

สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติในการต้านเชื้อราของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ PLA
ผสมน้ำมันหอมระเหยจากจำปีบนข้าวกล้อง

Physical Properties, Mechanical Properties and Antifungal Activity of PLA Bioplastic
Film Containing *Michelia alba* Oil on Brown Rice

รวินันท์ แสงวงศ์งาม¹ นฤมล มาแทน^{1*} และนิรันดร์ มาแทน²

Ravinun Saengwong-ngam¹ Narumol Matan^{1*} and Nirundorn Matan²

¹วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช 80160

¹Food Science and Technology, School of Agricultural Technology, Walailak University,
Thasala, Nakhon Si Thammarat, 80160

²วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช 80160

²Materials Science and Engineering, School of Engineering and Technology, Walailak University,
Thasala, Nakhon Si Thammarat, 80160

*Email: nnarumol@wu.ac.th

Received: 21 Jan 19

Revised: 10 Oct 19

Accepted: 11 Nov 19

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (การต้านทานการเปียก สี และลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม) คุณสมบัติทางกล (ค่าความต้านทานแรงดึง ความยืดหยุ่น การยืดตัว ณ จุดขาด) และคุณสมบัติในการต้านเชื้อราของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ PLA (Polylactic acid) ผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากจำปีที่มีความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus flavus* เชื้อรา *Aspergillus niger* และเชื้อรา *Penicillium chrysogenum* และเชื้อราธรรมชาติบนข้าวกล้อง จากนั้นจึงทำการทดสอบการยอมรับต่อกลิ่นรสทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9 - Point hedonic scale ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีในฟิล์ม PLA ทำให้แผ่นพลาสติกมีค่าความยืดหยุ่น การยืดตัว ณ จุดขาด ความต้านทานต่อแรงดึงและความสว่างลดต่ำลง แต่มีค่าความเป็นสีเหลืองและความสามารถในการต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น ($P < 0.05$) ฟิล์ม PLA ที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากจำปีที่มีความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* เชื้อรา *A. niger* และ *P. chrysogenum* บนข้าวกล้องได้ประมาณ $1.2-1.6 \text{ Log}_{10} \text{ CFU g}^{-1}$ และลดเชื้อราตามธรรมชาติในข้าวกล้องได้ประมาณ $1.45 \text{ Log}_{10} \text{ CFU g}^{-1}$ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องที่เก็บรักษาโดยใช้ฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างจากข้าวกล้องหุงสุกชุดควบคุม ($P > 0.05$) โดยเฉพาะคะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส ดังนั้นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีแนวโน้มในการนำมาใช้ป้องกันการเจริญของเชื้อราบนข้าวกล้องได้และวิธีการนี้อาจช่วยทำให้ข้าวกล้องเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

คำสำคัญ: น้ำมันหอมระเหยจากจำปี บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ ข้าวกล้อง

Abstract

The objectives of the study were to investigate the physical properties of PLA-M. *alba* (wettability, color and surface of film), mechanical properties (tensile strength, young's modulus, elongation at break) and the effect of bioplastic (Polylactic acid: PLA) film impregnated with *Michelia alba* at 0 (control) to 0.3% against *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* and natural mold on brown rice. In addition, the sensory evaluation of cooked brown rice packed inside a PLA-M. *alba* (0.1-0.5 %) was performed using a 9-point hedonic scale. The results showed the increase of *M. alba* in the PLA found to decrease the tensile strength, young's

modulus, elongation at break, and lightness, but increased the yellowness and lower wettability ($P < 0.05$). In addition, PLA-M. *alba* at 0.3 % could reduce the growth of *A. flavus*, *A. niger*, and *P. chrysogenum* on brown rice by $1.2\text{-}1.6 \log_{10} \text{CFU g}^{-1}$ and natural mold by $1.45 \log_{10} \text{CFU g}^{-1}$. The sensory test results indicated that the color, odor, flavor, and texture of cooked brown rice packed inside PLA-M. *alba* (0.1%-0.5%) were not significantly different from the control group ($p > 0.05$); therefore, PLA-M. *alba* has the potential to prevent mold growth on brown rice and it may make brown rice more acceptable to rice consumers.

