

การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

The Production of Bioplastics from Durian Husk

นางสาวศิริพร เต็งรัง นักกษัตริย์ ลอยเลิศ และนางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร

กลุ่มวิจัยและแปรรูปผลิตภัณฑ์ ลอจิสติกส์ และนางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร

บทคัดย่อ

การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าโดยประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ทำการทดลองที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2554-2555 เตรียมได้โดยสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ได้เซลลูโลส 21.51% ฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เพื่อกำจัดลิกนินออก จากนั้นนำผงเซลลูโลสไปสังเคราะห์พลาสติกชีวภาพหรือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ซีเอ็มซี) โดยทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะต่าง ได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.63% มีค่าองศาการแทนที่ 0.68 เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง มีต้นทุนการผลิต 23.12 บาท/กรัม เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยเติมสารเติมแต่ง 4 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอบิทอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าสารละลายทุกกรรมวิธีมีความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีความหนืดมากกว่าสารละลายซีเอ็มซีทางการค้า แผ่นฟิล์มที่ได้มีความหนา ค่าสี และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความหนาขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ซึ่งคุณสมบัติของฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 30% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุด ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10% มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด และฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยที่สุด โดยฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง มีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.15-17.6 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เมื่อทดลองนำมาบรรจุผงกาแฟพบว่าลักษณะปรากฏและคุณภาพของผงกาแฟในช่องฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาณ 20% มีค่าใกล้เคียงกับผงกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและในตู้เย็น แสดงว่าช่องฟิล์มจากเปลือกทุเรียนสามารถพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้

คำหลัก: เปลือกทุเรียน พลาสติกชีวภาพ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส บรรจุภัณฑ์ สารเติมแต่ง กาแฟ

คำนำ

ทุเรียนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการบริโภคสูงทั้งในรูปของผลสดและแปรรูป จึงมีเปลือกถูกทิ้งจำนวนมาก โดยเฉลี่ยและจรรยาพงศ์ (2552) ได้รายงานว่าการทำทุเรียนทอดโดยใช้ทุเรียนสด 1 ตัน มีเปลือกทิ้งสูงถึง 585.60 กิโลกรัม หรือ 58.60% ซึ่งถูกกองทิ้งเป็นขยะส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงได้มีการนำเปลือกทุเรียนมาเพิ่มมูลค่าโดยทำปุ๋ยพืชสด กระจาย ถ่าน และเนื่องจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสสูงถึง 30% จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมได้ (กฤษณา และคณะ, 2005)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl Cellulose, CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสในรูปของเกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็น “พอลิเมอร์ชีวภาพ” ชนิดที่มีประจุลบ มีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมหลายชนิด มีการนำเข้าไปเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ได้จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟาเซลลูโลสกับไฮดรอกไซด์ไอออนในสถานะต่าง ดัง Figure 1 เป็นของแข็งสีขาวถึงขาวครีม ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ละลายได้ในน้ำ ไม่ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายหนืดใส ไม่มีกลิ่น ความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อพีเอชลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของซีเอ็มซีขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่คาร์บอกซีเมทิลที่เข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลใน 1 หน่วยของกลูโคสบนสายโซ่เซลลูโลส หรือเรียกว่า ค่าองศาการแทนที่ (Degree of Substitution, DS) (Bono, A., *et al.*, 2009) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ชักฟอก สิ่งทอ สี กระจาย อาหารและยา นิยมใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ สารเพิ่มความหนืด สารยึดเกาะ(binder)และสารคงสภาพ

การผลิตซีเอ็มซีในต่างประเทศจะผลิตจากไม้ยืนต้น เช่น สนและยูคาลิปตัส เนื่องจากให้เชื้อเซลลูโลสที่มีคุณภาพสูงและสามารถควบคุมคุณภาพเยื่อได้ ประเทศไทยมีพืชและผลไม้อายุหลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดแยกเยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงและเตรียมซีเอ็มซีได้ ซึ่งกฤษณาและคณะ (2005) ได้เตรียมซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนโดยทำปฏิกิริยาของเยื่อแอลฟาเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนกับสารไฮดรอกไซด์ไอออนในสถานะต่าง พบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กมลพรและคณะ(2551) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเยื่อฟางข้าว ถิรนนท์และคณะ(2549) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกมะละกอ ปราณีและคณะ(2542) เตรียมซีเอ็มซีจากชานอ้อยโดยพบว่าความสามารถในการละลายน้ำและค่าองศาการแทนที่ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน โดยซีเอ็มซีที่เตรียมโดยใช้เยื่อ:กรดคลอโรอะซิติก 1:1 และ 1:1.25 มีคุณสมบัติส่วนใหญ่สูงกว่าซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การนำซีเอ็มซีมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จำเป็นต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้ฟิล์มซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมใช้แบ่งออกตามคุณสมบัติได้ดังนี้ สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ทางชีวภาพและลดต้นทุนการผลิต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต สารเติมแต่งเพื่อพัฒนาสมบัติทางกายภาพ เช่น สารอินทรีย์จำพวกพอลิเอทิลีน ไกลคอล และสารเติมแต่งเพื่อลดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เช่น กลีเซอรอล เป็นต้น ซึ่งนิลวรรณและคณะ(2551) ได้เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน

โดยใช้กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 1.2% โดยน้ำหนัก มีศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ณัฐฐ์ชวติและคณะ(2555) ได้เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเยื่อฟางข้าวโดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่ง พบว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 33.3% โดยน้ำหนัก มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนดีที่สุด

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) คือ พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จำแนกได้ 4 ประเภท ตามกลไกของการย่อยสลาย ดังนี้ พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พลาสติกย่อยสลายด้วยแสง และพลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ในปัจจุบันมีการใช้งานผลิตภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพอย่างกว้างขวาง เช่น สารเคลือบกระดาษ ฟิล์มคลุมดิน ถุงเพาะต้นกล้า/ใส่ของ เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออก สาเหตุจากการตื่นตัวรับภาวะโลกร้อน ซึ่งกลุ่มประเทศธุรกิจหลักๆ ได้ออกมาตรการทางกฎหมายและมาตรการด้านภาษีอย่างชัดเจน (แนวหน้า, 2552) สำหรับประเทศไทยคณะรัฐมนตรีได้เห็นชอบแผนที่นำทางแห่งชาติการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ เพื่อผลักดันให้เป็นอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต (new wave industry) ที่แข็งแกร่งทั้งระดับต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ มีความพร้อมที่จะเป็นผู้นำในภูมิภาค อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้วัตถุดิบชีวมวล (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2551)

