Agric. Sci. Innov. J. 55 : 2 (Suppl.) : 35 - 38 (2024) ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 2 (พิเศษ) : 35 - 38 (2567)

การใช้ฟิล์มไคโตซานอัจฉริยะในการตรวจสอบคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งในบรรจุภัณฑ์
Using Intelligent Chitosan Film for Monitoring the Quality of Fresh-cut Ripe Papaya in Packages

จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล[1] ทนง คงมาชีพ[2] และ พริมา พิริยางกูร[2]
Jutatip Poubol,[1] Tanong Kongmacheep[1] and Pharima Phiriyangkul[2]

Abstract

This research investigated the use of chitosan film coated on filter papers for monitoring the quality of fresh-cut ripe 'Pak Mai Lai' papaya in vacuum plastic box stored at 10 and 37°C for 7 days. Chitosan film consisted of 5% chitosan, 10% aminomethyl propanol (AMP) and 1% anthocyanin from butterfly pea. The results found that the concentration of O_2 was decreased and CO_2 was increased in the package. Papaya flesh showed a decrease in acidity-alkalinity (pH value), whereas total soluble solids, total bacterial and yeast counts were increased. Besides, the brushing symptom and darkening color in the flesh occurred with an increase of temperature and storage time. At the end of storage at 10 and 37°C, CO_2 concentrations in the packages were increased from 0 to 0.3 and 3.5%. The pH values were decreased from 5.7 to 5.3 and 4.7. Total soluble solids were increased from 31.0 to 36.1 and 41.1%. Total bacteria and yeasts were increased from 4.8 and 0 log CFU/g to 5.5 and 5.9 log CFU/g, and 8.0 and 9.0 log CFU/g, respectively. *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. were not detectable. The color of chitosan film was changed from blue to brownish yellow according to the loss of overall papaya quality during storage. Therefore, the intelligent chitosan film could be used as an indicator for monitoring the quality of fresh-cut ripe papaya in package.

Keywords: fresh-cut ripe papaya, chitosan film, indicator

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้ฟิล์มไคโตซานเคลือบลงบนกระดาษกรอง เพื่อตรวจวัดคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งพันธุ์ปลักไม้ลายในกล่องพลาสติกแบบสุญญากาศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ฟิล์มที่ใช้ประกอบด้วยไคโตซานร้อยละ 0.5 แอมิโนเมททิลโพรพานอล (เอเอ็มพี) ร้อยละ 10 และแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันร้อยละ 1 ผลการทดลองพบว่า ในบรรจุภัณฑ์มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื้อมะละกอมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่าพีเอช) ลดลง ในขณะปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและยีสต์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีอาการช้ำและมีสีคล้ำเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่า บรรจุภัณฑ์มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 20.9 เป็นร้อยละ 20.8 และ 18.9 ตามลำดับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 0.3 และ 3.5 ตามลำดับ มีค่าพีเอช ลดลงจาก 5.7 เป็น 5.3 และ 4.7 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นจาก 31.0 เป็นร้อยละ 36.1 และ 41.1 มีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและยีสต์เพิ่มขึ้นจาก 4.8 และ 0 log CFU/g เป็น 5.5 และ 5.9 log CFU/g และ 8.0 และ 9.0 log CFU/g ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบ *Escherichia coli* และ *Salmonella* spp. นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีฟ้าเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลตามการสูญเสียคุณภาพโดยรวมของมะละกอที่เก็บรักษา ดังนั้น จึงสามารถนำฟิล์มไคโตซานอัจฉริยะมาใช้เป็นดัชนีในการตรวจวัดคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งในบรรจุภัณฑ์ได้

คำสำคัญ: มะละกอสุกตัดแต่ง ฟิล์มไคโตซาน ดัชนี

คำนำ

มะละกอสุกเป็นผลไม้สดชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาตัดแต่งและวางจำหน่าย มะละกอสุกมีสีสวย รสชาติหวาน กลิ่นหอม เนื้อสัมผัสดี ให้คุณค่าทางโภชนาการ โดยเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญหลายชนิด (จุฑาทิพย์, 2566) และยังให้ผลผลิตตลอดทั้งปี ผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคมะละกอสุกตัดแต่งเพียงชนิดเดียวหรือรับประทานร่วมกับผลไม้ตัดแต่งชนิดอื่น หรืออาจ