Keywords: *Michelia alba* oil, biodegradable packaging, brown rice

1. บทนำ

ข้าวกล้องเป็นข้าวที่มีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์อยู่มากมายซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพ ทำให้ข้าวกล้องเป็นที่นิยมในกลุ่มของคนรักสุขภาพ [1] อย่างไรก็ตามข้าวกล้องมักมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นเนื่องจากพบการเจริญของเชื้อราบนผิวหน้าได้ง่ายและเชื้อราบางชนิดอาจสร้างสารพิษได้ ทำให้ส่งผลต่อราคาและคุณภาพของข้าวกล้องในการจำหน่ายและยังส่งผลเสียต่อผู้บริโภคอีกด้วย [2], [3] ซึ่งในปัจจุบันมีการเก็บรักษาข้าวกล้องในรูปแบบปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา แต่ส่งผลต่อผู้ประกอบการข้าวทำให้มีต้นทุนที่สูง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีแนวคิดในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ชนิด PLA มาผสมน้ำมันหอมระเหยจากจำปีซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติเพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อราบนข้าวกล้อง โดยการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้นี้เป็นทางเลือกให้กับผู้ที่รักในสิ่งแวดล้อม [4] เนื่องจากพลาสติก PLA สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าพลาสติกทั่วไปที่นำมาผลิตเป็นถุงบรรจุข้าวในปัจจุบัน โดยพลาสติกชีวภาพ PLA สามารถผลิตมาจากวัตถุดิบทางการเกษตรได้หลายชนิด เช่น ข้าวโพด โดยใช้กรรมวิธีหมักของแบคทีเรีย [5] ดังนั้น PLA จึงย่อยสลายได้ง่ายจากเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ จึงช่วยลดปัญหาขยะที่จะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม [6] สำหรับน้ำมันหอมระเหยจากจำปีซึ่งมีรายงานว่ามีคุณสมบัติที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้หลายชนิด เช่น เชื้อรา *Aspergillus flavus* เชื้อรา *Aspergillus niger* เชื้อรา *Penicillium* sp. และเชื้อรา *Rhizopus* sp. ซึ่งเชื้อราดังกล่าวพบได้ในข้าว ทั้งนี้ น้ำมันหอมระเหยจากจำปีสามารถยับยั้งเชื้อราได้ทั้งส่วนที่เป็นสปอร์และไมซีเลียม [7], [8] นอกจากนั้นแล้วน้ำมันหอมระเหยจากจำปียังมีคุณสมบัติในการรักษาโรค [9] และถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร [10] และยังมีการรายงานในการใช้น้ำมันหอมระเหยจำปีในการเก็บรักษาข้าวกล้อง 16 สัปดาห์ โดยน้ำมันหอมระเหยจำปีทำให้ข้าวกล้องมีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [7] จึงทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถนำมาใช้ในการยับยั้งเชื้อราในอาหารได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกลและการออกฤทธิ์ต้านเชื้อราของฟิล์ม PLA ที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากจำปีบนข้าวกล้อง

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี

2.1.1 การเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี ทำโดยการชั่งเม็ดพลาสติก PLA จำนวน 2 กรัม แล้วทำการละลายในสารละลายคลอโรฟอร์มน้ำหนัก 80 กรัม จนได้สารละลายเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนสารละลายที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 60 นาที ทำการเติมน้ำมันหอมระเหยจากจำปีปริมาณ 0.1 ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ลงในสารละลายและทำการผสมให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนสารละลาย แล้วเทลงในพิมพ์แผ่นแก้วขนาด กว้าง 9 เซนติเมตร×ยาว 14 เซนติเมตร หลังจากนั้นทำให้แห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนได้แผ่นฟิล์ม ทำการเก็บรักษาแผ่นฟิล์มที่ได้ในตู้ดูดความชื้นก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ

2.1.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี

2.1.2.1 การทดสอบความหนาของแผ่นพลาสติก PLA (Thickness) ทำได้โดยการใช้ไมโครมิเตอร์ (ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 103-177) ในการวัดแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้ โดยทำการวัด 10 จุด ตัวอย่าง

2.1.2.2 การทดสอบความสามารถในการต้านทานการเปียกน้ำบนแผ่นพลาสติก โดยหยดน้ำลงบนตัวอย่างแผ่นพลาสติก และใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส Contact angle analyzer (ยี่ห้อ Kyowa) และทำการวัด 10 จุด ตัวอย่างทดสอบ

2.1.2.3 การวัดค่าสี โดยนำแผ่นฟิล์มมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Miniscan EZ (ยี่ห้อ Hunter Associates Laboratory, USA) ทำการวัดสีจากแผ่นพลาสติกจำนวน 10 จุด โดยรายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^* ซึ่งค่า L^* (Lightness) คือค่าความสว่างซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100, ค่า a^* (Redness/Greenness) คือค่าสีแดง (+) และสีเขียว (-) และค่า b^* (Yellowness/Blueness) คือค่าสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-)

2.1.2.4 การทดสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาโครงสร้างของแผ่นฟิล์ม โดยศึกษาบริเวณพื้นผิวของแผ่นพลาสติก และบริเวณการตัดขวางของแผ่นฟิล์ม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) รุ่น Merlin compact, Zeiss) ซึ่งใช้สภาวะค่าแรงดันเร่ง (Accelerating voltage) 2-5 กิโลโวลต์ และในการศึกษาโครงสร้างภายในแผ่นฟิล์ม โดยการตัดขวางทำได้โดยการนำแผ่นฟิล์มแช่ลงในไนโตรเจนเหลว และทำการหักแผ่นฟิล์ม แล้วนำแผ่นฟิล์มเคลือบด้วยทอง เพื่อใช้เป็นตัวอย่างทดสอบ

