



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ

Research and Development on Products from Natural Substances

นางสาวศิริพร เต็งรัง

Miss Siriporn Tengrang

ปี พ.ศ. 2564



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ

Research and Development on Products from Natural Substances

นางสาวศิริพร เต็งรัง

Miss Siriporn Tengrang

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติกำลังได้รับความนิยม เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสนใจต่อสุขภาพมากขึ้น เพราะสารธรรมชาติมีความปลอดภัยสูงและมีสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่การใช้หรือบริโภคพืชผัก สมุนไพร และผลไม้สด อาจต้องใช้หรือบริโภคเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ปริมาณสารสำคัญที่เพียงพอต่อความต้องการ และสารสำคัญบางชนิดอยู่ในเปลือกหรือเมล็ดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่สามารถบริโภคได้ ดังนั้นการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากผลิตภัณฑ์เกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรออกมาใช้ประโยชน์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง รวมถึงการกักเก็บสารสำคัญ และการใช้ประโยชน์ เพื่อให้สามารถนำสารสำคัญหรือสารสกัดมาใช้ได้อย่างเหมาะสม โดยสารธรรมชาติจากพืช เรียกว่า พืชวัตถุ เช่น น้ำมันหอมระเหย แทนนิน (สารฝาด) อัลคาลอยด์ (สารขม) รงควัตถุ และเอนไซม์ต่างๆ ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น เป็นต้น ซึ่งบางชนิดนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง

ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติจึงต้องศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการสกัดที่เหมาะสมเพื่อดึงเอาสารสำคัญออกมาให้ได้มากที่สุด ศึกษาเทคโนโลยีหรือวิธีการกักเก็บสารสกัดให้คงไว้ซึ่งคุณภาพ ประโยชน์และคุณสมบัติของสารนั้นๆ การนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณสมบัติของสาร

ซึ่งความสำเร็จจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ได้ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มคุณสมบัติและเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารธรรมชาติไปใช้ ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลกมากยิ่งขึ้น

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	5
ผู้วิจัย	6
บทนำ	7
บทคัดย่อ	9
1. กิจกรรมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับอาหารและเวชสำอาง	13
2. กิจกรรมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพ	75
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	136
บรรณานุกรม	139

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาตินี้สำเร็จได้ด้วยดี จากความร่วมมือ การสนับสนุน ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาจากข้าราชการ พนักงานราชการ เจ้าหน้าที่ และหน่วยงานภายใน กรมวิชาการเกษตร ตลอดจนหน่วยงานภายนอก ที่อนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการ ปฏิบัติงาน ดังรายนามต่อไปนี้

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย

ผู้บริหารกรมวิชาการเกษตร

ผอ. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (กวป.)

ผอ. สุปรียา ศุขเกษม ผอ.กลุ่มบริหารโครงการวิจัย กวป.

คณะผู้เชี่ยวชาญกรมวิชาการเกษตร

คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

กองแผนงานและวิชาการ

นางพุดผา รุ่งระวี ที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตรด้านสถิติและประเมินผล

ดร.จรัญ ดิษฐไชยวงศ์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร

ข้าราชการ พนักงานราชการ และเจ้าหน้าที่ กวป. ทุกท่าน

ซึ่งประโยชน์และการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแต่ทุกท่าน และขอขอบคุณ
ไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

นางสาวศิริพร เต็งรัง	Ms. Siriporn Tengrang
นางสาวอกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์	Ms. Akanit Piscalwadcharin
นางสาววิไลศรี ลิมปพยอม	Ms. Wilaisri Limpapayom
นางสาวจารุวรรณ รัตนสกุลธรรม	Ms. Charuwan Rattanasakultham
นายศิวัช พลายเสน	Mr. Siwat Plaisen
นายกนกศักดิ์ ลอยเลิศ	Mr. Kanoksak Loiloes
นางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร	Ms. Wimonwan Wattanawichit
นายโกเมศ สัตยาวุธ	Mr. Komate Satyawut
นางสาวปาริชาติ อยู่แพทย์	Ms. Parichart Yoopae
นายนราทร สุขวิเสส	Mr. Narathorn Sukwises
นางสาวนภััสสร เลียบวัน	Ms. Napatsorn Leabwan
นางสาวศุภมาศ กลิ่นขจร	Ms. Supamas Klinkajorn
นางสาวสุปรียา สุขเกษม	Ms. Supreeya Sukhasem
นายประยูร เอ็นมาก	Mr. Prayoon Enmak
นางสาวอัจฉราพร ศรีจูดานู	Ms. Atcharaporn Srijudanu

บทนำ

ในปัจจุบันมีความตื่นตัวจากผู้บริโภคเรื่องอาหารเพื่อสุขภาพและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยสูงและช่วยลดการเจ็บป่วยลงได้ ซึ่งการใช้หรือบริโภคพืชผัก สมุนไพร และผลไม้สด อาจต้องใช้หรือบริโภคเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ปริมาณสารสำคัญที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ส่วนผลิตภัณฑ์แปรรูปอาจสูญเสียสารสำคัญไปในระหว่างกระบวนการผลิต หรืออาจไม่ได้รับประโยชน์ของสารสำคัญนั้นเลย อีกทั้งสารสำคัญบางชนิดอยู่ในเปลือกหรือเมล็ดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่สามารถบริโภคได้ ดังนั้นการศึกษาเพื่อใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสกัดเอาสารสำคัญจากผลิตผลเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรออกมา โดยอาจอยู่ในรูปของสารสกัดจากพืชโดยตรง สารจากการสกัดหยาบ หรือสารสกัดบริสุทธิ์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดพืชหรือชนิดของสารสำคัญนั้นๆ ซึ่งจะช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์ผลิตผลเกษตรได้ทุกส่วน อีกทั้งสามารถใช้สารสกัดได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า นอกจากนี้ต้องศึกษาเทคโนโลยีการกักเก็บและสถานะการเก็บรักษาสารสกัดให้คงไว้ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ของสารนั้นๆ เพื่อให้สามารถนำสารสกัดมาใช้ได้ตลอดเวลา ลดปัญหาการขาดแคลนสินค้า โดยสารธรรมชาติจากพืช เรียกว่า พืชวัตถุ แบ่งออกได้ 3 กลุ่ม คือ

- สารปฐมภูมิ ได้แก่ สารที่พืชผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการส่งเสริมให้พืชเติบโต ได้แก่ เส้นใย แป้ง น้ำตาล ไขมัน ในพืชต่างๆ ไป ซึ่งมนุษย์นำมาใช้เป็นอาหารเป็นหลัก

- สารทุติยภูมิ ได้แก่ สารกลุ่มที่พืชสังเคราะห์สร้างขึ้นมาใช้งานเฉพาะเพื่อปกป้องตัวเองจากศัตรู เช่น ยาง ไม้ น้ำมันหอมระเหย สารเคมีต่างๆ เช่น แทนนิน (สารฝาด) และอัลคาลอยด์ (สารขม) เป็นต้น สารกลุ่มนี้เป็นสารที่พืชแต่ละชนิดสร้างขึ้นเป็นพิเศษจึงมีฤทธิ์และสรรพคุณที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากอาหาร เช่น ใช้เป็นยา เป็นสารเสริมสุขภาพ บำบัดรักษา และเป็นเวชสำอาง เป็นต้น

- สารกลุ่มที่ 3 ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น รวมทั้งฮอร์โมนเพศ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางด้านอาหาร ยารักษาโรคและเวชสำอาง เช่น สารกลุ่มสเตอรอล และไอโซฟลาโวน เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าสารธรรมชาติจากพืชมีประโยชน์เป็นอย่างมาก สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมหลายกลุ่ม เช่น อาหาร อาหารเสริมสุขภาพ ยารักษาโรค เวชสำอาง สี และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้จึงมีกรอบแนวความคิดในการศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการสกัดที่เหมาะสมเพื่อดึงเอาสารสำคัญออกมาจากพืชให้ได้มากที่สุด ศึกษาเทคโนโลยีหรือวิธีการกักเก็บสารสกัดให้คงไว้ซึ่งคุณภาพ ประโยชน์ และคุณสมบัติของสารนั้นๆ การนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณสมบัติของสาร โดยนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้ผลิตผลและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มคุณสมบัติและเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารธรรมชาติไปใช้ ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

โดยมีวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดสารธรรมชาติจากพืชมาผลิตเป็นอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ สารเติมแต่งในอาหาร อุตสาหกรรมอาหารและเวชสำอาง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความปลอดภัยให้ผู้บริโภค
2. เพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดสารธรรมชาติจากพืชและวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร มาผลิตเป็นสารเติมแต่งในบรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้บรรจุภัณฑ์ เพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความปลอดภัยให้ผู้บริโภค

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคปไซซินจากพริกชี้ฟ้าและการสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกหวาน ศึกษาสมบัติและวิเคราะห์ค่า antioxidant activity ของสารสกัด ทำ microencapsulation ของสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการนำไปใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ
2. ศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว การสกัดเพคตินจากกากมะนาว การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเวชสำอาง
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีเพื่อให้ได้ปริมาณสารสีมากที่สุด ศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และอุณหภูมิในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตสีผง วิเคราะห์องค์ประกอบ คุณสมบัติ และตรวจสอบคุณภาพของสีผง และการนำสีผงไปใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร
4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ศึกษาคุณสมบัติและวิเคราะห์ค่า antioxidant activity ของสารสกัด รวมทั้งศึกษาการใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารทดแทนสารให้ความคงตัวทางการค้า
5. ศึกษาการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด พร้อมทั้งศึกษาการประยุกต์เอนไซม์บรอมีเลนในซอสหมักเนื้อ
6. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุด พร้อมทั้งทดสอบฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด การนำไปประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ และการทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์
7. ศึกษาวิธีการสกัด/วิธีการเตรียม วิเคราะห์คุณสมบัติและคุณภาพของลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ศึกษาวิธีเตรียมฟิล์มชีวภาพที่ใช้ลิกนินและนาโนเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม
8. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากพืชเพื่อใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์พร้อมประสิทธิภาพของสี ศึกษาการเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ทดสอบประสิทธิภาพและการเปลี่ยนสีของฟิล์ม และการนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์
9. ศึกษาต้นทุนการผลิตสารธรรมชาติเปรียบเทียบกับสารทางการค้า

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัด การกักเก็บสาร และการใช้ประโยชน์สารสำคัญ 13 ชนิด ที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 8 ชนิด ได้แก่ สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก น้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาว สีกกลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน สีกกลุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอท สีกกลุ่มคลอโรฟิลล์จากใบเตย เอนไซม์บรอมีเลนจากส่วนเหลือทิ้งสับปะรด สารแซนโทนจากเปลือกมังคุด ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และสีอินดิเคเตอร์กลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน ดำเนินงานวิจัยระหว่างปี 2560-2564 ที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ดังนี้

สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก: พริกชี้ฟ้าพันธุ์หัวเรือที่สกัดด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 1:5 w/v ให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด 2,374.35 $\mu\text{g/g}$ พริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าวให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด 229.42 $\mu\text{g/ml}$ และ 97.62 $\mu\text{moles Trolox/ml}$ กักเก็บสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยอัตราส่วนสารสกัดแคปไซซิน:สารสกัดแคโรทีนอยด์:มอลโทเด็คซ์ทริน 0.5:10:40 v/v ให้ปริมาณสารสกัดผงสูงที่สุด สามารถเก็บรักษาสารสกัดโดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูลเก็บในขวดแก้วใส เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพได้นาน 180 วัน

น้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหย และเพคติน เตรียมจากมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและพันธุ์แป้นโดยสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งน้ำ และเปลือก โดยผลิตน้ำมะนาวพร้อมดื่มบรรจุในถุงรีทอร์ตเพาซ์เก็บรักษาได้นาน 6 เดือน ผลิตน้ำมะนาวผงโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีวิตามินซี 40.54 mg/100 g เปลือกมะนาวนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย มีน้ำมันหอมระเหยในช่วง 1.40-4.9% และ 3.63-8.47% สกัดเพคตินจากเปลือกได้ 22.40% และ 13.82% โดยเพคตินที่ได้มีค่า Methoxy Content 11.80% และ 12.94% ค่า Degree of Esterification 56.21 และ 76.52 และมีค่า Equivalent weight 358.48 และ 782.19 ซึ่งได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของมะนาวและได้ประโยชน์จากวิตามินซีจากผงมะนาว

สีผงจากธรรมชาติ ได้จากการสกัดสารสีจากดอกอัญชัน แครอท และใบเตย โดยสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้สีผงสีชมพู มีปริมาณแอนโทไซยานิน 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100 g ปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่เท่ากับ 2.5% w/w สีผงจากแครอท ทำโดยสกัดแครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้สีผงสีส้ม มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 8.98 mg/100 g ปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่เท่ากับ 0.1 w/w สีผงจากใบเตย เริ่มจากสกัดใบเตยด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ ทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้สีผงสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 103.63 mg/100 g ปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา เท่ากับ 2.0% w/w เมื่อเก็บรักษาสีผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 12 เดือน ค่าความชื้นและค่า aw เพิ่มขึ้น คุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และปริมาณสารสำคัญมีค่าลดลง

ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง สกัดจากของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ด้วยน้ำ ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 5.45% มีสีเทา มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 55.68% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63 $\mu\text{g/ml}$ และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg GAE/100 ml มีโครงสร้างใกล้เคียงกับสารไซแลน สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเรได้ โดยใช้ปริมาณ 1.5% ในซอสพริก และ 2.0% ในอาหารเสริมสำหรับเด็ก เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นหนืดและการแยกชั้นใกล้เคียงกับการเติมแซนแทนกัม

เอนไซม์บรอมีเลน สกัดจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ได้แก่ จุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุด มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 111.36 CDU/g น้ำหนักสด และมีความบริสุทธิ์ของเอนไซม์สูง สกัดโดยตีปั่นที่

อุณหภูมิห้อง 1 min ป้อนน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นมาสกัดแยกโปรตีนโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง โดยดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 4 °C จะได้ผงเอนไซม์บรอมีเลนมีสีเหลืองอ่อน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิต $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อน้ำหนักสด นำไปประยุกต์ใช้ในสูตรซอสหมักเนื้อ ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.1% โดยน้ำหนักเนื้อสัตว์ และใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 min

สารแอลฟาแมงโกสติน เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยเมื่อสกัดเปลือกมังคุด อบแห้งแบบผงจะได้แอลฟาแมงโกสติน 55.74% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส 12.25 mm. จึงนำมาเติมในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยฟิล์มเติมสารสกัด 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 13.25 mm. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ได้ มีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm² และดึงยึดได้ 387.10 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน

ลิกนินและนาโนเซลลูโลส สกัดได้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยงานวิจัยนี้เลือกสกัดจากเปลือกทุเรียน เนื่องจากมีปริมาณการทิ้งสูง โดยต้มเยื่อด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แล้วกรองน้ำคั้นนำไปสกัดลิกนิน พบว่า สกัดลิกนินได้ 39.5% จากนั้นนำเยื่อไปสกัดนาโนเซลลูโลสได้ 10% นำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดเหมาะสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแห้ง มีค่าแรงดึงขาด 142.51 kgf/cm² และร้อยละการยืดตัว 10.81% ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 109.1 cm³/m²/day ค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม 0.40 μm สามารถต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็น ได้ที่ความยาวคลื่น 400 nm ขึ้นรูปเป็นถุงขนาด 10×10 cm² บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับถุงทางการค้า เก็บรักษา 3 เดือน พบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ได้ดีใกล้เคียงกับถุงทางการค้า โดยค่าเปอร์ออกไซด์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุง L3 และปริมาตรก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าในถุงทางการค้า

สีอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ ใช้สีจากสารกลุ่มแอนโทไซยานินโดยสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M มีค่า pH 2.50 มีค่า L* 25.54 ค่า a* 6.50 และค่า b* -5.83 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ และคงตัวได้ดี นำมาเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยเติมในฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA และไคโตซาน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ และเมื่อสัมผัสกับไอระเหยของแอมโมเนีย คนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างของฟิล์มได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อปลาสด พบว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลา และปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์

Abstract

The purpose of this research was to study the extraction, retention and utilization methods of 13 active substances extracted from 8 agricultural produce and agricultural waste materials; Capsaicin and carotenoids from chilis, lemon juice, essential oils and pectins from lemon, anthocyanin pigment from butterfly pea flowers, carotenoid pigment from carrots, chlorophyll pigment from pandan leaves, bromelain enzyme from pineapple waste, xanthones from mangosteen peel, lignin and nanocellulose from durian husk. and anthocyanin group

indicator color from butterfly pea flowers. The experiments were carried out at Postharvest and Processing Research and Development Division from during 2017-2021, as follows:

Capsaicin and Carotenoids from Chilis: The Huarua Chilis extracted with 95% ethanol, ratio 1:5 w/v has the highest capsaicin content at 2374.35 $\mu\text{g/g}$. Prik Chee Fah chilis extracted with rice bran oil yielded showed the highest total carotenoid content and antioxidant capacity of 229.42 $\mu\text{g/ml}$ and 97.62 $\mu\text{moles Trolox/ml}$. Capsaicin and carotenoids by spray drying ratio capsaicin extract: carotenoid extract: maltodextrin 0.5:10:40 v/v provides the highest amount of extract powder. The extract can be preserved in aluminum foil pouches and the capsules are stored in glass vials for use as a dietary supplement for 180 days.

Lime juice, essential oil and pectin are prepared from Pan Phichit and Pan lemon varieties that can be used both water and peel. Ready-to-drink lime juice is produced in retort pouches. It can be preserved for 6 months. The lemon powder is produced by spray drying technique, that contains 40.54 mg/100 g of vitamin C. Lemon peel is used to extract essential oils, that contains essential oils in the range of 1.40-4.9% and 3.63-8.47%. Pectin from peel was 22.40% and 13.82%, the resulting pectin has methoxy content of 11.80% and 12.94%, degree of esterification was 56.21 and 76.52, equivalent weight was 358.48 and 782.19, which have been applied in cosmetics to help products smell of lemon and benefit from vitamin C from lemon.