งานวิจัยนี้จึงได้นำเปลือกทุเรียนมาสกัดเซลลูโลสและสังเคราะห์เป็นซีเอ็มซี เพื่อผลิตเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยเติมสารเติมแต่ง 4 ชนิดในปริมาณต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของฟิล์มให้สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ ทดสอบการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ และทดสอบการย่อยสลายได้ของฟิล์ม ซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มรายได้ให้เกษตรกร ลดปริมาณขยะ และตอบสนองต่อความต้องการใช้วัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากตลาดไท
2. เมล็ดกาแฟสดพันธุ์อะราบิกาชนิกแก้วกลาง
3. คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสชนิดความหนืดต่ำ (CMC, AR Grade, Calbiochem)
4. สารเคมี ได้แก่ เมทธานอล เอทานอล ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดอะซิติก กรดคลอโรแอซิติก กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต
5. สารเติมแต่ง ได้แก่ กลีเซอรอล ซอบิทอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต

6. เครื่องมือ ได้แก่ ตู้อบลมร้อน(KOTTERMANN 2736) เครื่องหั่นย่อยขนาดใบมีดตัดเบอร์ 3 (robot coupe รุ่น CL60 บริษัท C.L. FoodS) เครื่องบดขนาดของช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร (Armfield, Retsch Muhle) เครื่องปั่นเอนกประสงค์(MOULINEX รุ่น DP705G) เครื่องวัดสี (Konica Minolta Chroma meter, Model: CR-400) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง(pH Meter UB-10, Denver Instrument) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น(Daiichi, Model TH-303C) เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(Magnetic Multistirrer, SBSA-08 Series B) เครื่องวัดความหนา (Dial Thickness Gauge, MOORE& WEIRHT) เครื่องวัดความหนืด(Brookfield, Model:DV-III + Programmable Rheometer) เครื่องวัดดินระบบดิจิทัล(AMTAST, Model: AMST-300) เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบต่อเนื่อง(Data logger, CEM Model: DT170) เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนแบบมีอกด แผ่นกระจกสำหรับขึ้นรูป(ขนาด 30x30x0.5 เซนติเมตร)

วิธีการ

1. การเตรียมเซลล์ลูโลส(เอลฟาเซลลูโลส) จากเปลือกทุเรียน ดัดแปลงจากวิธีของนิลวรรณและคณะ(2551)

ทำความสะอาดเปลือกทุเรียนโดยล้างเอาเนื้อทุเรียนและคราบไขออกด้วยน้ำสะอาด หั่นเป็นแผ่นเล็กๆ ตามแนวขวางด้วยเครื่องหั่นย่อยโดยใช้ใบมีดตัดเบอร์ 3 จะได้เปลือกทุเรียนหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเชื้อแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง ปั่นเชื้อด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์จนเส้นใยบริเวณหนามของเปลือกทุเรียนแยกออกจากกัน บีบเอาน้ำออก ฟอกเชื้อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต ปริมาตร 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักตัวอย่าง ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ล้างเชื้อด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง บีบเอาน้ำออก อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด Armfield ขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร นำไปตรวจเซลล์ลูโลสโดยนำสารที่สกัดได้ไปย่อยด้วยกรดแล้วทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์ จากนั้นนำไปตั้งเคราะห์ซีเอ็มซี

2. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน ดัดแปลงจากวิธีของ Bono, A., et al. (2009) และนิลวรรณและคณะ (2551)

ซึ่งผงเซลล์ลูโลสจากเปลือกทุเรียน (จากข้อ 1) 15 กรัม เดิมโอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ ปริมาตร 350 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนต่อเป็นเวลา 30 นาที เติมกรดกลูโคโรซิติก 18 กรัม กวนต่ออีก 30 นาที จากนั้นปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55

□ °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที สารละลายจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือสารละลายใสอยู่ส่วนบนและของแข็งอยู่ส่วนล่าง รินสารละลายใสส่วนบนทิ้ง แล้วเติมสารละลายเมทานอลเข้มข้น 70% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 90% ทิ้งไว้ 10 นาที กรองเก็บส่วนที่เป็นของแข็ง ล้างด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้น 70% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยแช่ทิ้งไว้ 10 นาที ทำซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กรองเก็บส่วนที่เป็นของแข็งแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C ให้แห้งสนิทจนความชื้นคงที่ นำไปตรวจซีเอ็มซีโดยทดสอบการเกิดฟองและการตกตะกอนด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (FAO JECFA Monographs 11, 2011) จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติของซีเอ็มซีที่ได้ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น ความบริสุทธิ์ และองค์การแทนที่ ตามมาตรฐาน ASTM D1439 – 03 (2004)

3. คำนวณต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีที่ได้

คำนวณต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนที่ได้เปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้า

4. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (ฟิล์มซีเอ็มซี) ตัดแปลงจากวิธีของนิลวรรณ และคณะ (2551) และวรรณมนและคณะ (2449) และทดสอบคุณสมบัติ

นำผงซีเอ็มซี 9 กรัม เติมน้ำเติมแต่งตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 3 ซ้ำ 17 กรรมวิธี ดังนี้ แปรชนิดสารเติมแต่งเป็น 4 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอบิทอล พอลิเอทิลีน ไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต และแปรปริมาณของสารเติมแต่งแต่ละชนิดเป็น 0, 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนักซีเอ็มซี เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 °C กวนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า วัดค่าความหนืดของสารละลายด้วยเครื่องวัดความหนืดใช้เข็มเบอร์ LV02 ความเร็วรอบ 30 rpm จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นกระจก อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 □ °C จนแห้ง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ ดังนี้ ค่าสี ความหนา เปรอร์เซ็นต์การละลายน้ำ (Tongdeesontorn, W., et al., 2011 และ Su, J., et al., 2010) ความต้านทานแรงดึงขาดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวตามมาตรฐาน ASTM D882-10 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Gouhua, Z., et. Al., 2006 และ Rudnik, E. and Briassoulis, D., 2001)

5. ศึกษาสภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

พิจารณาผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มซีเอ็มซี จากนั้นนำไปบรรจุผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยเตรียมซองซีเอ็มซี ขนาด 2X3 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 6 ซอง แบ่งเป็น 2 ชุด บรรจุผลิตภัณฑ์ซองละ 2 กรัม และปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชุด และตู้เย็น 1 ชุด บันทึกอุณหภูมิและความชื้นตลอดการเก็บรักษา จากนั้นทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าสี และความชื้น

ระยะเวลาดำเนินการ: ตุลาคม 2553 – กันยายน 2555

สถานที่ดำเนินการ: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเตรียมเซลลูโลส (เอลฟาเซลลูโลส) จากเปลือกทุเรียน

เปลือกทุเรียนประกอบด้วยเซลลูโลสหรือแอลฟาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก การต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสซึ่งละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก เหลือส่วนของเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งในการเตรียมได้ดัดแปลงวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.625 โมลาร์ เป็น 1 โมลาร์ และต้มโดยใช้เตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80-90 °C แทนการใช้หม้อต้มอัดความดันที่อุณหภูมิ 100 °C และลดเวลาในการต้มลงจาก 10 ชั่วโมง เป็น 1 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิในการฟอกจาก 70-80 °C เป็น 80-90 °C และลดเวลาในการฟอกลงจาก 3 ชั่วโมง เป็น 20 นาที ซึ่งช่วยลดเวลาและพลังงาน ได้เซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นใยสีน้ำตาล (Figure 2 (a)) ปริมาณ 21.51% ของน้ำหนักเปลือกแห้ง มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 45.13 โดยสีน้ำตาลเป็นสีของลิกนินซึ่งกำจัดออกโดยการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 30% ทำให้เซลลูโลสขาวขึ้น (Figure 2 (b)) เหลือน้ำหนัก 84.80% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า L^* เท่ากับ 91.54 เมื่อนำมาย่อยด้วยกรดและทดสอบด้วยสารละลายเบนดิกต์พบว่าเกิดตะกอนสีแดงอิฐ แสดงว่าสิ่งที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน คือ เซลลูโลส เนื่องจากเมื่อนำมาย่อยด้วยกรดจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส ซึ่งทำปฏิกิริยากับสารละลายเบนดิกต์ได้ตะกอนสีแดงอิฐ

2. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน

ซีเอ็มซีมีลักษณะเป็นของแข็ง ได้จากการทำปฏิกิริยาของเอลฟาเซลลูโลสกับอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ในสภาวะต่าง (Figure 1) ซึ่งในการสังเคราะห์ได้ปรับเวลาและวิธีในการทำปฏิกิริยาจาก 3 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบตามวิธีนิลวรรณและคณะ(2551) และทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ให้ความร้อนโดยแช่ในอ่างน้ำร้อนพร้อมเขย่าโดยวิธีของ Bono, A., *et al.*(2009) ไปเป็นใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบ ซึ่งเป็นการลดเวลาและพลังงาน ผลที่ได้พบว่าได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักผงเซลลูโลสดั้งเดิม เนื่องจากการสังเคราะห์เป็นปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนในสายโซ่เซลลูโลสด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น น้ำหนักซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ได้จึงเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักผงเซลลูโลสดั้งเดิม มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลืองอ่อน (Figure 3) ไม่เกิดฟองเมื่อเขย่ากับน้ำ และเกิดตะกอนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (FOA JECFA Monographs 11, 2011) มีความบริสุทธิ์ 95.63% มีความชื้น 13.59% มีค่าความสว่าง (L^*) 85.82 ค่าสีแดงหรือสีเขียว (a^*) -0.67 และค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b^*) 18.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเอ็มซีทางการค้า ($p < 0.05$) มีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง มีความสามารถในการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล(DS) เท่ากับ 0.682 แสดงว่าซีเอ็มซีละลายน้ำได้ดี เนื่องจากค่า DS เป็น

ค่าที่บอกถึงความสามารถในการละลายน้ำ หากมีค่ามากกว่า 0.4 จะละลายน้ำได้ดี สอดคล้องกับการทดลองของ Bono, A., et al.(2009) ที่เตรียมซีเอ็มซีจากกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม มีค่า DS เท่ากับ 0.67 สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Hoefler, A. C.)

3. คำนวนต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีที่ได้

ต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 23.12 บาท/กรัม แยกเป็นต้นทุนในการสกัดเซลลูโลส 1.19 บาท/กรัม ต้นทุนในการฟอกเซลลูโลส 6.27 บาท/กรัม และต้นทุนในการสังเคราะห์ 24.48 บาท/กรัมเซลลูโลส รวมเป็น 31.94 บาท/กรัมเซลลูโลส แต่เนื่องจากสังเคราะห์ได้ซีเอ็มซี 138.12% ของเซลลูโลสตั้งต้น จึงทำให้ต้นทุนในการสังเคราะห์ เท่ากับ 23.12 บาท/กรัม ซึ่งล้วนแต่เป็นต้นทุนของสารเคมี เมื่อเปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ (19 บาท/กรัม) พบว่ายังมีราคาสูงกว่า 4.12 บาท/กรัม แต่ซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

4. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (ฟิล์มซีเอ็มซี) และการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มซีเอ็มซีมีลักษณะกรอบและแข็ง ต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และอ่อนนุ่มขึ้น ซึ่งในการเตรียมได้ปรับความเข้มข้นของสารละลายซีเอ็มซีจาก 5.6% โดยนิลวรรณ และคณะ(2551) เป็น 3% พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และปรับปริมาณสารเติมแต่งจาก 1.2% เป็น 10-40% โดยน้ำหนัก ซึ่งครอบคลุมปริมาณที่นักวิจัยและคณะ(2555) ใช้ (8.88-33.33%) พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่าวิธีของนิลวรรณและคณะ(2551) โดยสารเติมแต่งที่ใช้ คือ กลีเซอรอล ซอพิทอล พอลิเอทิลีน ไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งมีผลทำให้ฟิล์มมีลักษณะปรากฏและคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1 สาเหตุจากน้ำหนักโมเลกุล โครงสร้าง และความหนืดของสารเติมแต่งที่ต่างกัน โดยพบว่าความหนืดของสารละลายซีเอ็มซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้น (Figure 4) เช่นเดียวกับความหนาของฟิล์ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากพื้นที่ในการเตรียมฟิล์มเท่าเดิมแต่ความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นความหนาจึงเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างของฟิล์มลดลงอาจเนื่องจากส่วนของสารเติมแต่งที่กระจายตัวในแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำที่ลดลงอาจเนื่องจากมีส่วนของสารเติมแต่งที่ไม่ละลายและเซลลูโลสที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ซึ่งการเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล 30% ทำให้สารละลายมีความหนืดสูงสุด เท่ากับ 440.9 cPs เพราะพอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นของเหลวหนืดมีน้ำหนักโมเลกุลสูงสุด ทำให้ฟิล์มหนาถึง 0.22 มิลลิเมตร