[1]สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140
[1] Division of Microbiology, Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140
[2] Division of Biological Science, Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140

รับประทานแบบฟรุ๊ตสลัด ซึ่งจะได้คุณค่าทางโภชนาการที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามมะละกอสุกตัดแต่งผ่านกระบวนการแปรรูปหลายขั้นตอนเช่นเดียวกับผักและผลไม้สดตัดแต่งชนิดอื่น ซึ่งอาจก่อให้เกิดการสูญเสียคุณภาพและการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้ง่าย หากผู้บริโภคสามารถตรวจสอบคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งได้ก่อนการตัดสินใจเลือกซื้อ จะช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคและผู้ประกอบการต่อผลิตภัณฑ์มะละกอสุกตัดแต่งที่มีคุณภาพและมีความปลอดภัย

ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์และสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ นิยมใช้เคลือบผิวผักและผลไม้สด โดยใช้ร่วมกับกรดอินทรีย์และน้ำมันหอมระเหย (Xing *et al*., 2016) นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ไคโตซานร่วมกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น เอเอ็มพี ในการตรวจสอบคุณภาพของกิมจิ (Jung *et al*., 2013) และมะเขือเทศสดตัดแต่งในบรรจุภัณฑ์ (จุฑาทิพย์ และคณะ, 2562) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ฟิล์มไคโตซานร่วมกับสารสีแอนโทไซยานิน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงสีได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค (จุฑาทิพย์ และคณะ, 2567) เนื้อปลา (Khezerlou *et al*., 2023) เนื้อวัว (Zeng *et al*., 2023) และเนื้อหมู (Vo *et al*., 2019; Wang *et al*., 2023) ในบรรจุภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้ฟิล์มไคโตซานผสมกับเอเอ็มพีและแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันในการตรวจสอบคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งพันธุ์ปลักไม้ลายในบรรจุภัณฑ์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมฟิล์มไคโตซาน และการตัดแต่งมะละกอสุกพันธุ์ปลักไม้ลาย

ละลายไคโตซานชนิดมวลโมเลกุลต่ำ (Sigma-Aldrich, United States) ร้อยละ 0.5 ในกรดแอซิติกร้อยละ 1 จากนั้นเติมเอเอ็มพี (PanReac AppliChem, GmbH, Germany) ร้อยละ 10 แอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน (Butterfly pea) (AP Operations Co., Ltd, Thailand) ร้อยละ 1 กลีเซอรอลร้อยละ 5 ผสมให้เข้ากัน แล้วดูดสารละลายไคโตซานปริมาตร 500 ไมโครลิตร ไปเคลือบลงบนกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร (Whatman No. 2, England) นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Memmert UN55, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง (จุฑาทิพย์และคณะ, 2564) เก็บฟิล์มที่ได้ในโถดูดความชื้นนาน 24 ชั่วโมง แล้วตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 ตารางเซนติเมตร สำหรับนำไปทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งในบรรจุภัณฑ์ต่อไป คัดเลือกผลมะละกอที่ปราศจากตำหนิ ไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลง ผลมีน้ำหนักประมาณ 500 กรัม ล้างด้วยน้ำประปาและแช่ในสารละลายคลอรีน 100 ppm นาน 1 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ ตัดส่วนขั้วและส่วนปลายผลออก ตัดเป็นชิ้นตามขวางหนา 1 เซนติเมตร ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แบบฟรุ๊ตสลัด ขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชั่งมะละกอหนัก 100 กรัม ใส่ในจานแก้ว แล้ววางในกล่องสี่เหลี่ยมพลาสติกแบบสุญญากาศปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (Superlock, Kitchenware, Thailand) วางแผ่นฟิล์มไคโตซานไว้ข้างจานแก้ว ปิดฝาแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การตรวจวัดก๊าซในบรรจุภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มไคโตซาน จำนวนจุลินทรีย์ และคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่ง

