันติภาพวิวัฒนา และเนตรา สมบูรณ์แก้ว**.** 2548. สับปะรดตัดแต่งพร้อมบริโภค**.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ได้รับทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง**.**

วรภัทร ลัคนทินวงศ์ และอรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ. 2549. การพัฒนาแถบสีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคในเชิงพาณิชย์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2547. Food spoilage Indicators / ตัวบ่งชี้การเน่าเสียของอาหาร. แหล่งข้อมูล**:** https://www.foodnetworksolution.com. ค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2566.

สิริลักษณ์ แสวงผล. 2554. ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับอัตราการหายใจของผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้สภาวะการเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. 90.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. Trends in Food Science and Technology. 7: 179-187.

Beuchat, L. R. 1996. Pathogenic organisms associated with fresh produce. Journal of Food Protection. 59(2): 204-216.

Chen, H. Z., M. Zhang, B. Bhandari, and Z. Guo. 2018. Applicability of a colorimetric indicator label for monitoring freshness of fresh-cut green bell pepper. Postharvest Biology and Technology. 140: 85-92.

Cuggino, S. G., G. P. Izquierdo, I. B. Villegas, Theumer, and F. P. Rodriguez. 2023. Effects of chlorine and peroxyacetic acid wash treatments on growth kinetics of Salmonella in fresh-cut lettuce. Food Research International, 167: 112451.

Francis, G. A., and D. O'Beirne. 2002. Effects of vegetable type and antimicrobial dipping on survival and growth of Listeria innocua and E. coli. International Journal of Food Science and Technology. 37(6): 711-718.

Kader, A. A. 1992. Postharvest Technology of Horticulture Crops. Second Edition. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Oakland. 296.

Kuete, V. 2017. Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential Against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases. 1st edition. Africa: Academic Press.

Kuswandi, B., C. Maryska, Jayus, A. Aminah, and L. Y. Heng. 2013. Real time on-package freshness indicator for guavas packaging. Food Measure. 7: 29-39.

Lamikanra, O. 2002. Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Science, Technology and Market. CRC Press, NY.

Nopwinyuwonga, A., S. Trevanichb, and P. Suppakula. 2010. Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage. Talanta. 81: 1126-1132.

Peleg, K. 1985. Produce Handing, Packaging and Distribution. AVI Pulb. Co. Inc., Westport. Conn. 625.

Watada, A.E., and L. Qi. 1999. Quality of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology. 15: 201-205.