2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล โดยทำการวัดค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ความยืดหยุ่น (Young's Modulus) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นพลาสติก โดยการเตรียมแผ่นพลาสติกให้มีขนาดความกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น และทดสอบด้วยเครื่องยี่ห้อ LLOYD Instruments รุ่น LR 5K โดยใช้ความเร็วในการทดสอบ เท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีต่อการยับยั้งเชื้อราในข้าวกล้อง

2.2.1 การเตรียมข้าวกล้อง โดยข้าวกล้องที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ ข้าวกล้องสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ที่มีการปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในช่วงปี 2560 จากกลุ่มเกษตรกรอำเภอปากพะยูน จังหวัดนครศรีธรรมราช

2.2.2 การเตรียมเชื้อรา โดยเชื้อราที่ใช้ในการทดสอบคือ เชื้อรา *Aspergillus flavus* เชื้อรา *Aspergillus niger* และเชื้อรา *Penicillium chrysogenum* ซึ่งแยกได้จากข้าวกล้อง เชื้อราทั้งสามสายพันธุ์เก็บรักษาไว้ที่ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมน้ำมันหอมระเหย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยนำเชื้อราทั้ง 3 สายพันธุ์มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Malt Extract Agar (MEA) แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในตู้บ่มเชื้อ (ยี่ห้อ Binder รุ่น BD53) จากนั้นจึงทำการเตรียมสารแขวนลอยของเชื้อราด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อปริมาตร 9 มิลลิลิตร และทำการเจือจางจนได้ปริมาณสารละลายเชื้อราเริ่มต้นที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร โดย Hemocytometer

2.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อราของแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี การทดสอบเริ่มจากการเติมสารแขวนลอยของเชื้อรา *A. flavus*, *A. niger* และ *P. chrysogenum* ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในข้าวกล้องปริมาณ 25 กรัม ในชุดทดลองที่ต้องการนับ

ปริมาณเชื้อราตามธรรมชาติในข้าวกล้องคือไม่ต้องเติมเชื้อราลงไป จากนั้นจึงทำการบรรจุข้าวกล้องที่ได้ลงในถุงฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีปริมาณ 0 (ชุดควบคุม) 0.1 0.15 0.2 0.25 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการนับเชื้อราบนข้าวกล้องในวันที่ 0 แล้วจึงนำข้าวกล้องไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำโดยการสุ่มวัดแต่ละครั้งใช้ตัวอย่างข้าว 25 กรัม และนำตัวอย่างที่ต้องแล้วจึงทำการตรวจนับปริมาณเชื้อราอีกครั้ง แล้วรายงานผลการทดลองเป็นปริมาณการลดลงของเชื้อรา ($\log_{10}$ CFU g^{-1}) โดยคำนวณตามสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณการลดลงของเชื้อรา } (\log_{10} \text{ CFU } g^{-1}) = (A)-(B)$$

.....สมการที่ 1

เมื่อ A คือ ปริมาณเชื้อราในข้าวกล้องที่เก็บรักษาในชุดควบคุม ($\log_{10}$ CFU g^{-1})

B คือ ปริมาณเชื้อราในข้าวกล้องที่เก็บรักษาด้วยแผ่นพลาสติกที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี ($\log_{10}$ CFU g^{-1})

2.4 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่เก็บรักษาในถุงฟิล์มพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี

การเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องสำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ทำโดยนำข้าวกล้องที่ถูกเก็บรักษาในถุงพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.1 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 วัน (เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ข้าวกล้องดูดซับกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยได้ดีที่สุดจากการทดสอบเบื้องต้นทางด้านประสาทสัมผัส) มาทำการหุงจนสุกโดยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (ยี่ห้อ OTTO รุ่น CR-100T) และทำการเสิร์ฟตัวอย่างข้าวกล้องในแต่ละชุดทดลองและชุดควบคุมโดยการสุ่ม การทดสอบนี้ใช้การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคแบบวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-Point Hedonic Scale) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ซึ่งคุณลักษณะที่ให้คะแนนข้าวกล้องหุงสุกคือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยสเกลความชอบเป็น 9 ระดับ ดังนี้ ไม่ชอบที่สุด=1 ไม่ชอบ = 2 ชอบน้อย=3 ชอบน้อยถึงปานกลาง= 4 ชอบปานกลาง=5ชอบปานกลางถึงมาก = 6 ชอบมาก = 7 ชอบมากถึงมากที่สุด = 8 และชอบมากที่สุด = 9

2.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) มาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ One-way ANOVA

และ Duncan's post hoc test ที่ $P < 0.05$ แสดงความแตกต่างระหว่างแผ่นฟิล์ม PLA ชุดควบคุมและแผ่นฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี ด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติ Statistica software (StatSoft Inc., USA) แล้วรายงานผล