Natural color powder obtained by extracting pigment from butterfly pea flowers, carrots and pandan leaves. The color from butterfly pea flowers was extracted with 0.15 M concentration of citric acid solution and dried by spray drying to get pink powder, that content of anthocyanin was 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100 g. Optimum content in jelly product was 2.5% w/w. Carrot powder is extracted from carrot by a juicer. It was spray dried to get orange color powder with carotenoid content 8.98 mg/100 g, suitable amount in jelly product was 0.1 w/w. Powder color from pandan leaves, start by extracting pandan leaves with a juicer and then spray drying. The color of the powder is green and the smell of pandan leaves. The content of chlorophyll was 103.63 mg/100 g. The amount used in custard cream product was 2.0% w/w. When the color powder was kept in the aluminum foil bag for 12 months, the moisture and aw values increased. The microbial quality was within the standard and the amount of important substances decreased.

Hydrocolloids from Yanang leaves were extracted from solids that were insoluble in alcohol with water. Hydrocolloid content from Yanang leaves was 5.45%, gray color, euronic acid content 11.47%, total sugar content of about 55.68%, antioxidant capacity was 12.63 $\mu\text{g/ml}$, and total phenolic content 1.42. mg GAE/100 ml has a structure similar to that of xylan. It can be used as a stabilizer in chili sauce products and baby food products in puree form by using 1.5% in chili sauce and 2.0% in baby food supplements because the product's viscosity and stratification value are close to adding xanthan gum.

Bromelain enzyme is extracted from by-products of pineapple processing industry, including crown, peel and core of Batavia pineapple. The peel was the most abundant residue

and bromelain activity values were 111.36 CDU/g fresh weight and high enzyme purity. Extracted by blending at room temperature for 1 minute, squeezing the juice and extracting the pulp. The juice was extracted for protein separation by precipitating the protein with ethanol. It was then centrifuged at high speed under 4 °C to obtain light yellow bromelain enzyme powder. The enzyme activity of bromelain was $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g, yield of $0.24 \pm 0.09\%$ /fresh weight, and was applied in meat tenderizer for marinating sauces. The optimal amount is 0.1% by weight of meat and takes no more than 30 minutes to marinate.

Alpha-mangostin is the main constituent in mangosteen peel extract. Extraction of dried mangosteen peel in powder form will get Alpha-Mangosteen 55.74%, It can inhibit the growth of bacteria *Staphylococcus aureus*. The average diameter of the clear zone was 12.25 mm. Therefore, it was added to the polyvinyl alcohol (PVA) film. The film added 70,000 ppm extract was able to resist the growth of bacterial *Staphylococcus aureus*., that the diameter of clear zone was 13.25 mm. It can be applied as an antimicrobial film. The Properties of film shown; tensile strength 329.69 kgf/cm^2 and elongation of 387.10%. It can be applied as a food wrap film. Because it is higher than the standard polyethylene stretch film according to the TIS 1136-1993 standard.

Lignin and nanocellulose extracted from agricultural waste. In this research, the extraction from durian peel was chosen because of the high discarded volume. The pulp was boiling with a solution of potassium hydroxide and filtering the black liquor. It was found that 39.5% of lignin was extracted, 10% of nanocellulose was extracted, and it was used as an additive in biofilm from starches. Cassava starch that biofilm with 3% lignin added (L3) showed the best properties for use in dry food packaging. The properties of film shown; tensile strength was 142.51 kgf/cm^2 , elongation was 10.81%, oxygen permeation rate $109.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$, film surface roughness $0.40 \text{ }\mu\text{m}$ and UV and visible light resistance at a wavelength of 400 nm. Prepared a bag of $10 \times 10 \text{ cm}^2$, packed cashew nuts compared with commercial bags for 3 months storage. It was found that the cashews could be kept as biofilms good as those of commercial bags. The value of the cashew nut peroxide in L3 bags and the oxygen content in the package were lower than those in the commercial bags.

Natural indicator color using color from anthocyanin group by extracting color from butterfly pea flower with 0.15 M acetic acid. The extracted indicator has pH 2.50, brightness $L^* 25.54$. Redness $a^* 6.50$ and blueness $b^* -5.83$ showed good color change performance in various pH buffer solutions and was stable. Used to prepare a film for measuring acidity - alkalinity by adding in a composite film between PVA and chitosan. It is effective in measuring the acidity - alkalinity. This is because the film changes its color significantly when exposed to buffer solutions at different pH and in contact with ammonia vapors. The general public can differentiate the film. Applied to measure the deterioration of fresh fish meat quality, it was found that the film color value changed corresponding to the increase of microorganisms in the fish meat and the increase of ammonia gas inside the package.

กิจกรรมที่ 1

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับอาหารและเวชสำอาง

Development of Natural Products for Food and Cosmeceuticals

อกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์ วิลัยศรี ลิมปพยอม จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม ศิวัช พลายเสน
วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร โกเมศ สัตยาวัธ ปารีชาติ อยู่แพทย์ ศุภมาศ กลิ่นขจร
ศิริพร เต็งรัง นราทร สุขวิเสส และสุปรียา สุขเกษม

Akanit Pisalwadcharin Wilaisri Limpapayom Charuwan Rattanasakultham Siwat Plaisen
Wimonwan Wattanawichit Komate Satyawut Parichart Yooaet Supamas Klinkajorn
Siriporn Tengrang Narathorn Sukwises and Supreeya Sukhasem

คำสำคัญ (Key words)

แคปไซซิน แคโรทีนอยด์ พริก อาหารเสริม มะนาว นาโนเทคโนโลยี การทำแห้งแบบพ่นฝอย เอนแคปซูเลชัน เครื่องสำอาง แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ ใบย่านาง ไฮโดรคอลลอยด์ สารให้ความคงตัว ซอสพริก อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ เอนไซม์บรอมีเลน การแปรรูปสับปะรด ผงหมักเนื้อนุ่ม

Capsaicin, Carotenoid, Chilis, Functional Food, Lime, Nanotechnology, Spray Dry, Encapsulation, Cosmetic, anthocyanin, carotenoid, chlorophyll, Yanang leaves, hydrocolloid, stabilizer, Chili sauce, Baby food puree, Bromelain, Pineapple processing, Meat tenderizer

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัด การกักเก็บสาร และการใช้ประโยชน์ สารสำคัญ 9 ชนิด ที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก น้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาว สีกกลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน สีกกลุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอท สีกกลุ่มคลอโรฟิลล์จากใบเตย และเอนไซม์บรอมีเลนจากส่วนเหลือทิ้งสับปะรด ดำเนินงานวิจัยระหว่างปี 2560-2564 ที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก: พริกชี้ฟ้าพันธุ์หัวเรือที่อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 w/v ให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารแคปไซซินและสารไดไฮโดรแคปไซซินเท่ากับ 2,374.35 $\mu\text{g/g}$ และ 1,772.05 $\mu\text{g/g}$ พริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าวให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 229.42 $\mu\text{g/ml}$ และ 97.62 $\mu\text{moles Trolox/ml}$ จากนั้นทำการกักเก็บสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าการเตรียมอิมัลชันของสารสกัดแคปไซซิน สารสกัดแคโรทีนอยด์ และมอลโทเด็กซ์ทริน อัตราส่วน 0.5:10:40 v/v ให้สารสกัดผงที่มีผลผลิตที่ได้ (%yield) สูงที่สุด และการบรรจุสารสกัดผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูลบรรจุในขวดแก้วใส ปริมาณสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 180 วัน

น้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาว ได้จากการแปรรูปมะนาวและใช้ประโยชน์จากกากและเปลือกมะนาวเพื่อไม่ให้มีสิ่งเหลือทิ้ง โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรมีน้ำมะนาว 28.95% เปลือก 67.93% มะนาว

พันธุ์แป้นมีน้ำมันมะนาว 32.10% และเปลือก 51.30% ผลิตน้ำมันมะนาวเป็นน้ำมันมะนาวพร้อมตีบบรรจุในถุงรีทอร์ตเพาซ์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน ผลิตน้ำมันมะนาวผงโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย อัตราส่วนน้ำมันมะนาวสดต่อมอลโตเด็กซ์ทริน 50:50 อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 °C มีวิตามินซี 40.54 mg/100 g ส่วนเปลือกมะนาวนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและมะนาวพันธุ์แป้นมีน้ำมันหอมระเหยในช่วง 1.40-4.9% และ 3.63-8.47% มีองค์ประกอบ D-Limonene สูงถึง 48.28-52.63% การสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและมะนาวพันธุ์แป้น พบว่ามีเพคตินปริมาณ 22.40% และ 13.82% โดยเพคตินที่ได้มีค่า Methoxy Content 11.80% และ 12.94% ค่า Degree of Esterification 56.21 และ 76.52 และมีค่า Equivalent weight 358.48 และ 782.19 ซึ่งได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง เช่น เจลวิตามินซี โลชั่นวิตามินซี เซรั่มวิตามินซี เป็นต้น โฟมซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้มะนาวได้ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของมะนาวและได้ประโยชน์จากวิตามินซีจากผงมะนาว

สีผงจากธรรมชาติ ได้จากการสกัดสารสีจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน แครอท และใบเตย ซึ่งการผลิตสีผงจากดอกอัญชันเริ่มจากสกัดดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันต่อสารละลายกรดซิตริก 1:50 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C 30 min นำสารสกัดที่ได้ระเหยน้ำออกให้สารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 8 °Brix จากนั้นผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงเป็นสีชมพู มีความชื้น 4.31% ค่า aw 0.255 ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 57.36 16.02 และ -2.69 ตามลำดับ ค่าการละลาย 98.71% ปริมาณแอนโทไซยานิน 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100 g ปริมาณที่เหมาะสมเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ เท่ากับ 2.5% w/w การผลิตสีผงจากแครอท ทำโดยสกัดแครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำจนสารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 25 °Brix ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% w/w นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C ได้สีผงเป็นสีส้ม มีความชื้น 1.65% ค่า aw 0.27 ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 52.44, 8.52 และ 11.97 ตามลำดับ ค่าการละลาย 84.51% ปริมาณแคโรทีนอยด์ 8.98 mg/100 g ปริมาณที่เหมาะสมเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ เท่ากับ 0.1 w/w การผลิตสีผงจากใบเตย เริ่มจากสกัดใบเตยด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ จากนั้นผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% w/w นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงเป็นสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย มีความชื้น 1.18% ค่า aw 0.20 ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 53.43, -5.54 และ 12.67 ตามลำดับ ค่าการละลาย 91.88% ปริมาณคลอโรฟิลล์ 103.63 mg/100 g นำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0% w/w เมื่อเก็บรักษาสีผงในถุงอะลูมิเนียมพอยล์เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าสีผงมีความชื้นและค่า aw เพิ่มขึ้น คุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณสารสำคัญ: แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ มีค่าลดลง

ไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง ได้จากการสกัดสารสกัดไບย่านางในรูปของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ด้วยน้ำ ที่อัตราส่วน 1:20 w/v อุณหภูมิ 80 °C 90 min ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง 5.45% โดยน้ำหนักแห้ง มีสีเทา มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47 % และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 55.68% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC50 12.63 (µg/ml) และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 (mg GAE/100 ml) มีโครงสร้างใกล้เคียงกับสารไซแลน จากนั้นประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่เปรียบเทียบกับแซนแทนกัมและกัมอะราบิก พบว่าซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางปริมาณ 1.5% มีค่าความชื้นหนืดและการแยกชั้นใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมแซนแทนกัม 1.0% และอาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางปริมาณ 2.0% มีค่าความชื้นหนืดและการแยกชั้นใกล้เคียงกับอาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ที่เติมแซนแทนกัม 1.5% และเติมกัมอาราบิก

2.5% ดังนั้นไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานางสามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ได้ โดยใช้ปริมาณ 1.5% ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก และ 2.0% ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่

เอนไซม์บรอมีเลน สกัดได้จากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ได้แก่ จุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยน้ำคั้นที่ได้จากแต่ละส่วนที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 139.00 111.36 และ 106.12 CDU/g น้ำหนักสด ตามลำดับ โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ และมีความบริสุทธิ์ของเอนไซม์ (ค่ากิจกรรมจำเพาะ) มากกว่าการสกัดจากจุกสับปะรด จึงเลือกใช้เป็นตัวหลัก การสกัดเอนไซม์บรอมีเลนจากเปลือกติดเนื้อกับตาทำได้โดย ตีปั่นวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 min แล้วการบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นมาสกัดแยกโปรตีนด้วยการเติมเอทานอลเข้มข้น 95% อัตราส่วน 26:74 v/v พักให้เกิดตะกอนโปรตีนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm 15 min โดยดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 4 °C นำตะกอนโปรตีนไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้ผงเอนไซม์บรอมีเลนมีสีเหลืองอ่อน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิต $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อน้ำหนักสด นำเอนไซม์บรอมีเลนผงไปประยุกต์ใช้ในสูตรซอสหมักเนื้อ พบว่าปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมคือ 0.1% โดยน้ำหนักเนื้อสัตว์ และใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 min ก็ทำให้เนื้อสัตว์นุ่มลงได้

Abstract

This research aims to study the extraction method, substance retention and utilization of 9 important substances extracted from 6 agricultural products and agricultural waste materials; Capsaicin and carotenoids from chilis, lemon juice, essential oils and pectins from lemon, anthocyanin pigment from butterfly pea flowers, carotenoid pigment from carrots, chlorophyll pigment from pandan leaves, bromelain enzyme from pineapple waste. The experiments were carried out at Postharvest and Processing Research and Development Division from during 2017-2021. The details are as follows.

Capsaicin extract obtained from extraction condition using ethanol: huarua Chilis ratio of was 1:5 (w/v) showed the highest capsaicin contents (2,374.35 $\mu\text{g/g}$) and dihydrocapsaicin contents (1,772.05 $\mu\text{g/g}$). And carotenoid extract of prik chee fah using rice bran oil showed the highest total carotenoid contents (229.42 $\mu\text{g/ml}$) and antioxidant activity (97.62 $\mu\text{moles Trolox/ml}$). After that, the capsaicin and carotenoid extracts were encapsulated by spray drying with capsaicin extract: carotenoid extract: maltodextrin ratio of 0.5:10:40 (v/v). It was shown that

the highest production yield of extract powder. In addition, the amount of capsaicin and carotenoid of capsaicin and carotenoid powders in aluminium foil pouch were similar to capsaicin and carotenoid powder contained in capsules in clear glass bottle for 180 days.

lemon juice, essential oil and lemon pectin It is obtained by processing lemons and making use of lime pulp and peel. Paen Phichit lemon has 28.95% lime juice, 67.93% peel, 32.10% lime juice, and 51.30% peel. It produces lime juice as ready-to-drink lime juice packed in retort pouches that can be stored for 6 months. Powdered lemon juice using spray drying technique that the ratio of fresh lime juice to maltodextrin 50:50, inlet hot air temperature 150 °C. This product has vitamin C contents of 40.54 mg/100 g w/w. The lemon peel is used to extract essential oils. Paen Phichit lemon and Paen lime had volatile oil in the range of 1.40-4.9% and 3.63-8.47%, and D-Limonene was 48.28-52.63%. and lemon varieties. It was found that the pectin content was 22.40% and 13.82%, that had Methoxy Content of 11.80% and 12.94%, Degree of Esterification value 56.21 and 76.52, and Equivalent weight of 358.48 and 782.19, which were applied in cosmetics such as vitamin C gel, vitamin C lotion Vitamin C serum, foam, etc., which can be utilized and add value to lemons. This gives the product a lemon scent and benefits from the vitamin C of lemon powder.

Natural pigments obtained from 3 types of plant pigments; Butterfly pea flowers, carrots and pandan leaves. The production of powdered color from butterfly pea flowers was extracted with 0.15 M of citric acid solution, 1:50 w/v ratio of butterfly pea to citric acid solution, at 60 °C for 30 min, evaporated extract to 8 °Brix of soluble solid content, then 20% maltodextrin was mixed by weight and subjected to spray drying at hot air temperature 160 °C to get pink powder. The properties of pigment were moisture content 4.31%, aw 0.255, color score L* a* and b* were 57.36 16.02 and -2.69 respectively, solubility 98.71%, anthocyanin content 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100g. Appropriate amount when applied in jelly products is 2.5% w/w. Production of powdered color from carrots by extracting carrots in a juicer. The extract was evaporated until the extract contained 25 °Brix soluble solids. The powder was poruced by mixed color with 20% w/w maltodextrin and was spray dried at 170 °C hot air temperature to obtain color orange powder, that properies were moisture 1.65%, aw 0.27, color values L* a* and b* are 52.44, 8.52 and 11.97, respectively, solubility 84.51%, carotenoid content 8.98 mg/100 g, optimum content when applied in jelly products equal to 0.1 w/w. Powder color from pandan leaves start by extracting pandan leaves with a juicer. Then mixed with 20% w/w maltodextrin, was spray dried at 160 °C inlet hot air temperature. The powder was green with pandan aroma, with a moisture content of 1.18%, aw 0.20, color score L* a* and b* were 53.43, -5.54 and 12.67 respectively, solubility 91.88%, chlorophyll content 103.63 mg/100 g, applied in custard cream product, that the optimum content was 2.0% w/w. After keeping the paint powder in the aluminum foil bag for 12 months, the moisture content

and aw value of the paint was increased. The microbial quality was within the standard. The content of active substances: anthocyanins, carotenoids and chlorophyll were decreased.

