

การผลิตพลาสติกชีวภาพจากต้นกล้วยเพื่อประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

The Production of Bioplastics from Banana Pseudo-Stem to use as Packaging

นางสาวศิริพร เต็งรัง นักกนกศักดิ์ ลอยเลิศ นางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร และนายโกเมศ สัตยาวิฑูร

กลุ่มวิจัยและแปรรูปผลิตผลเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

บทคัดย่อ

การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากต้นกล้วย มีวัตถุประสงค์เพื่อนำต้นกล้วยที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าโดยประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ทำการทดลองที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2554-2555 เตรียมได้โดยสกัดเซลลูโลสจากต้นกล้วยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ได้เซลลูโลส 20.25 % ฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เพื่อกำจัดลิกนินออก จากนั้นนำผงเซลลูโลสไปสังเคราะห์พลาสติกชีวภาพหรือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ซีเอ็มซี) โดยทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะต่าง ได้ซีเอ็มซี 140.89% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.33% มีค่าองศาการแทนที่ 0.768 เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืด 114 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดต่ำ มีต้นทุนการผลิต 23.29 บาท/กรัม เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยเติมสารเติมแต่ง 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอบิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าสารละลายซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่งมีความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับซีเอ็มซีเติมสารเติมแต่งทุกกรรมวิธี ($p < 0.05$) ซึ่งสูงกว่าสารละลายซีเอ็มซีทางการค้า แผ่นฟิล์มที่ได้มีความหนา ค่าสี และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความหนาขึ้น มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและความต้านทานต่อแรงดึงลดลง โดยฟิล์มที่ไม่เติมสารเติมแต่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด ฟิล์มที่เติมซอบิทอลปริมาณ 40% มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงสุด และฟิล์มที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาณ 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงสุด ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 10% มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำสูงสุด ฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง และมีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อนและมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง $1.45-21.2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เมื่อทดลองนำมาบรรจุผงกาแฟพบว่าลักษณะปรากฏและคุณภาพของผงกาแฟในช่องฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาณ 20% มีค่าดีที่สุดเมื่อเก็บในตู้เย็น และผงกาแฟที่บรรจุในช่องฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 30% มีค่าดีที่สุดใกล้เคียงกับผงกาแฟในช่องอะลูมิเนียมฟอยล์เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง แสดงว่าช่องฟิล์มจากต้นกล้วยสามารถพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้

คำหลัก: ต้นกล้วย, พลาสติกชีวภาพ, คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, บรรจุภัณฑ์, สารเติมแต่ง, กาแฟ

คำนำ

กล้วยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกประมาณ 866,410 ไร่ เริ่มมีการปลูกเพื่อการส่งออกมากขึ้น โดยส่งออกกล้วยไข่ 12,633 ตัน มูลค่า 75.71 ล้านบาท กล้วยหอม 9,910 ตัน มูลค่า 149.09 ล้านบาท และกล้วยอื่นๆ 3,167 ตัน มูลค่า 155.11 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตกล้วยแล้ว เกษตรกรจะต้องตัดต้นกล้วยทิ้งเพื่อปลูกต้นใหม่ ปล่อยทิ้งให้ต้นกล้วยเน่าสลายกลายเป็นปุ๋ย แต่เนื่องจากต้นกล้วยประกอบด้วยเซลลูโลสที่สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้ จึงได้มีการนำมาเชือก กระดาษ หรือใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ นอกจากนี้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมได้

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl Cellulose, CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสในรูปของเกลือ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็น “พอลิเมอร์ชีวภาพ” ชนิดที่มีประจุลบ มีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมหลายชนิด มีการนำเข้าเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ได้จากการทำปฏิกิริยาของเอลฟาเซลลูโลสกับอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ในสถานะต่าง 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 กระดาษ อาหารและยา นิยมใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ สารเพิ่มความหนืด สารยึดเกาะ(binder)และสารคงสภาพ

การผลิตซีเอ็มซีในต่างประเทศจะผลิตจากไม้ยืนต้น เช่น สนและยูคาลิปตัส เนื่องจากให้เชื้อเซลลูโลสที่มีคุณภาพสูงและสามารถควบคุมคุณภาพเชื้อได้ ประเทศไทยมีพืชและผลไม้หลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดแยกเชื้อเซลลูโลสคุณภาพสูงและเตรียมซีเอ็มซีได้ ซึ่งกฤษณาและคณะ (2005) ได้เตรียมซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน โดยทำปฏิกิริยาของเชื้อเอลฟาเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนกับสารอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ในสถานะต่าง พบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กมลพรและคณะ(2551) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเชื้อฟางข้าว ถิรนนท์และคณะ(2549) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกมะละกอ ปราณีและคณะ(2542) เตรียมซีเอ็มซีจากขานอ้อยโดยพบว่าความสามารถในการละลายน้ำและค่าองศาการแทนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ โดยซีเอ็มซีที่เตรียมโดยใช้เชื้อ:กรดคลอโรอะซิติก 1:1 และ 1:1.25 มีคุณสมบัติส่วนใหญ่สูงกว่าซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การนำซีเอ็มซีมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จำเป็นต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้ฟิล์มซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมใช้แบ่งออกตามคุณสมบัติได้ดังนี้ สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ทางชีวภาพและลดต้นทุนการผลิต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต สารเติมแต่งเพื่อพัฒนาสมบัติทางกายภาพ เช่น สารอินทรีย์จำพวกพอลิเอทิลีนไกลคอล และสารเติมแต่งเพื่อลดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) เช่น กลีเซอรอล เป็นต้น ซึ่งนิลวรรณและคณะ(2551) ได้เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน

โดยใช้กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 1.2% โดยน้ำหนัก มีศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ณัฐฐ์ชวดีและคณะ(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 (แนวน้ำ, 2552) สำหรับประเทศไทยคณะรัฐมนตรีได้เห็นชอบแผนที่น่าสนใจทางแห่งชาติการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ เพื่อผลักดันให้เป็นอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต (new wave industry) ที่แข็งแกร่งทั้งระดับต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ มีความพร้อมที่จะเป็นผู้นำในภูมิภาค อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้วัตถุดิบชีวมวล(สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2551)

งานวิจัยนี้จึงได้นำต้นกล้วยมาสกัดเซลลูโลสและสังเคราะห์เป็นซีเอ็มซี เพื่อผลิตเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยเติมสารเติมแต่ง 3 ชนิดในปริมาณต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของฟิล์มให้สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ ทดสอบการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์เบื้องต้น และทดสอบการย่อยสลายได้ของฟิล์ม ซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มรายได้ให้เกษตรกร ลดปริมาณขยะ และตอบสนองต่อความต้องการใช้วัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

อุปกรณ์และสารเคมี

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

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. การเตรียมเซลลูโลส (เอลฟาเซลลูโลส) จากต้นกล้วย ดัดแปลงจากวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551)

ทำความสะอาดต้นกล้วยด้วยน้ำสะอาด หั่นให้เป็นชิ้นขนาด 1-2 นิ้ว อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C ต้มด้วยสารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเอื้อแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง ปั่นเยื่อด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์จนเยื่อแยกออกจากกัน บีบน้ำออก ฟอกเยื่อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต ปริมาณ 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักตัวอย่าง ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง บีบน้ำออก อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด Armfield ขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร นำไปตรวจเซลลูโลสโดยนำสารที่สกัดได้ไปย่อยด้วยกรดแล้วทดสอบด้วยสารละลายเบนเดคิต์ จากนั้นจึงนำไปสังเคราะห์ซีเอ็มซี

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

ชั่งผงเซลลูโลสจากต้นกล้วย (จากข้อ 1) 15 กรัม เดิมโอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ ปริมาตร 350 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เดิมสารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 40% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนต่อเป็นเวลา 30 นาที เดิมกรดคลอโรอะซิติก 18 กรัม กวนต่ออีก 30 นาที จากนั้นปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที สารละลายจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือสารละลายใสมันและของแข็งอยู่ส่วนล่าง รินสารละลายใสส่วนบนทิ้ง แล้วเติมสารละลายเมทานอลเข้มข้น 70% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 90% ทิ้งไว้ 10 นาที กรองเก็บส่วนที่

เป็นของแข็ง 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. จำนวนต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีที่ได้

คำนวณต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากต้นทุนกล้วยที่ได้เปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้า

4. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากต้นกล้วย (ฟิล์มซีเอ็มซี) ดัดแปลงจากวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) และวรรณมนและคณะ (2449) และทดสอบคุณสมบัติ

นำผงซีเอ็มซี 9 กรัม เติมสารเติมแต่งตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 3 ซ้ำ 13 กรรมวิธี ดังนี้ แปรชนิดสารเติมแต่งเป็น 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอบิтол และพอลิเอทิลีน ไกลคอล 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 เปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ (Tongdeesoontorn, 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. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

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(แอลฟาเซลลูโลส) จากต้นกล้วย

ต้นกล้วยประกอบด้วยเซลลูโลสหรือแอลฟาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน 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 20.25% ของน้ำหนัก น้ำหนักต้นกล้วยอบแห้ง มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 36.58 โดยสีน้ำตาลเป็นสีของลิกนินซึ่งกำจัดออกโดยการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เข้มข้น 30% ทำให้เซลลูโลสขาวขึ้น (Figure 2 (b)) เหลือน้ำหนัก 74.65% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า L* เท่ากับ 90.01 เมื่อนำมาย่อยด้วยกรดและทดสอบด้วยสารละลายเบนเนดิกต์พบว่าเกิดตะกอนสีแดงอิฐ แสดงว่าสิ่งสกปรกได้จากต้นกล้วย คือเซลลูโลส เนื่องจากเมื่อนำมาย่อยด้วยกรดจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส ซึ่งทำปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ได้ตะกอนสีแดงอิฐ

2. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซีจากต้นกล้วย

ซีเอ็มซีมีลักษณะเป็นของแข็ง ได้จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟาเซลลูโลสกับอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ในสภาวะต่าง (Figure 1) ซึ่งในการสังเคราะห์ได้ปรับเวลาและวิธีในการทำปฏิกิริยาจาก 3 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน โดยอบในตู้อบตามวิธีนิลวรรณและคณะ(2551) และทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ให้ความร้อนโดยแช่ในอ่างน้ำร้อนพร้อมเขย่าโดยวิธีของ Bono, A., *et al.*(2009) ไปเป็นใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน โดยอบในตู้อบ ซึ่งเป็นการลดเวลาและพลังงาน ผลที่ได้พบว่าได้ซีเอ็มซี 140.89% ของน้ำหนักผงเซลลูโลสตั้งต้น เนื่องจากการสังเคราะห์เป็นปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนในสายโซ่เซลลูโลสด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น น้ำหนักซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ได้จึงเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักผงเซลลูโลสตั้งต้น มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลืองอ่อน (Figure 3) ไม่เกิดฟองเมื่อเขย่ากับน้ำ และเกิดตะกอนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (FOA JECFA Monographs 11, 2011) มีความหนืด 114.0 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดต่ำ มีความบริสุทธิ์ 95.33% มีความชื้น 12.62% มีค่าความสว่าง (L*) 84.12 ค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) 1.11 และค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) 17.97 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเอ็มซีทางการค้า (p<0.05) ความสามารถในการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล (DS) เท่ากับ 0.768 แสดงว่าซีเอ็มซีละลายน้ำได้ดี เนื่องจากค่า DS เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการละลายน้ำ หากมีค่ามากกว่า 0.4 จะละลายน้ำได้ดี

สอดคล้องกับการทดลองของ Bono, A., *et al.* (2009) ที่เตรียมซีเอ็มซีจากกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม มีค่า DS เท่ากับ 0.67 สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Hoefler, A. C.)

3. จำนวนต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีที่ได้

ต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากต้นกล้วย เท่ากับ 23.29 บาท/กรัม แยกเป็นต้นทุนในการสกัด เซลลูโลส 1.26 บาท/กรัม ต้นทุนในการฟอกเซลลูโลส 7.07 บาท/กรัม และต้นทุนในการสังเคราะห์ 24.48 บาท/กรัมเซลลูโลส รวมเป็น 32.81 บาท/กรัมเซลลูโลส แต่เนื่องจากสังเคราะห์ได้ซีเอ็มซี 140.89% ของเซลลูโลสตั้งต้น จึงทำให้ต้นทุนในการสังเคราะห์ เท่ากับ 23.29 บาท/กรัม ซึ่งล้วนแต่เป็นต้นทุนของสารเคมี เมื่อเปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ (19 บาท/กรัม) พบว่ายังมีราคาสูงกว่า 4.29 บาท/กรัม แต่ซีเอ็มซีจากต้นกล้วยยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

4. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากต้นกล้วย (ฟิล์มซีเอ็มซี) และการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มซีเอ็มซีมีลักษณะกรอบและแข็ง ต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และอ่อนนุ่มขึ้น ซึ่งในการเตรียมได้ปรับความเข้มข้นของสารละลายซีเอ็มซีจาก 5.6% โดยนิลวรรณ และคณะ (2551) เป็น 3% พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และปรับปริมาณสารเติมแต่งจาก 1.2% เป็น 10-40% โดยน้ำหนัก ซึ่งครอบคลุมปริมาณที่นักวิจัยชาติและคณะ (2555) ใช้ (8.88-33.33%) พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่าวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) โดยสารเติมแต่งที่ใช้ คือ กลีเซอรอล และซอบิทอล พอลิเอทิลีน ไกลคอล ซึ่งชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งมีผลทำให้ฟิล์มมีลักษณะปรากฏและคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงใน Table 1 สาเหตุจากน้ำหนัก โมเลกุล โครงสร้าง และความหนืดของสารเติมแต่งที่ต่างกัน โดยพบว่าสารละลายซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่งมีความหนืดสูงที่สุด เท่ากับ 114.00 cPs ซึ่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับซีเอ็มซีเติมสารเติมแต่งทุกกรรมวิธี ($p < 0.05$) ที่มีความหนืดอยู่ในช่วง 73.00 – 84.33 cPs ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้มากกว่าสารละลายซีเอ็มซีทางการค้าที่มีความหนืด เท่ากับ 61.2 cPs (Figure 4) โดยเมื่อเติมสารเติมแต่งและปริมาณสารเติมแต่งมากขึ้นพบว่าความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากพื้นที่ในการเตรียมฟิล์มเท่าเดิมแต่ความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นความหนาจึงเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างของฟิล์มลดลง อาจเนื่องจากส่วนของสารเติมแต่งที่กระจายตัวในแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำที่ลดลงอาจเนื่องจากมีส่วนของสารเติมแต่งที่ไม่ละลายและเซลลูโลสที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่