ฟิล์มทุกตัวอย่างมีสีน้ำตาลอ่อน ขุ่น โปร่งแสง อ่อนตัว และละลายน้ำได้ดีใกล้เคียงกัน ยกเว้นฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นของแข็งสีขาว ไม่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติเพิ่มความแข็งแรงให้พลาสติก ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตแขวนลอยในสารละลาย เมื่อนำมาขึ้นรูปจึงกระจายตัวอยู่บนฟิล์ม ฟิล์มจึงมีสีขาวขุ่นทึบแสง มีค่า L^* อยู่ในช่วง 86.99-88.11 ซึ่งน้อยที่สุด

มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำต่ำสุด เท่ากับ 55.91% (ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40%) เกิดจากแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งไม่ละลายน้ำหลงเหลืออยู่หลังการทดสอบ (Table 1) เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่งกับฟิล์มซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำ พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีที่เตรียมได้มีคุณสมบัติโดยรวมต่ำกว่า ยกเว้นความหนืดที่สูงกว่า ดังแสดงใน Table 1 อาจเนื่องมาจาก ซีเอ็มซีที่เตรียมได้มีเปอร์เซ็นต์การแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิเมทิลและความบริสุทธิ์น้อยกว่า

เมื่อนำฟิล์มมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่าความต้านทานแรงดึงขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเติมแต่งชนิดกลีเซอรอล ซอบิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซี ทำให้แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีลดลง ความแข็งแรงจึงลดลง และส่งผลให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลมีผลทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นสูงสุด เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดจึงสามารถกระจายและแทรกตัวในโมเลกุลซีเอ็มซีได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับรายงานของนิลวรรณและคณะ(2551) และพรชัยและคณะ (2550) ส่วนฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีความแข็งแรงสูงสุด เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่งประเภทช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้พลาสติก แต่การเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตไม่ได้ทำให้ฟิล์มแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากการเข้าไปแทรกตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในโมเลกุลของซีเอ็มซีมากขึ้นทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์มมากขึ้น (สมใจและณัฐวรราช, 2552) ความแข็งแรงจึงลดลงและยืดหยุ่นได้ไม่ดี เปอร์เซ็นต์การยืดตัวจึงน้อยที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 5 และ Table 1

ฟิล์มมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) เพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อปริมาณสารเติมแต่งชนิดกลีเซอรอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น ดัง Figure 6 และ Table 1 เนื่องจากซีเอ็มซีมีโครงสร้างเป็นอสังฐานมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล สารเติมแต่งจะเข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างทำให้ขนาดของช่องว่างเพิ่มขึ้น(ณัฐวดีและคณะ, 2555) ก๊าซจึงผ่านเข้าออกได้ดีขึ้น โดยฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40% มีค่า OTR สูงที่สุด เท่ากับ 17.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน สอดคล้องกับรายงานของสมใจและณัฐวรราช (2552) ที่ว่าการเพิ่มสัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลทำให้ค่า OTR ของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ อนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต นอกเหนือจากการเพิ่มขนาดช่องว่างในโครงสร้างซีเอ็มซี จึงทำให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ดีกว่าการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ ส่วนฟิล์มที่เติมซอบิทอลมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากซอบิทอลประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลถึง 6 หน่วย จึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ ซีเอ็มซี ทำให้โครงสร้างของซีเอ็มซีแน่นขึ้น ช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลงก๊าซจึงผ่านเข้าออกได้น้อยลง ซึ่งค่า OTR ของฟิล์มที่ไม่เติมสารเติมแต่ง ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล ซอบิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล ทุกความเข้มข้น อยู่ในช่วง 1.15–2.17 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ส่วนฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่า OTR อยู่ในช่วง 2.45-17.16 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ พบว่าอยู่ในช่วงที่

สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ เช่น กาแฟ ขนมขบเคี้ยว สมุนไพรและเครื่องเทศ นมผงและโก้โก้ (STORAENSO)

เมื่อนำฟิล์มซีเอ็มซีมาทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ พบว่าไม่มีฟิล์มเหลืออยู่ในดินจุดที่ฝังกลบดัง Figure 7 แสดงว่าฟิล์มทุกตัวสามารถย่อยสลายได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยการฝังกลบในดินสำหรับปลูกต้นไม้ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีความชื้นในดินมากกว่า 30% อุณหภูมิ 29 ± 1 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 5 ± 1 และมีความเข้มแสงในช่วง 10,000 – 25,000 ลักซ์ สาเหตุที่ย่อยสลายได้เร็วเนื่องจากฟิล์มซีเอ็มซีเป็นพลาสติกที่ละลายน้ำได้ เมื่อฝังในดินที่มีความชื้นสูงจึงเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยมีอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

5. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

จากค่า OTR ของฟิล์มซีเอ็มซีพบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ จึงนำมาทดสอบบรรจุผงกาแฟสดเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ซองอะลูมิเนียมฟอล์ย (A1) เนื่องจากอะลูมิเนียมฟอล์ยมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดี (Kiyoi, 2010) ซึ่งลักษณะปรากฏของผงกาแฟในซองฟิล์มซีเอ็มซี แสดงดัง Figure 8 โดยซองฟิล์มซีเอ็มซีทุกตัวอย่างปิดผนึกได้ดีด้วยความร้อนแตกต่างกับรายงานของนิลวรรณและคณะ (2551) ที่รายงานว่าไม่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ทั้งนี้แม้ซองฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลจะปิดผนึกได้ยากแต่สามารถปิดผนึกได้โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วย

คุณภาพของผงกาแฟหลังการบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $25 \pm 1\%$) และเก็บในตู้เย็น (5 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 1\%$) เป็นเวลา 1 เดือน แสดงดังใน Table 2 พบว่า ปริมาณความชื้นและค่าสีของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีและซองอะลูมิเนียมฟอล์ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผงกาแฟที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 4.26-4.98% สูงกว่าการเก็บในตู้เย็นซึ่งมีความชื้นในช่วง 0.89-2.48% สาเหตุเนื่องจากฟิล์มซีเอ็มซีมีความว่องไวต่อความชื้น (นิลวรรณและคณะ, 2551) เมื่อเก็บในสภาวะที่มีความชื้นสูงจึงอาจส่งผลให้ผงกาแฟมีความชื้นสูงขึ้น แต่ค่าสีของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่า L^* เฉลี่ย 39.20 ไม่แตกต่างกับสีผงกาแฟที่เก็บในตู้เย็นซึ่งมีค่า L^* เฉลี่ย 39.49

คุณภาพของผงกาแฟในซองบรรจุเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความชื้นของกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอล์ยเท่ากับ 2.07% ซึ่งน้อยที่สุด รองลงมาคือ ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10% เท่ากับ 4.26% และซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 20% เท่ากับ 4.26% ตามลำดับ โดยผงกาแฟมีความชื้นสูงที่สุดเมื่อบรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอล 10% เท่ากับ 4.98% เนื่องจากกลีเซอรอลดูดความชื้นได้ดี และเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นความชื้นของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบีทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ต่างกับที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอลและแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีแนวโน้มลดลง ค่า L^* ของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซี

เติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 30% เท่ากับ 39.57 ไม่แตกต่างกับที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอล 30% และซองอะลูมิเนียมฟอยล์ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 39.66 นั่นคือสีของผงกาแฟยังคงเข้มอยู่ (Table 2)

คุณภาพของผงกาแฟในซองบรรจุเก็บในตู้เย็น พบว่าซองฟิล์มที่ทำให้ความชื้นของผงกาแฟน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ซองซีเอ็มซีเติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 20% เท่ากับ 0.89% พอลิเอทธิลีนไกลคอล 40% เท่ากับ 1.09% และพอลิเอทธิลีนไกลคอล 30% เท่ากับ 1.14% ตามลำดับ และฟิล์มที่ทำให้ความชื้นของผงกาแฟสูงที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ซองฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่ง เท่ากับ 2.48 ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบิทอล 40% เท่ากับ 2.20 และซองอะลูมิเนียมฟอยล์เท่ากับ 2.10 โดยเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นความชื้นของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอล ซอบิทอล และแคลเซียมคาร์บอเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทธิลีนไกลคอลมีแนวโน้มลดลง ค่า L^* ของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีมีค่ามากกว่า 39 ซึ่งสูงกว่าค่า L^* ของผงกาแฟในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เท่ากับ 38.88 และใกล้เคียงกับค่า L^* ของผงกาแฟที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนได้ตัดแปลงวิธีของนิลวรรณและคณะ(2551) โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.625 โมลาร์ เป็น 1 โมลาร์ ต้มโดยใช้เตาไฟฟ้าแทนหม้อต้มอัดความดัน และลดเวลาในการต้มจาก 10 ชั่วโมง เป็น 1 ชั่วโมง สามารถเตรียมเซลล์โลสได้ 21.51% ของน้ำหนักเปลือกทุเรียนแห้ง และฟอกเซลล์โลสโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เพิ่มอุณหภูมิในการฟอกจาก 70-80 °C เป็น 80-90 °C และลดเวลาในการฟอกจาก 3 ชั่วโมง เป็น 20 นาที ได้เซลล์โลสหลังฟอก 84.80% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว ซึ่งการปรับวิธีการทดลองช่วยลดเวลาและการใช้พลังงาน

2. การสังเคราะห์เตรียมคาร์บอซีเมทิลเซลล์โลส ได้จากการนำเซลล์โลสจากเปลือกทุเรียนมาทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรซิดิกในสภาวะต่าง ซึ่งได้ปรับเวลาและวิธีการในการทำปฏิกิริยาจาก 3 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบโดยนิลวรรณและคณะ(2551) และทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ให้ความร้อนโดยแช่ในอ่างน้ำร้อนพร้อมเขย่าโดยวิธีของ Bono, A., *et al.*(2009) ไปเป็นใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบ ซึ่งช่วยลดเวลาและพลังงาน พบว่าได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลล์โลสดั้งเดิม เป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.63 ความชื้น 13.59% และม็องศาการแทนที่ (DS) เท่ากับ 0.682 เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง

3. ต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 23.12 บาท/กรัม พบว่าสูงกว่าซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ (19 บาท/กรัม) อยู่ 4.12 บาท/กรัม แต่ยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

4. การเตรียมฟิล์มซีเอ็มซี โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายจาก 5.6% (นิลวรรณและคณะ, 2551) เป็น 3% พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และใช้สารเติมแต่งปริมาณ 10-40% โดยน้ำหนัก ครอบคลุมปริมาณที่ฉัตรชวดีและคณะ(2555) ใช้ (8.88-33.33 %) พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าวิธีของนิลวรรณและคณะ(2551) ที่ใช้สารเติมแต่งเพียง 1.2% โดยฟิล์มที่เตรียมได้มีสีน้ำตาลอ่อน ขุ่น โปร่งแสง ยกเว้นฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีสีขาวอมน้ำตาล ทึบแสง มีความอ่อนตัว โดยฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 30% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดเหมาะในการพัฒนาเป็นฟิล์มยืด ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10% มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด และเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงสุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยที่สุด เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง ฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง

5. ฟิล์มซีเอ็มซีมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.15-17.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน และสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และโดยฟิล์มที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 20% มีศักยภาพดีที่สุดในการบรรจุผงกาแฟ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำไปเผยแพร่และพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหาร กาว และกระดาษ เป็นต้น และสามารถนำไปเผยแพร่และพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง เช่น ขนมขบเคี้ยว กาแฟ และผงโกโก้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

กฤษณา ศิริเลิศมุกด, ศรีไฉล ขุนทน, ฉัตรภรณ์ สุวรรณโณ และสุนันท์ พงษ์สามารถ. 2005. การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน. 3 หน้า. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. 18-20 October 2005.

ฉัตรชวดี จินาพันธ์, เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทนต์สุภา และสฐพัศ คำไทย. 2555. คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน. ว.วิทย์. กษ. 43:3 (พิเศษ): 616-620.

นิลวรรณ คงถาวร, บุญยรัตน์ พิพัฒน์ศิริขจร, ปิยะพร เขมะโรจน์ และกฤติกา ต้นประเสริฐ. 2551. ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์. 9 หน้า. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

http://www.irpus.or.th/project_file/2551/I351A05018_Complete.pdf. สืบค้น 6 สิงหาคม 2552.