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี

3.1.1 ผลการทดสอบการวัดค่าความหนาของแผ่นฟิล์มได้ผลดัง Table 1 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำมันหอมระเหยจากจำปีจาก 0.1 เปอร์เซ็นต์ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลต่อความหนาของแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA โดยมีค่าความหนาอยู่ในระหว่าง 0.010 และ 0.011 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($P > 0.05$) ซึ่งการทดลองนี้พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยจะไม่มีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์มเนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถแทรกซึมลงสู่แผ่นฟิล์มได้ดี ไม่เกิดการแยกชั้น

3.1.2 ผลการทดสอบการต้านทานการเปื่อยน้ำของแผ่นพลาสติกดัง Table 1 พบว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีความเข้มข้น 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มความต้านทานการเปื่อยน้ำได้ โดยมีค่ามอดูลัสน้ำอยู่ระหว่าง 77.3 ± 6.0 ถึง 84.0 ± 2.9 องศา ซึ่งมากกว่าชุดควบคุม (71.0 ± 5.1 องศา) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมากขึ้นเป็น 0.25-0.3 เปอร์เซ็นต์ในแผ่นพลาสติก PLA พบว่ามอดูลัสน้ำมีค่าลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุม ซึ่งการต้านทานการเปื่อยน้ำของแผ่นฟิล์มขึ้นขึ้นอยู่กับแรงเชื่อมแน่นและแรงยึดติดบนผิวหน้าของแผ่นฟิล์มที่จะทำให้หยดน้ำเกาะกลุ่มกันหรือแตกออกจากกันจนเกิดเป็นค่ามอดูลัสน้ำ ซึ่งการทดลองนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยในปริมาณไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ทำให้เกิดคุณสมบัติไม่ชอบน้ำให้กับผิวหน้าของแผ่นพลาสติก PLA ได้ ซึ่งสอดคล้องรายงานของ Arrieta et al (2013) [11] ที่พบว่าการเติมสารลิโมนีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยในพลาสติก PLA จะทำให้เกิดพื้นผิวของพลาสติกที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น ทำให้โมเลกุลของพลาสติกไม่จับเข้ากับโมเลกุลของน้ำ อย่างไรก็ตามหากมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีในปริมาณที่มากกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์พบว่าคุณสมบัตินี้จะหมดไปคือพบการเปื่อยน้ำของแผ่นฟิล์มเช่นเดียวกันกับชุดการทดลองควบคุม ซึ่งการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามีจุดที่เหมาะสมในการเติมน้ำมันหอมระเหยลงในแผ่นฟิล์ม PLA เพื่อให้เกิดคุณสมบัติในการต้านทานการเปื่อยน้ำ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของพลาสติก PLA จะเพิ่มความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำได้ ซึ่ง Wen และคณะ [12] พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย

จากอบเชยจนถึงระดับหนึ่งในแผ่นพลาสติก PLA ส่งผลต่อการเปื่อยน้ำของแผ่น PLA ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้

3.1.3 ผลการวัดค่าสีของแผ่นพลาสติก PLA ชุดควบคุมและชุดทดลองที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีความเข้มข้นที่ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ให้ผลดัง Table 1 พบว่า เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยในแผ่นฟิล์ม PLA มากขึ้นค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง-เขียว (a^*) ของแผ่นพลาสติก PLA มีค่าลดลง ซึ่งมีความแตกต่างจากการชุดควบคุม ($P < 0.05$) ซึ่งพบค่า L^* และ a^* ที่ลดต่ำลงลงในแผ่นพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด ในขณะที่แผ่นฟิล์มที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีเพิ่มมากขึ้นมีค่า b^* เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของแผ่นพลาสติก PLA ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีสีเหลือง ดังนั้นการเติมลงไปในแผ่นฟิล์มจึงมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นตามสีของน้ำมันหอมระเหยจากจำปี โดยได้มีรายงานเกี่ยวกับการเติมองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยในน้ำแผ่นฟิล์ม PLA โดยสีของแผ่นฟิล์มที่ได้จะสอดคล้องกับสีของสารที่เติมลงในแผ่นฟิล์ม [12]

3.1.4 ผลศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของแผ่นพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีและชุดควบคุม ดัง Figure 1 พบว่า แผ่นพลาสติกชุดควบคุมซึ่งไม่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี (Figure 1a และ 1b) พบว่าบริเวณพื้นผิวและแนวตัดขวางของแผ่นพลาสติกมีลักษณะเรียบ ไม่ขรุขระหรือมีรูพรุน แต่แผ่นพลาสติกที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีลักษณะที่แตกต่างกับชุดควบคุม (Figure 1c และ 1d) โดยพบพื้นผิวที่ขรุขระ และมีลักษณะเป็นรูพรุน ทั้งนี้เนื่องจากของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีส่งผลต่อการเกิดรูพรุนของแผ่นฟิล์มซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการรวมตัวของสายพอลิเมอร์เข้าด้วยกันกับน้ำมันหอมระเหยโดยมีตัวทำละลายระหว่างพอลิเมอร์ทำหน้าที่ละลายให้เข้ากัน และเมื่อเกิดการระเหยของตัวทำละลายจึงทำให้สายพอลิเมอร์ยึดเข้าด้วยกัน และเป็นผลทำให้เกิดการขยายขนาดอนุภาคของน้ำมันหอมระเหยในแผ่นฟิล์มจนเป็นรูพรุน [14] และมีการรายงานที่สอดคล้องกับลักษณะปรากฏนี้ คือ เมื่อเกิดรอยฉีกขาดของแผ่นพลาสติก PLA กับน้ำมันหอมระเหยจากลิโมนีน และนำไปตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นพลาสติก พบว่า มีรูพรุนภายในของแผ่นพลาสติก โดยปริมาณของลิโมนีนมีผลต่อขนาดรูพรุน [11]