ฟิล์มทุกตัวอย่างมีสีน้ำตาลอ่อน ขุ่น โปร่งแสง อ่อนตัว และละลายน้ำได้ดีใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 85.42-90.56% เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่งกับฟิล์มซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำ พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีที่เตรียมได้มีคุณสมบัติโดยรวมต่ำกว่า ยกเว้นความหนืดและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่สูงกว่า ดังแสดงใน Table 1 อาจเนื่องมาจากซีเอ็มซีที่เตรียมได้มีเปอร์เซ็นต์การแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิเมทิลและความบริสุทธิ์น้อยกว่า

เมื่อนำฟิล์มมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่าความต้านทานแรงดึงขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเติมแต่งชนิดกลีเซอรอล ซอบิทอล และ พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซี ทำให้แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีลดลง ความแข็งแรงจึงลดลง และส่งผลให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มเติมกลีเซอรอล 40% มีความต้านทานแรงดึงขาดน้อยที่สุด เท่ากับ 96.7 kF/cm^2 และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงถึง 55.1% อาจเนื่องจากกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดจึงสามารถกระจายและแทรกตัวใน โมเลกุลซีเอ็มซีได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับรายงานของ นิลวรรณและคณะ (2551) และพรชัยและคณะ (2550) ดังแสดงใน Figure 5 และ Table 1

ฟิล์มไม่เติมสารเติมแต่งมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) น้อยที่สุด เท่ากับ 1.45 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน และเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น ดัง Figure 6 และ Table 1 เนื่องจากซีเอ็มซีมีโครงสร้างเป็นอสัณฐานมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล สารเติมแต่งจะเข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างทำให้ขนาดของช่องว่างเพิ่มขึ้น (ณัฐวีดิและคณะ, 2555) ก๊าซจึงผ่านเข้าออกได้ดีขึ้น โดยฟิล์มที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 40% มีค่า OTR สูงที่สุด เท่ากับ $21.2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุดจึงมีขนาดใหญ่ อีกทั้งมีลักษณะเป็นสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างจึงทำให้ช่องว่างมีขนาดใหญ่กว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นก๊าซจึงผ่านเข้าออกได้ดีที่สุด ซึ่งค่า OTR ของฟิล์มทั้งหมดอยู่ในช่วง $1.45\text{--}21.2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ พบว่าอยู่ในช่วงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ เช่น กาแฟ ขนมอบเคี้ยว สมุนไพรและเครื่องเทศ นมผงและไก่ไก่ผง (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 จึงนำมาสอบบรรจุผงกาแฟสดเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ซองอะลูมิเนียมฟอล์ย (A1) เนื่องจากอะลูมิเนียมฟอล์ยมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดี (Kiyoi, 2010) ซึ่งลักษณะปรากฏของผงกาแฟในซองฟิล์มซีเอ็มซี แสดงดัง Figure 8 โดยซองฟิล์มซีเอ็มซีทุกตัวอย่างปิดผนึกได้ดีด้วยความร้อนแตกต่างกับรายงานของนิลวรรณและคณะ (2551) ที่รายงานว่าไม่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ทั้งนี้แม้ซองฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลจะปิดผนึกได้ยากแต่สามารถปิดผนึกได้โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วย

คุณภาพของผงกาแฟหลังการบรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $25 \pm 1\%$) และเก็บในตู้เย็น (5 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 1\%$) เป็นเวลา 1 เดือน แสดงดัง Table 2 พบว่า ปริมาณความชื้นและค่าสีของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีและซองอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิห้องผงกาแฟมีความชื้นอยู่ในช่วง 2.26-5.32% สูงกว่าการเก็บในตู้เย็นที่มีความชื้นในช่วง 1.68-3.29% สาเหตุเนื่องจากฟิล์มซีเอ็มซีมีความว่องไวต่อความชื้น (นิลวรรณและคณะ, 2551) เมื่อเก็บในสถานะที่มีความชื้นสูงจึงอาจส่งผลให้ผงกาแฟมีความชื้นสูงขึ้น สอดคล้องกับค่าสีของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่า L^* เฉลี่ย 39.34 สูงกว่าเมื่อเก็บในตู้เย็นซึ่งมีค่า L^* เฉลี่ย 38.93 แสดงว่าความชื้นมีผลทำให้สีกาแฟอ่อนลง

