

วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

Research and development of bio-packaging from Cassava Starch

ศิริพร เต็งรัง* กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร

Siriporn Tengrang* Kanoksak Loylerd and Wimonwan Wattanawichit

Abstract

This research aimed to prepare the Bio-packaging form cassava starch for value added the cassava and produced the antimicrobial packaging for food. Cassava starch were prepared; cleaned and sliced cassava into small pieces and compressed to get juice. Starch were settled and became to white color, the water was removed and dried at 50°C for 24 hrs. Afterthat starch were grinded to be fine powder. The starch had 85.48% carbohydrate. Cassava starch-chitosan blended film were prepared; mixed cassava starch solution with chitosan solution in starch:chitosan ratio (g): 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 and glycerol were added 40% w/w of total solid for plasticizers. The solution were casted in acrylic plate for forming. The result shown best forming, transparent films and the yellow color score (b*) was increase when increase chitosan. The properties of blend films were demonstrated. All of films shown best properties and significantly different ($p < 0.05$); moisture content 9.51-10.45%, water activity (a_w) 0.426-0.437, that shown the microbial can't grow and water solubility 22.31-29.75%, which starch:chitosan 1:0.2 blend film was lower solubility. Afterthat demonstrated the mechanical properties of films. The results starch:chitosan 1:0.6 blend film shown higher tensile strength 134.2 kF/cm², starch:chitosan 1:0 blend film shown higher %elongation 73.77% and starch:chitosan 1:0 blend film shown higher tear strength 590.16 mN. Water vapour transmission rate (WVTR) and oxygen transmission rate (OTR) of blend film were 1,918-2,105 g/m²/day and 1.33-4.29 cm³/m²/day, which starch:chitosan 1:0 blend film shown higher WVTR and lower OTR, starch:chitosan 1:0.4 blend film shown lower WVTR and starch:chitosan 1:1 blend film shown higher OTR. The efficiency of blend films for antimicrobial packaging were tested. The result shown blend film couldn't inhibit the *Aspergillus flavus* A39 growth, that didn't have clear zone surrounded the piece of blend film. However, should other different microbial test in the future. Cost of blend film was 0.02-0.50 bath/sheet. The starch:chitosan 1:0.6 have potential for more researched on food packaging in the future

because it have good properties same as film, that best properties (not significantly different).

Key words: green packaging, bioplastic, antimicrobial packaging, active packaging, chitosan

บทคัดย่อ

การเตรียมบรรจุภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าของมันสำปะหลังและประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหาร ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2557-2558 โดยเตรียมแป้งจากมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมแป้งได้สกัดโปรตีนและไขมันออกจนได้สตาร์ท พบว่ามีคาร์โบไฮเดรต 85.48% จากนั้นเตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งกับโคโตซานที่อัตราส่วนแป้ง:โคโตซานเท่ากับ 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานจุลินทรีย์ให้ฟิล์ม และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม ผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ให้ฟิล์มที่โปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณโคโตซานเพิ่มขึ้น มีความหนาใกล้เคียง มีความชื้นอยู่ในช่วง 9.51-10.45% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:0.2 ให้ฟิล์มที่มีความชื้นต่ำที่สุด มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.426-0.437 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุด ฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำอยู่ในช่วง 22.31-29.75% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:0.2 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงขึ้นเมื่อเติมโคโตซาน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:0.6 มีค่าสูงที่สุด 134.2 kF/cm² เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของโคโตซานเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่ไม่เติมโคโตซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 73.77% รองลงมาคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:0.2 เท่ากับ 42.95% และความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มไม่เติมโคโตซานมีค่าสูงที่สุด 590.16 mN แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมโคโตซานด้วยกัน พบว่าเมื่อปริมาณโคโตซานเพิ่มขึ้นโดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:1 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 303.7 mN ฟิล์มแป้งผสมโคโตซานมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) อยู่ในช่วง 1,918-2,105 g/m²/day โดยฟิล์มไม่เติมโคโตซานมีค่าสูงที่สุด 2,105 g/m²/day และฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:โคโตซาน 1:0.4 มีค่า WVTR ต่ำที่สุด 1,918 g/m²/day ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (< 0.05) กับที่อัตราส่วน 1:0.6 ส่วนอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ของฟิล์มอยู่ในช่วง 1.33-4.29 cm³/m²/day โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:โคโตซาน 1:0 มีค่า OTR ต่ำสุด และที่อัตราส่วน 1:1 มีค่า OTR สูงสุด จากนั้นนำไปทดสอบศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ เนื่องจากโคโตซานมีคุณสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรียได้ และฟิล์มมีค่า a_w และมีค่า OTR ต่ำ ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งผลจากการทดสอบกับจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* A39 พบว่าไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น

clear zone มีต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 0.02-0.50 บาท/แผ่น ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:โคโตซานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปพัฒนาต่อ คือ 1:0.6 เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนอื่นๆ ที่ให้คุณสมบัติที่สุด

คำหลัก: บรรจุภัณฑ์สีเขียว, พลาสติกชีวภาพ, บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์, บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, โคโตซาน

คำนำ

บรรจุภัณฑ์มีบทบาทอย่างมากในการใช้ชีวิตประจำวันและมีมูลค่าสูงมากในทางธุรกิจ แต่ก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะบรรจุภัณฑ์จะกลายเป็นขยะทันทีหลังจากสินค้าถูกเปิดออกหรือใช้งานหมด ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,000 ตันต่อวัน เป็นถุงพลาสติกถึงร้อยละ 80 หรือ 5,300 ตันต่อวัน หรือประมาณ 2 ล้านตัน ใช้เวลาย่อยสลายนานถึง 450 ปี ใช้พื้นที่ฝังกลบสูงถึง 3 เท่า และเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน (ปิยาพรรณ, 2558) ด้วยกระแสรักษ์สิ่งแวดล้อมผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญกับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นโดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและใช้เวลาย่อยสลายไม่นาน ซึ่งได้มีการคาดการณ์ไว้ว่าจะมีความต้องการบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพสูงถึง 884,000 ตัน ในปี 2020 โดยในปี 2010 ที่ผ่านมามีสัดส่วนทางการตลาดของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจาก Polylactic acid (PLA) สูงที่สุด คือ 42.5% รองลงมา คือ Starch 22.2% และจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต (Smithers, 2010)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความพร้อมในดานวัตถุดิบชีวมวล (biomass) สำหรับผลิตพลาสติกชีวภาพ โดยเฉพาะพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (Starch) เนื่องจากประเทศไทยที่มีปริมาณการผลิตมันสำปะหลังเป็นอันดับ 2 ของโลก ประมาณ 29.84 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 2,212 ล้านบาท ในปี 2558 แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังสูงถึงร้อยละ 55 และมีการคาดการณ์ไว้ว่าในปี 2564 จะสามารถผลิตหัวมันสดได้ 34.51 ล้านตัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2016) ซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยประเทศไทยมีอุตสาหกรรมที่รองรับการพัฒนาพลาสติกชีวภาพ โดยมีมุ่งเป้าไปที่อุตสาหกรรมพลาสติก ได้แก่ ถุง กระสอบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมกว่า 200,000 ล้านบาท (ศราวุธ, 2555)

ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้มันสำปะหลังแล้วและยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านบรรจุภัณฑ์ให้มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถสร้างให้เกิดนวัตกรรมของประเทศและพัฒนาไปสู่ระดับที่มีกำลังต่อรองได้ในเวทีการค้าสากลด้วย เช่น สหภาพยุโรปได้กำหนดนโยบายและเป้าหมายในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากของเสียบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผู้ผลิตและผู้นำเข้าสินค้ามีภาระต้องรับผิดชอบต่อบรรจุภัณฑ์ของสินค้าตนเองโดยการชำระค่าธรรมเนียมการกำจัดหรือนำบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วกลับไป ดังนั้นหากใช้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้เองจะช่วยลดค่าธรรมเนียมได้ (นิรนาม, 2003)

ปัจจุบันจึงมีการวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมากขึ้น เช่น Bourtoom (2008) ได้ศึกษาผลของพลาสติกไฮเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าวผสมโคโตซาน พบว่าเมื่อปริมาณพลาสติกไฮ

เซอร์เพิ่มขึ้นฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดลดลง มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และการละลายเพิ่มขึ้น โดยซอบิทอลให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเปราะที่สุดแต่มีความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด ส่วนกลีเซอรอลและพอลิทีลีนไกลคอลให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติยึดหยุ่นได้ดี Chillo *et al.*, (2008) ได้ศึกษาผลของกลีเซอรอลและโคโตซานต่อคุณสมบัติของแป้งมัน พบว่าโคโตซานช่วยทำให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติต้านแรงดึงขาดดีขึ้น แต่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ส่วนกลีเซอรอลให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติกลับกัน โดยปริมาณที่เหมาะสมของโคโตซานและกลีเซอรอลคือ 0.55 และ 0.5% และ Pitak *et al.*, 2011 ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยผสมโคโตซาน พบว่าโคโตซานมีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม โดยทำการผสมแป้งกล้วยและโคโตซานในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ค่าแรงดึงขาดมีค่าสูงขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นวิจัยการนำสตาร์ชหรือแป้งมันสำปะหลังมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ เนื่องจากพลาสติกชีวภาพจากแป้งเสียรูปได้ง่ายเมื่อได้รับความชื้น หรือสัมผัสกับสารเคมีต่างๆ มีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ แตกเปราะได้ง่าย (Liu, 2006) จึงต้องปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นโดยการผสมแป้งกับโคโตซาน เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เนื่องจากรายงานข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าโคโตซานสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งได้ อีกทั้งโคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด และสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ จึงสามารถนำมาประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ได้อีกทางหนึ่ง (Salleh and Muhamad) นอกจากนี้หลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนโคตินและโคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความชื้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสด (ประภัสสร, 2555 และ Kong, *et al.*, 2010) จึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้มันสำปะหลัง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที จากตลาดไท
2. โคโตซาน เกรดห้องปฏิบัติการ
3. กรดอะซิติก (Acetic acid 100%, Merck)
4. ซอบิทอล (D-Sorbitol \geq 98%, Sigma-Aldrich)
5. กลีเซอรอล (Glycerol, AR Grade, Fisher Scientific)
6. ถังผ้าคั้นน้ำกะทิ
7. ถังพลาสติกมีฝาปิด ขนาด 10 ลิตร
8. โถดูดความชื้น (Desicator)
9. แผ่นอะคริลิกสำหรับขึ้นรูป ขนาด 30×30×0.4 เซนติเมตร
10. ตู้อบร้อน KOTTERMANN 2736
11. เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนแบบมือกด ZHENGXIONG, Model:FS-300
12. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBSA-08 Series B

13. เครื่องบดขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร Armfield, Retsch Muhle
14. เครื่องหั่นย่อยขนาดโบริดเบอร์ 3 robot coupe รุ่น CL60 บริษัท C.L. FoodS
15. เครื่องคั้นน้ำกะทิ Hydraulic Machine to Press Coconut milk, Model :12 turbo
16. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204
17. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
18. เครื่องวัดความหนืด Brookfield, Model:DV-III + Programmable Rheometer
19. เครื่องวัดความหนา Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT
20. เครื่องวัดความชื้น Sartorius ME Model
21. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter, Model: CR-400
22. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Novasina รุ่น TH 200

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสตาร์ชหรือแป้งมันสำปะหลัง

นำมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ มาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด และเตรียมสตาร์ชตามวิธีของกนกศักดิ์ และคณะ (2556) ดังนี้ ปอกเปลือกและแช่ในน้ำส้มสายชูความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ลดขนาดมันสำปะหลังให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหั่นย่อยแล้วห่อด้วยถุงผ้าคั้นน้ำกะทิ นำไปบีบอัดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิ จากนั้นนำกากที่เหลือจากการบีบอัดนำมาผสมน้ำสะอาดที่อัตราส่วนกากมันสำปะหลัง:น้ำ เท่ากับ 1:2 กรองเอาน้ำแป้งที่ได้เก็บไว้ในถัง ส่วนกากแป้งที่เหลือจากการกรองนำไปบีบอัดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิอีกครั้งหนึ่ง นำน้ำแป้งที่ได้เก็บไว้ในถังพลาสติกมีฝาปิดขนาด 10 ลิตร เติมน้ำให้ได้ 2 ใน 3 ส่วนของถังพลาสติก ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เทน้ำทิ้งให้เหลือแต่ส่วนของแป้งที่ตกตะกอน ทำซ้ำโดยเติมน้ำ 2 ใน 3 ส่วนของถังพลาสติกอีกครั้ง กวนให้เนื้อแป้งผสมกับน้ำ ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้แป้งให้ตกตะกอนหรือเปลี่ยนน้ำอีก 2-3 ครั้ง จนกว่าแป้งที่ตกตะกอนจะเป็นสีขาว จากนั้นรินน้ำทิ้งให้เหลือแต่แป้ง แล้วเทลงถาดสแตนเลส นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแป้งที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบด Armfield ขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร เก็บสตาร์ชที่ได้ในถุง Low Density Polyethylene (LDPE) แบบ Ziploc ที่อุณหภูมิห้อง นำไปศึกษาคุณสมบัติและใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. เตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน (starch-chitosan blend) ดัดแปลงจากวิธีของ Bourtoom (2008) และ Xu, et al., 2005 ดังนี้

2.1 เตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น 5% (w/v) โดยนำแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้จากข้อ 1. มาละลายด้วยน้ำกลั่น และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจนเกิดเจลใส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.2 เตรียมสารละลายไคโตซาน ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5% (w/v) โดยละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% (v/v) กวนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จนละลายหมด จากนั้นกรองเก็บสารละลายด้วยชุดกรองสุญญากาศ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.3 เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซาน ที่อัตราส่วนต่างๆ ของน้ำหนัก แป้งมันสำปะหลัง:โคโคซาน (กรัม) โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังไม่ผสมโคโคซาน (1:0)

กรรมวิธีที่ 2 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซาน ในอัตราส่วน 1:0.2

กรรมวิธีที่ 3 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซาน ในอัตราส่วน 1:0.4

กรรมวิธีที่ 4 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซาน ในอัตราส่วน 1:0.6

กรรมวิธีที่ 5 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซาน ในอัตราส่วน 1:0.8

กรรมวิธีที่ 6 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซาน ในอัตราส่วน 1:1

เตรียมโดยผสมสารละลายแป้งมันสำปะหลังเข้มข้น 5% ที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 100 ml กับ สารละลายโคโคซานเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5% ที่เตรียมได้จาก ข้อ 2.2 ความเข้มข้นละ 100 ml เติมกลี เซอรอลปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของของแข็ง (Bourtoom, 2008) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้แผ่นฟิล์ม กวนจนสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ จากนั้นเทสารละลาย บนแผ่นอะคริลิกเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม วางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แกะแผ่นฟิล์มออก แล้วนำไปทดสอบ คุณสมบัติ

3. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมโคโคซาน

นำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 2 มาทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานดังนี้

- 1) ความหนา (Thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนา
- 2) ค่าสี (Color) วัดด้วยเครื่องวัดสี
- 3) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) วัดด้วยเครื่องวัดความชื้น
- 4) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ
- 5) การละลายน้ำ (Water solubility) ตามวิธีของ Su, J., *et al.*(2010) และ Tongdeesoontorn, W., *et al.* (2011) ดังนี้

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 50x50 มิลลิเมตร หรือน้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการ ละลาย (W_0) แขนในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย (W_1) นำไป คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

- 6) ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D882-10 Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting
- 7) ความต้านทานแรงฉีกขาด: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D 1922-09 Propagation Tear Resistance of Plastic Film and thin Sheeting by Pendulum Method
- 8) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM E 96-00 Water Vapor transmission of Materials
- 9) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor

4. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

นำฟิล์มที่ได้มาศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ โดยการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราของแผ่นฟิล์มโดยวิธี paper disc โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบ คือ *Aspergillus flavus* A39 ซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถผลิตสารแอฟลาทอกซินปริมาณสูง

เริ่มโดยการ spread เชื้อราบนอาหาร PDA (Potato dextrose agar) ใช้เชื้อปริมาณ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ตัดไว้ขนาด 5x5 มิลลิเมตร มาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยวางตัวอย่างละ 3 ชิ้น/จานเลี้ยงเชื้อ ดัง Figure 1 บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกผลการทดลองโดยสังเกตโซนใส (Clear zone) หรือบริเวณยับยั้งที่ไม่พบการเจริญของเชื้อรารอบตัวอย่าง (อมรา และคณะ, 2555)

5. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. เตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง

แป้ง คือ ผงละเอียดที่มี สตาร์ช (starch) เป็นส่วนประกอบหลัก ได้จากการนำส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด ราก หัว ไม้บดและยังมีส่วนประกอบอื่น เช่น โปรตีน (protein) และไขมัน (lipid) รวมอยู่ด้วย (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2010) โดยในการทดลองได้เตรียมแป้งตามวิธีของ กนกศักดิ์ และคณะ (2556) ซึ่งมีกระบวนการสกัดโปรตีนและไขมันออกจึงเหลือเฉพาะส่วนของสตาร์ช โดยสตาร์ชมันสำปะหลังที่ได้เป็นผงละเอียดสีขาว ดัง Figure 2 มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 106.55 และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทาง

ทางเคมีพบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 85.48% เส้นใย 1.24% ถ้า 0.27% และความชื้น 12.58% ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันมีน้อยมาก เท่ากับ 0.20 และ 0.23% (Table 1) เนื่องจากถูกกำจัดออกในขั้นตอนการเตรียมสตาร์ช

2. เตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลังผสมไคโตซาน (starch-chitosan blend)

ฟิล์มสตาร์ชมีลักษณะแข็งเปราะไม่สามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์ได้โดยตรง ต้องเติมสารเติมแต่งหรือผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของฟิล์มให้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากขึ้น (Lui, 2006) การทดลองนี้จึงเตรียมฟิล์มสตาร์ชผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วนต่างๆ และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่ง เนื่องจากมีรายงานว่าไคโตซานช่วยให้ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดี ช่วยให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นโดยเฉพาะความต้านทานแรงดึง และกลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำดีขึ้น (Chillo *et al.*, 2008) อีกทั้งมีรายงานว่ากลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีที่สุดสำหรับฟิล์มแป้งผสมไคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบกับซอพิทอลและพอลิเอทิลีนไกลคอล และเลือกเติมที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของของแข็ง เนื่องจากมีรายงานว่าช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในทุกๆด้าน (Bourtoom, 2008)

จากผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีสามารถขึ้นรูปฟิล์มเป็นแผ่นได้ดี มีความยืดหยุ่น ทำให้แกะออกจากแผ่นอะคริลิกได้ง่าย โดยฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ดัง Figure 3 โดยความหนาของฟิล์มในทุกกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.10-0.14 มิลลิเมตร ส่วนค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง (Figure 4) เท่ากับ 93.43 93.55 91.17 91.04 89.20 และ 88.61 ตามลำดับ และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น (Figure 4) เท่ากับ -4.22 -1.74 11.41 12.32 21.55 และ 24.34 ตามลำดับ ดัง Table 2

3. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน

คุณสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดัง Table 2 ดังนี้ ค่าความชื้นของฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 9.51-10.45 % ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานสูงขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 มีค่าน้อยที่สุด และมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.8 (Figure 5) เนื่องจากไคโตซานมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในสายโซ่โมเลกุลจึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของไอน้ำในอากาศได้ ส่งผลให้ความชื้นสูงขึ้นเมื่อไคโตซานเพิ่มขึ้น

ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) โดยค่า a_w เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำต่ำสุดในฟิล์มที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ (ศุภยวัฒน์กรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) โดยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.426-0.437 (Table 2) และมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานสูงขึ้นดัง Figure 6 เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส (กมลศรี, 2552) ซึ่งจากข้อมูลพบว่าน้ำตาลกลูโคสสามารถช่วยลดค่า a_w ได้ (ศุภยวัฒน์กรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) โดยฟิล์มที่

อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:โคโต-ซาน เท่ากับ 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับที่อัตราส่วนอื่นๆ และฟิล์มที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:โคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 มีค่า a_w สูงที่สุด

ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการต้านทานน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของพลาสติกชีวภาพที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ซึ่งหากมีค่าสูง แสดงว่าฟิล์มมีความสามารถในการต้านทานน้ำต่ำ (Bourtoom *et al.*, 2008) โดยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโตซานมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำอยู่ในช่วง 22.31-29.75% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Table 2) และมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของโคโตซานเพิ่มขึ้นดัง Figure 7 โดยที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:โคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของแป้งและโคโตซานค่อนข้างแข็งแรง ซึ่งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดแรงกระทำกันทั้งภายในและภายนอกของโมเลกุล โดยส่วนที่ละลายอาจจะเป็นส่วนของมอนอเมอร์หรือเปปไทด์โมเลกุลเล็ก (Bourtoom *et al.*, 2008) ดังนั้นสามารถนำฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโตซานไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารได้

คุณสมบัติเชิงกล เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของของฟิล์มซึ่งหากมีค่าสูงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ดี โดยความแข็งแรงของฟิล์มเกิดขึ้นจากแรงกระทำทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของโมเลกุลแป้ง และหมู่ $-NH_3^+$ ของโมเลกุลโคโตซาน (Bourtoom *et al.*, 2008) ซึ่งในการทดลองได้ทดสอบค่า ความต้านทานแรงดึงขาด ความสามารถในการยืดตัว และความต้านทานแรงฉีกขาด ซึ่งผลการทดลองพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโตซานมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่อัตราส่วนโคโตซานต่างกัน ดัง Table 2 ดังนี้

ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength; TS) ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมโคโตซาน เนื่องจากโคโตซานมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์ม (Chillo *et al.*, 2008) คือ ค่า TS ของฟิล์มไม่เติมโคโตซานมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 51.72 kF/cm² ในขณะที่ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อโคโตซาน เท่ากับ 1:0.6 มีค่า TS สูงที่สุดเท่ากับ 134.2 kF/cm² แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:โคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 และ 1:0.4 และลดลงเมื่อฟิล์มมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:โคโตซาน เท่ากับ 1:0.8 และ 1:1 ตามลำดับ (Figure 8)

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation; E) ของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของโคโตซานเพิ่มขึ้น (Fig 9) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม คือ เมื่อฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากขึ้น ก็จะมีเปอร์เซ็นต์หรือความสามารถในการยืดตัวน้อยลง โดยฟิล์มแป้งไม่เติมโคโตซานมีค่า E สูงที่สุด เท่ากับ 73.77% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากโมเลกุลของแป้งสามารถเกิดแรงกระทำกับกลีเซอรอลได้ดีไม่มีโมเลกุลของโคโตซานมาขัดขวางและกลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้น (Chillo *et al.*, 2008) ฟิล์มจึงยืดตัวได้ดี รองลงมาคือฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโตซานที่อัตราส่วน แป้ง:โคโตซาน 1:0.2 เท่ากับ 42.95% ส่วนที่อัตราส่วนแป้ง:โคโตซาน 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เท่ากับ 33.10 27.93 23.67 และ 22.97% ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อแรง

กระทำระหว่างโมเลกุลของแป้งกับไคโตซานเพิ่มมากขึ้น फिल्मจะมีความแข็งแรงมากขึ้นทำให้ดึงยึดได้น้อยลง ยกเว้นที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.8 และ 1:1 ที่มีค่าลดลงทั้งค่า TS และ E

ความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 590.16 mN และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับฟิล์มที่เติมไคโตซาน อาจเนื่องจากฟิล์มไม่เติมไคโตซานเกิดแรงกระทำกับกลีเซอรอลได้ดีไม่มีโมเลกุลของไคโตซานมาขัดขวางทำให้ฟิล์มดึงยึดได้ดีการฉีกขาดจึงเกิดได้ไม่ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมไคโตซานด้วยกัน พบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้น (Figure 10) ดังนี้ ฟิล์มที่อัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 มีค่าเท่ากับ 214.7 237.0 304.7 306.5 และ 303.7 ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราส่วน 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 2

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ คือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) เนื่องจากมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีความต้องการแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยผลการทดลองพบว่า ฟิล์มแป้งไม่เติมไคโตซานมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงที่สุด (Figure 11) เท่ากับ $2,105 \text{ g/m}^2/\text{day}$ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับฟิล์มที่เติมไคโตซานในอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 1:0.8 และ 1:1 ที่มีค่าเท่ากับ 2,199.67 2,072 และ 2,101 $\text{g/m}^2/\text{day}$ ตามลำดับ (Table 2) และมีค่าลดลงที่อัตราส่วน 1:0.4 และ 1:0.6 เท่ากับ 1,918 และ 1,919.67 $\text{g/m}^2/\text{day}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ *Selleh et al.* (2009) เนื่องจากทั้งแป้งและไคโตซานเป็นพอลิแซ็กคาไรด์พอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymer) จึงดูดซับโมเลกุลของน้ำและทำให้น้ำผ่านเข้าออกได้ดี แต่เมื่ออัตราส่วนของแป้งและไคโตซานเหมาะสมจะเกิดแรงกระทำระหว่างทั้ง 2 โมเลกุลได้ดี ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ลดลงและมีช่องว่างลดลงส่วนที่ชอบน้ำลดลง ส่งผลให้ค่า WVTR ลดลง

ส่วนอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) พบว่า ฟิล์มแป้งผสมไคโตซานเป็นฟิล์มที่ต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดีเนื่องจากมีค่า OTR น้อยกว่า $50 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ (*Selleh et al.*, 2009) คืออยู่ในช่วง $1.33\text{-}4.29 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เนื่องจากแป้งมีโครงสร้างเป็นผลึกและมีแรงกระทำกันภายในโมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้ก๊าซซึมผ่านได้ไม่ดี (Vartiainen and Harlin, 2011) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น (Figure 12) และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนี้ ฟิล์มที่อัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 มีค่า OTR เท่ากับ 1.33 1.65 2.34 2.68 3.56 และ $4.29 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ตามลำดับ (Table 2) เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มแป้งผสมไคโตซานความร้อนและความชื้นทำให้ความเป็นผลึกของแป้งและไคโตซานลดลง ทำให้มีช่องว่างภายในโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้มากขึ้น

4. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

เนื่องจากมีรายงานว่าฟิล์มผสมไคโตซานสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ และมีการใช้ไคโตซานเป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ในอาหารอย่างกว้างขวาง (*Pitak and Rakshit*, 2011, *Raju, et. al.*, 2015, *Salleh, et. al.* 2009 and *Tripathi et. al.*, 2008) งานวิจัยนี้จึงนำฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตมาศึกษา

ศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ สืบเนื่องจากงานวิจัยที่ได้อ้างอิงไว้และจากผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มในข้อ 3 ที่แสดงว่าฟิล์มมีค่า a_w ต่ำ คือ อยู่ในช่วง 0.426-0.437 ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) และค่า OTR ของฟิล์มมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ (Salleh, et. al. 2009 and Tripathi, et. al., 2008) โดยจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบคือ *Aspergillus flavus* A39 ซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถผลิตสารแอฟลาทอกซินได้ และพบได้มากในผลิตผลเกษตรรอบแห้ง และจากรายงานของ Raju, et. al. (2015) พบว่าฟิล์มแป้งผสมโคโคซานสามารถยับยั้งเชื้อ *Aspergillus flavus* (NCDC-268) ได้ ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซานไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม ในทุกกรรมวิธี ดัง Figure 13 ทั้งนี้อาจเนื่องจากประมาณของโคโคซานยังไม่เพียงพอต่อการยับยั้ง หรือฟิล์มยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับเชื้อที่นำมาทดสอบ แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น clear zone

5. คำนวณต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้ง(สตาร์ช)มันสำปะหลังและสตาร์ชมันเทศ

ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มแป้ง(สตาร์ช)มันสำปะหลังผสมโคโคซาน เท่ากับ 0.02–0.50 บาท/แผ่น (คำนวณจากการใช้แป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม/ฟิล์มขนาด 30x30 cm²) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมบรรจุภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที โดยในขั้นตอนการเตรียมแป้งได้สกัดโปรตีนและไขมันออกจนได้สตาร์ท ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรต 85.48% จากนั้นนำมาเตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งกับโคโค-ซานที่อัตราส่วนแป้ง:โคโคซานต่างๆ ดังนี้ 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานจุลินทรีย์ให้ฟิล์ม และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม

จากผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ให้ฟิล์มที่โปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณโคโคซานเพิ่มขึ้น มีความหนาใกล้เคียง มีความชื้นอยู่ในช่วง 9.51-10.45% โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโคซาน 1:0.2 ให้ฟิล์มที่มีความชื้นต่ำที่สุด มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.426-0.437 ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโคซาน 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุด และฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ อยู่ในช่วง 22.31-29.75% โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโคซาน 1:0.2 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด

คุณสมบัติของฟิล์มเชิงกลของฟิล์ม: ความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมโคโคซาน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:โคโคซาน 1:0.6 มีค่าสูงที่สุด 134.2 kF/cm² เพอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของโคโคซานเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่ไม่เติมโคโคซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 73.77% รองลงมาคือฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมโคโคซานที่มีอัตราส่วน 1:0.2 เท่ากับ 42.95% และความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มแป้ง