3.2 ผลการวัดคุณสมบัติด้านแรงกล

พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงไม่แตกต่างกับแผ่นพลาสติกที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีเพิ่มขึ้น (0.15-0.3 เปอร์เซ็นต์) ในแผ่นพลาสติก PLA พบว่าค่า

ต้านทานต่อแรงดึงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($P < 0.05$) สำหรับค่าความยืดหยุ่นของแผ่นพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี พบว่า มีความแตกต่างจากชุดควบคุม ($1,011.1 \pm 61.7$ MPa) ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีจาก 0.1 เป็น 0.3 เปอร์เซ็นต์ในแผ่นพลาสติก PLA ทำให้มีความสามารถของความยืดหยุ่นลดลงจาก $1,009.3 \pm 139.0$ MPa เป็น 479.9 ± 48.8 MPa และผลของเปอร์เซ็นต์ของการยืดตัว ณ จุดขาด ของแผ่นพลาสติก PLA พบว่า ชุดควบคุมมีการยืดตัว ณ จุดขาด ($132.2 \pm 33.7\%$) ซึ่งมากกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีในทุกความเข้มข้นซึ่งมีค่าระหว่าง $105.5 \pm 0.6\%$ ถึง $128.5 \pm 14.6\%$

จากการทดลองนี้เห็นได้ชัดว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปี มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของแผ่นพลาสติก PLA ซึ่งเกิดจากอนุภาคของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีไปรบกวนโครงสร้างในการยึดเกาะระหว่างสายพอลิเมอร์ของ PLA [14] ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Qin et al. (2017) [15] ที่รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ

น้ำมันหอมระเหยจากมะกรูด กานพลู โรสแมรี่ และตะไคร้ลงในแผ่นพลาสติก PLA ทำให้มีค่าต้านทานแรงดึง ค่าความยืดหยุ่น และค่าของการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นพลาสติกลดลง ซึ่งเกิดจากน้ำมันหอมระเหยมีสารฟีนอลิกซึ่งมีผลรบกวนการจับกันของโครงข่ายโพลิเมอร์ของ PLA จึงทำให้ฟิล์มที่ได้มีโครงสร้างที่เปราะกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหย นอกจากนี้มีการรายงานเกี่ยวกับชนิดขององค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยว่ามีผลต่อการเกิดโครงข่ายของพลาสติก PLA ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีองค์ประกอบหลักคือสารลินาลูล (Linalool) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์หลักของน้ำมันหอมระเหยจากจำปี [7] ซึ่งองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยบางชนิดทำให้คุณสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์ม PLA ลดต่ำลง [11]

3.3 ผลการต้านทานเชื้อราของแผ่นฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีบนข้าวกล้อง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีในฟิล์ม PLA ได้ผลดัง Figure 2 และ Figure 3

Table 1 Physical properties and mechanical properties of PLA containing different amounts of *M. alba* oil

Factors	PLA- <i>M. alba</i> oil					
	Control (0%)	0.10%	0.15%	0.20%	0.25%	0.30%
Physical properties						
Thickness (mm)	0.010 ± 0.001^a	0.010 ± 0.001^a	0.010 ± 0.001^a	0.010 ± 0.001^a	0.011 ± 0.002^a	0.010 ± 0.001^a
Contact angle ($^\circ$)	71.0 ± 5.1^c	77.3 ± 6.0^b	78.8 ± 2.7^b	84.0 ± 2.9^a	70.28 ± 5.7^c	70.6 ± 3.9^c
Color parameters						
L*	91.13 ± 0.17^a	90.93 ± 0.03^{ab}	90.83 ± 0.23^{ab}	90.86 ± 0.18^{ab}	90.78 ± 0.22^{ab}	90.64 ± 0.23^b
a*	0.73 ± 0.08^a	0.74 ± 0.03^a	0.68 ± 0.08^a	0.58 ± 0.01^b	0.55 ± 0.03^b	0.56 ± 0.01^b
b*	-6.06 ± 0.05^b	-5.94 ± 0.07^b	-5.61 ± 0.41^{ab}	-5.65 ± 0.17^{ab}	-5.63 ± 0.24^{ab}	-5.45 ± 0.28^a
Mechanical properties						
Tensile Strength (MPa)	417.35 ± 102.0^a	415.79 ± 48.2^a	250.2 ± 15.7^b	275.3 ± 17.5^b	241.8 ± 29.4^b	279.0 ± 39.9^b
Young's Modulus (MPa)	$1,011.1 \pm 61.7^a$	$1,009.3 \pm 139.0^a$	435.4 ± 10.2^b	475.2 ± 39.8^b	498.9 ± 52.7^b	479.9 ± 48.8^b
EAB (%)	132.2 ± 33.7^a	128.5 ± 14.6^a	105.7 ± 1.2^b	105.5 ± 0.6^b	117.23 ± 6.1^{ab}	107.9 ± 5.7^b