คุณภาพของผงกาแฟในซองบรรจุเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความชื้นของผงกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์เท่ากับ 2.27% ซึ่งน้อยที่สุด รองลงมาคือ ผงกาแฟในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 30% เท่ากับ 4.61% และซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบีทอล 40% เท่ากับ 4.87% ตามลำดับ โดยผงกาแฟมีความชื้นสูงที่สุดเมื่อบรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่ง เท่ากับ 5.32% สาเหตุเพราะฟิล์มไม่มีสารเติมแต่งช่วยดูดซับความชื้น และเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นความชื้นของผงกาแฟมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโครงสร้างของสารเติมแต่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดแรงกระทำหรือจับกับ โมเลกุลของน้ำได้ (ณัฐฐิชาติ, 2555) เมื่อเติมมากขึ้นจึงสามารถดูดความชื้นได้มากขึ้น ค่า L^* ของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 30% เท่ากับ 39.67 ไม่แตกต่างกับผงกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ซึ่งมีค่า L^* สูงที่สุด เท่ากับ 39.66 นั่นคือสีของผงกาแฟยังคงเข้มอยู่ (Table 2)

คุณภาพของผงกาแฟในซองบรรจุเก็บในตู้เย็น พบว่าซองฟิล์มที่ทำให้ความชื้นของผงกาแฟน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ซองซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 20% เท่ากับ 1.68% ซองซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอล 10% เท่ากับ 1.85% และซองซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เท่ากับ 1.99% ตามลำดับ และฟิล์มที่ทำให้ความชื้นของผงกาแฟสูงที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบีทอล 40% เท่ากับ 3.29% ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบีทอล 30% เท่ากับ 3.06 และซองซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่ง เท่ากับ 2.97 โดยเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นความชื้นของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอลมีแนวโน้มลดลง ส่วนที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบีทอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่า L^* ของผงกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมสารเติมแต่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับผงกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.20

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมเซลล์ูโลสจากต้นกล้วยได้ตัดแปลงวิธีของนิลวรรณและคณะ(2551) โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.625 โมลาร์ เป็น 1 โมลาร์ ต้มโดยใช้เตาไฟฟ้า แทนหม้อต้มอัดความดัน และลดเวลาในการต้มจาก 10 ชั่วโมง เป็น 1 ชั่วโมง สามารถเตรียมเซลล์ูโลสได้ 20.25% ของน้ำหนักต้นกล้วยแห้ง และฟอกเซลล์ูโลสโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น

30% เพิ่มอุณหภูมิในการฟอกจาก 70-80 °C เป็น 80-90 °C และลดเวลาในการฟอกจาก 3 ชั่วโมง เป็น 20 นาที ได้เซลลูโลสหลังฟอก 74.65% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว ซึ่งการปรับวิธีการทดลองช่วยลดเวลาและการใช้พลังงาน

2. การสังเคราะห์เตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ได้จากการนำเซลลูโลสจากต้นกล้วยมาทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะต่าง ซึ่งได้ปรับเวลาและวิธีการในการทำปฏิกิริยาจาก 3 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบโดยนิลวรรณและคณะ(2551) และทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ให้ความร้อนโดยแช่ในอ่างน้ำร้อนพร้อมเขย่าโดยวิธีของ Bono, A., *et al.*(2009) ไปเป็นใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบ ซึ่งช่วยลดเวลาและพลังงาน พบว่าได้ซีเอ็มซี 140.89% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น เป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.33% ความชื้น 12.62% และมีองศาการแทนที่ (DS) เท่ากับ 0.768 เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืด 114.00 cPs จัดถือซีเอ็มซีเป็นชนิดความหนืดต่ำ

3. ต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากต้นกล้วย เท่ากับ 23.29 บาท/กรัม พบว่าสูงกว่าซีเอ็มซีทางการค้า ชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ (19 บาท/กรัม) อยู่ 4.29 บาท/กรัม แต่ยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

4. การเตรียมฟิล์มซีเอ็มซี โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายจาก 5.6% (นิลวรรณและคณะ, 2551) เป็น 3% พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และใช้สารเติมแต่งปริมาณ 10-40% โดยน้ำหนัก คลอบคลุมปริมาณที่ณัฐชวดีและคณะ(2555) ใช้ (8.88-33.33 %) พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าวิธีของนิลวรรณและคณะ(2551) ที่ใช้สารเติมแต่งเพียง 1.2% ฟิล์มที่เตรียมได้มีสีน้ำตาลอ่อน ขุ่น โปร่งแสง มีความอ่อนตัว โดยฟิล์มที่เติมซอบิทอล 40% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดเหมาะในการพัฒนาเป็นฟิล์มยืด ฟิล์มไม่เติมสารเติมแต่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดและมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนน้อยที่สุด เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นฟิล์มห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง และสัมผัสออกซิเจนได้น้อย ส่วนฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 10% มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำสูงที่สุด เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ ฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง

5. ฟิล์มซีเอ็มซีมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.45-21.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน และสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน โดยฟิล์มที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล 30% มีศักยภาพดีที่สุดในการบรรจุผงกาแฟเก็บที่อุณหภูมิห้อง และฟิล์มที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล 20% มีศักยภาพดีที่สุดในการบรรจุผงกาแฟเก็บในตู้เย็น ซึ่งดีเทียบเท่ากับการเก็บในช่องอะลูมิเนียมฟอยล์