Hydrocolloids from Yanang leaves were obtained by extracting Yanang leaf extracts as insoluble solids in water at a ratio of 1:20 w/v at 80 °C for 90 min. Hydrocolloids from Yanang leaves were obtained at 5.45% by dry weight. It is gray in color with 11.47% uronic acid and approximately 55.68% total sugar, IC50 antioxidant capacity 12.63 ($\mu\text{g}/\text{ml}$) and total phenolic content 1.42 (mg GAE/100). ml) has a similar structure to xylan. It was then applied as a stabilizer in chili sauces and baby food supplement products in puree form compared to xanthan gum and gum arabic. Yanang 1.5% had the same viscosity and stratification value as 1.0% xanthan gum added for chili sauce and 2.0% for baby food in pure form with hydrocolloid added from Yanang leaves. The viscosity and stratification are close to that of baby food in pure form with 1.5% Xanthan Gum and 2.5% Gum Arabic. Stability in Chili Sauce and Baby Food Supplement Products can be obtained in pure form by using 1.5% in chili sauce products and 2.0% in puree formulations for baby food supplements.

bromelain enzyme It is extracted from by-products from the pineapple processing industry, including crown, peel and core of Batavia pineapple. The juice extracted from each fraction had bromelain activity values of 139.00, 111.36 and 106.12 CDU/g fresh weight, respectively. To consider the enzyme extract purity with the specific activity value of pineapple peel extract was more than the extraction from the crown, so it was chosen as the main raw material. The extraction of bromelain from the peel was carried out by blending the raw material at room temperature for 1 min and then squeezing out the juice and extracting the pulp. Squeezed juice was extracted for protein separation by adding 95% ethanol at the ratio of 26:74 v/v, resting to form a protein sediment for 1 h, and centrifuged at 10,000 rpm for 15 min, under 4 temperatures. °C. The protein sediment was freeze-drying to obtain bromelain powder of light-yellow color with bromelain activity of $19,832.66 \pm 5,128.13$ CDU/g, yield was $0.24 \pm$ %/fresh weight. In the application of bromelain powder act as a meat tenderizer for marinating sauces of the thin pok sliced, only 0.1% of bromelain powder per weight of meat was enough to soften the meat in 30 minutes.

บทนำ

ประเทศไทยมีผลผลิตจากพืชผัก สมุนไพร และผลไม้จำนวนมาก โดยการผลิตส่วนใหญ่เป็นการผลิตเพื่อรองรับการบริโภคสดและการแปรรูป มีส่วนน้อยที่ผลิตเพื่อนำเอาสารสำคัญซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยสารสำคัญจากพืชผัก สมุนไพร และผลไม้หลายชนิดสามารถใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ได้ เช่น สีสังเคราะห์ สารเสริมสุขภาพและยาสังเคราะห์ สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์ และสารทำให้เนื้อนุ่ม เป็นต้น โดยตัวอย่างสารสำคัญจากพืชที่นิยมใช้แทนสารเคมีสังเคราะห์ ได้แก่ รงควัตถุ(สารสี) น้ำมันหอมระเหย(สารให้กลิ่น) แทนนิน (สารฟาด) อัลคาลอยด์(สารขม) ไฮโดรคอลลอยด์(สารเพิ่มความคงตัว) และบรอมีเลน(เอนไซม์ย่อยโปรตีน) เป็นต้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มีรายงานการศึกษาและมีข้อมูลของสารสกัดหรือสารสำคัญหลายชนิด รวมถึงวิธีการสกัด วิธีการกักเก็บ และคุณสมบัติของสารสกัด ตลอดจนการนำเอาสารสกัดมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. แคปไซซิน เป็นสารกลุ่มแคปไซซินอยด์ เป็นสารประกอบสำคัญของพริกที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน แคปไซซินอยด์ประกอบด้วยแคปไซซิน 61% ไดไฮโดรแคปไซซิน 22% นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน 1% ไฮโมแคปไซซิน 1% และไฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน 1% โครงสร้างทางเคมีของแคปไซซิน คือ 8-methyl-n-vanillyl-6 noneamide มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{27}NO_3$ สารแคปไซซินพบมากบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาวหรือที่เรียกว่า “รกพริก” ในส่วนของเนื้อ เปลือก และเมล็ดพริกจะมีสารแคปไซซินอยู่น้อยมาก ปริมาณแคปไซซินจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดและสายพันธุ์ของพริก ดังนี้ พริกชี้หนูมีแคปไซซิน 18.2 ppm พริกเหลืองมีแคปไซซิน 16.7 ppm พริกชี้ฟ้ามีแคปไซซิน 4.5 ppm พริกหยวกมีแคปไซซิน 3.8 ppm และพริกหวาน(พริกยักษ์) มีแคปไซซิน 1.6 ppm (สัมพันธ์, 2546)

คุณสมบัติของแคปไซซินบริสุทธิ์ คือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายในน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในไขมัน น้ำมัน และแอลกอฮอล์ มีจุดหลอมเหลว $65^{\circ}C$ ทนความร้อนและความเย็นได้ดี (มโนวิชและจันทรรัตน์, 2547) แคปไซซินมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยามากมาย เช่น ช่วยคลายลิ้มเลือด ลดการเกิดการอุดตันของเส้นเลือด (ชวนพิศ, 2547) บรรเทาปวด ลดการอักเสบ โดยมีรายงานการวิจัยว่ามีการใช้แคปไซซินในการรักษาอาการปวดต่าง ๆ เช่น อาการปวดหรือคันที่ผิวจากการผ่าตัด บาดเจ็บ ความผิดปกติของระบบประสาทจากเนื้องอก ข้ออักเสบรูมาตอยด์ ข้อเสื่อม ปลายประสาทอักเสบจากเบาหวาน บรรเทาอาการคัดจมูกน้ำมูกไหลเรื้อรัง (สนทยา, 2540)

2. รงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ เป็นสารให้สีในพริก โดยในผลพริกจะมีสารให้สีที่สำคัญ คือ แคปแซนทิน ซึ่งเป็นสารคีโตแคโรทีนอยด์ โดยสารประกอบแคปแซนทินบริสุทธิ์จะเป็นผลึกรูปเข็มสีแดงเข้ม ละลายได้ในแอลกอฮอล์ มีจุดหลอมเหลว $175-176^{\circ}C$ สารละลายแคปแซนทินในปิโตรเลียมอีเทอร์ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 - 500 nm. ในพริกที่ยังไม่สุกจะไม่พบรงควัตถุพวกคีโตแคโรทีนอยด์ แต่จะพบรงควัตถุที่ให้สีเขียวและเหลืองส้ม ได้แก่ ลูเทอีน บีตาแคโรทีน ไวโอลาแซนทิน แคปไซโรบิน และคริปโตแซนทิน การกระจายตัวของรงควัตถุในผลพริกจะแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ โดยพบในส่วนเนื้อสูงกว่าเมล็ด เช่น ในส่วนเนื้อของพริก *Capsicum annuum* var. *acuminatum* มีบีตาแคโรทีนอยู่ 94.6% ของปริมาณทั้งหมดในพริก ขณะที่ในเมล็ด

มีอยู่เพียง 4.9% (สนทยา, 2540) สารรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ในพริกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย รวมทั้งช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งได้

การวิจัยเกี่ยวกับสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริกจะเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจจากธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์ และพัฒนาเป็นแหล่งของอาหารที่มีความสำคัญต่อสุขภาพ แต่เนื่องจาก capsaicin และแคโรทีนอยด์ สามารถสลายตัวได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะแคโรทีนอยด์สามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน กรด และปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงได้นำเทคโนโลยีการเก็บกัก (encapsulation) มาเป็นตัวช่วยเพื่อคงประสิทธิภาพและรักษาคุณภาพของสารสำคัญดังกล่าวไว้ให้คงอยู่ นอกจากนี้ยังสามารถนำผลิตภัณฑ์สารสำคัญจากพริกที่อยู่ในรูปแบบผงมาประยุกต์ใช้สำหรับเป็นอาหารเสริมต่อไปได้

3. น้ำมะนาวผง มะนาวเป็นไม้ผลในตระกูลส้ม มีรสเปรี้ยวจัดหรือเป็นแหล่งของวิตามินซี ให้รสชาติและกลิ่นหอม มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันโรคมะเร็งไข้เจ็บต่างๆ โดยการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะสมดุลที่ร่างกายรับได้ ซึ่งหากทำให้น้ำมะนาวอยู่ในรูปผงจะทำให้การใช้งานสะดวกขึ้น โดยวรรณิ (2545) ได้วิจัยการทำมะนาวผง โดยใช้ความร้อนลดความชื้นจากเปลือกมะนาวด้วยการลวกมะนาวที่ 100 °C นาน 1 min ก่อนคั้นน้ำ พบว่าช่วยลดความชื้นจากสารให้ความชื้นที่เปลือกมะนาวลงได้ การทำแห้งมะนาวผงโดยใช้น้ำเชื่อมกลูโคสในสัดส่วนน้ำมะนาวต่อน้ำเชื่อมกลูโคสและมอลโตเด็คทรีน DE26 อัตราส่วน 100:30 ให้ผลิตภัณฑ์มะนาวผงที่ดี แต่ต้องเติมกลิ่นมะนาวโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวซึ่งได้จากการกลั่นเปลือกมะนาวด้วยน้ำ โดยนำมาผสมหลังการทำแห้งมะนาวผง สัดส่วนที่เหมาะสมในการเติม คือ 0.3%

4. น้ำมันหอมระเหยจากมะนาว มีการนำมาใช้เป็นสารให้กลิ่นอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องสำอาง รวมทั้งของใช้ภายในบ้านต่างๆ เช่น ก้อนหอมดับกลิ่น โดย Rao and McClements (2014) ได้วิจัยการสกัดน้ำมันมะนาว (Lemon Oil) จากเปลือกของมะนาว โดยศึกษาการเตรียมอิมัลชันในรูปแบบ Oil in water พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันมะนาวก็คือ monoterpenes 35% sesquiterpenes 14% และ Oxygenated 33% เตรียมอิมัลชัน oil in water ด้วยเครื่อง High pressure Homogenizer ประกอบด้วย น้ำมันมะนาว 10% โดยน้ำหนัก Tween80 1% โดยน้ำหนัก และสารละลายบัฟเฟอร์ (10 mMole phosphate pH7) 89% โดยน้ำหนัก ทำให้ได้น้ำมันมะนาว 10% ในอิมัลชัน

5. เพคติน (Pectin) มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด ช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนา แข็งแรง และยืดหยุ่นได้เล็กน้อย ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มความเหนียวและความเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ใช้ผสมในไอศกรีม เยลลี่ วุ้น ลูกอม เป็นต้น รวมทั้งยังมีการใช้ในเครื่องสำอางอีกด้วย (Wang et al., 2014) โดยทั่วไปสามารถพบเพคตินในผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล กล้วย มะเฟือง ฝรั่ง ลิ้นจี่ มะม่วง เป็นต้น ซึ่งผลไม้ตระกูลแอปเปิ้ลและส้มจะมีเพคตินในเปลือกปริมาณสูง ซึ่งในประเทศไทยมีพืชตระกูลส้มอยู่หลายชนิด เช่น ส้มโอ มะนาว และมะกรูด ซึ่งเป็นแหล่งของเพคตินธรรมชาติ โดยสมฤทัยและคณะ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาว คือ ใช้กรดเกลือความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ปรับ pH สารละลายให้เท่ากับ 2 ใช้เวลาสกัด 60 min จะได้สารสกัดเพคติน 2.34±0.05% น้ำหนักแห้ง มีลักษณะเป็นผงละเอียด ร่วน ดูดความชื้นได้ มีสีเนื้อถึงสีน้ำตาล เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายใสสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม มี pH 3-4 เมื่อเติมกรดหรือด่างจะเกิดเจลหรือตะกอนวุ้นสีขาว มีค่า methoxy content ต่ำ 24.42% และค่า Loss on drying 5.62% ของน้ำหนักสาร

6. รงควัตถุหรือสี มีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากสีเป็นคุณลักษณะแรกที่ถูกบริโภคได้รับทางประสาทสัมผัส และเป็นปัจจัยที่ดึงดูดให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกและยอมรับอาหารชนิดนั้นๆ สำหรับอาหารแปรรูปกรรมวิธีการผลิตที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเก็บรักษาก็มีผลทำให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สีผสมอาหารเพื่อทดแทนการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตและเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสม่ำเสมอ ปัจจุบันสีสังเคราะห์ผสมอาหารมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ทำให้ผู้ผลิตใช้แทนสีธรรมชาติมากขึ้น (เวณิกาและคณะ, ม.ป.ป.) แต่การบริโภคสีสังเคราะห์ที่ในปริมาณมากเกินไป อาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้นจึงให้ความสนใจกับสีธรรมชาติที่สกัดจากพืชมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยและมีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วย เช่น รงควัตถุสีม่วง มีสารแอนโทไซยานินพบในดอกอัญชัน รงควัตถุสีส้มมีสารแคโรทีนอยด์พบในแครอท และรงควัตถุสีเขียวพบในใบเตยมีสารคลอโรฟิลล์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.) โดย

แอนโทไซยานิน เป็นสารประกอบฟีนอลิก ให้สีช่วงแดง-น้ำเงิน มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สามารถละลายน้ำได้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็น แก้อาการตาฟาง ตามัว ช่วยยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด และช่วยขับปัสสาวะ เป็นต้น พบได้ในผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ดอกอัญชัน กระจับปี่ ผักกาดแดง องุ่น พลัม และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เป็นต้น (Shahidi and Naczka, 2004 และ Giusti and Wrolstad, 2005)

แคโรทีนอยด์ เป็นกลุ่มสีที่ให้สีเหลืองจนถึงสีแดง ค่อนข้างคงตัว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ป้องกันโรคมะเร็งได้โดยผ่านกลไกการยับยั้งอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจคือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผนังหลอดเลือดเกิดบาดแผลและสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของแอลดีแอลได้ นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังเป็นสารตั้งต้นวิตามินเอ

คลอโรฟิลล์ เป็นกลุ่มสีที่ให้รงควัตถุสีเขียวในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของใบเป็นสีที่ไม่คงตัว โดยแสงอุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนสีคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ คลอโรฟิลล์ a และคลอโรฟิลล์ b การเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวสว่างไปเป็นสีเขียวน้ำตาลทึบ และในสภาวะที่เป็นกรดที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทางความร้อนก็มีผลต่อการเปลี่ยนสีด้วย (Dennis, 1998)

โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดธรรมชาติ เช่น การสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยน้ำและปรับค่า pH เท่ากับ 4 ผสมสารห่อหุ้ม 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซิลโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและเจลาตินโดยควบคุมให้มีน้ำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 130 °C พบว่าสีผงจากดอกอัญชันที่ใช้เจลาตินเป็นสารห่อหุ้มมีความคงตัวมากกว่า (Angkana et al., 2008) การผลิตสีผงจากแครอททำการสกัดด้วยเอนไซม์และเติมมอลโตเดกซ์ทริน DE 10 ปริมาณ 10% ทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 135-145 °C อุณหภูมิร้อนออก 90-100 °C ผงสีที่ได้มีสีเหลืองอ่อน (กิตติมา, 2549) ผลิตผงใบเตยโดยสกัดใบเตยด้วยน้ำ 1:6 นำสารสกัดที่ได้ 600 g ผสมกับน้ำมันปาล์ม 240 g มอลโตเดกซ์ทริน 136 g โซเดียมเคซิเนต 24 g นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 170-200 °C พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งที่เหมาะสมคือ 170 °C ซึ่งทำให้ผงใบเตยมีคุณภาพดีที่สุด (Loh et al., 2005)

7. กัม (gum) หรือไฮโดรคอลลอยด์ เป็นพอลิเมอร์สายยาวนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารตามคุณสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว สารเพิ่มความหนืด อิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ สารช่วยให้เกิดเจล และสารที่ทำให้เกิดฟิล์ม เป็นต้น โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากพืชกำลังเป็นที่สนใจในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้วัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) ในกระบวนการผลิตจำนวนมาก ซึ่งการพัฒนาไฮโดรคอลลอยด์จากผักผลไม้ชนิดต่างๆ จะเป็นการพัฒนาวัตถุเจือปนอาหารชนิดใหม่ที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้ โดยไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติ ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ เมล็ด ยาง เช่น โลคัสปิงกัม กัมอาราบิก ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือได้จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน หรือได้มาจากสัตว์ เช่น ไคติน หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แชนแทนกัม (นิธิยา, 2549)

ย่านางเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้เป็นอาหารและเป็นยามาตั้งแต่โบราณ เมื่อกินน้ำจากใบย่านางจะได้สารละลายที่มีความขุ่นหนืดซึ่งเกิดจากไฮโดรคอลลอยด์ที่อยู่ในใบย่านาง ซึ่งมีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลัก มีคุณสมบัติคล้ายไซแลนที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดใบย่านางมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

รวมทั้งกรดยูโรนิกคล้ายคลึงกับน้ำตาลที่พบในไซแลนจากบรีชูด ไซแลนจากโอ๊คสเปลท์ และไซแลนจากเมล็ดฝ้าย น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง คือ น้ำตาลไซโรส (73%) (จิตรรา, 2550) นอกจากนี้ไบบานางยังมีสารพฤกษเคมีในปริมาณสูง ได้แก่ สารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แทนนิน และซาโปนิน โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (EC50) 9.63 ppm และวิธี FRAP เท่ากับ 0.7343 (mmol/mg extract) สารฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 18.67 (mg quercetin equivalent/g of extract) (Rattana et al, 2010)

8. บรอมิเลน เป็นเอนไซม์ที่เร่งการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งมีการนำไปใช้กันในอุตสาหกรรมหลากหลายด้าน เช่น ใช้เป็นป้องกันความชื้นของเปียร์ขณะเก็บรักษา เรงกระบวนการหมักน้ำปลา ช่วยเพิ่มความกรอบใหญ่คูกี้ และใช้สารที่ช่วยทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (Valles et al., 2007) ใช้สำหรับช่วยในการย่อยอาหาร ช่วยรักษาแผลให้หายเร็วขึ้น รวมทั้งช่วยลดการอักเสบได้ เป็นต้น โดยการผลิตโดยเอนไซม์บรอมิเลนทางการค้าจะผลิตสามารถผลิตได้จากพืชชนิดเดียว คือ สับปะรด (*Annanas comosus* (L.) Merr.) ซึ่งคุณสมบัติของเอนไซม์จะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบ เอนไซม์และพันธู์ของสับปะรด โดยนำน้ำสับปะรดมาผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ได้แก่ อัลตราฟิวเตรชัน (ultrafiltration) ให้ได้สารละลายเข้มข้นและบริสุทธิ์ การเซนตริฟิวจ์ (centrifugation) เพื่อแยกเอาเอนไซม์จากสารละลาย และไลโอไฟล์เซชัน (lyophilisation) เพื่อดึงน้ำออกจากโมเลกุล ซึ่งจะได้บรอมิเลนที่มีลักษณะเป็นผงโปรตีนสีเหลือง (Coelho et al., 2013) และมีราคาที่สูง (Ramli, 2017)