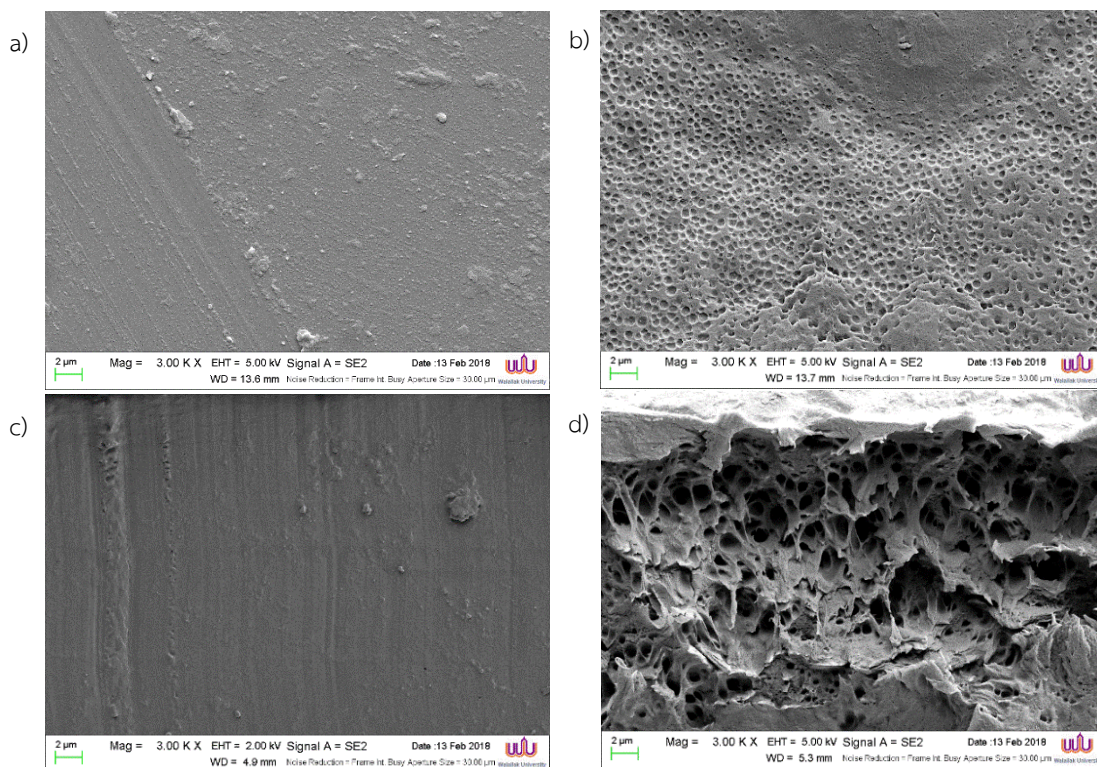


Figure1 SEM micrographs of PLA (a) and PLA- *M. alba* oil (b) for surface, PLA (c), PLA- *M. alba* oil (d) for cross-section

จาก Figure 2 พบว่าข้าวกล้องที่มีการเติมเชื้อรา *Aspergillus flavus* เชื้อรา *Aspergillus niger* และเชื้อรา *Penicillium chrysogenum* เมื่อนำมาบรรจุในถุงฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์และบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วันพบว่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีในถุงฟิล์ม PLA ที่ 0.25 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* ได้มากกว่าเชื้อราอีกสองชนิด ซึ่งสามารถลดการเจริญของเชื้อราได้ในข้าวกล้องได้ ประมาณ $1.45 \log_{10} \text{CFU g}^{-1}$ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีเป็น 0.3 เปอร์เซ็นต์ในถุงฟิล์ม PLA พบว่าสามารถลดการเจริญของเชื้อราทั้งสามชนิดได้ในระหว่าง $1.2-1.6 \log_{10} \text{CFU g}^{-1}$ สำหรับผลการยับยั้งเชื้อราตามธรรมชาติที่พบในข้าวกล้องดัง Figure 3 พบว่าเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยจากจำปีลงในถุง PLA ในปริมาณตั้งแต่ 0.15 ถึง 0.25 เปอร์เซ็นต์สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อราตามธรรมชาติได้ $1.08-1.20 \log_{10} \text{CFU g}^{-1}$ และที่ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งเชื้อราได้ $1.45 \log_{10} \text{CFU g}^{-1}$ ($P < 0.05$) ดังนั้นบรรจุข้าวกล้องที่ทำจากฟิล์ม PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีสามารถชะลอการเจริญของเชื้อราและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้แก่ข้าวกล้องได้