พรชัย ราชชนะพันธ์ุ, สุพัฒน์ คำไทย, นริวิชญ์ ยาภิ และรัชชิตา อุทัยศ. 2550. การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. หน้า 790-799. ใน : เรื่องเต็ม

- การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ.
- ลือพงษ์ ลือนาม และจรรยา เทียมประทีป. 2552. การศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเตรียมเนื้อทุเรียนสำหรับการทอดกรอบ. วารสารวิจัย ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2552. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 36-40.
- สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2553. แผนที่นำทางแห่งชาติการพัฒนาพลาสติกชีวภาพ ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2554-2558). กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 60 หน้า.
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 31 หน้า.
- สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และณัฐวรรธ ชนประดิษฐ์กุล. 2552. ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและอัตราการใช้ฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์ม โพลีเอทิลีน. 1 หน้า. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:
http://ora.kku.ac.th/RES_KKU/ATTACHMENTS_RESPROJECT_ABSTRACT/4201.pdf
สืบค้น 30 กรกฎาคม 2552.
- ASTM, (2004). Standard Test Methods for Sodium Carboxymethylcellulose (D 1439 – 03). Annual book of ASTM standards. Vol 06.03. Paint. American Society of Testing and Materials. 9 p.
- Bono, A., Ying, P.H., Yan, F.Y., Muei, C.L., Sarbatly, R. and Krishnaiah, D. 2009. Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose From Palm Kernel Cake. Advances in Natural and Applied Sciences, 3(1): 5-11.
- FAO JECFA Monographs. 11. 2011. COMPENDIUM OF FOOD ADDITIVE SPECIFICATIONS. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 74th Meeting 2001. P. 115-119.
- Gouhua, Z., Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqionng, Z. and Zongdao, C. 2006. Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly(vinyl alcohol) blend film. Polymer Degradation and Stability. Vol 91. p. 703-711.
- Hoefler, A. C. Sodium Carboxymethyl Cellulose Chemistry, Functionality, and Applications. 15 p. (Online). Available: [http:// www.herc.com/foodgums/index.htm](http://www.herc.com/foodgums/index.htm). 17 February 2009.
- Kiyoi, L. 2010. Determining the Optimal Material for Coffee Packaging Oxygen Transmission Rates and Ink Abrasion Resistance. A Senior Project Presented to The Faculty of the Graphic Communication Department California Polytechnic State University, San Luis Obispo. 21 p.

Rudnik, E. and Briassoulis, D. 2011. Degradation behavior of poly(lactic acid) films and fibers in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products*. Vol 33. p. 648-658.

STORAENSO. Different dry foods WVTR* and O2TR* demands for packaging materials. 3 p.

(Online). Available: [http:// 81.209.16.114/Aineistopankki/PDF/Dry%20Foods/different4.pdf](http://81.209.16.114/Aineistopankki/PDF/Dry%20Foods/different4.pdf).

17 February 2012.

ภาคผนวก

Table 1 Effect of additive types and concentrations on properties of CMC films.

CMC films	Viscosity (cPs)*	Thickness (mm.)	Color Score			% Solubility	Tensile Strength (kF/cm ²)	% Elongation	Oxygen transmission rate (OTR) (cm ³ /m ² /day)
			L*	a*	b*				
CMC	61.2 ^c	0.13 ^h	110.22 ^a	1.32 ^a	-2.99 ^d	98.91 ^a	581	4.31	1.34
Commercial									
0% additive	429.9 ^{ab}	0.17 ^g	87.80 ^{bcde}	-0.79 ^{fg}	6.72 ^c	78.58 ^{cde}	243	15.90	1.18
10% Gly	383.0 ^b	0.19 ^{def}	88.34 ^b	-0.56 ^{cdef}	4.34 ^c	85.23 ^b	166	29.60	1.25
20% Gly	396.0 ^b	0.18 ^{fg}	88.32 ^{ab}	-0.57 ^{cdef}	4.23 ^c	84.44 ^b	134	41.10	1.35
30% Gly	394.0 ^b	0.19 ^{def}	88.21 ^{bc}	-0.63 ^{cdef}	4.57 ^c	81.30 ^{bcde}	157	50.20	1.34
40% Gly	420.0 ^{ab}	0.21 ^{bc}	88.26 ^b	-0.65 ^{def}	4.58 ^c	82.23 ^{bcd}	118	46.00	1.40
10% Sor	402.2 ^b	0.19 ^{def}	88.38 ^b	-0.22 ^{bc}	3.72 ^c	85.01 ^b	257	9.78	2.17
20% Sor	407.2 ^b	0.19 ^{def}	88.39 ^b	-0.29 ^{bcde}	3.62 ^c	84.33 ^b	250	10.10	1.52
30% Sor	434.9 ^{ab}	0.20 ^{de}	88.20 ^{bc}	-0.26 ^{bcd}	3.67 ^c	81.80 ^{bcd}	188	9.54	1.17
40% Sor	436.6 ^a	0.21 ^{ab}	86.87 ^c	-0.08 ^b	2.98 ^c	83.03 ^{bc}	166	6.49	1.15
10% PEG	413.0 ^{ab}	0.19 ^{def}	88.16 ^{bc}	-0.32 ^{bcde}	3.90 ^c	83.68 ^b	279	10.20	1.22
20% PEG	423.3 ^{ab}	0.20 ^{de}	88.14 ^{bc}	-0.46 ^{bcde}	4.52 ^c	83.73 ^b	210	11.20	1.33
30% PEG	440.9 ^{ab}	0.21 ^{ab}	87.96 ^{bcd}	-0.69 ^{efg}	5.88 ^c	83.74 ^b	172	18.00	1.46
40% PEG	425.9 ^{ab}	0.22 ^a	87.88 ^{bcd}	-0.70 ^{efg}	6.23 ^c	84.46 ^b	145	24.00	1.79
10% CaCO ₃	386.2 ^b	0.19 ^{def}	86.99 ^{de}	-1.07 ^g	11.47 ^b	77.66 ^{de}	322	3.47	2.45
20% CaCO ₃	415.9 ^{ab}	0.18 ^{fg}	87.21 ^{cde}	-1.62 ^h	14.27 ^{ab}	76.73 ^e	271	3.09	3.52
30% CaCO ₃	415.2 ^{ab}	0.20 ^{cd}	87.75 ^{bcde}	-1.84 ^h	15.17 ^a	64.19 ^f	222	3.16	8.01
40% CaCO ₃	418.5 ^{ab}	0.21 ^{ab}	88.11 ^{bc}	-1.98 ^h	15.77 ^a	55.91 ^g	171	2.42	17.6

where: Gly = Glycerol, Sor = Sorbital, PEG = Polyethylene glycol and CaCO₃ = Calcium carbonate

* Brookfield; Spindle No. LV02, Spindle speed 30 rpm, T 25±1 °C

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

Table 2 The quality of coffee in CMC packaging.