วัดก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดก๊าซ (Gas analyzer) (DP-28 MAP, Nanosens Sp. .z.o.o., Poland) วัดสีของฟิล์มไคโตซานและชิ้นมะละกอด้วยเครื่องวัดสี (NR200, Shenzhen 3NH Technology Co., Ltd, China) วัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัด pH (pHTestr, 10 BNC, spear, EUTECH Instruments, Singapore) และวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) ด้วยเครื่อง Digital handheld refractometer (DR101-60, KRUSS, GmbH, Germany) ตรวจวัดจุลินทรีย์ตามวิธีของ Poubol *et al*. (2010) โดยตีปั่นมะละกอ 10 กรัม ในน้ำเกลือนึ่งฆ่าเชื้อเข้มข้นร้อยละ 0.85 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ในถุงพอลิโพรพีลีน (Polypropylene bag) นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องตีปั่น (Masticator Nr2557/400, IUL instruments; Barcelona, Spain) เจือจางและเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ด้วยวิธี pour plate technique ในอาหาร Plate Count Agar (PCA; Merck; Darmstadt, Germany) สำหรับแบคทีเรียทั้งหมด อาหาร Potato Dextrose Agar (PDA; HiMedia Laboratories; Mumbai, India) สำหรับยีสต์และรา อาหาร Eosin Methylene Agar (EMB; HiMedia Laboratories; Mumbai, India) สำหรับ *Escherichia coli* และอาหาร Xylose Lysine Deoxycholate agar (XLD; HiMedia Laboratories; Mumbai, India) สำหรับ *Salmonella* spp. บ่มจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน สำหรับอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 5-7 วัน รายงานจำนวนจุลินทรีย์ในหน่วย Log CFU/g

ผล

การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ สีของฟิล์มไคโตซาน จำนวนจุลินทรีย์ และคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่ง

บรรจุภัณฑ์มะละกอสุกตัดแต่งแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 1A, B) ในขณะที่มะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซ

ออกซิเจนลดลงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มะละกอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 37 องศาเซลเซียส มีค่า pH ลดลงจาก 5.7 เป็น 5.3 และ 4.7 ตามลำดับ (Figure 1C) ซึ่งแสดงถึงมะละกอสุกตัดแต่งอาจจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก 31.0 เป็นร้อยละ 36.1 และ 41.1 ตามลำดับ (Figure 1D) เมื่อพิจารณาคุณภาพของมะละกอพบว่า ในวันเริ่มต้นการเก็บรักษาเนื้อมะละกอมีสีส้มแดง พื้นผิวบริเวณรอยตัดชุ่มชื้น มีกลิ่นหอม เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นพบว่า เนื้อมะละกอมีอาการช้ำและมีสีคล้ำเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เก็บรักษา (Figure 2) โดยในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เนื้อมะละกอมีสีออกน้ำตาลปนเขียว พื้นผิวรอยตัดแห้ง มีกลิ่นเน่าเสีย และฟิล์มไคโตซานมีการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าไปเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลตามคุณภาพที่ลดลงของมะละกอ (Figure 2) สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดสี ซึ่งฟิล์มไคโตซานมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง ในขณะที่มีค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ไม่แสดงข้อมูล)

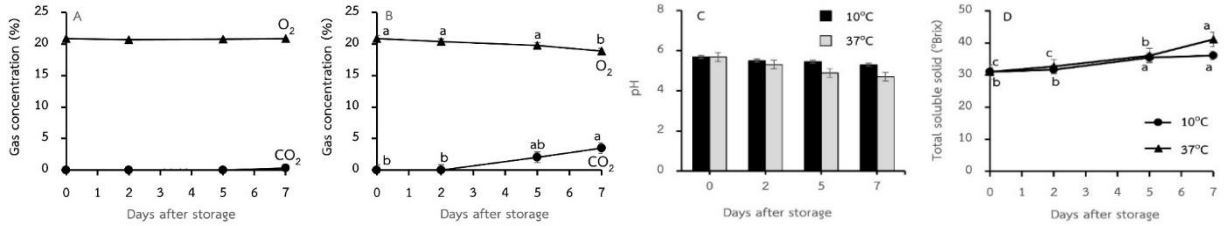

Figure 1 O_2 and CO_2 in packages stored at 10 (A) and 37°C (B), pH (C) and total soluble solids (D) of fresh-cut 'Pak Mai Lai' papaya stored for 7 days at 10 and 37°C. Vertical bars denote SE of three replicates. Different letters in each parameter indicate significant differences ($P \leq 0.05$) between storage time.