มันสำปะหลังไม่เติมโคโคซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 590.16 mN แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมโคโคซานด้วยกัน พบว่าเมื่อปริมาณโคโคซานเพิ่มขึ้นโดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแบ่ง:โคโคซาน 1:1 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 303.7 mN

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ คือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) โดยผลการทดลองพบว่า ฟิล์มแบ่งผสมโคโคซานมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) อยู่ในช่วง 1,918-2,105 g/m²/day โดยฟิล์มไม่เติมโคโคซานมีค่าสูงที่สุด 2,105 g/m²/day และฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแบ่ง:โคโคซาน 1:0.4 มีค่า WVTR ต่ำที่สุด 1,918 g/m²/day ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (<0.05) กับที่อัตราส่วน 1:0.6 ส่วนค่า OTR พบว่าฟิล์มแบ่งผสมโคโคซานมีค่า OTR อยู่ในช่วง 1.33-4.29 cm³/m²/day โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแบ่ง:โคโคซาน 1:0 มีค่า OTR ต่ำสุด และที่อัตราส่วน 1:1 มีค่า OTR สูงสุด

การศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากมีรายงานว่าฟิล์มผสมโคโคซานสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ และฟิล์มมีค่า a_w ต่ำ ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และมีค่า OTR ของฟิล์มมีค่าน้อยกว่า 50 cm³/m²/day แสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ ซึ่งจากการทดสอบกับ จุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* A39 พบว่าไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น clear zone ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อไป

ต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 0.02-0.50 บาท/แผ่น ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง

ข้อแนะนำในการทดลองต่อไป คือ ทดสอบศักยภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ และทดลองการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ โดยอัตราส่วนของแบ่งมันสำปะหลัง:โคโคซานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปทดลองต่อ คือ 1:0.6 เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนอื่นๆ ที่ให้คุณสมบัติดีที่สุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ นางสาวอัจฉราพร ศรีจุฑานุ นักวิชาการโรคพืชชำนาญการ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่อนุเคราะห์ทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์ม

เอกสารอ้างอิง

กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ ศิริพร เต็งรัง. 2556. การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งของพืชที่มีศักยภาพ. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2556. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 312-328.

- กมลศิริ พันธนียะ. 2552. ไคติน-ไคโตซาน. ใน: บทความนานาชาติสาร. สืบค้นจาก:
http://www.nicaonline.com/articles9/site/view_aritle.asp?idarticle=158.
 [20 กรกฎาคม 2558].
- นิรนาม. 2003. ขยะบรรจุภัณฑ์ ผลพวงที่ต้องรับผิดชอบ. Newsstand Limited. สืบค้นจาก:
<http://goo.gl/jkEBje>. [19 มกราคม 2559].
- ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. ไคติน-ไคโตซาน. สืบค้นจาก: <http://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html>.
 [16 กรกฎาคม 2555].
- ปิยาพรรณ ยิ่งเทียน. 2558. ประเทศไทยมีปริมาณขยะ พลาสติกและโหม่มากถึง 2.7 ล้านตัน ซึ่งเป็นสาเหตุ
 หนึ่งของภาวะโลกร้อน. สำนักข่าวแห่งชาติ. สืบค้นจาก:
http://nwnt.prd.go.th/centerweb/News/NewsDetail?NT01_NewsID=TNICT5808110010002. [19 มกราคม 2559].
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนพนนท์. 2010. Flour/แป้ง. Food Network Solution. สืบค้น
 จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0324/flour-แป้ง>.
 [19 มกราคม 2559].
- ศราวรุช ไร่บง. พลาสติกชีวภาพ นวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก:
<http://wqm.pcd.go.th/km/images/stories/agriculture/bioplastic.pdf>. [11 เมษายน 2555].
- ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2546. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษา
 ผลิตภัณฑ์อาหาร. สืบค้นจาก: <http://www.phtnet.org/article/view-article.aspMaID=12>.
 [19 สิงหาคม 2558].
- สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2016. สถานภาพอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. ใน: คลังข้อมูล
 อุตสาหกรรม สวช. สืบค้นจาก: <http://www.technology.in.th/industrial-data/doku.php?id=cassava-industry:newstart-status>. [19 มกราคม 2559].
- อมรา ชินภูติ, เนตรา สมบูรณ์แก้ว, สุพี วนศิริกุล, มัทนา วานิชย์, อัจฉราพร ศรีจูดานู และ บุญญวดี จิระ
 วุฒิ. 2555. การใช้น้ำคั้นกระเทียมควบคุมเชื้อราและสารแอฟลาทอกซินในพริกแห้งและพริกป่น. ใน:
 รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2555. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและ
 แปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 54-69.
- Bourtoom, T. 2008. Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from
 rice starch-chitosan. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 30(1):149-165.
- Bourtoom, T. and Chinan M.S. 2008. Preparation and properties of rice starch-chitosan
 blend biodegradable film. LWT-Food Science and Technology. 41:1633-1641.
- Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gerschenson, Lia. And Del Nobile, M.A.
 2008. Journal of Food Engineering. 88:159-168.

- Kong, M., Chen, X.G., Xing, K. and Park, H.J. 2010. Review: Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology*. 144:51-63.
- Lui, L. 2006. *Bioplastics in Food Packaging: Innovative Technologies for Biodegradable Packaging*. Packaging Engineering. San Jose State University. 13pp.
- Pitak, N. and Rakshit, S.K. 2011. Physical and antimicrobial properties of banana flour/chitosan biodegradable and self sealing films used for preserving Fresh-cut vegetables. 44:2310-2315.
- Raju, P.N., Ganguly, P. and S. Starch-chitosan based composite edible antimicrobial film: modelling the growth of selected food spoilage microbiota. *Indian Journal Dairy Scientific*. 68(4):316-320.
- Selleh, E. and Muhamad, I.I. MECHANICAL PROPERTIES AND ANTIMICROBIAL ANALYSIS OF ANTIMICROBIAL STARCH-BASED FILM. 15pp.
- Selleh, E., Muhamad, I.I. and Khairuddin, N. 2009. Structural Characterization and Physical Properties of Antimicrobial (AM) Starch-Based Films. 3(7): 352-360.
- Smithers. 2010. PHA and bio-derived PE to drive Bioplastic Packaging Market to 2020. In: *Bioplastic Packaging Market Forecast to 2020*. Available: <http://www.smitherspira.com/news/2010/December/bioplastic-packaging-drivers-to-2020>. [18 August 2015].
- Su, J.F., Huang, Z., Yuan, X.Y., Wang, X.Y. and Li, M. 2010. Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. *Carbohydrate Polymers*. 79:145-153.
- Tongdeesontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P. and Rachtanapun, P. 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*. 5:6. Available: <http://journal.chemistrycentral.com/content/pdf/1752-153X-5-6.pdf>. [1 September 2013]
- Tripathi, S., Mehrotra, G.K. and Dutta, P.K. 2008. Chitosan based antimicrobial films for food packaging applications. *e-Polymer*. 93:1-7.
- Vartiainen, J. and Harlin, A. 2011. Crosslink as an Efficient Tool for Decreasing Moisture Sensitivity of Biobased Nanocomposite Films. 2:346-354.
- Xu, Y.X., Kim, K.M., Hanna, M.A. and Nag, D. 2005. Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*. 21:185-192.