เนื่องจากประเทศไทยถือเป็นผู้ผลิตสับปะรดรายใหญ่ที่สุดของโลก นิยมปลูกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย เนื่องจากมีสัดส่วนของผลที่ใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจสูงและส่งโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ (จารุพันธ์, 2526) และจะทำให้ได้เศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปถึงร้อยละ 70 (มาลี, 2521) คิดเป็น 7.17 ล้านตันต่อปี จากทั้งเปลือก ใบสับปะรด และจุก (สมบัติและคณะ, 2537)

การสกัดเอนไซม์บรอมิเลนในระดับห้องปฏิบัติการทำได้โดยการตีปั่นด้วยน้ำผสมน้ำแข็งปราศจากไอออน (ทง, 2530) การตีปั่นด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่เย็น (Ketnawa, 2011) การบีบอัดด้วยเครื่องไฮโดรริก (นิมิตพิสุทธิ์, 2530) หลังจากนั้นนำน้ำสับปะรดที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์โดยการกรอง/ปั่นเหวี่ยง ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก แล้วสกัดเอนไซม์บรอมิเลนด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยตัวทำละลายอะซิโตน เอทานอล ที่เย็น (ทง, 2530) การตกตะกอนโดยใช้เกลืออิ่มตัว เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และ/หรือร่วมกับสารละลายพอลิเมอร์ (Ketnawa, 2011) เป็นต้น หลังจากนั้นนำตะกอนที่แยกได้ไปทำให้แห้ง โดยการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ร้อยละผลได้ของค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมิเลนสูงกว่า (Devakate, 2009) การนำเอนไซม์บรอมิเลนมาประยุกต์ใช้เพื่อทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้นทำได้จากการนวดหมักเนื้อและการจุ่มแช่ เอนไซม์บรอมิเลนจะสามารถทำให้คอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อสัตว์ในส่วนกล้ามเนื้อลาย เสื่อมคุณภาพลง ทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์อ่อนนุ่ม

ดังนั้นในกิจกรรมนี้จึงมุ่งเน้นศึกษา วิจัย และพัฒนาเพื่อหากระบวนการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการสกัดหรือแปรรูปสารธรรมชาติจากพืชหรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรมาเป็นอาหาร อาหารเสริม สุขภาพ สารเติมแต่งในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเวชสำอาง โดยยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ของสารธรรมชาตินั้นๆ ทั้งช่วยส่งเสริม เพิ่มคุณสมบัติ และเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารสกัดจากธรรมชาติไปใช้ รวมถึงเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค

ระเบียบวิธีการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2559 – กันยายน 2554

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ พริกชี้ฟ้าพันธุ์จินดา ชูบเปอร์ฮอต หัวเรือ เพชรดำ จินดา ศก.84และยอดสน พริกชี้ฟ้า พริกหวานสีแดง พริกหวานสีส้ม มะนาวพันธุ์แป้น มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร แครอท ใบเตย และ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากตลาดไทและตลาดสี่มุมเมือง ดอกอัญชันพันธุ์ 7-1-16 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร
2. เครื่อง Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS): Clarus SQ 8 T, ยี่ห้อ PerkinElmer
3. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC): โมเดล Flexar, ยี่ห้อ PerkinElmer
4. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer: รุ่น UV-2600, Shinadzu
5. เครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Thermo Scientific: รุ่น Nicolet iS5 (iD5 ATR)
6. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย Spray Dryer: รุ่น SD-06 basic, ยี่ห้อ Labplant UK
7. เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer: รุ่น DV-III +
8. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
9. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (aw) Novasina: รุ่น TH 200
10. เครื่องวัดความชื้น Sartorius ME model
11. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument
12. เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง High-Speed Refrigerated Centrifuge CRZZN, Hitachi: รุ่น himac CR22N
13. เครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก SCAMSPEED MINI
14. เครื่องเหวี่ยงแยกกาก MIERO 22R, Hettich
15. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)
16. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer)
17. เครื่องระเหยสุญญากาศ Steroglass: รุ่น strike 202
18. เครื่องชั่งตวงถนียม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204
19. เครื่องชั่งตวงถนียม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
20. เครื่องคั้นน้ำผลไม้ Hydraulic Machine to Press Coconut milk: Model 12 turbo
21. เครื่องหั่นสไลด์ robot coupe, CL60 บริษัท C.L. FoodS
22. เครื่องบดขนาดช่องตะแกรง 0.25 mm. Armfield, Retsch Muhle
23. เครื่องบด/ปั่น PS505 UNIVERSAL FRITTER: Model QS505
24. เครื่องบด/ปั่น Retsch, SK-1
25. ตู้อบลมร้อน KOTTERMANN 2736
26. ตู้อบลมร้อน WTC binder
27. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิพร้อมเครื่องเขย่า Julabo: รุ่น SW 2
28. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ EYELA Cool ACECA 1100
29. อะซิโตน (Acetone, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
30. เอทานอล (Ethanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
31. เอทานอล 95% เกรดอาหาร (L PURE)
32. กรดซิตริก (กรดอาหาร, บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)

33. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, AR grade, Merck , Germany)
34. กรดไตรคลอโรอะซิติก (MERK)
35. ไดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟส (MERK)
36. สารมาตรฐานเอนไซม์บรอมิเลน (Sigma)
37. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS)
38. Casein (MERK)
39. L-Tyrosine (HIMEDIA)

วิธีการดำเนินการ

กิจกรรมที่ 1 ประกอบด้วย 5 การทดลอง ซึ่งทั้ง 5 การทดลอง มีวิธีการดำเนินงานแตกต่างกัน ดังนี้
การทดลองที่ 1.1 การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก (ดัดแปลงจาก Gudeva et al., 2013)

1.1 เตรียมตัวอย่างพริกชี้หนูพันธุ์จินดา ซุปเปอร์ฮอต หัวเรือ เพชรดำ จินดา ศก.84 และยอดสน โดยเด็ดขั้วพริกออก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ แล้วอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดพริกแห้งให้ละเอียดด้วยเครื่องบดแห้ง

1.2 สกัดแคปไซซินจากพริกแต่ละพันธุ์ด้วยสารละลายเอทานอล โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบ 3 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 (w/v)

กรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:7.5 (w/v)

กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:10 (w/v)

ทำโดยนำพริกแห้งบดละเอียดจากข้อ 1.1 มาสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% ที่อุณหภูมิ 75 °C กวนผสมด้วยเครื่อง overhead stirrer ความเร็วรอบ 600 rpm เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาดังตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นกรองแยกกากพริกด้วยชุดกรอง เก็บสารสกัดส่วนใสที่ได้ไปทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ จะได้สารสกัดแคปไซซินในรูปโอเลโอเรซิน นำสารสกัดจากพริกที่ได้มาวิเคราะห์ ดังนี้

1.2.1 ปริมาณสารที่ได้จากการสกัด (%yield)

1.2.2 ปริมาณสารแคปไซซิน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC มีสภาวะการวิเคราะห์ดังนี้

สารละลายเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) น้ำและเมทานอล อัตราส่วน 20:80

Column: Luna®, (5µm C-18(2), 100 A, size 150x4.6 nm)

Flow rate: 1.0 ml/min Injection volume: 10 µl

Detector: PDA 222 nm Temperature: 25 °C

2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริก (ดัดแปลงจาก Guadarrama-Lezama et al., 2012)

2.1 เตรียมตัวอย่างพริกชี้ฟ้า พริกหวานพันธุ์สีแดง และพริกหวานพันธุ์สีเหลือง โดยเด็ดขั้วพริกออก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดพริกแห้งให้ละเอียดด้วยเครื่องบดแห้ง

2.2 สกัดแคโรทีนอยด์จากพริกแต่ละพันธุ์ด้วยน้ำมันบริโภคได้ ได้แก่ น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันข้าวโพด โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบ 6 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว (refined coconut oil) อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2 (w/v)

กรรมวิธีที่ 2 สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว (refined coconut oil) อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2.5 (w/v)

- กรรมวิธีที่ 3 สกัดด้วยน้ำมันข้าวโพด อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2 (w/v)
- กรรมวิธีที่ 4 สกัดด้วยน้ำมันข้าวโพด อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2.5 (w/v)
- กรรมวิธีที่ 5 สกัดด้วยน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2 (w/v)
- กรรมวิธีที่ 6 สกัดด้วยน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2.5 (w/v)

โดยนำพริกแห้งบดจากข้อ 2.1 มาสกัดด้วยน้ำมันบริโภคได้ตามกรรมวิธี ที่อุณหภูมิ 60 °C กวนผสมด้วยเครื่อง overhead stirrer ความเร็วรอบ 600 rpm เป็นเวลา 5 min เมื่อครบเวลาดังตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง จากนั้นแยกกากพริกออกโดยนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,700 rpm อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 15 min เก็บสารสกัดส่วนใสแล้วนำสารสกัดจากพริกที่ได้ไปวิเคราะห์ ดังนี้

2.2.1 ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ตามวิธีการของ Dauqan (2011) ดังนี้ ปิเปตตัวอย่าง 0.1 ml ละลายด้วยเฮกเซน 50 ml นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm คำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจากสูตร

$$[V \times 383 \times (A \text{ sample} - A \text{ blank})] / (100 \times W)$$

เมื่อ	A sample	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง
	A blank	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงของแบลนด์
	W	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างที่วัด
	V	คือ	ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ละลายตัวอย่าง
และ	383	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของแคโรทีนอยด์

2.2.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี ABTS radical scavenging activity

3. การทำ encapsulation สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์

3.1 เตรียมอิมัลชันของสารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์ โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิด คือ กัมอะราบิก และมอลโตเด็คซ์ทรินวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบ 6 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สารสกัดแคปไซซิน : สารสกัดแคโรทีนอยด์ : กัมอะราบิก อัตราส่วน 0.5:10:30 (v/v)

กรรมวิธีที่ 2 สารสกัดแคปไซซิน : สารสกัดแคโรทีนอยด์ : กัมอะราบิก อัตราส่วน 0.5:10:35 (v/v)

กรรมวิธีที่ 3 สารสกัดแคปไซซิน : สารสกัดแคโรทีนอยด์ : กัมอะราบิก อัตราส่วน 0.5:10:40 (v/v)

กรรมวิธีที่ 4 สารสกัดแคปไซซิน : สารสกัดแคโรทีนอยด์ : มอลโตเด็คซ์ทริน อัตราส่วน 0.5:10:30 (v/v)

กรรมวิธีที่ 5 สารสกัดแคปไซซิน : สารสกัดแคโรทีนอยด์ : มอลโตเด็คซ์ทริน อัตราส่วน 0.5:10:35 (v/v)

กรรมวิธีที่ 6 สารสกัดแคปไซซิน : สารสกัดแคโรทีนอยด์ : มอลโตเด็คซ์ทริน อัตราส่วน 0.5:10:40 (v/v)

3.2 encapsulation สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย ที่สภาวะอุณหภูมิขาเข้า 170 °C อุณหภูมิขาออก 80 °C จากนั้นนำสารสกัดผงที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%yield) แล้วเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 25±2 °C

4. ศึกษาการบรรจุสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูล 3 ชนิด เก็บรักษาในขวดแก้วใสแบบปิดสนิท

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบ 4 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

กรรมวิธีที่ 2 บรรจุในแคปซูลผลิตจากเจลาตินแบบใส

กรรมวิธีที่ 3 บรรจุในแคปซูลผลิตจากเจลาตินแบบขุ่น

กรรมวิธีที่ 4 บรรจุในแคปซูลผลิตจากเซลลูโลส

จากนั้นสู่มตัวอย่างสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และในแคปซูลตามกรรมวิธีทุก 45 วัน เป็นระยะเวลา 180 วัน มาวิเคราะห์คุณสมบัติ ดังนี้

- 4.1 ปริมาณสารแคปไซซินตามวิธีข้อ 1.2.2
- 4.2 ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ตามวิธีข้อ 2.2.1
- 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี ABTS radical scavenging activity
- 4.4 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น, ค่ากิจกรรมของน้ำหรือปริมาณน้ำอิสระ (aw) และความสามารถในการละลาย (Solubility)
- 4.5 สมบัติทางจุลชีววิทยา ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด, จำนวนยีสต์และรา

5. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้

การทดลองที่ 1.2 การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล

1. การเตรียมตัวอย่างมะนาว

ทำความสะอาดมะนาว โดยใช้มะนาวพันธุ์ที่มีการปลูกมากในประเทศไทยและมะนาวพันธุ์รับรองของกรมวิชาการเกษตร จำนวน 2 พันธุ์ คือ มะนาวพันธุ์แป้น และมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร บันทึกร้าน้ำหนัก ลวกด้วยน้ำร้อนเพื่อลดความขม ปอกเปลือก แยกเปลือกและผล บีบสกัดน้ำมะนาวด้วยเครื่อง Hydraulic press จากนั้นตรวจสอบคุณภาพของน้ำมะนาว ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดซิตริก และปริมาณวิตามินซี

2. การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว

นำส่วนเปลือกที่คั้นน้ำมะนาวแล้วมาสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธี Hydrodistillation หรือการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยนำเปลือกมะนาว 500 g มาสกัดด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 3000 ml นาน 1 ชั่วโมง หลังจากเก็บน้ำมันหอมระเหยแล้ว ปิดเครื่องวางทิ้งไว้ให้เย็น 1 คืน แล้วนำส่วนของน้ำต้มไปตกตะกอนเพคตินในขั้นตอนต่อไป จากนั้นตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว ด้วยเครื่อง GC-MS

3. การสกัดเพคตินจากเปลือกและกากมะนาว มี 3 วิธี ดังนี้

3.1 การสกัดเพคตินโดยใช้กรดซิตริกและเอทานอล: เริ่มจากนำเปลือกมะนาวส่วนที่เป็นสีขาวไปอบให้แห้งแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปใส่บีกเกอร์ 40 g เติมกรดซิตริกเข้มข้น 50% อัตราส่วนของเปลือกบดแห้งต่อกรดซิตริก เท่ากับ 1:12 w/v นำไปสกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 °C เป็นเวลา 60 min กรองผ่านผ้าขาวบาง 1 ครั้ง จากนั้นนำเปลือกที่กรองได้ไปสกัดด้วยสภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง นำสารละลายที่ได้ทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน จากนั้นตกตะกอนเพคตินโดยเติมเอทานอลเข้มข้น 95% ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 v/v คนผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนเพคตินด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น แล้วล้างตะกอนเพคตินที่ได้ด้วยเอทานอล 95% จำนวน 3 ครั้ง ตามด้วยอะซิโตนเข้มข้น 50% จำนวน 3 ครั้ง นำเพคตินที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C แล้วบดให้เป็นผง

3.2 การสกัดเพคตินโดยใช้น้ำและเอทานอล: นำเปลือกมะนาวส่วนที่เป็นสีขาวบดแห้งปริมาณ 40 g มาเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนของเปลือกบดแห้งต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:12 w/v นำไปสกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 °C เป็นเวลา 60 min กรองผ่านผ้าขาวบาง นำเปลือกที่กรองได้ไปสกัดด้วยสภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง นำสารละลายที่ได้ทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน จากนั้นตกตะกอนเพคตินโดยเติมเอทานอลเข้มข้น 95% ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 v/v คนผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน กรองแยกตะกอนเพคตินด้วย Buchner funnel ล้างตะกอนที่ได้ด้วยเอทานอล 95% จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยอะซิโตนความเข้มข้น 50% จำนวน 2 ครั้ง นำเพคตินที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C แล้วบดให้เป็นผง

3.3 การสกัดเพคตินในปริมาณสูง: นำกากที่คั้นน้ำมะนาวและสกัดน้ำมันหอมระเหยแล้วและน้ำต้มจากการสกัดน้ำมันหอมระเหยมาสกัดเพคติน โดยการรีฟลักซ์ด้วยน้ำที่มีสภาพเป็นกรด แล้วสกัดด้วยเอทานอล 95%

4. การวิเคราะห์คุณภาพของเพคติน

การตรวจสอบค่าเมทอกซี (Methoxy) ทำโดยนำเพคตินผงที่ได้จากการสกัด 0.5 g เติมเอทานอลปริมาณ 2 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว (เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) 100 ml ผสมให้เข้ากัน แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 5 หยด นำไปไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 N แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 1 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 N ปริมาตร 10 ml เขย่าแรงๆ วางทิ้งไว้ 15 min เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 ml เขย่าจนสีชมพูหายไป หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 5 หยด แล้วนำไปไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 2 นำมาคำนวณหาค่า Degree of esterification (DE)

5. การเตรียมน้ำมะนาวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนี้

5.1 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะนาวและมอลโตเด็คซ์ตริน DE10 ที่มีผลต่อขนาดอนุภาค รสชาติ และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ 3 อัตราส่วน คือ 70:30 50:50 และ 60:40

5.2 เตรียมน้ำมะนาวผง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยศึกษาอุณหภูมิเข้าที่ 130 และ 150 °C และอุณหภูมิออก 90 °C

6. ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมะนาวผง

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าสี และวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ด้วยเครื่อง HPLC และวิธีการไตเตรต โดยชั่งตัวอย่างน้ำมะนาวและผลิตภัณฑ์จากมะนาวอย่างละเอียด 1-5 g แล้วไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นคำนวณปริมาณวิตามินซีตามสูตร (%Acidity/100 g หรือ 100 ml)

$$\% \text{ citric acid} = [(V-B) \times N. \text{ NaOH} \times 100] / \text{Wt of sample}$$

7. การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์

7.1 การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร: โดยนำมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เครื่องดื่มมะนาวผสมน้ำผึ้งเข้มข้น แยม เยลลี่มะนาวจากเพคติน เครื่องดื่มมะนาวผง

7.2 การประยุกต์ใช้กับเวชสำอาง: นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ผสมในเครื่องสำอางปริมาณ 5-15% เช่น นาโนอิมัลชัน ครีมบำรุงผิว เซรั่มบำรุงผิว และมาร์คพอกหน้า เป็นต้น

8. ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง

ทดสอบอายุการเก็บรักษา ขนาดอนุภาคและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบการซึมผ่านโดยใช้เมมเบรนสำเร็จรูป เป็นต้น

การทดลองที่ 1.3 การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดสารสีจากดอกอัญชัน

1.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดสารสี: สกัดสารสีจากดอกอัญชันด้วยน้ำ โดยชั่งดอกอัญชันแห้งบดละเอียด 1 g เติมน้ำกลั่น 20 ml สกัดที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ปรับปริมาตรเป็น 25 ml วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential (Giusti and Wrolstad, 2005) เพื่อคัดเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ Split-plot จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้

Main plot คือ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัด 30 40 50 60 70 80 และ 90 °C

Sub plot คือ ระยะเวลาการสกัด 30 40 50 และ 60 min

1.2 ศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการสกัดสารสี: สกัดสารสีจากดอกอัญชันด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 0 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 M วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.1 วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเพื่อคัดเลือกความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสม

1.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดอกอัญชันแห้งต่อตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารสี: สกัดสารสีจากดอกอัญชันด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.1 และ 1.2 โดยแปรระดับอัตราส่วนดอกอัญชันแห้งต่อตัวทำละลาย คือ 1:20 1:30 1:40 1:50 และ 1:60 w/v นำกากดอกอัญชันมาสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. การสกัดสารสีจากแครอท

ทำโดยล้างทำความสะอาดแครอท หั่นสไลด์ด้วยเครื่องหั่นผัก บดด้วยเครื่องบด แยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้ จะได้สารสกัดแครอทสีส้ม จากนั้นนำไปทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศจนสารสกัดแครอทมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 25 °Brix

3. การสกัดสารสีจากใบเตย

โดยล้างทำความสะอาด ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้สารสกัดใบเตยสีเขียว มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 5 °Brix

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.1 ศึกษาอุณหภูมิลมร้อนเข้าที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยนำสารสกัดผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 140 -180 °C วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ นำผงสีที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณผลผลิตที่ได้ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ค่าการละลาย และปริมาณสารสำคัญ (ดอกอัญชัน: ปริมาณแอนโทไซยานิน แครอท: ปริมาณแคโรทีนอยด์ และ ใบเตย: ปริมาณคลอโรฟิลล์)

4.2 ศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยนำสารสกัดผสมมอลโตเด็กซ์ 10 20 และ 30% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่เหมาะสมจากข้อ 4.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ นำผงสีที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (aw) ปริมาณผลผลิตที่ได้ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ค่าการละลาย และปริมาณสารสำคัญ (ดอกอัญชัน: ปริมาณแอนโทไซยานิน แครอท: ปริมาณแคโรทีนอยด์ และ ใบเตย: ปริมาณคลอโรฟิลล์)

5. การประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.1 ประยุกต์ใช้สีผงจากดอกอัญชันในผลิตภัณฑ์เยลลี่: เตรียมผลิตภัณฑ์เยลลี่โดยปรับจากสูตรเยลลี่กระเจี๊ยบ (พรพิมล, 2545) โดยแปรระดับปริมาณสีผง 6 ระดับ คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5% โดยน้ำหนัก จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแอนโทไซยานิน และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี hedonic scale (7 point) จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรเยลลี่ที่เหมาะสม

5.2 ประยุกต์ใช้สีผงจากแครอทในผลิตภัณฑ์เยลลี่: เตรียมผลิตภัณฑ์เยลลี่โดยปรับจากสูตรเยลลี่สับปะรดผสมแครอท (พรพิมล, 2545) โดยแปรระดับปริมาณสีผง 5 ระดับ คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0% โดยน้ำหนัก จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี hedonic scale (7 point) จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรเยลลี่ที่เหมาะสม

5.3 การประยุกต์ใช้สีผงจากใบเตยในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา เตรียมผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา โดยแปรรูปปริมาณสีผง 6 ระดับ คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5% โดยน้ำหนัก ทำการตรวจคุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี hedonic scale (7 point) จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผง

ทดสอบโดยบรรจุสีผงปริมาณ 50 g ในถุงพลาสติกซิปปแบบใสและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ สุ่มเก็บตัวอย่างทุก 2 เดือน เป็นเวลา 12 เดือน มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (aw) ค่าการละลาย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ

7. คำนวณต้นทุนการผลิต

การทดลองที่ 1.4 การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากใบย่านางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง

1.1 นำใบย่านางสดคัดแยกใบที่เน่าเสียและสิ่งปลอมปนทิ้ง จากนั้นล้างทำความสะอาดแล้วหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปปั่นผสมกับเอทานอลความเข้มข้น 95% ปริมาตร 2 เท่าของน้ำหนักใบย่านาง ด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้นให้ความร้อนส่วนผสมที่อุณหภูมิ 70 °C กวนส่วนผสมด้วยใบพัดกวนที่ความเร็ว 400 rpm เป็นเวลา 45 min จากนั้นบีบแยกเอทานอลออก ได้ส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol-insoluble solid, AIS)

1.2 นำส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) ที่ได้จากวิธีการทดลองข้อ 1.1 มาสกัดด้วยน้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ 8 กรรมวิธี กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ

- อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 70 และ 80 °C
- อัตราส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และน้ำ เท่ากับ 1:20 และ 1:25
- ระยะเวลาในการสกัด 60 และ 90 min

1.3 นำสารที่สกัดได้ไปแยกกากด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง ที่ความเร็วรอบ 9500 rpm เป็นเวลา 40 min ที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อแยกส่วนใสและกาก จากนั้นนำส่วนใสไปทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ให้เหลือของเหลวปริมาตรครึ่งหนึ่งของปริมาตรก่อนระเหย จากนั้นนำของเหลวที่ระเหยได้ไปตกตะกอนด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 3 เท่าของปริมาตรสารสกัดใบย่านางที่ระเหยได้ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำตะกอนที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หลังจากนั้นนำผงสารสกัดที่ได้ไปบดให้ละเอียดจะได้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง

1.4 หาปริมาณผลผลิต (Yield) ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางที่สกัดได้

2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ดังนี้

2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2005)

2.2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ด้วยวิธีของ Dubois et al. (1956)

2.3 ปริมาณกรดยูโรนิก (Uronic acid) ด้วยวิธีของ Melton and Smith (2001)

2.4 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง โดยวิธี ABTS radical scavenging activity

3. ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง โดยการวิเคราะห์ ดังนี้

3.1 คุณสมบัติด้านความหนืด วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer)

3.2 ความแข็งแรงของเจล (gel strength) วัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้อง คือ ความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง โซเดียมคลอไรด์ และความเข้มข้นของน้ำตาล

4. ศึกษาโครงสร้างของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง

ทดสอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometer

5. การประยุกต์ใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านางในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.1 ศึกษาการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านางเพื่อเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริก โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้กับสารให้ความคงตัวทางการค้า คือ แซนแทนกัมและกัมอะราบิก โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ 10 กรรมวิธี ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ไม่เติมสารให้ความคงตัว
- กรรมวิธีที่ 2 เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง 0.5%
- กรรมวิธีที่ 3 เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง 1.0%
- กรรมวิธีที่ 4 เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง 1.5%
- กรรมวิธีที่ 5 เติมแซนแทนกัม 0.5%
- กรรมวิธีที่ 6 เติมแซนแทนกัม 1.0%
- กรรมวิธีที่ 7 เติมแซนแทนกัม 1.5%
- กรรมวิธีที่ 8 เติมกัมอะราบิก 0.5%
- กรรมวิธีที่ 9 เติมกัมอะราบิก 1.0%
- กรรมวิธีที่ 10 เติมกัมอะราบิก 1.5%

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านความคงตัวโดยวัดการแยกชั้น (percent serum loss, SL) ตามวิธีของ (Hardeep et al., 2002) และความข้นหนืดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซอสพริก ทุก 30 วัน ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์

5.2 ศึกษาการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านางเพื่อเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้กับสารให้ความคงตัวทางการค้า คือ แซนแทนกัมและกัมอะราบิก โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ 10 กรรมวิธี ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ไม่เติมสารให้ความคงตัว
- กรรมวิธีที่ 2 เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง 1.5%
- กรรมวิธีที่ 3 เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง 2.0%
- กรรมวิธีที่ 4 เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง 2.5%
- กรรมวิธีที่ 5 เติมแซนแทนกัม 1.5%
- กรรมวิธีที่ 6 เติมแซนแทนกัม 2.0%
- กรรมวิธีที่ 7 เติมแซนแทนกัม 2.5%
- กรรมวิธีที่ 8 เติมกัมอะราบิก 1.5%
- กรรมวิธีที่ 9 เติมกัมอะราบิก 2.0%
- กรรมวิธีที่ 10 เติมกัมอะราบิก 2.5%

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านความคงตัวโดยวัดการแยกชั้นและความข้นหนืดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ทุก 30 วัน ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์

6. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง

การทดลองที่ 1.5 การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับประรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปสับประรดในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลน

1.1 เตรียมวัตถุดิบสับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยการล้างด้วยน้ำสะอาดผสมคลอรีนเข้มข้น 50 ppm จากนั้นตัดแยกออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนยอดหรือส่วนจุก (Crown) ส่วนก้าน (stem) ปอกเปลือกโดยให้ได้เนื้อผลสับประรดที่มีผิวเรียบและไม่ให้มีส่วนตาสับประรดติดอยู่ จะได้ส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา (peel) และคว้านแยกส่วนแกน (core) ออกมา สับวัตถุดิบทั้ง 4 ส่วน ให้เป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุใส่ถุงพลาสติกแล้วนำไปแช่เย็นที่ 4 °C เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

1.2 ชั่งวัตถุดิบจากข้อ 1.1 ส่วนละ 1 kg เติมน้ำกลั่นที่แช่เย็น (อุณหภูมิ 4-8 °C) ปริมาตร 500 ml แล้วตีปั่นด้วยเครื่องบดปั่นเป็นเวลา 2 min นำไปบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำกากที่ได้มาเติมน้ำกลั่น 500 ml ตีปั่นและคั้นน้ำพร้อมแยกกากอีกครั้ง รวมน้ำคั้นที่ได้ทั้ง 2 ครั้ง กรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตร

1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำคั้นจากข้อ 1.2 โดยวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid) ค่า pH วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธีเจตาล และสารพิษตกค้างทางการเกษตรด้วยวิธีมาตรฐาน

1.4 ตรวจสอบกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนของน้ำคั้นจากข้อ 1.2 โดยปรับปรุงวิธีจาก Ketnawa (2009) ดังนี้ ผสมตัวอย่าง 50 μ l กับสารละลาย Phosphate Buffer pH7.0 400 μ L และ 1% Casein 100 μ l ลงใน Eppendorf tube เขย่าแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 10 min ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เติม 5.8% w/v กรดไทรคลอโรอะซิติก 1000 μ l จากนั้นเขย่าและปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm นาน 10 min ดูดสารละลายส่วนใสวัดการดูดกลืนแสงในช่วง 250-350 nm

1.5 คัดเลือกส่วนของสับประรดที่ให้คุณสมบัติและค่ากิจกรรมเอนไซม์ดีที่สุดไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในสกัดเอนไซม์บรอมีเลน

2.1 ศึกษาช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีปั่นชิ้นส่วนสับประรด

นำส่วนที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 ทำมา 1 kg เติมน้ำกลั่น 500 ml แล้วบ่มหรือปรับอุณหภูมิของชิ้นวัตถุดิบและน้ำกลั่นตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เตรียมวัตถุดิบแช่เย็น 0 °C ตีปั่นด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง (0-2 °C)

กรรมวิธีที่ 2 เตรียมวัตถุดิบแช่เย็น 4 °C ตีปั่นด้วยน้ำเย็น (5 \pm 2 °C)

กรรมวิธีที่ 3 เตรียมวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้อง ตีปั่นด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (30 \pm 2 °C)

กรรมวิธีที่ 4 เตรียมวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้องเติมน้ำอุ่น บ่มให้ได้อุณหภูมิ 35 \pm 2 °C แล้วจึงตีปั่น

กรรมวิธีที่ 5 เตรียมวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้องเติมน้ำอุ่น บ่มให้ได้อุณหภูมิ 45 \pm 2 °C แล้วจึงตีปั่น

โดยตีปั่นด้วยเครื่องบดปั่นเป็นเวลา 2 min นำไปบีบคั้นน้ำและแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ จากนั้นชั่งน้ำหนัก วัดปริมาตรและวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำคั้นที่ได้ ตามวิธีข้อ 1.3 และ 1.4

2.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตีปั่นชิ้นส่วนสับประรด โดยใช้วัตถุดิบ 1 kg เติมน้ำกลั่น 500 ml ตีปั่นตามกรรมวิธี ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2 โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ตีปั่นวัตถุดิบ

กรรมวิธีที่ 2 ตีปั่นวัตถุดิบ 1 min

กรรมวิธีที่ 3 ตีปั่นวัตถุดิบ 2 min

กรรมวิธีที่ 4 ตีปั่นวัตถุดิบ 3 min

กรรมวิธีที่ 5 ตีปั่นวัตถุดิบ 4 min

จากนั้นนำไปบีบคั้นน้ำและแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ ชั่งน้ำหนัก วัดปริมาตร และวิเคราะห์ตรวจสอบคุณสมบัติข้อ 1.3 และ 1.4

2.3 ศึกษาสภาวะในการสกัดเอนไซม์บรอมีเลนจากน้ำคั้นขึ้นส่วนสับประรดโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล โดยนำน้ำคั้นที่ได้พักไว้ในขวดปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอน จากนั้นรินเอาส่วนใสออกมาเติมเอทานอลเกรดอาหารเข้มข้น 95% ที่เย็นจัด (0 °C) อัตราส่วน 26:74 โดยปริมาตร แล้วพักไว้ที่ 4 °C ระยะเวลา 30 60 90 และ 120 min จำนวน 4 ซ้ำ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 15 min ภายใต้อุณหภูมิ 4 °C แล้วรินแยกสารละลายส่วนใสออกจนเหลือตะกอนโปรตีนที่ก้นขวด เติมสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.0 อัตราส่วน 1:15 โดยปริมาตรน้ำคั้น เพื่อละลายตะกอนโปรตีนที่ได้ แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดตามข้อ 1.3 และ 1.4

3. ศึกษาการทำเอนไซม์ผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ชั่งขึ้นส่วนสับประรด 1 kg แล้วตีปั่นด้วยเครื่องบดปั่นเป็นเวลา 1 min แล้วนำไปบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ แบ่งเก็บน้ำคั้นเพื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติตามวิธีการข้อ 1.3 และ 1.4 นำน้ำคั้นที่ได้มาสกัดเอนไซม์บรอมีเลนโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีการในข้อ 2.3 จนเหลือตะกอนโปรตีนที่ก้นขวด แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์สำหรับหมักเนื้อสัตว์

นำเอนไซม์บรอมีเลนผงที่สกัดได้มาผลิตเป็นซอสหมักเนื้อหมูสูตรสุกี้-ชาบู สูตรพื้นฐาน ทำโดยใช้เนื้อหมูส่วนสันนอก มาหั่นให้มีความหนา 0.5 cm. ด้วยเครื่องสไลด์ ล้างทำความสะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นขนาด 1x2 in² พักไว้ให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำเนื้อหมูมา 500 g เติมน้ำเปล่า 15 g เติมผงเอนไซม์ตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 5 ซ้ำ 4 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่เติมเอนไซม์บรอมีเลน

กรรมวิธีที่ 2 เติมเอนไซม์บรอมีเลนร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักเนื้อหมูสด

กรรมวิธีที่ 3 เติมเอนไซม์บรอมีเลนร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักเนื้อหมูสด

กรรมวิธีที่ 4 เติมเอนไซม์บรอมีเลนร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อหมูสด

คลุกเคล้าให้เข้ากัน เติมเครื่องปรุงรสอื่นๆ ลงไป ดังนี้ น้ำมันหอย 21.25 g ซีอิ้วขาว 10 g น้ำตาลทราย 12.5 g เกลือ 0.36 g พริกไทย 0.5 g แป้งข้าวโพด 4 g เบคกิ้งโซดา 1.65 g น้ำเปล่า 15 g และน้ำมันงา 9.5 g คลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง หมักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 °C) 30 min นำไปทำให้สุกโดยลวกในน้ำซุ๊ปเดือดนาน 1 min แล้วตักออกมาพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำชิ้นเนื้อไปทดสอบเนื้อสัมผัสโดย texture analyzer และทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยวิธี hedonic scale (7 point) จำนวน 30 คน

ผลการวิจัยและอภิปราย

การทดลองที่ 1.1 การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก

การอบพริกสดที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าพริกหลังจากอบจนแห้งแล้วมีน้ำหนักหายไปประมาณ 70-75% พริกแห้งมีความชื้นประมาณ 3.0-3.5% (Figure 1) การสกัดสารแคปไซซินจากพริก

ขี้หนูพันธุ์จินดา ซุปเปอร์ฮอต หัวเรือ เพชรดำ จินดา ศก.84 และยอดสน ด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% ได้สารสกัด (crude extract) เป็นของเหลวข้นหนืด สีน้ำตาลแดง ดัง Figure 2