CMC packaging	Quality of coffee							
	Store at room temperature				Stored at refrigerator			
	% Humidity	Color score			% Humidity	Color score		
		L*	a*	b*		L*	a*	b*
Al-Foil	2.07 ^p	39.66 ^a	9.39 ^g	3.62 ^b	2.10 ^c	38.88 ⁱ	9.02 ⁱ	2.80 ⁱ
0% additive	4.89 ^d	39.28 ^{cdef}	9.33 ^h	3.27 ^f	2.48 ^a	39.26 ^d	8.99 ⁱ	2.95 ^{gh}
10% Gly	4.98 ^a	39.25 ^{defg}	9.71 ^b	3.53 ^{cd}	1.17 ^k	39.12 ^{ef}	9.24 ^e	3.21 ^{de}
20% Gly	4.61 ^g	39.11 ^{efgh}	9.40 ^g	3.11 ^g	1.55 ^h	39.26 ^d	9.23 ^{de}	3.20 ^{de}
30% Gly	4.61 ^g	39.52 ^{abc}	9.67 ^c	3.60 ^b	1.47 ⁱ	39.11 ^f	9.22 ^{de}	3.06 ^{fg}
40% Gly	4.60 ^h	38.96 ^h	9.27 ^j	2.90 ⁱ	2.05 ^c	38.97 ^h	9.15 ^f	2.95 ^h
10% Sor	4.38 ^m	39.06 ^{fgh}	9.33 ^h	3.08 ^h	1.46 ⁱ	39.73 ^a	9.11 ^g	3.34 ^c
20% Sor	4.42 ^j	39.40 ^{bcd}	9.33 ^h	3.27 ^f	1.16 ^{kl}	39.19 ^{de}	9.32 ^c	3.19 ^{de}
30% Sor	4.69 ^f	39.37 ^{bcd}	9.53 ^f	3.45 ^c	2.08 ^d	39.64 ^b	9.46 ^a	3.65 ^a
40% Sor	4.37 ⁿ	38.99 ^{gh}	9.30 ⁱ	2.95 ⁱ	2.20 ^b	39.11 ^f	9.33 ^{bc}	3.00 ^{fgh}
10% PEG	4.26 ^o	39.25 ^{defg}	9.77 ^a	3.76 ^a	1.32 ^j	39.36 ^c	9.24 ^d	3.06 ^f
20% PEG	4.26 ^o	39.25 ^{defg}	9.77 ^a	3.76 ^a	0.89 ⁿ	38.99 ^h	9.10 ^{gh}	2.87 ⁱ
30% PEG	4.39 ^o	39.57 ^{ab}	9.20 ^k	2.81 ^j	1.14 ^l	39.08 ^f	9.24 ^d	3.15 ^e
40% PEG	4.41 ^k	39.42 ^{abcd}	9.56 ^{de}	3.56 ^{bc}	1.09 ^m	39.65 ^b	9.21 ^{de}	3.42 ^b
10%CaCO ₃	4.94 ^c	38.97 ^h	9.55 ^e	3.07 ^h	1.18 ^k	38.86 ⁱ	9.21 ^e	2.84 ⁱ
20%CaCO ₃	4.95 ^b	38.20 ⁱ	9.40 ^g	3.27 ^f	1.85 ^f	39.10 ^f	9.37 ^b	3.25 ^d
30%CaCO ₃	4.50 ⁱ	39.33 ^{bcd}	9.59 ^d	3.46 ^e	1.75 ^g	39.26 ^d	9.43 ^a	3.24 ^d
40%CaCO ₃	4.74 ^c	39.50 ^{abcd}	9.41 ^g	3.51 ^{de}	1.86 ^f	39.00 ^{gh}	9.08 ^h	2.72 ^j

where: Gly = Glycerol, Sor = Sorbital, PEG = Polyethylene glycol and CaCO₃ = Calcium carbonate

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

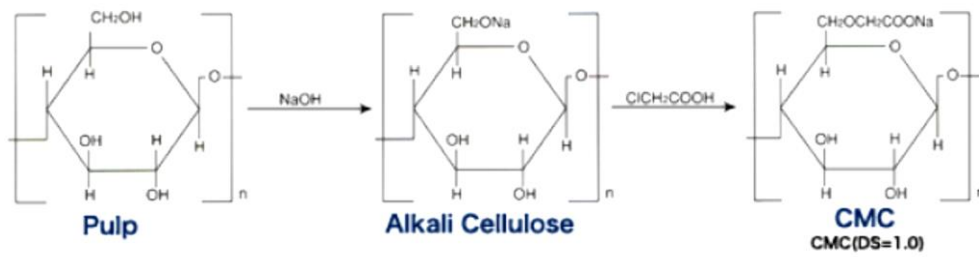


Figure 1 the reaction for the production of CMC (กฤษณา และคณะ, 2005)



Figure 2 illustrates the cellulose from durian hulk. (a) Cellulose was extracted with 1 molar NaOH at 80-90 °C for 1 hour. (b) Cellulose after bleaching with 30% H₂O₂ at 80-90 °C for 20 min.



Figure 3 Carboxymethylcellulose (CMC) powder, which synthesized by reacting alkali-cellulose with chloroacetic acid, yield = 138.12%, purity = 95.63%, color score: L* = 85.82 a* = -0.67 and b* = 18.05

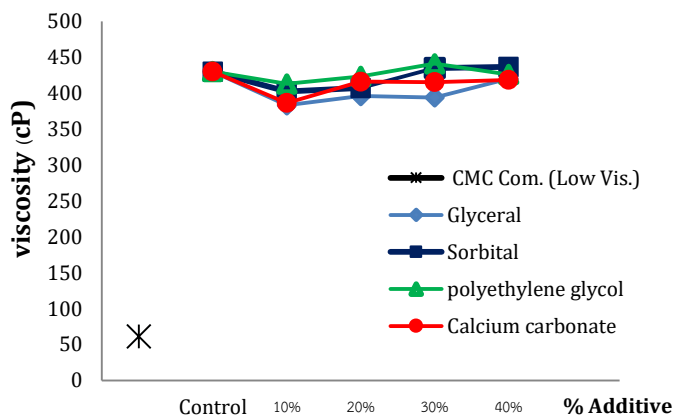


Figure 4 Effect of additive types and concentrations on viscosity of CMC solution.