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

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

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย สถาบันวิจัยพืชสวน ที่สนับสนุนค้นคว้าวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณา ศิริเลิศมุกด, ศรีไฉล ขุนทน, ญัฐภรณ์ สุวรรณโณ และสุนันท์ พงษ์สามารถ. 2005. การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน. 3 หน้า. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. 18-20 October 2005.
- ณัฐฐิชาติ จินาพันธ์, เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทศสุภา และสฐพัศ คำไทย. 2555. คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าว. ว.วิทย์. กษ. 43:3 (พิเศษ): 616-620.
- นิลวรรณ คงถาวร, บุญรัตน์ 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 ราชชนะพันธ์, สุพัฒน์ คำไทย, นริวิชญ์ ยาภิ และรัชชิตา อุทัยศ. 2550. การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. หน้า 790-799. ใน : เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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 และณัฐวรราช ธนประดิษฐ์กุล. 2552. ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและอัตราการใช้ฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์มโพลีเอทิลีน. 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 toThe 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 ^c	98.91 ^a	581	4.31	1.34
Commercial									
0% additive	114.0 ^a	16.83 ^{cde}	88.17 ^b	0.13 ^b	0.13 ^d	88.84 ^{bcd}	296	7.96	1.45
10% Gly	81.3 ^b	16.22 ^{de}	88.08 ^b	-0.01 ^{bc}	-0.01 ^d	90.56 ^b	186	25.70	2.56
20% Gly	84.3 ^b	18.08 ^{bcd}	87.90 ^b	-0.14 ^c	-0.14 ^d	88.16 ^{bcd}	168	48.70	5.86
30% Gly	78.7 ^b	17.67 ^{bcd}	87.87 ^b	-0.15 ^c	-0.15 ^d	85.66 ^d	106	43.70	7.42
40% Gly	73.0 ^{bc}	19.33 ^{abc}	87.95 ^b	-0.20 ^c	-0.20 ^d	88.73 ^{bcd}	96.7	55.10	8.67
10% Sor	78.7 ^b	16.83 ^{bcd}	77.11 ^{cd}	-5.01 ^e	-5.01 ^{ab}	89.64 ^{bc}	196	41.4	8.36
20% Sor	79.7 ^b	16.22 ^{abcd}	77.20 ^c	-5.08 ^e	-5.08 ^a	86.29 ^{cd}	173	48.2	12.6
30% Sor	80.7 ^b	18.08 ^{ab}	76.72 ^{cd}	-5.08 ^e	-5.08 ^{ab}	88.61 ^{bcd}	163	52.7	18.2
40% Sor	73.7 ^{bc}	17.67 ^a	76.63 ^d	-5.22 ^e	-5.22 ^a	89.48 ^{bc}	136	62.1	19.6
10% PEG	80.7 ^b	15.69 ^e	87.98 ^b	-0.65 ^d	-0.65 ^{bc}	88.51 ^{bcd}	238	3.70	9.14
20% PEG	83.3 ^b	18.14 ^{bcd}	88.03 ^b	-0.78 ^d	-0.78 ^{bc}	86.74 ^{cd}	229	5.31	12.5
30% PEG	80.0 ^b	18.75 ^{abcd}	87.86 ^b	-0.67 ^d	-0.67 ^c	88.46 ^{bcd}	223	10.20	16.8
40% PEG	84.3 ^b	18.42 ^{bcd}	87.79 ^b	-0.70 ^d	-0.70 ^c	85.42 ^d	186	8.42	21.2

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

* 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 ^m	39.66 ^a	9.39 ^{de}	3.62 ^b	2.10 ⁱ	38.88 ^a	9.02 ⁱ	2.80 ⁱ
0% additive	5.32 ^a	39.50 ^b	9.42 ^{cd}	3.50 ^c	2.97 ^c	36.41 ^b	9.20 ^c	3.14 ^{bc}
10% Gly	5.25 ^c	39.25 ^{cd}	9.32 ^f	3.22 ^e	1.85 ^l	39.29 ^a	9.13 ^{ef}	2.95 ^f
20% Gly	5.25 ^c	39.44 ^b	9.36 ^e	3.37 ^d	2.39 ^g	39.30 ^a	9.10 ^{fg}	2.98 ^f
30% Gly	5.17 ^e	39.30 ^{cd}	9.46 ^b	3.35 ^d	2.34 ^h	39.16 ^a	9.19 ^{cd}	3.10 ^{cd}
40% Gly	5.24 ^d	39.26 ^{cd}	9.37 ^e	3.38 ^d	2.34 ^h	39.20 ^a	9.29 ^b	3.27 ^a
10% Sor	5.30 ^b	39.23 ^d	9.18 ⁱ	3.06 ^h	2.44 ^c	39.13 ^a	9.06	2.90 ^g
20% Sor	4.89 ^j	39.30 ^{cd}	9.26 ^g	3.17 ^f	2.40 ^f	39.01 ^a	9.14 ^{ef}	2.90 ^g
30% Sor	4.97 ^h	39.43 ^b	9.22 ^h	3.16 ^f	3.06 ^b	39.21 ^a	9.37 ^a	3.24 ^a
40% Sor	4.87 ^k	39.46 ^b	9.54 ^a	3.50 ^c	3.29 ^a	39.35 ^a	9.05 ^{hg}	3.06 ^e
10% PEG	5.16 ^f	39.44 ^b	9.27 ^g	3.22 ^e	2.46 ^d	39.15 ^a	9.16 ^{dc}	2.96 ^f
20% PEG	5.00 ^g	39.33 ^c	9.27 ^g	3.10 ^g	1.68 ^m	39.49 ^a	9.28 ^b	3.17 ^b
30% PEG	4.61 ^l	39.65 ^a	9.45 ^{bc}	3.74 ^a	2.04 ^j	39.29 ^a	9.25 ^b	3.09 ^{de}
40% PEG	4.90 ⁱ	38.92 ^e	9.14 ^j	2.83 ⁱ	1.99 ^k	39.15 ^a	9.13 ^{ef}	3.00 ^f