Table 1 Chemical Composition of cassava starch

Carbohydrate (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Moisture Content (%)	Protein (%)	Oil (%)
85.48	1.24	0.27	12.58	0.20	0.23

Table 2 Effect of chitosan concentration for cassava starch-chitosan blend films properties.

Cassava starch:chitosan ratio (g)	Properties											
	Thickness (mm)	Color Score			Moisture Content (%)	a_w	Water Solubility (%)	Tensile Strength (kF/cm ²)	Elongation (%)	Tear Strength (mN)	Water Vapor Transmission Rate (g/m ² /day)	Oxygen Transmission Rate (cm ³ /m ² /day)
		L*	a*	b*								
1:0	0.14a	93.43	2.08	-4.22	9.78ab	0.443b	22.42d	51.72c	73.77a	590.16a	2,105.00ab	1.33a
1:0.2	0.10d	93.55	1.44	-1.74	9.51b	0.449a	22.31d	123.4a	42.95b	214.7c	2,199.67a	1.65b
1:0.4	0.11c	91.17	-0.53	11.41	9.98ab	0.451a	25.67bc	125.8a	33.10c	237.0c	1,918.00c	2.34c
1:0.6	0.13b	91.04	-0.67	12.32	10.20ab	0.439c	25.09c	134.2a	27.93cd	304.7b	1,919.67c	2.68d
1:0.8	0.13b	89.20	-0.68	21.55	10.45a	0.437c	27.19b	82.46b	23.67cd	306.5b	2,072.00b	3.56e
1:1	0.13b	88.61	-0.72	24.34	9.93ab	0.426d	29.75a	58.66c	22.97d	303.7b	2,101.00ab	4.29f

Means within the same column followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$)

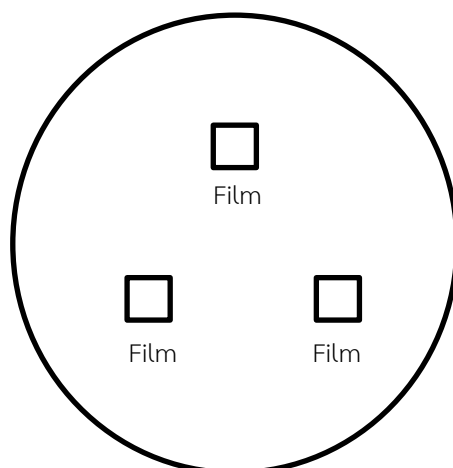


Figure 1 Illustrate the model for antimicrobial test of cassava-chitosan blended film



Figure 2 Illustrate the cassava starch

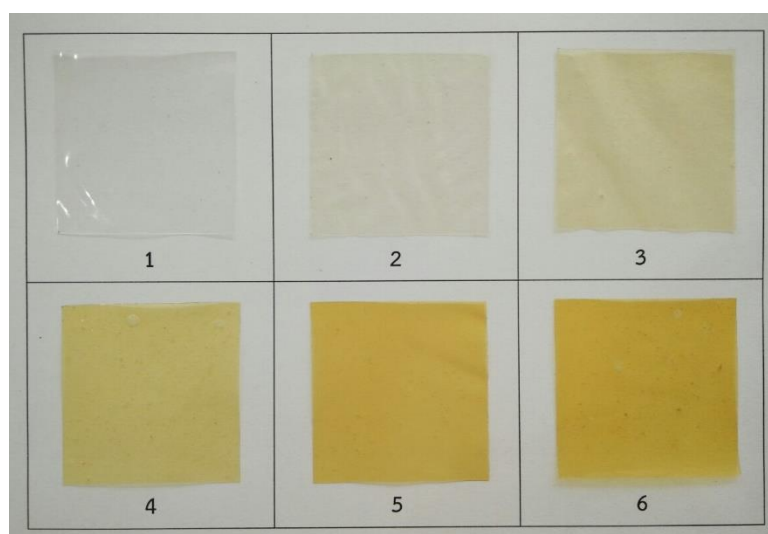


Figure 3 Cassava starch-Chitosan blend films appearance at various cassava starch:chitosan ratio (g); no.1-6 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 respectively.

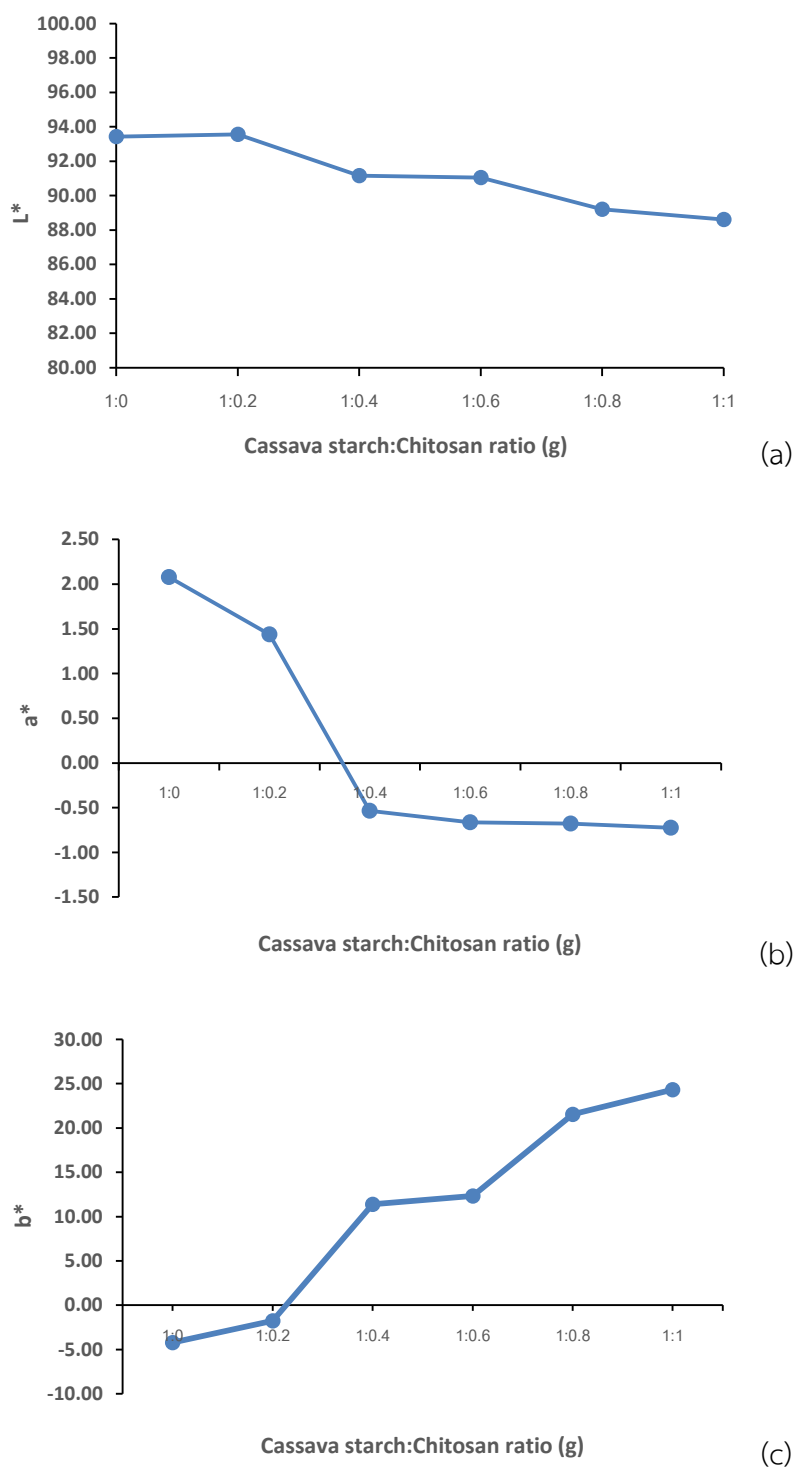


Figure 4 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on color score of cassava starch-chitosan blend films; (a) L*, (b) a* and (c) b*