การทดลองนี้พบว่าแผ่นฟิล์ม PLA มีความสามารถในการปลดปล่อยไอระเหยของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีได้ โดยที่ไอระเหยของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมีสารองค์ประกอบหลัก คือ สารลินาลูล (linalool) [8] ซึ่งถูกรายงานว่าเป็นสารหลักในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ และสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อทำงานร่วมกับสารครีโอฟิลลีน (Caryophyllene) ซึ่งเป็นสารที่พบในน้ำมันหอมระเหยจากจำปีเช่นกัน โดยกลไกในการออกฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีคือสามารถยับยั้งการเจริญของสปอร์ และไมซีเลียมของเชื้อราได้ จึงทำให้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องได้ นอกจากนี้ไอของน้ำมันหอมระเหยจากจำปียังถูกนำมาใช้โดยตรงในยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวกล้อง [7] และได้ถูกรายงานว่าช่วยชะลอการเกิดเชื้อราในผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องได้นานหลายสัปดาห์ [8]

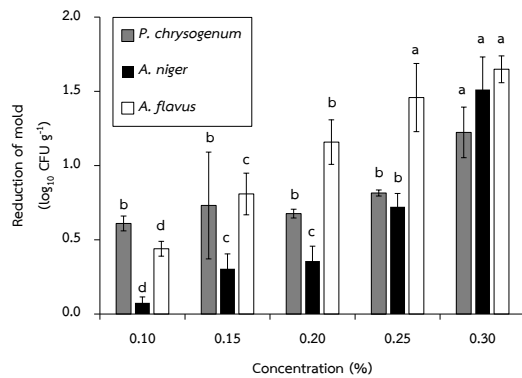


Figure 2 Effect of PLA-*M. alba* on the counts of *A. flavus*, *A. niger* and *Pennicillium chrysogenum* growth in brown rice

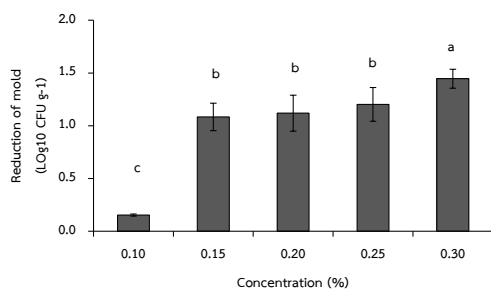


Figure 3 Effect of PLA-*M. alba* on the count of natural mold in brown rice

3.4 ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี

จากผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสต่อค่าสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหุงสุกที่บรรจุในถุงพลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลดัง Figure 4 ซึ่งพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่อค่าสี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีที่มีความเข้มข้นต่างๆไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (ไม่มีน้ำมันหอมระเหย) ซึ่งคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ($P > 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนในส่วนของความชอบโดยรวมที่มีต่อข้าวกล้องหุงสุกที่บรรจุในถุง PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปี 0.3 เปอร์เซ็นต์สูงมากที่สุด ซึ่งการทดลองนี้พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากจำปีให้กลิ่นรสและรสชาติข้าวกล้องหุงสุกในระดับที่ดี และมีความเป็นไปได้สูงในการนำมาใช้เก็บรักษาข้าวกล้อง เพราะเป็นค่าที่อยู่ใน Threshold (ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเบื้องต้น) สำหรับการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากจำปีในข้าว

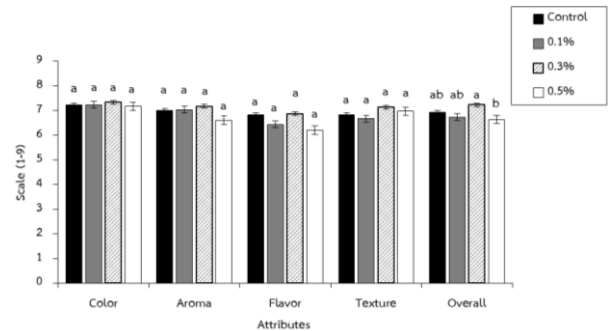


Figure 4 Sensory evaluation of cooked brown rice

4. สรุปและเสนอแนะ

พลาสติกชีวภาพชนิด PLA สามารถนำมาผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากจำปีเพื่อพัฒนาเป็นถุงบรรจุข้าวกล้องเพื่อป้องกันเชื้อราได้ โดยพบว่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากจำปีในฟิล์ม PLA ที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นถุงบรรจุข้าวกล้องได้ และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเป็น 0.3 เปอร์เซ็นต์พบว่าฟิล์ม PLA มีคุณสมบัติของการต้านทานเชื้อราบนข้าวกล้องสูงที่สุดและยังทำให้ข้าวกล้องหุงสุกมีกลิ่นรสที่ผู้บริโภคให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยจากจำปีที่เหมาะสมในพลาสติก PLA มีแนวโน้มสามารถนำไปใช้ในบรรจุข้าวกล้องเพื่อชะลอการเจริญของเชื้อราได้ และยังให้กลิ่นและรสชาติที่ดีให้แก่ข้าวกล้องอีกทางหนึ่งด้วย