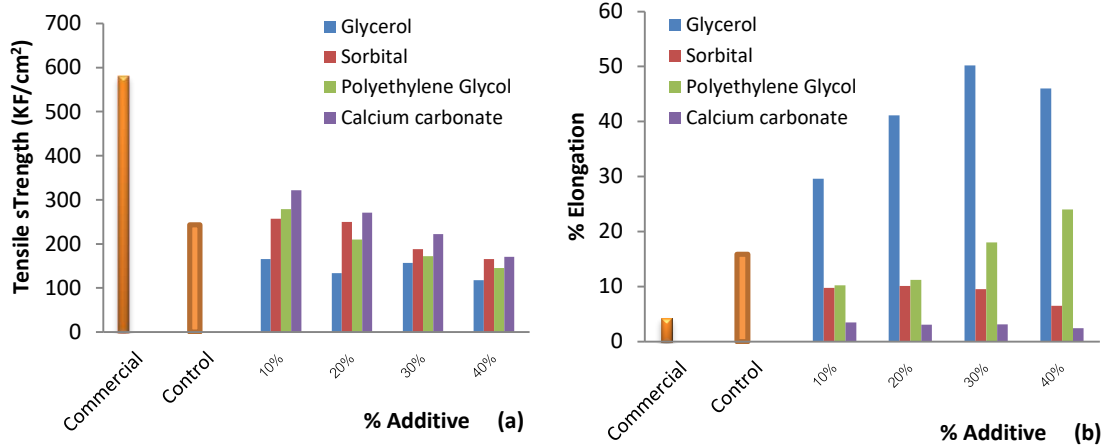


Figure 5 Effect of additive types and concentrations on mechanical properties of CMC films; (a)

Tensile strength, (b) %Elongation.

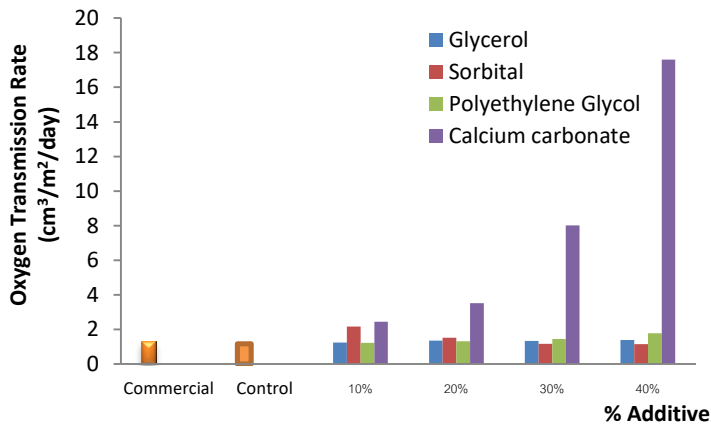


Figure 6 Effect of additive types and concentrations on oxygen transmission rate (OTR) of CMC films

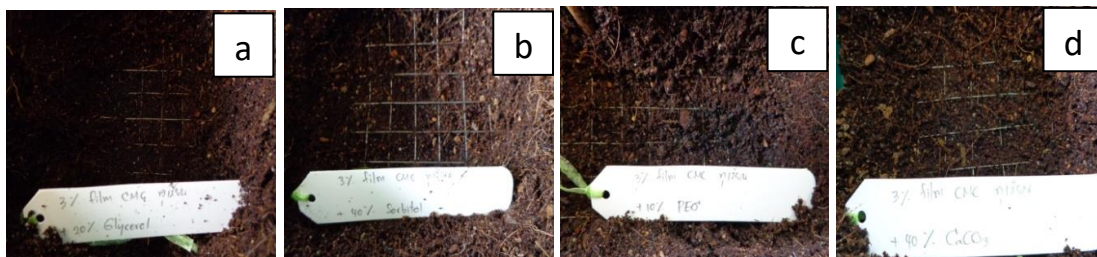
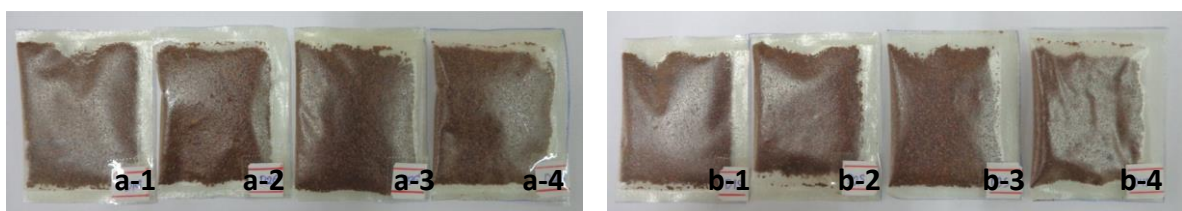


Figure 7 Photos of CMC films with various additives after 24 hour of biodegradation studies in soil burial: (a) Glycerol, (b) Sorbitol, (c) Polyethylene Glycol and (d) Calcium carbonate.



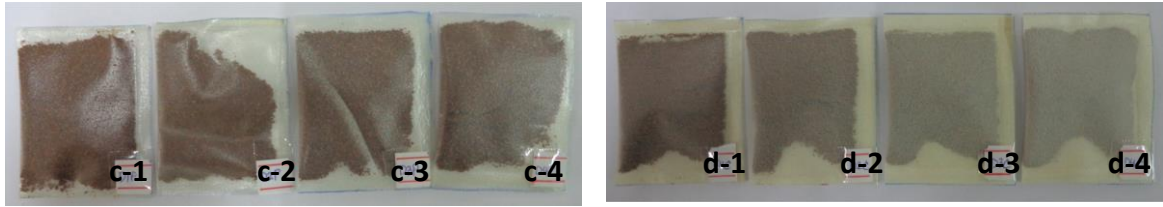


Figure 8 Effect of additive types and concentrations on appearance of coffee in CMC film packages, (a1-a4) CMC film with 10-40 wt% glycerol, (b1-b4) CMC film with 10-40 wt% sorbital, (c1-c4) CMC film with 10-40 wt% polyethylene glycol and (d1-d4) CMC film with 10-40 wt% calcium carbonate.