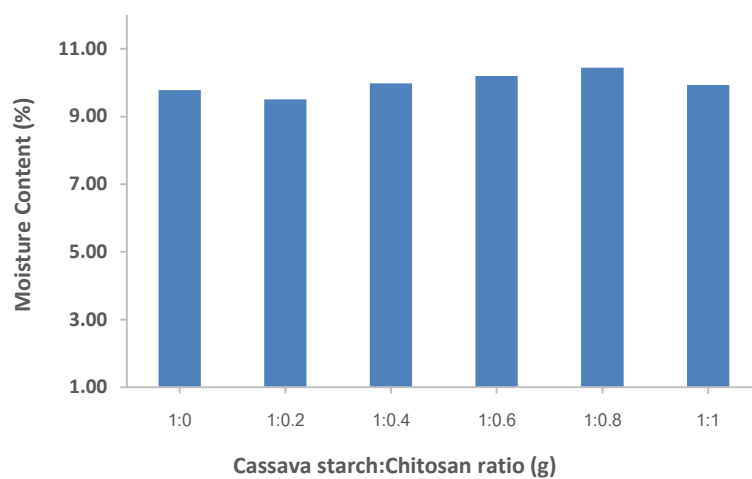


Figure 5 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on moisture content of cassava starch-chitosan blend films

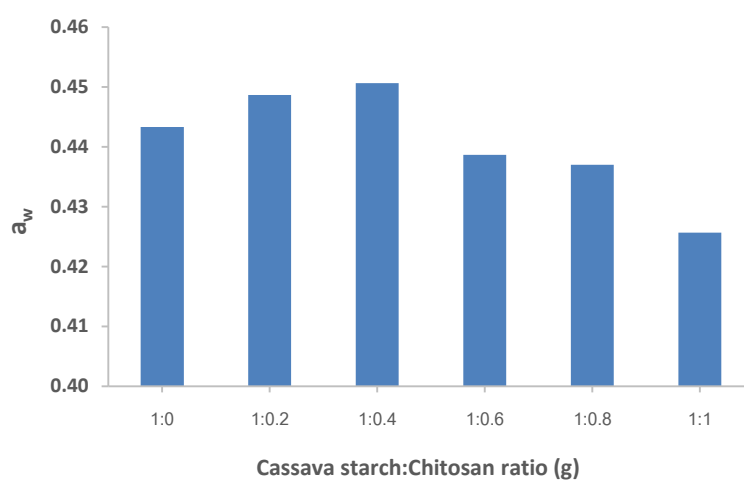


Figure 6 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on water activity (a_w) value of cassava starch-chitosan blend films

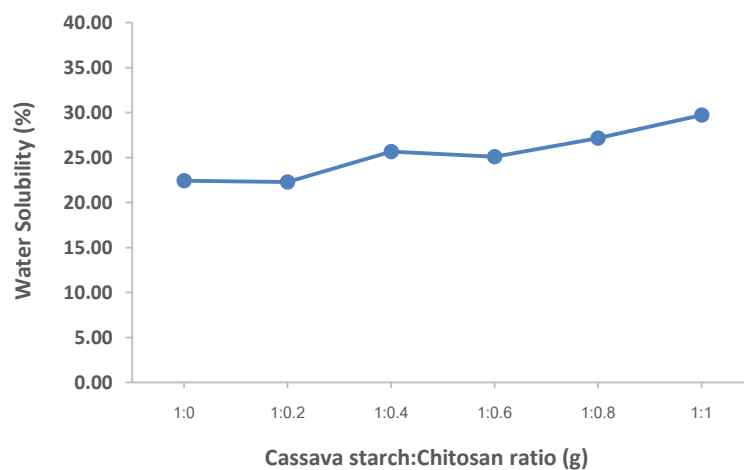


Figure 7 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on water solubility of cassava starch-chitosan blend films

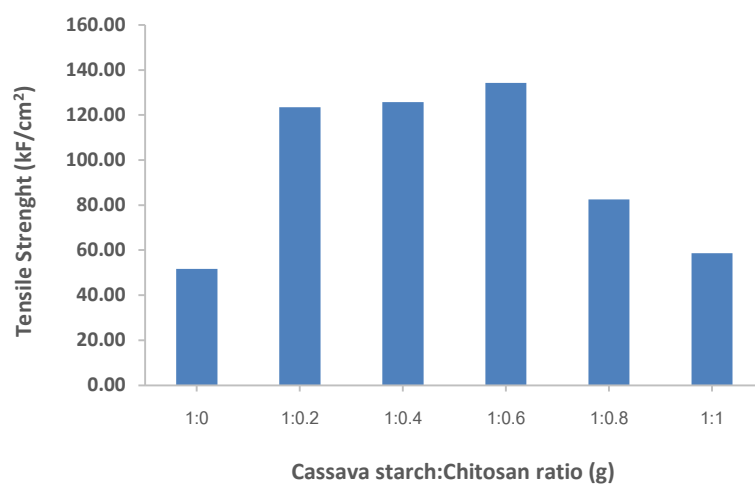


Figure 8 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on tensile strength of cassava starch-chitosan blend films

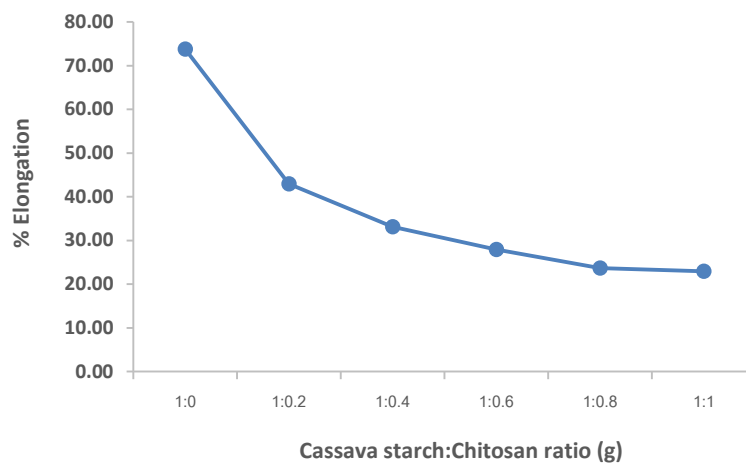


Figure 9 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on elongation of cassava starch-chitosan blend films

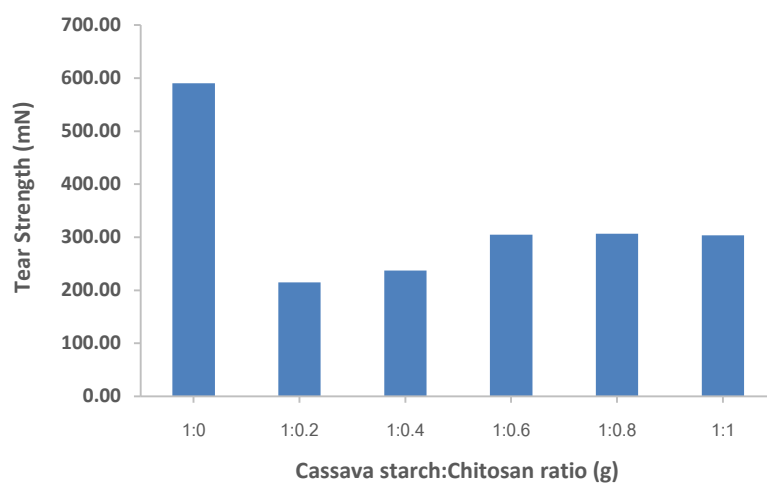


Figure 10 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on tear strength of cassava starch-chitosan blend films