จากความรู้ของการทดลองนี้มีข้อเสนอแนะว่าสามารถนำบรรจุภัณฑ์พลาสติก PLA ที่มีน้ำมันหอมระเหยจากจำปีมาเก็บรักษาข้าวกล้องเพื่อป้องกันเชื้อราได้ เพราะวิธีการนี้สามารถเพิ่มกลิ่นและรสชาติของข้าวกล้องให้มารับประทานอย่างใดก็ตามหากต้องการลดต้นทุนในการผลิตควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆร่วมด้วยในการชะลอการเจริญของเชื้อราในข้าวเพื่อเป็นการลดปริมาณของน้ำมันหอมระเหยในพลาสติกชีวภาพ PLA และควรทำการพัฒนาเทคนิคการผสมสารละลายพลาสติก PLA และน้ำมันหอมระเหยเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์มให้ดียิ่งขึ้น ข้อดีในการนำฟิล์มแอคทีฟที่มีน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวคือการเก็บรักษาแบบนี้จะสามารถทำได้ในสภาวะบรรยากาศแบบปกติ ไม่ต้องทำการปรับสภาวะบรรยากาศหรือทำการเพิ่มก๊าซลงในถุงบรรจุข้าว [16] ซึ่งจะทำได้ลดต้นทุนในการบรรจุลงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการ
ปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) รุ่นที่18 สัญญาเลขที่
PHD/0006/2558 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

6. References

- [1] Seedad, P. and et al. 2014. "Production of healthy brown rice from three various color rice". **APCBEE Procedia**. 8: 222-229.
- [2] Ding, C. and et al. 2015. "Improvement in shelf life of rough and brown rice using infrared radiation heating". **Food and Bioprocess Technology**. 8(5): 1149-1159.
- [3] Lai, X. and et al. 2015. "Potential for aflatoxin B1 and B2 production by *Aspergillus flavus* strains isolated from rice samples". **Saudi Journal of Biological Sciences**. 22(2): 176-180.
- [4] González, A., & Igarzabal, C. I. A. 2013. "Soy protein – Poly (lactic acid) bilayer films as biodegradable material for active food packaging". **Food Hydrocolloids**. 33(2): 289-296.
- [5] Qiu, Z., Gao, Q. and Bao, J. 2017. "Constructing xylose-assimilating pathways in *Pediococcus acidilactici* for high titer d-lactic acid fermentation from corn stover feedstock," **Bioresource Technology**. 245: 1369-1376.
- [6] Lv, S. and et al. 2018. "Physicochemical evolutions of starch/poly (lactic acid) composite biodegraded in real soil". **Journal of Environmental Management**. 228; 223-231.
- [7] Songsamoe, S., Matan, N. and Matan, N. 2017. "Antifungal activity of *Michelia alba* oil in the vapor phase and the synergistic effect of major essential oil components against *Aspergillus flavus* on brown rice". **Food Control**. 77: 150-157.
- [8] Suhem, K. and et al. 2017. "Enhanced antifungal activity of michelia oil on the surface of bamboo paper packaging boxes using helium-neon (HeNe) laser and its application to brown rice snack bar". **Food Control**. 73: 939-945.
- [9] Noysang, C. and et al. 2014. "Cytotoxicity and inhibition of P-glycoprotein by selected medicinal plants from Thailand". **Journal of Ethnopharmacology**. 155: 633-641.
- [10] Samakradhamrongthai, R. and et al. 2015. "Encapsulation of *Michelia alba* DC extract using spray drying and freeze drying and application on Thai dessert from rice flour". **International Journal of Food Engineering**. 1(2): 77-85.
- [11] Arrieta, M. P. and et al. 2013. "Characterization of PLA-limonene blends for food packaging applications". **Polymer Testing**. 32(4): 760-768.
- [12] Wen, P. and et al. 2016. "Fabrication of electrospun polylactic acid nanofilm incorporating cinnamon essential oil/ β -cyclodextrin inclusion complex for antimicrobial packaging". **Food chemistry**. 196: 996-1004.
- [13] Javidi, Z., Hosseini, S. F. and Rezaei, M. 2016. "Development of flexible bactericidal films based on poly (lactic acid) and essential oil and its effectiveness to reduce microbial growth of refrigerated rainbow trout". **LWT-Food Science and Technology**. 72: 251-260.
- [14] Sánchez-González, L. and et al. 2010. "Physical and antimicrobial properties of chitosan-tea tree essential oil composite films". **Journal of Food Engineering**. 98(4): 443-452.
- [15] Qin, Y. and et al. 2017. "Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil". **Progress in Organic Coatings**. 103: 76-82.
- [16] Sun, S. and et al. 2019. "Preservation mechanism of high concentration carbon dioxide controlled atmosphere for paddy rice storage based on quality analyses and molecular modeling tools". **Journal of Cereal Science**. 85: 279-285.