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

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

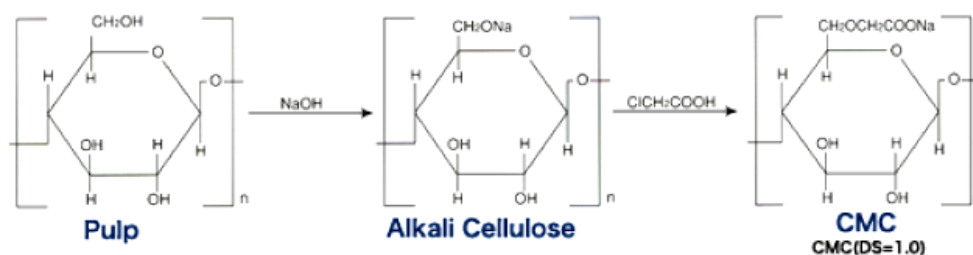


Figure 1 the reaction for the production of CMC (กฤษณา และคณะ, 2005)



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 = 140.89%, purity = 95.33%, color score: L* = 84.122 a* = 1.11 and b* = 17.97

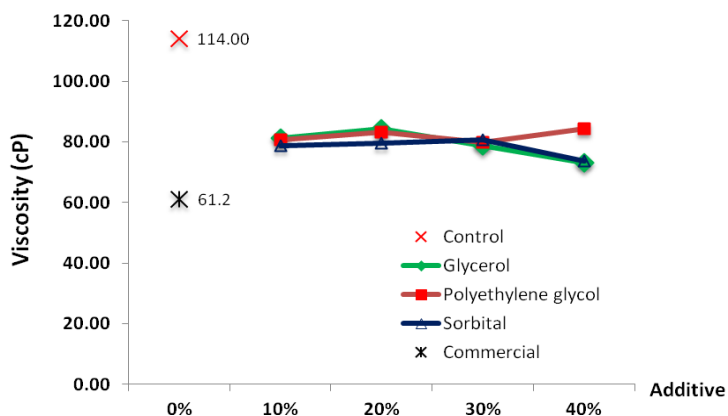


Figure 4 Effect of additive types and concentrations on viscosity of CMC solution.

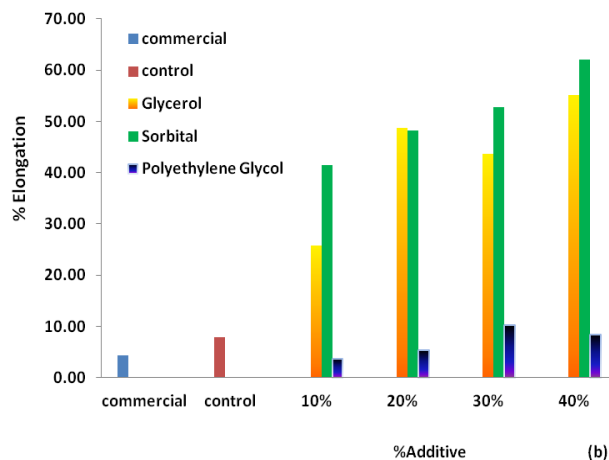
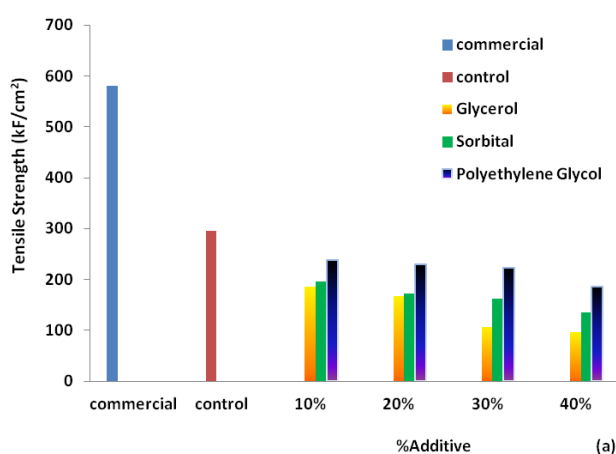


Figure 5 Effect of additive types and concentrations on mechanical properties of CMC films; (a) Tensile strength, (b) %Elongation.