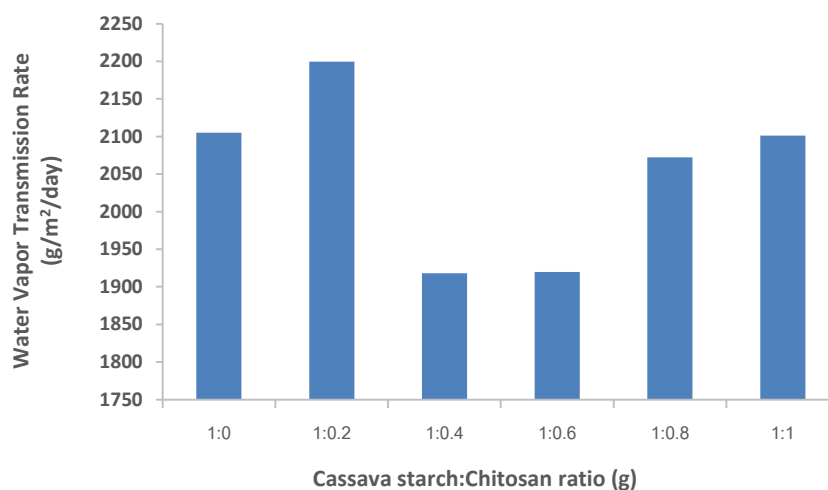


Figure 11 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on water vapor transmission rate (WVTR) of cassava starch-chitosan blend films

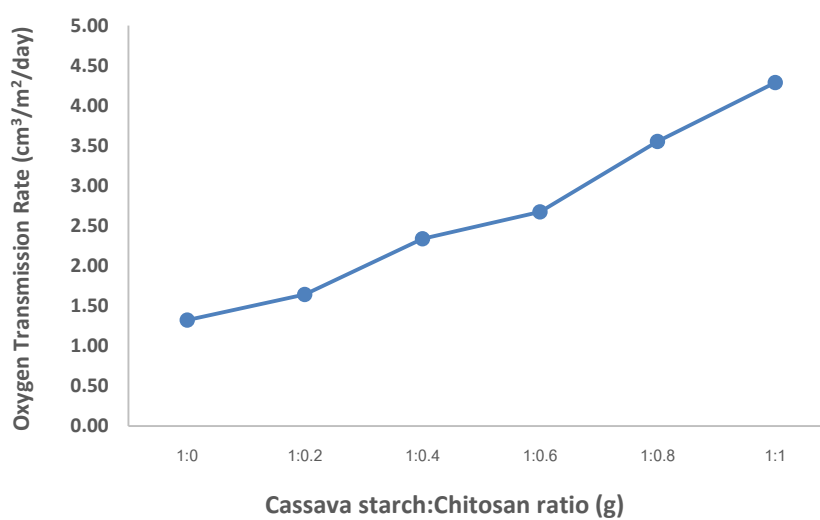


Figure 12 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on oxygen transmission rate (OTR) of cassava starch-chitosan blend films

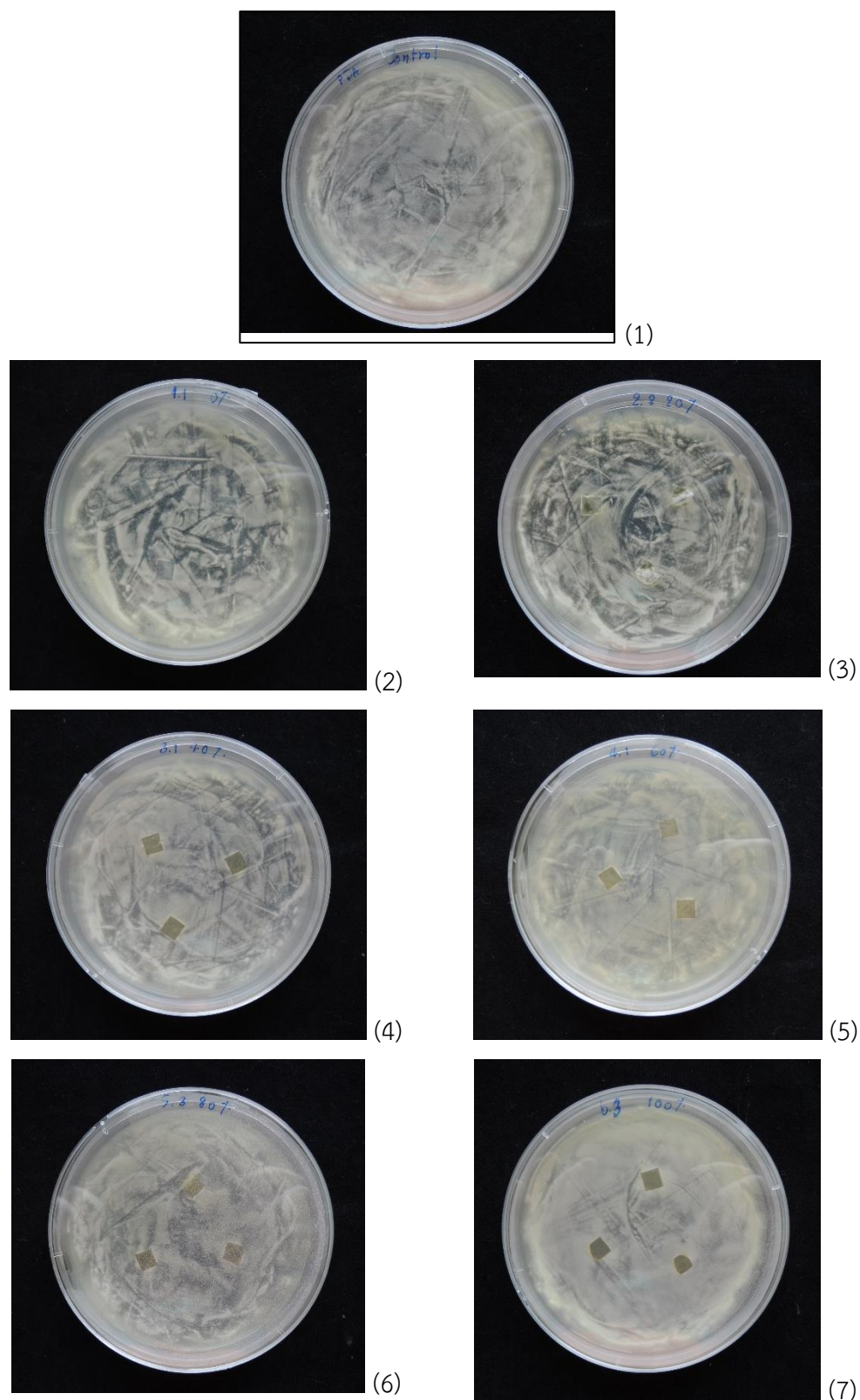


Figure 13 Efficiency of cassava starch-chitosan blend films to inhibit *Aspergillus flavus* A39 in the laboratory at various cassava starch:chitosan ratio (g); no.1-7 control(PDA) 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 respectively.