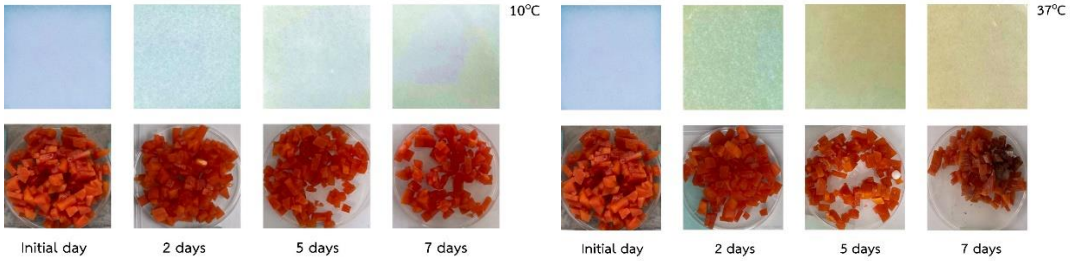

Figure 2 Quality changes of fresh-cut 'Pak Mai Lai' papaya and the color changes of chitosan films in packages of fresh-cut 'Pak Mai Lai' papaya stored at 10 and 37°C for 7 days.

Table 1 Total bacteria, yeasts, molds, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. counts of fresh-cut 'Pak Mai Lai' papaya stored at 10 and 37°C.

Temperature (°C)	Days after storage	Microbial counts (Log CFU/g)				
		Total bacteria	Yeasts	Molds	*E.*	*Salmonella*
	Initial day	4.8[a]	ND	ND	ND	ND
10	2	5.1[c]	3.8[d]	ND	4.2	ND
	5	4.5[c]	4.7[c]	4.3[b]	ND	ND
	7	5.5[c]	5.9[b]	ND	ND	ND
37	2	7.7[a]	5.0[b]	ND	4.7	ND
	5	6.7[b]	5.3[b]	5.3[a]	ND	ND
	7	8.0[a]	9.0[a]	ND	ND	ND

Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). ND indicate not detectable.

ภายหลังการตัดแต่งมะละกอสุกมีแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ 4.8 log CFU/g ในขณะที่ตรวจไม่พบยีสต์ รา *Escherichia coli* และ *Salmonella* spp. (Table 1) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 10 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าจุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยมีแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 5.5 และ 8.0 Log CFU/g และยีสต์เพิ่มขึ้นเป็น 5.9 และ 9.0 log CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตรวจไม่พบเชื้อรา *Escherichia coli* และ *Salmonella* spp. เมื่อ

เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของผักและผลไม้สดตัดแต่ง (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) พบว่ามะละกอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (คือมีค่าต่ำกว่า 6 log CFU/g) แต่มียีสต์และราเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดว่าต้องมีค่าต่ำกว่า 3 และ 2.7 log CFU/g ตามลำดับ)

วิจารณ์ผล

ฟิล์มไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีฟ้าเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล สอดคล้องกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นและการสูญเสียคุณภาพของมะละกอ กล่าวคือ เมื่อเนื้อมะละกอมีอาการช้ำและมีสีคล้ำมากขึ้นฟิล์มไคโตซานจะปรากฏให้เห็นสีเหลืองอมน้ำตาลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งฟิล์มไคโตซานที่ผสมแอนโทไซยานินจากพืชชนิดต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงสีที่แตกต่างกันในบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ โดยฟิล์มไคโตซานที่ผสมแอนโทไซยานินจากกะหล่ำม่วง มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีชมพูในบรรจุภัณฑ์เนื้อหมูที่มีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น (Vo *et al*., 2019) ในขณะที่ฟิล์มไคโตซานที่ผสมแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง มีการเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีเขียวในบรรจุภัณฑ์เนื้อปลาที่มีแอมโมเนียที่ระเหยได้มากขึ้น (Khezerlou *et al*., 2023) สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าฟิล์มไคโตซานมีการเปลี่ยนสีที่สอดคล้องกับปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะละกอ

สรุป

ฟิล์มไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีฟ้าเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลตามปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และคุณภาพของเนื้อมะละกอที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ฟิล์มไคโตซานเพื่อตรวจวัดคุณภาพของมะละกอสุกตัดแต่งได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจากโครงการวิจัยมุ่งเป้า วิทยาเขตกำแพงแสน ประจำปีงบประมาณ 2562 และได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจากสาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2567 ขอขอบคุณหน่วยวิจัยคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2560. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://bqsf.dmsc.moph. go.th/bqsfWeb/index.php/bio/. (1 พฤศจิกายน 2565).

จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล, กฤษญา เนตรประไพ และพริมา พิริยางกูร. 2564. การศึกษาความเป็นไปได้ของสารเคลือบไคโตซานผสมเอเอ็มพีและแอนโทไซยานินในการตรวจสอบการเกิดสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนในแบบจำลองภาชนะบรรจุผลิตผลสด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 52 (1) (พิเศษ): 25-28.

จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล, ปพิชญา สุจริตจิตร และ พริมา พิริยางกูร. 2567. การตรวจสอบคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคพันธุ์กิมจูในบรรจุภัณฑ์โดยใช้ฟิล์มไคโตซานอัจฉริยะที่ผสมเอเอ็มพีและแอนโทไซยานิน. วารสารศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ 1: 1-14.

จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล, พิมพ์วิภา ศรีธิ และ พริมา พิริยางกูร. 2562. การใช้ไคโตซานร่วมกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการตรวจคุณภาพของมะเขือเทศราชินีตัดแต่งที่ปนเปื้อนเชื้อ *Escherichia coli*. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 50 (2) (พิเศษ): 121-124.

จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล. 2566. คุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาของผักและผลไม้สดตัดแต่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 279 น.

Jung, J., K. Lee, P. Puligundla and S. Ko. 2013. Chitosan-based carbon dioxide indicator to communicate the onset of kimchi ripening. LWT-Food Science and Technology 54: 101-106.

Khezerlou, A., M. Tavassoli, M. A. Sani, A. Ehsani and D.J. McClements. 2023. Smart packaging for food spoilage assessment based on *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanin-loaded chitosan films. Journal of Composites Science 7 (10): Article ID 404.

Poubol, J., I. Lichanporn, T. Puthmee and S. Kanlayanarat. 2010. Effect of ultraviolet-C irradiation on quality and natural microflora of asparagus spears. Acta Horticulturae 875: 257-262.

Vo, T.V., T.H. Dang and B.H. Chen. 2019. Synthesis of intelligent pH indicative films from chitosan/poly(vinyl alcohol)/anthocyanin extracted from red cabbage. Polymers 11(7): 1088-1099.

Wang, F., C. Xie, H. Tang, W. Hao, J. Wu, Y. Sun, J. Sun, Y. Liu and L. Jiang. 2023. Development, characterization and application of intelligent/active packaging of chitosan/chitin nanofibers films containing eggplant anthocyanins. Food Hydrocolloids 139: 108496.

Xing, Y., Q. Xu, X. Li, C. Chen, L. Ma, S. Li, Z. Che and H. Lin. 2016. Chitosan-based coating with antimicrobial agents: preparation, property, mechanism, and application effectiveness on fruits and vegetables. International Journal of Polymer Science 2016: 4851730.

Zeng, F., Y. Ye, J. Liu and P. Fei. 2023. Intelligent pH indicator composite film based on pectin/chitosan incorporated with black rice anthocyanins for meat freshness monitoring. Food Chemistry X17: 100531.