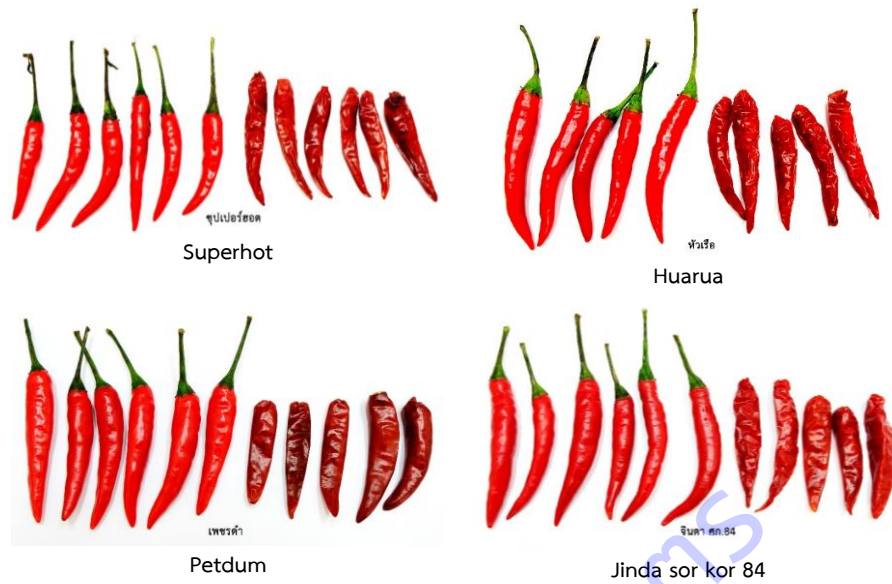


Figure 1 Chilis for extraction of capsaicin



Figure 2 Capsaicin extracts (crude extract) from Chilis

โดยพบว่าการสกัดพริกที่อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:10 w/v ให้ปริมาณสารสกัดพริกสูงที่สุด รองลงมาคือการสกัดโดยใช้อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:7.5 และ 1:5 w/v ตามลำดับ โดยพริกพันธุ์เพชรดำ ให้ปริมาณสารสกัดสูงที่สุด รองลงมาคือพริกพันธุ์ยอดสน หัวเรือ จินดา จินดา ศก.84 และซุปเปอร์ฮอต ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Yield of capsaicin extracts from Chilis

Chiliss	The amount of capsaicin extracts (crude extract) (g)		
	Chilis : ethanol		
	1:5	1:7.5	1:10
Jinda	13.10	16.20	19.05

Superhot	12.53	15.87	17.40
Huarua	13.54	17.44	20.32
Petdum	14.92	19.87	23.60
Jinda sor kor 84	12.97	15.21	19.00
Yodson	14.16	18.90	21.06

การตรวจสอบสารแคปไซซินในสารสกัดพริกที่ได้ โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าสารสกัดที่ได้มีสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซิน ซึ่งเป็นสารในกลุ่มแคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ที่พบในพริก (Figure 3) ดังนั้นเอทานอลเข้มข้น 95% สามารถสกัดสารแคปไซซินจากพริกได้

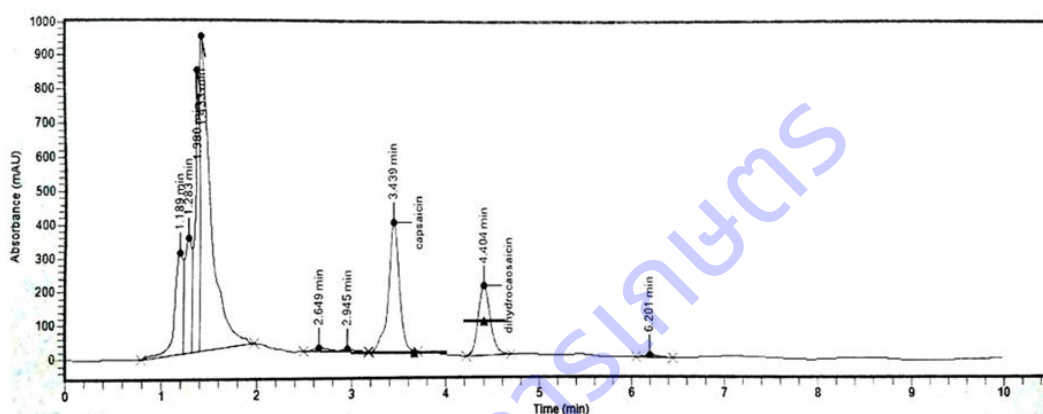


Figure 3 HPLC Chromatogram of capsaicin extracts from Chilis

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแคปไซซินในสารสกัดพริกทั้ง 5 พันธุ์ พบว่าการสกัดแคปไซซินจากพริกโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 95% เท่ากับ 1:5 w/v ได้ปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วน 1:7.5 และ 1:10 w/v ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารแคปไซซินในสารสกัดพริกทั้ง 5 พันธุ์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอลเท่ากัน พบว่าพริกพันธุ์หัวเรือมีปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด รองลงมาคือพริกพันธุ์ยอดสน ชูปเปอร์ฮอต จินดา เพชรดำ และ จินดา ศก.84 ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Capsaicin and dihydrocapsaicin contents in Chilis

Treatment	Capsaicin content (mg/g)	Dihydrocapsaicin content (mg/g)
Jinda Chilis : ethanol ratio of 1:5	2147.177a	1252.13a
Jinda Chilis : ethanol ratio of 1:7.5	1216.75b	922.96b
Jinda Chilis : ethanol ratio of 1:10	1022.17c	703.56c
CV (%)	8.62	7.64
Superhot Chilis : ethanol ratio of 1:5	2213.54a	1355.563a

Treatment	Capsaicin content (mg/g)	Dihydrocapsaicin content (mg/g)
Superhot Chilis : ethanol ratio of 1:7.5	1439.69b	1020.539b
Superhot Chilis : ethanol ratio of 1:10	1059.50c	744.14c
CV (%)	8.55	9.53
Huarua Chilis : ethanol ratio of 1:5	2374.35a	1772.05a
Huarua Chilis : ethanol ratio of 1:7.5	1923.25b	1549.23b
Huarua Chilis : ethanol ratio of 1:10	1769.40c	1174.80c
CV (%)	9.12	7.87
Petdum Chilis : ethanol ratio of 1:5	1490.00a	1224.21a
Petdum Chilis : ethanol ratio of 1:7.5	1200.96b	861.17b
Petdum Chilis : ethanol ratio of 1:10	943.96c	685.12c
CV (%)	10.51	8.84
Jinda sor kor 84 Chilis : ethanol ratio of 1:5	1431.86a	1191.03a
Jinda sor kor 84 Chilis : ethanol ratio of 1:7.5	987.61b	803.11b
Jinda sor kor 84 Chilis : ethanol ratio of 1:10	714.13c	604.11c
CV (%)	11.78	9.57
Yodson Chilis : ethanol ratio of 1:5	2244.49a	1607.64a
Yodson Chilis : ethanol ratio of 1:7.5	1500.62b	1250.49b
Yodson Chilis : ethanol ratio of 1:10	1373.9c	867.70c
CV (%)	8.07	9.40

Values with the same letter in column are not significantly different ($p < 0.05$)

2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริก

การอบพริกสดที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าพริกหลังอบจนแห้งแล้วมีน้ำหนักรายไปประมาณ 75-80% ความชื้นของพริกแห้งประมาณ 6.0-9.0 % (Figure 4)

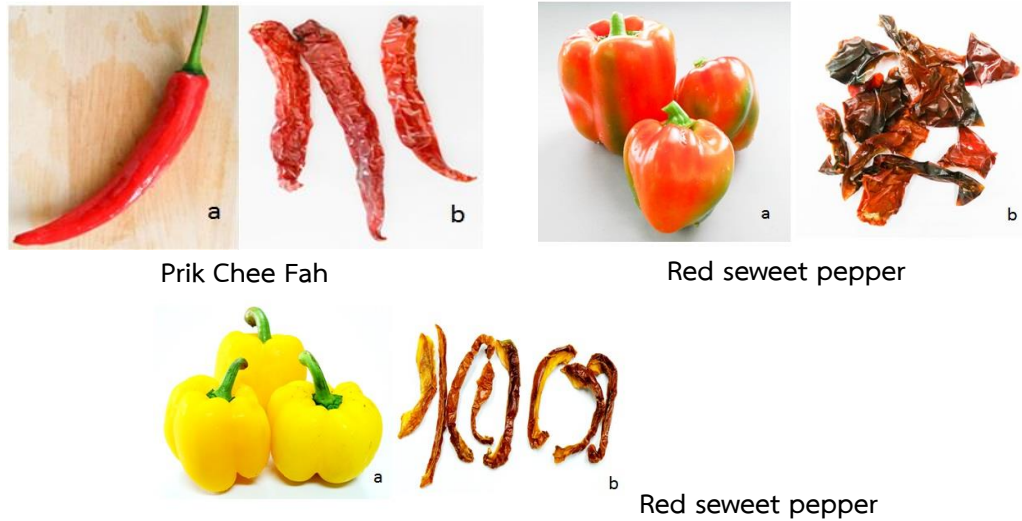


Figure 4 Chilis for extraction of carotenoid

การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริกพบว่าสารสกัดที่ได้จากพริกชี้ฟ้ามีลักษณะปรากฏเป็นของเหลวใสสีส้มอมแดง สารสกัดที่ได้จากพริกหวานพันธุ์สีแดงมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลอมส้ม และสารสกัดที่ได้จากพริกหวานพันธุ์สีเหลืองมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลือง ดัง Figure 5

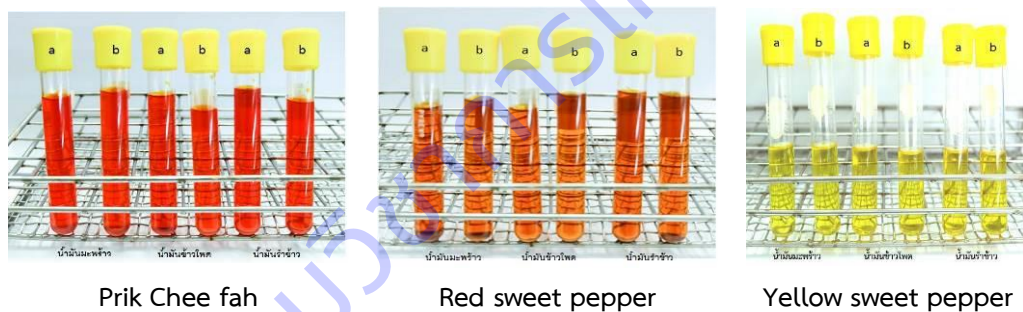


Figure 5 Carotenoid extracts (crude extract) from Chilis

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพริกทั้ง 3 ชนิด ที่สกัดโดยน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกต่อน้ำมันเท่ากับ 1:2 และ 1:2.5 w/v พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) โดยการสกัดพริกด้วยน้ำมันรำข้าวได้สารสกัดที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดพริกที่ได้จากน้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะพร้าวตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าว กับ สารสกัดพริกในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารสกัดพริกในน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่าน้ำมันพืชสามารถสกัดแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในพริกออกมาได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Guadarrama-Lezama et al. (2012) ที่รายงานว่า การใช้ น้ำมันพืชที่มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าช่วยสกัดแคโรทีนอยด์ออกจากพริกได้มากกว่า น้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวต่ำกว่า โดยน้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และน้ำมันข้าวโพดที่ใช้สกัดแคโรทีนอยด์ในงานวิจัยนี้มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวเท่ากับ 65 15 และ 13% ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองใน

งานวิจัยนี้สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจากน้ำมันมะพร้าวอาจเนื่องจากปริมาณแคโรทีนอยด์โดยธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดที่ใช้สกัดมีปริมาณ 60.21 และ 48.51 mg/l มีปริมาณสูงกว่าในน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณ 40.25 mg/l ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในสารสกัดจากน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดสูงกว่าสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันมะพร้าว ซึ่งสารสกัดจากพริกชี้ฟ้ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดจากพริกหวานพันธุ์สีแดง และพริกหวานพันธุ์เหลืองตามลำดับ

นอกจากนี้สารแคโรทีนอยด์ที่พบในสารสกัดพริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าว ประกอบด้วย capsanthin 29.15 µg/ml zeaxanthin 4.10 µg/ml beta-cryptoxanthin 3.55 µg/ml และ beta-carotene 17.20 µg/ml

Table 3 Total carotenoid content and antioxidant activity of carotenoid extracts

Treatment	Total carotenoid content (mg/l)	Antioxidant activity (µmol Trolox/ml)
Prik chee fah : coconut oil ratio of 1:2 (w/v)	152.82e	60.15f
Prik chee fah : coconut oil ratio of 1:2.5 (w/v)	185.37c	71.52e
Prik chee fah : corn oil ratio of 1:2 (w/v)	179.63d	76.54d
Prik chee fah : corn oil ratio of 1:2.5 (w/v)	191.12b	84.73c
Prik chee fah : rice bran oil ratio of 1:2 (w/v)	189.20b	89.47b
Prik chee fah : rice bran oil ratio of 1:2.5 (w/v)	229.42a	97.62a
CV (%)	20.56	18.65
Red sweet pepper : coconut oil ratio of 1:2 (w/v)	133.67d	52.80d
Red sweet pepper : coconut oil ratio of 1:2.5 (w/v)	154.73c	61.43c
Red sweet pepper : corn oil ratio of 1:2 (w/v)	150.90c	61.40c
Red sweet pepper : corn oil ratio of 1:2.5 (w/v)	174.27b	72.45b
Red sweet pepper : rice bran oil ratio of 1:2 (w/v)	171.97b	70.22b
Red sweet pepper : rice bran oil ratio of 1:2.5 (w/v)	198.78a	87.83a
CV (%)	23.76	26.81

3. การทำ encapsulation สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์

จากผลการสกัดแคปไซซินพบว่าพริกพันธุ์หัวเรือที่สกัดโดยใช้พริกแห้งต่อเอทานอล 95% เท่ากับ 1:5 w/v มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด และผลการสกัดแคโรทีนอยด์พบว่าพริกชี้ฟ้าที่สกัดโดยน้ำมันรำข้าวที่อัตราส่วนพริกต่อน้ำมันเท่ากับ 1:2.5 w/v มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด จึงเลือกสารสกัดแคปไซซินจากพริกพันธุ์หัวเรือและสารสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกชี้ฟ้าที่สกัดโดยสภาวะดังกล่าว มาทำ encapsulation โดยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย

การเตรียมอิมัลชันของสารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์เพื่อนำไป encapsulation โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิด คือ สารละลายมอลโทเด็กซ์ทริน ความเข้มข้น 35% และสารละลายกัมอะราบิก ความเข้มข้น 35% อิมัลชันของสารสกัดที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นหนืดสีส้ม ดัง Figure 6 เมื่อนำอิมัลชันมาทำ encapsulation ด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยที่สภาวะอุณหภูมิเข้า 170 °C อุณหภูมิออก 90 °C จะได้สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์มีลักษณะเป็นผงสีส้ม (Figure 7) โดยสารสกัดผงที่เตรียมจากอิมัลชันของสารสกัดแคปไซซิน สารแคโรทีนอยด์ และสารเคลือบมอลโทเด็กซ์ทริน อัตราส่วน 0.5:10:40 v/v) มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงที่สุด (Table 4)



Figure 6 Emulsion of capsaicin extracts and carotenoid extracts



Figure 7 capsaicin (A) and carotenoid (B) powder

Table 4 Yield of capsaicin and carotenoid powder

Biopolymer	Ratio of capsaicin: carotenoid: biopolymer	Yield (%)
Maltodextrin	0.5 : 10 : 30	27.32c
	0.5 : 10 : 35	29.15b
	0.5 : 10 : 40	31.46a
gum Arabic	0.5 : 10 : 30	25.64c
	0.5 : 10 : 35	27.86b
	0.5 : 10 : 40	28.39a

Values with the same letter in column are not significantly different ($p < 0.05$)

4. การบรรจุสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูล

นำสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผงบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูล 3 ชนิด ได้แก่ แคปซูลชนิดทำจากเจลาตินผลิตจากไขกระดูกวัวแบบใส แบบขุ่น และแคปซูลชนิดทำจากพีซีผลิตจากเซลลูโลส ขนาดแคปซูลเบอร์ 0 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 mm. ความยาว 20.00 mm. ความหนาของผนังแคปซูล 0.213 mm. ขนาดบรรจุสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผง 500 mg/ 1 แคปซูล (Figure 8)



Figure 8 Capsaicin and carotenoid powder contain in clear gelatin capsules (A) Turbid gelatin capsules (B) and Cellulose capsules (C)

ผลการศึกษาระดับสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์แบบผงแบบบรรจุในแคปซูล 3 ชนิด พบว่าในแคปซูลเจลาตินแบบใส 1 แคปซูล มีปริมาณสารแคปไซซินทั้งหมด 525.0 $\mu\text{g/g}$ สารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 34.12 $\mu\text{g/g}$ ในแคปซูลเจลาตินแบบขุ่น 1 แคปซูล มีปริมาณสารแคปไซซินทั้งหมด 528.3 $\mu\text{g/g}$ สารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 34.56 $\mu\text{g/g}$ และในแคปซูลเซลลูโลส 1 แคปซูล มีปริมาณสารแคปไซซินทั้งหมด 526.8 $\mu\text{g/g}$ สารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 33.73 $\mu\text{g/g}$ และมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง โดยที่ระยะเวลาเก็บรักษาเท่ากันปริมาณสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์และแบบบรรจุในแคปซูลทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน (Table 5) นอกจากนี้ค่าความชื้น ค่า aw และความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาไปเป็นเวลา 6 เดือน โดยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์และบรรจุในแคปซูล 3 ชนิด ที่ระยะเวลาเก็บรักษาเท่ากันไม่แตกต่างกัน (Table 6)

Table 5 Capsaicin and total carotenoid content of capsaicin and carotenoid powder in aluminium foil pouch and contained in capsules in clear glass bottle for 180 days

Treatment	capsaicin ($\mu\text{g/g}$)					Dihydrocapsaicin ($\mu\text{g/g}$)					Total carotenoid (mg/L)				
	0 day	45 days	90 days	135 days	180 days	0 day	45 days	90 days	135 days	180 days	0 day	45 days	90 days	135 days	180 days
Aluminium foil pouch	650.24	648.34	647.33	645.92	644.40	387.45	386.36	385.81	385.21	383.58	65.75	59.53	53.16	49.76	46.81
Clear gelatin capsules	653.14	652.97	652.28	649.86	648.74	388.97	387.76	386.55	386.23	386.12	68.23	62.78	57.73	53.53	50.14
Turbid gelatin capsules	655.63	653.96	653.32	651.20	650.2	392.40	392.11	391.59	389.95	389.25	69.12	63.45	59.82	58.24	55.32
Cellulose capsules	654.21	653.47	652.84	651.90	649.8	389.21	388.74	388.17	386.93	385.78	67.45	62.81	58.64	54.62	52.93

Table 6 Chemical and physical properties of capsaicin and carotenoid powder in aluminium foil pouch and contained in capsules in clear glass bottle for 180 days