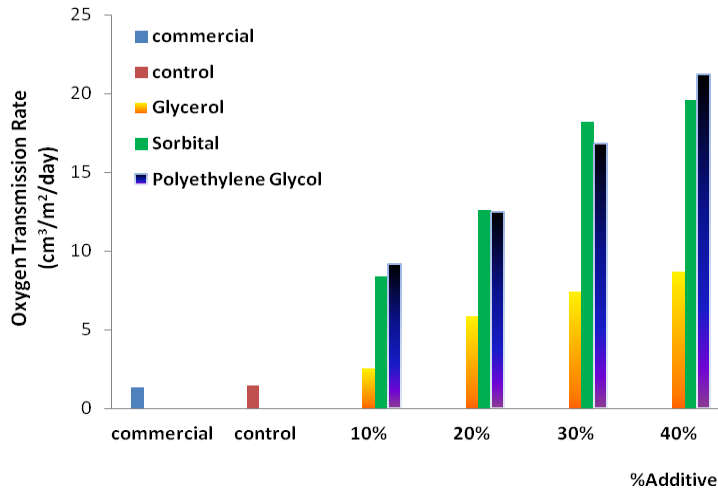


Figure 6 Effect of additive types and concentrations on oxygen transmission rate (OTR) of CMC films

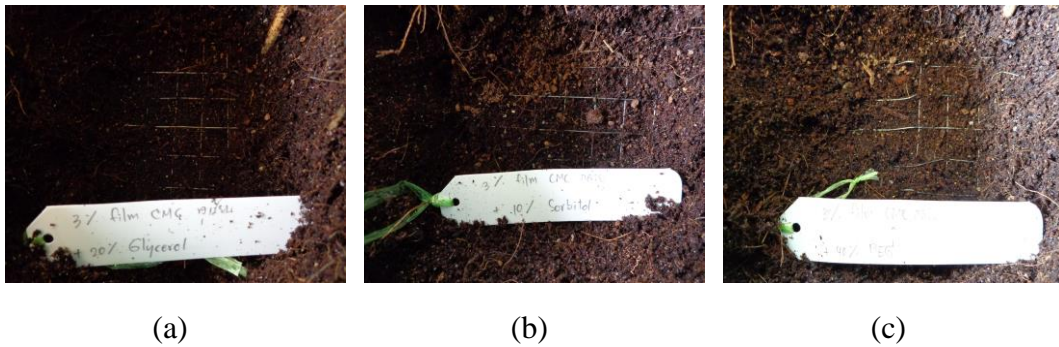


Figure 7 Photos of CMC films with various additives after 24 hour of biodegradation studies in soil burial: (a) Glycerol, (b) Sorbital and (c) Polyethylene Glycol

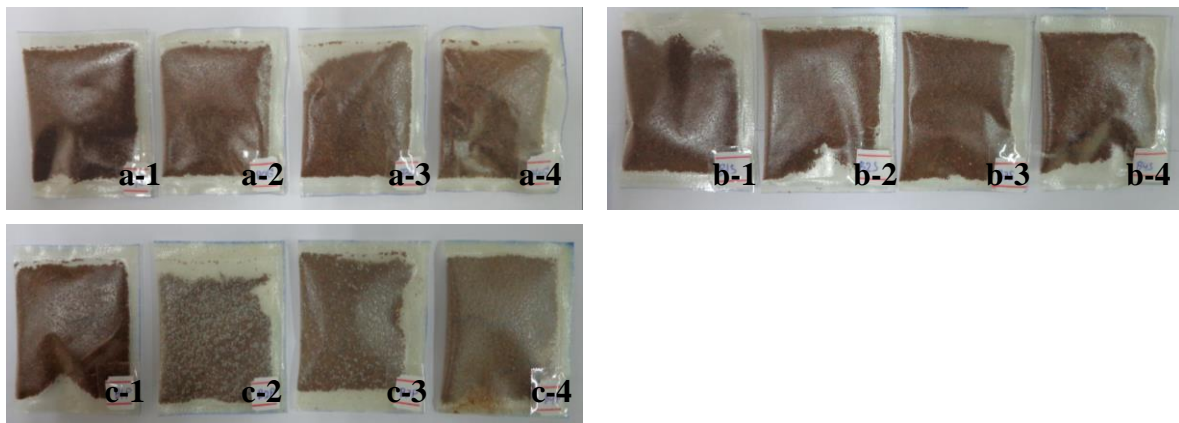


Figure 8 Effect of additive types and concentrations on appearance of coffee in CMC film packages, (a1-a4) CMC film with 10-40 wt% glycerol, (b1-b4) CMC film with 10-40 wt% sorbital, (c1-c4) CMC film with 10-40 wt% polyethylene glycol and (d1-d4) CMC film with 10-40 wt% calcium carbonate.