Treatment	Moisture content (%)					Water activity (aw)					Solubility (%)				
	0 day	45 days	90 days	135 days	180 days	0 day	45 days	90 days	135 days	180 days	0 day	45 days	90 days	135 days	180 days
Aluminium foil pouch	6.49	6.52	6.54	6.58	6.64	0.468	0.471	0.473	0.485	0.498	98.72	97.44	97.12	96.33	95.78
Clear gelatin capsules	6.48	6.50	6.51	6.56	6.61	0.466	0.467	0.469	0.482	0.493	98.73	98.05	97.34	97.12	96.89
Turbid gelatin capsules	6.47	6.50	6.51	6.55	6.59	0.464	0.468	0.470	0.480	0.487	98.75	98.20	98.16	97.93	97.82
Cellulose capsules	6.48	6.51	6.52	6.58	6.63	0.465	0.469	0.471	0.483	0.495	98.75	98.32	98.25	97.02	96.34

5. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตสารสกัดแคปไซซินและสารแคโรทีนอยด์ผง เท่ากับ 1.78 บาท/กรัม

ต้นทุนการผลิตสารสกัดแคปไซซินและสารแคโรทีนอยด์ผงบรรจุในแคปซูลขนาดบรรจุ 500 mg เท่ากับ 1.15 บาท/แคปซูล ถูกกว่าสารสกัดแคปไซซินบรรจุในแคปซูลขนาดบรรจุ 450-500 mg ที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีราคาประมาณ 4-12 บาท/แคปซูล

การทดลองที่ 1.2 การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล

1. เตรียมตัวอย่างมะนาว

ผลการศึกษามะนาวจำนวน 2 พันธุ์ คือ มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรซึ่งมีผลใหญ่เปลือกหนา และมะนาวพันธุ์แป้นซึ่งมีผลขนาดกลางและเปลือกบาง พบว่า มะนาวแป้นพิจิตรจำนวน 100 ลูก มีน้ำหนักเฉลี่ย 12.50 kg ให้ปริมาณน้ำมะนาวเฉลี่ย 4.62 kg และมีเปลือกโดยเฉลี่ย 6.15 kg ดัง Table 7 และมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบางจำนวน 100 ลูก มีน้ำหนักเฉลี่ย 6.19 kg ให้ปริมาณน้ำมะนาวเฉลี่ย 2.20 kg และมีเปลือกเฉลี่ย 3.40 kg Table 8

ผลการนำมะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาศึกษาทดลองโดยระยะแรกได้เก็บตัวอย่างมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบางที่ปลูกในจังหวัดสมุทรสาคร นครปฐม และมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกหนา พบว่ามะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบาง 1 kg มี 23 ลูก เฉลี่ยมะนาว 1 ลูกหนัก 44 g มีน้ำมะนาวเฉลี่ย 20 g ส่วนของเปลือกและกาก หนัก 24 g ส่วนมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกหนามี 16 ลูกต่อ 1 kg เฉลี่ยมะนาว 1 ลูกหนัก 63 g ประกอบด้วยน้ำมะนาวเฉลี่ย 35.20 g เปลือก 17.46 g และกาก 44.92 g ดัง Table 9

Table 7 Average Total weight of Lime, Lime Juice and residue of Lime peel of Paen Pichit

Sample Number	Total weight of 100 lime (Paen Pichit) (kg)	Weight of Lime Juice (kg) (%)	Weight of Residue lime peel(kg) (%)
1	11.32±1.35	3.82±1.15 (33.74%)	5.78±1.08 (55.12%)
2	13.00±1.27	4.96±1.32 (38.15%)	6.37±1.38 (53.61%)
3	11.26±1.56	3.85±1.65 (34.19%)	5.98±1.35 (53.10%)
4	10.78±1.87	3.67±1.84 (34.04%)	6.00±1.73 (55.65%)
5	12.17±1.17	4.55±1.93 (37.38%)	5.50±1.82 (53.41%)
6	12.89±1.58	4.86±1.26 (37.70%)	5.86±1.35 (54.70%)

7	12.65±1.48	4.96±1.35 (39.20%)	5.92±1.15 (56.48%)
8	13.19±1.91	5.15±1.55 (38.13%)	6.45±1.35 (54.85%)
9	14.15±1.78	5.35±1.92 (37.80%)	6.95±1.65 (56.18%)
10	13.56±1.12	4.98±1.54 (36.72%)	6.57±1.25 (55.82%)
AVG	12.50	4.62 kg	6.15 kg

Table 8 Average Total weight of Lime, Lime Juice and residue of Lime peel of Paen

Sample Number	Total weight of 100 lime (Paen) (kg)	Weight of Lime Juice (kg) (%)	Weight of Residue lime peel(kg) (%)
1	6.19±1.85	2.35±1.67 (37.96%)	3.05±1.08 (49.47%)
2	5.00±1.34	1.56±0.94 (31.20%)	2.33±1.48 (46.17%)
3	6.28±1.87	2.27±1.36 (36.14%)	3.27±1.53 (52.08%)
4	5.49±0.97	2.00±1.63 (36.42%)	3.17±1.12 (57.74%)
5	5.54±1.58	2.15±1.26 (38.80%)	3.15±1.45 (56.85%)
6	6.38±1.37	2.49±1.35 (39.02%)	3.25±1.15 (52.56%)
7	6.72±1.72	2.15±1.55 (34.23%)	3.77±1.55 (56.66%)
8	6.69±1.78	2.24±0.92 (33.43%)	3.98±1.25 (59.35%)
9	7.30±1.82	2.68±1.54 (36.71%)	4.49±1.25 (61.50%)
10	6.28±1.82	2.15±1.54 (33.43%)	3.49±1.25 (58.64%)
AVG	6.19	2.20 kg	3.40 kg

Table 9 Average Total weight of Lime, Lime Juice and Lime Peel.

Paen Pichit (gram)	Juice (%)	Lime Peel (%)	Residue Lime Peel (%)
600	35.62	12.88	51.50
806	31.01	20.47	40.20
1132	33.83	22.34	40.11
1301	40.43	11.46	48.11
3360	35.11	20.17	44.72
Mean 1440	35.20	17.46	44.92

ผลการตรวจสอบปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ได้จากพันธุ์แป้นพิจิตรและพันธุ์แป้นเปลือกบางโดยวิธีการไตเตรทและใช้เครื่อง HPLC รวมทั้งค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่มีในน้ำมะนาวสด พบว่าน้ำมะนาวแป้นพิจิตรมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย 69.89 mg/100 g มีปริมาณกรดซิตริกเฉลี่ย 7.53% ค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ย 2.51 ส่วนน้ำมะนาวแป้นมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย 62.32 mg/100 g มีปริมาณกรดซิตริกเฉลี่ย 7.40% ค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ย 2.27 ดัง Table 10

Table 10 Average of Vitamin C content, Citric acid content and Lime Juice acidity. in Lime Juice.

Sample Number	Paen Pichit			Paen		
	Vitamin C (HPLC) (mg/100g)	Citric Acid (Titration) (%)	Acidity (pH)	Vitamin C (HPLC) (mg/100g)	Citric Acid (Titration) (%)	Acidity (pH)
1	65.12	7.65	2.5	55.76	7.18	2.2
2	68.34	7.44	2.4	64.97	7.12	2.3
3	71.13	7.58	2.5	58.56	7.35	2.3
4	69.26	7.61	2.3	62.38	7.31	2.2
5	73.17	7.60	2.2	64.58	7.48	2.4
6	75.08	7.52	2.4	56.98	7.47	2.2
7	69.25	7.54	2.5	58.76	7.45	2.3
8	62.19	7.56	2.9	67.93	7.51	2.2
9	71.17	7.49	2.8	71.52	7.63	2.3
10	74.23	7.33	2.6	61.73	7.54	2.3
AVG	69.89	7.53	2.51	62.32	7.40	2.27

2. สกัดน้ำมันหอมระเหยและเพคตินจากเปลือกมะนาว

การสกัดน้ำมันหอมระเหยและเพคติน พบว่ามะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเฉลี่ย 1.06% v/w และมีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 1.59% w/w มะนาวพันธุ์แป้น มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเฉลี่ย 0.38% v/w และมีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.73% w/w ดัง Table 11 โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร 100 kg มีปริมาณน้ำมะนาวสดเฉลี่ย 28.35% กากเปลือกเฉลี่ย 51.30% ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 1.4-4.9% และมีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 5.56% ส่วนมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณน้ำมะนาวสดเฉลี่ย 32.11% กากเปลือกเฉลี่ย 67.93% ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 3.63-8.47% และปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.48% ดัง Table 12 สอดคล้องกับรายงานของ Terpstra et al. (2002) ที่ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มและผลของความเป็นกรดในการสกัดเพคตินโดยพบว่า การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มในสภาวะที่ pH 1 จะให้ %yield เพคติน 45.5% ในสภาวะที่มีค่า pH 1.5 จะให้ %yield เพคติน 22% และพบว่าสารตั้งต้นในการสกัดเพคตินที่ให้ %yield สูง คือ น้ำที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำของเปลือกส้ม ซึ่งให้ปริมาณเพคติน 46.46% ในขณะที่การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มแห้งให้เพคติน 39.08%

Table 11 Average of essential oil and pectin content in 2 varieties of lime.

Sample Number	Paen Pichit		Paen	
	Essential oil (%v/w)	Pectin content (%w/w)	Essential oil (%v/w)	Pectin content (%w/w)
1	1.1	0.67	0.26	3.10
2	1.5	0.58	0.32	1.70
3	0.9	1.96	0.32	2.10
4	1.4	1.77	0.32	4.15
5	0.4	2.77	0.40	3.25
6	0.5	3.28	0.38	1.93
7	1.1	0.93	0.31	1.84
8	0.4	1.26	0.34	3.21
9	1.5	0.98	0.41	2.87
10	1.8	1.65	0.42	3.19
AVG	1.06	1.59	0.35	2.73

Table 12 Average of essential oil and pectin in 100 kilograms of lime.

Lime	Lime Juice (%)	Lime Peel (%)	Essential oil (%)	Pectin (%)
Paen	28.95	51.30	1.4-4.9	5.56
Paen Pichit	32.11	67.93	3.63-8.47	7.48

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ D-Limonene 52.63% gamma-terpinene 15.42% beta-pinene 11.68% alpha-pinene 9.88% และสารอื่นๆ 10.59% ดัง Table 13

Table 13 Chemical composition of Lime essential oil.

Chemical composition	Paen Pichit	Paen
Alpha-pinene	9.88	8.54
Beta-pinene	11.68	10.21
D-limonene	52.63	48.28
gamma-terpinene	15.42	14.72
Others	10.59	18.25

3. วิเคราะห์คุณภาพเพคติน

ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร พบว่ามีปริมาณเพคตินเฉลี่ย 22.40% มีปริมาณ Methoxy Content เฉลี่ย 11.80% มีค่า Equivalent weight เฉลี่ย 328.48% และมีค่า Degree of

Esterification เฉลี่ย 56.21 ดัง Table 14 ส่วนเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นสกัดเพคตินได้เฉลี่ย 13.82% มีค่า Equivalent weight เฉลี่ย 782.19% มีปริมาณ Methoxy Content เฉลี่ย 12.94% และมีค่า Degree of Esterification เฉลี่ย 76.52 ดัง Table 15

Table 14 Characteristic of Pectin extract from Lime. (Paen Pichit)

Lime	Paen1	Paen 2	Paen 3	AVg
% Pectin	17.74	20.57	28.88	22.40
% Equivalent Weight	318.85	350.92	315.68	328.48
% Methoxyl	8.40	13.11	13.90	11.80
Degree of Esterification	53.17	56.47	58.99	56.21
% AUA	106.84	103.75	107.53	106.04

Table 15 Characteristic of Pectin extract from Lime. (Paen)

Lime	Paen1	Paen 2	Paen 3	AVg
% Pectin	12.8	13.78	14.87	13.82
%Equivalent Weight	744.7	818.0	783.88	782.19
% Methoxyl	12.72	13.11	12.98	12.94
Degree of esterification	75.34	77.58	76.65	76.52
% AUA	95.84	95.99	96.17	96.00

4. การเตรียมน้ำมะนาวผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลการเตรียมน้ำมะนาวผง พบว่าสภาวะที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนน้ำมะนาว:มอลโตเด็กทรีน DE10 เท่ากับ 50:50 ฉีดพ่นที่อุณหภูมิเข้า 150 °C ได้มะนาวผง 45.91% มีความหอมและรสเปรี้ยวเหมือนมะนาวสด มีปริมาณกรดทั้งหมด 20.58 mg/100 g มะนาวผง มีความชื้น 3.12% (Table 16)

คุณค่าทางโภชนาการของมะนาวผง 100 g แสดงดัง Table 17 คือ ให้พลังงาน 407.61 กิโลแคลอรี มีคาร์โบไฮเดรต 88.95 g ใยอาหาร 0.44 g แคลเซียม 61.38 mg โซเดียม 24.78 mg และวิตามิน 40.54 mg ซึ่งสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ โดยนำไปบรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์พร้อมใช้ เพื่อเป็นเครื่องดื่มและเครื่องปรุงรส โดยมะนาวผงมีลักษณะดัง Figure 9

Table 16 Physico-chemical properties of lime powder (Paen Pichit) with different maltodextrin DE10 content produced by Spray dryer.

Properties	Maltodextrin (% of lime powder, w/w)		
	30	40	50
Yields (%)	30.51	37.89	45.91
Moisture (%)	3.26	3.71	3.12

Mg total acid /100 g lime powder		10.8	15.96	20.58
	L*	88.94	90.64	91.51
Color	a*	1.72	1.73	1.72
	b*	13.51	12.97	12.86

Table 17 Nutrition Fact of Lime Juice powder.

Energy	407.61	Kcal/100 g
Carbohydrate	88.95	g/100 g
Dietary fiber	0.4	g/100 g
Calcium	61.38	mg/100 g
Sodium	28.78	mg/100 g
Vitamin C	40.54	mg/100 g



Figure 9 Lime powder

5. การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์

5.1 ผลการแปรรูปน้ำมะนาวสดเป็นน้ำมะนาวพร้อมดื่ม จากนั้นผลิตเป็นมะนาวพร้อมดื่มบรรจุในถุงรีทอร์ตแพช พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยปริมาณกรดซิตริกระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 0.89% ในวันผลิตเป็น 0.70% ในเดือนที่ 6 (Table 18)

Table 18 Average of citric acid content in Ready to drink lime juice for 6-month storage.

Sample Number	(%) Citric acid content in Ready to drink for 6 months storage.						
	0 M	1 M	2 M	3 M	4 M	5 M	6 M
1	1.02	0.83	0.80	0.82	0.84	0.85	0.61
2	0.84	0.82	0.82	0.81	0.85	0.79	0.65
3	0.85	0.86	0.86	0.76	0.78	0.80	0.70
4	0.79	0.81	0.82	0.79	0.84	0.82	0.66

5	0.79	0.83	0.82	0.83	0.78	0.76	0.68
6	1.11	0.82	0.83	0.84	0.79	0.82	0.79
7	0.86	0.83	0.84	0.82	0.74	0.84	0.81
8	0.85	0.83	0.82	0.81	0.81	0.83	0.78
9	0.87	0.85	0.82	0.81	0.79	0.75	0.67
10	0.91	0.84	0.78	0.83	0.81	0.79	0.69
AVG	0.89	0.83	0.82	0.81	0.80	0.81	0.70

5.2 ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อนำไมโครแคปซูลวิตามินซี เพคตินและน้ำมันหอมระเหยของมะนาวมาใช้ประโยชน์ มีดังนี้

- มาร์คพอกหน้า (Face Mask) มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำ กลีเซอริน เพคติน propylene-glycol และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

- ครีมโฟมล้างหน้า (Face Foam Cream) มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำมันรำข้าว/น้ำมันมะพร้าว สเตียริกแอซิด โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมทิลพาราเบน 1,3 butylene-glycol, gMS, Abc 45%, Amilite, น้ำกลั่นบริสุทธิ์ และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

- เจลล้างหน้า (Cleansing Face gel) มีส่วนประกอบดังนี้ ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส Lauryl glucoside (nonionic surfactant), Cocamidopropyl betain, Propylene-glycol, Ammodium lauryl sulfate, glydant (สารกันเสีย), triethanolamine และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

- เซรัมวิตามินซีบำรุงผิว มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ กลีเซอริน cetearyl alcohol, phynoxyethanol และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15% (Figure 10 (a))

- เจลวิตามินซี มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ แซนแทนกัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ propylene-glycol, methylparaben (สารกันเสีย) ไคโซเดียม-EDTA และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

วิตามินซีในน้ำมะนาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหอมระเหยให้ความหอม ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีคุณสมบัติทำให้ผิวพรรณชุ่มชื้น กระจ่างใส และสดชื่น



(a)



(b)

Figure 10 Cosmetic products and from lime powder (a) and Nano-emulsions from lime essential oil (b)

5.3 ผลการเตรียมผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชัน โดยใช้น้ำมันหอมระเหย 1000 mg ผสมกับ Tween60 ปริมาณ 6 8 และ 10 g และทำให้มีน้ำหนัก 15 g ด้วยเอทานอล 95% ผสมกันโดยใช้ Hand Homogenizer นาน 15 min ระยะเวลาเอทานอลออกโดยใช้เครื่องระเหยสารสูญญากาศ จะได้ผลิตภัณฑ์ให้ความหอมกลิ่นมะนาว พบว่าอิมัลชันมีความคงตัวไม่แยกชั้น ดัง Figure 10 (b) และเมื่อวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Dynamic Light Scattering (DLS) ที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ พบว่าอิมัลชันมีขนาดอนุภาคในช่วง 46.9-47.7 41.7-44.6 และ 54.2-55.8 ค่า zeta potential ในช่วง 8.29-8.47 10.30-10.57 และ 17.24-18.54 ตามลำดับ (Table 19)

Table 19 Particle size and zeta potential of nano-emulsion of lime essential oil.

Nano-emulsion of lime essential oil.	Particle size (nm.)	Zeta potential
Lime EO (1000 mg) + Tween 60 (6g) + Ethanol (15g)	46.9-47.7	8.29-8.47
Lime EO (1000 mg) + Tween 60 (8g) + Ethanol (15g)	41.7-44.6	10.30-10.57
Lime EO (1000 mg) + Tween 60 (10g) + Ethanol (15g)	54.2-55.8	17.24-18.54

การทดลองที่ 1.3 การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดสารสีจากดอกอัญชัน

1.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดสารสี พบว่า ระยะเวลาไม่มีผลต่อการสกัด จึงเลือก ระยะเวลาในการสกัดที่น้อยที่สุด คือ 30 min ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อการสกัด โดยการสกัดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีจากดอกอัญชัน คือ สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 30 min (Table 20) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Marpaung et al. (2013) ที่รายงานว่า การสกัดสารสีจากดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ค่า pH 4.5 โดยเขย่าหรือกวนอย่างต่อเนื่องในที่มีดที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 min เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารสีจากดอกอัญชัน

Table 20 Anthocyanin content of butterfly pea extract (mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight basis)

Temperature (°C)	Timing of extraction (minute)				
	30	40	50	60	AVG
30	239.36	224.57	218.82	227.87	227.65c
40	229.22	232.57	231.26	218.54	227.90c
50	254.39	257.08	245.04	249.49	251.50ab
60	258.86	253.76	249.71	258.56	255.22a
70	244.51	241.17	250.97	259.99	249.16ab
80	232.19	234.96	232.77	242.65	235.64bc
90	240.56	239.56	241.37	238.12	239.90abc
AVG	242.73	240.52	238.56	242.17	241.00

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานิน พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก สารสกัดที่ได้มีค่า pH ลดลง (มีความเป็นกรดสูงขึ้น) การสกัดสารแอนโทไซยานินด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.20 M ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด แต่ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับการสกัดด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ในการสกัดสารแอนโทไซยานิน (Table 21)

Table 21 Anthocyanin content of butterfly pea extract in different concentrations of citric acid solution

Concentration of citric solution	pH	Anthocyanin content
		(mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight basis)
0.00 M	6.14	220.95bc
0.05 M	2.29	216.36c
0.10 M	2.14	229.13b
0.15 M	2.07	243.56a
0.20 M	2.00	244.67a

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

1.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดอกอัญชันแห้งต่อตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารสี พบว่าการสกัดครั้งที่ 1 ที่อัตราส่วนการสกัด 1:50 ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด 219.11 mg cyanidin-3-glucoside/100 g (dry basis) คิดเป็น 95% ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (228.75 mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry basis) เมื่อนำกากมาสกัดครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้จากการสกัดในแต่ละอัตราส่วนมีปริมาณน้อยมากและไม่แตกต่างกัน (Table 22) ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนการสกัด 1:50 และสกัดเพียง 1 ครั้ง เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานิน

Table 22 Anthocyanin content of butterfly pea extract in different ratios

Ratio	Anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight basis)			
	1 st time extraction	2 nd time extraction	3 rd time extraction	total
1:20	204.35c	8.27a	0.93a	213.56
1:30	206.13c	12.95a	1.33a	220.41
1:40	212.45b	11.17a	1.04a	224.66
1:50	219.11a	8.92a	0.72a	228.75
1:60	212.09b	11.96a	1.04a	225.09

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

2. การสกัดสารสีจากแครอท

ทำโดยล้างทำความสะอาด หั่นสไลด์ บั่นละเอียด แยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้สารสกัดแครอทสีส้ม เมื่อนำไปทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออกจะได้สารสกัดแครอทเข้มข้น มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 25 °Brix ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 35.11 13.68 และ 6.67 ตามลำดับ ค่า pH เท่ากับ 5.93 ปริมาณแคโรทีนอยด์ 22.00 mg/100 ml

3. การสกัดสารสีจากใบเตย

ทำโดยล้างทำความสะอาด ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ปั่นละเอียด แยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ จะได้สารสกัดใบเตยสีเขียวเข้ม มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 4.9 °Brix ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 27.17 2.35 และ -2.22 ตามลำดับ ค่า pH เท่ากับ 5.39 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 16.37 mg/100 ml

4. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดดอกอัญชัน

การศึกษารูปร่างของอนุภาคที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากดอกอัญชัน พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิร้อนเข้า 160 °C มีความชื้นน้อยกว่า ($p \leq 0.05$) การใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 และ 140 °C ตามลำดับ (Table 23) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น จะส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อนุภาคมากขึ้นทำให้น้ำระเหยเร็วขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว (Kha et al., 2010) โดยคุณภาพของสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 140 150 และ 160 °C มีคุณภาพด้านค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และปริมาณแอนโทไซยานินใกล้เคียงกัน ซึ่งการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะคำนึงถึงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เนื่องจากความชื้นมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสีผงจากดอกอัญชัน คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C

Table 23 Quality of butterfly pea powder in different drying temperature (140-160 °C) and quality of butterfly pea powder in different maltodextrin content (10-30%)

Qualities	Drying temperature (°C)			Maltodextrin (%)		
	140	150	160	10	20	30
moisture (%)	5.74b	5.30b	4.80a	8.61c	4.46b	3.25a
water activity	0.253	0.224	0.206	0.302	0.280	0.200
yield (%)	13.88	14.07	15.05	9.63	16.02	16.49
color value L*	47.50	48.14	47.22	44.93	46.32	47.95
a*	15.23	14.96	15.43	16.68	15.67	14.75
b*	-3.77	-3.66	-3.47	-2.71	-3.08	-3.22
C*	15.68	15.41	15.81	16.90	15.96	15.10
h*	346.08	346.25	347.33	350.79	348.89	347.71
total soluble solid (°Brix)	10.2	10.3	10.3	10.2	10.3	10.2
pH	2.83	2.83	2.84	2.76	2.77	2.83
water solubility (%)	95.45	96.39	96.43	91.93	97.13	97.19
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/ 100 g dry weight basis)	45.55a	44.97a	43.98a	71.24a	42.45b	28.30c

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

การศึกษารูปร่างของอนุภาคที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากดอกอัญชัน พบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรีนมีผลต่อความชื้นของสีผง โดยสีผงที่ผสมมอลโตเดกซ์ทรีน 30% มีความชื้นและกิจกรรมของน้ำน้อยที่สุด (Table 23) เนื่องจากการเพิ่มมอลโตเดกซ์ทรีนจะไปเพิ่มปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งและลดส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้นลดลง (Kha et al., 2010) แต่มีปริมาณผลผลิตที่ได้มากที่สุดใกล้เคียงกับสีผงที่ผสมมอลโตเดกซ์ทรีน 20% เมื่อวิเคราะห์คุณภาพของสีผง พบว่าสีผงที่ผสมมอลโตเดกซ์ทรีน

10% มีสีเข้มกว่าสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20 และ 30% เนื่องจากมีค่าสี L* น้อยที่สุด ค่าสี a* (แดง-เขียว) และ ค่าสี C* (ความเข้มสี) มากกว่า มีความชื้นสูง มีค่าการละลายน้อยที่สุด และมีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 30% มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ดังนั้นปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสีผงจากดอกอัญชัน

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดแครอท

การศึกษาอุณหภูมิลมร้อนเข้าที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดจากแครอท พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 180 °C มีความชื้นน้อยที่สุด ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับการใช้ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 และ 170 °C มีค่ากิจกรรมของน้ำใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.27-0.28 และมีปริมาณผลผลิต อยู่ในช่วง 12.72-12.87% (Table 24) เมื่อนำสีผงที่ได้วิเคราะห์คุณภาพ พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วย อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C มีปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C ในขณะที่สีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 180 °C มีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสีผงจากแครอท คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C

การศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดจากแครอท พบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีผลต่อคุณสมบัติของสีผง โดยสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 30% มีความชื้นและมีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สุด (Table 24) สีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 10% มีสีเข้มกว่าสีผงที่ผสม มอลโตเด็กซ์ทริน 20 และ 30% ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 8.33-9.33 °Brix ค่า pH อยู่ในช่วง 4.99-5.08 สีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 10% มีค่าการละลายน้อยที่สุด แต่มีปริมาณแคโรทีนอยด์และค่า ความชื้นมากที่สุด ดังนั้นปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสีผงจากแครอท

Table 24 Quality of carrot powder in different drying temperature (160-180 °C) and quality of carrot powder in different maltodextrin content (10-30%)

Qualities	Drying temperature (°C)			Maltodextrin (%)		
	160	170	180	10	20	30
moisture (%)	3.19a	3.04a	2.98a	5.24 b	3.13a	2.80a
water activity (aw)	0.28	0.28	0.27	0.29	0.28	0.28
yield (%)	12.72	12.87	12.73	8.76	12.64	15.76
color value L*	34.44	34.41	34.84	34.56	34.92	34.87
a*	8.26	8.43	7.41	7.81	7.54	6.83
b*	6.95	7.33	7.04	6.77	7.26	6.94
C*	10.84	11.18	10.23	10.34	10.48	9.74
h*	40.17	41.55	43.74	40.84	44.06	45.55
total soluble solid (°Brix)	9.22	9.24	9.80	8.33	9.33	9.31
pH	5.28	5.28	5.19	4.99	5.05	5.08
water solubility (%)	77.15	77.84	79.79	70.87	74.63	80.08
total carotenoid (ug/g dry weight basis)	62.23a	61.68a	51.50b	56.75a	43.68b	29.85c

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดใบเตย

ผลการศึกษาอุณหภูมิลมร้อนเข้าที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากใบเตย พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C มีความชื้นน้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) กับการใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C (Table 25) นอกจากนี้สีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้าทั้ง 3 อุณหภูมิ มีปริมาณผลผลิตที่ได้ ค่ากิจกรรมของน้ำ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และค่าการละลายมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 และ 170 °C ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสีผงจากใบเตย คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C

การศึกษาปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรินที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากใบเตย พบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรินมีผลต่อปริมาณความชื้นของสีผง โดยสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 30% มีความชื้นน้อยที่สุด (Table 25) เมื่อนำสีผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 10% มีสีเข้มกว่าสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 20 และ 30% แต่มีค่าการละลายน้อยกว่า เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์ของสีผง พบว่า สีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 10% มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 20% ดังนั้นปริมาณมอลโตเด็คซ์ทริน 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสีผงจากใบเตย

Table 25 Quality of pandan powder in different drying temperature (150-170 °C)

Qualities	Drying temperature (°C)			Maltodextrin (%)		
	150	160	170	10	20	30
moisture (%)	3.41 b	3.24 ab	3.10 a	5.19 c	2.93 b	1.65 a
water activity	0.27	0.27	0.25	0.32	0.24	0.20
yield (%)	12.56	11.70	12.03	8.90	13.73	16.47
color value L*	43.27	43.46	43.61	41.69	44.16	47.25
a*	-1.53	-1.00	-1.02	0.37	-0.82	-2.03
b*	7.90	7.89	8.15	6.70	8.68	10.87
C*	8.05	7.97	8.23	6.71	8.72	11.06
h*	100.68	97.35	97.06	86.70	95.48	100.60
total soluble solid (°Brix)	9.49	9.59	9.28	9.12	9.83	10.01
pH	4.53	4.55	4.48	4.26	4.32	4.37
water solubility (%)	82.57	81.31	83.52	68.13	82.87	89.46
total chlorophyll (ug/g dry weight basis)	150.25a	152.46a	137.65a	185.95a	154.21ab	128.90b

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

จากการทดลองผลิตสีผงจากสารสกัดดอกอัญชัน แครอท และใบเตย ตามสภาวะที่เหมาะสม สีผงที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมีและสารปนเปื้อนดังนี้ สีผงจากดอกอัญชันมีเถ้า ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต (รวมใยอาหาร) ใยอาหาร และไขมัน เท่ากับ 0.66 4.33 2.05 92.53 1.06 และ 0.43% ตามลำดับ สีผงจากแครอทมีเถ้า ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต (รวมใยอาหาร) ใยอาหาร และไขมัน เท่ากับ 2.57 1.64 6.3187.68, 1.68 และ 1.80% ตามลำดับ สีผงจากใบเตยมีเถ้า ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต (รวมใยอาหาร) ใยอาหาร และไขมัน เท่ากับ 1.36 2.44 4.88 90.18 1.83 และ 1.14% ตามลำดับ โดยสีผงทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสารปนเปื้อน ได้แก่

สารหนูและตะกั่ว อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานสำหรับสารสกัดให้สีจากส่วนของพืชหรือสัตว์ คือ มีปริมาณสารหนู ไม่เกิน 2 mg/kg และปริมาณตะกั่ว ไม่เกิน 1 mg/kg (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, ม.ป.ป.)

5. การประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.1 ผลการประยุกต์ใช้สีผงจากดอกอัญชันในผลิตภัณฑ์เยลลี่ พบว่าเยลลี่มีลักษณะดัง Figure 11 โดยเมื่อปริมาณสีผงมากขึ้นมีผลทำให้ค่า pH ของเยลลี่ลดลง เนื่องจากในสีผงมีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบเพราะสกัดด้วยสารละลายกรดซิตริก ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผงปริมาณมากจึงมีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผงปริมาณ 2.5% จึงมีค่า pH ต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับเยลลี่ที่ใส่สีผง 1.5 และ 2.0% นอกจากนี้การใส่สีผงปริมาณมากขึ้นทำให้เยลลี่มีสีเข้มขึ้น โดยค่าสี L^* และ b^* มีค่าลดลง ในขณะที่ค่าสี a^* และ C^* มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าสี h^* พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ ที่ใส่สีผง 1.0 1.5 2.0 และ 2.5% มีค่าเฉดสีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Table 26)

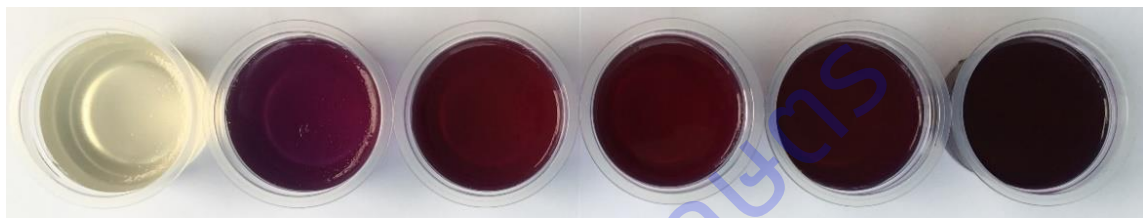


Figure 11 Jelly product in different butterfly pea powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)

Table 26 Quality of jelly in different butterfly pea powder (0.0-2.5%)

Qualities	Butterfly pea powder (%)					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
total soluble solid (°Brix)	29.83	29.97	30.13	30.73	29.83	29.67
pH	7.61d	3.35c	3.11b	2.85a	2.76a	2.70a
color value L^*	51.13d	43.44c	27.68b	26.89ab	25.99a	25.88a
a^*	1.80c	4.46b	5.01a	5.17a	5.19a	5.23a
b^*	0.81d	-5.57c	-6.47b	-6.48b	-6.29b	-8.93a
C^*	1.98d	4.59c	7.13b	8.14a	8.18a	8.33a
h^*	24.27c	300.14b	308.68a	307.69a	308.90a	309.39a
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g)	0.00f	0.28e	0.51d	0.73c	0.96b	1.16a
total phenolic compound (mg gAE/100 g)	3.62f	8.25e	13.95d	18.16c	22.90b	26.25a
antioxidant capacity by DPPH (mg VCEAC/100 g)	0.32f	3.66e	5.71d	6.77c	8.00b	8.31a

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

นอกจากนี้ปริมาณสีผงที่ใส่ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ยังมีผลต่อปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ คือ เยลลี่ที่ใส่สีผงทั้ง 5 สูตร (0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5%) มีปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) กับเยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง และการใส่สีผงปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้เยลลี่มีสารสำคัญเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผงร้อยละ 2.5 มีปริมาณสำคัญทั้ง 3 ชนิดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) และตรวจไม่พบสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ไม่ใส่สีผงดอกอัญชัน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เยลลี่ผสมสีผงจากดอกอัญชัน พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผงมากกว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง โดยเยลลี่ที่ใส่สีผง 2.5% มีคะแนนความชอบสูงที่สุด ดังนี้ ด้านกลิ่น 5.2 คะแนน รสชาติ 5.43 คะแนน เนื้อสัมผัส 4.50 คะแนน และความชอบโดยรวม 5.37 คะแนน จากคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคและปริมาณสารสำคัญของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นสูตรเยลลี่ที่ผสมสีผง 2.5% จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่

5.2 ผลการประยุกต์ใช้สีผงจากแครอทในผลิตภัณฑ์เยลลี่ พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ได้มีลักษณะดัง Figure 12 โดยการใส่สีผงปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้เยลลี่มีค่าสี a^* (แดง-เขียว) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสี b^* (เหลือง-น้ำเงิน) มีค่าลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่า pH ของเยลลี่ทั้ง 5 สูตร มีค่าใกล้เคียงกันดัง Table 27

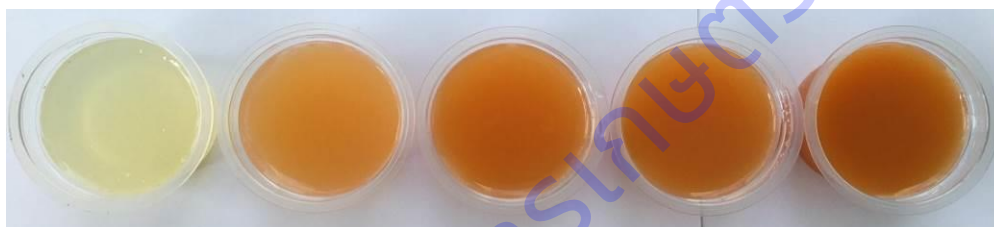


Figure 12 Jelly product in different carrot powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%)

Table 27 Quality of jelly in different carrot powder (0.0-2.0%)

Qualities	Carrot powder (%)				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
total soluble solid ($^{\circ}$ Brix)	23.32	25.27	25.67	26.05	24.87
pH	3.35	3.43	3.5	3.55	3.61
color value L^*	27.76a	28.30b	28.96c	29.34cd	29.60d
a^*	4.57a	4.65ab	4.94bc	5.20c	5.64d
b^*	-6.37a	-4.49b	-2.89c	-2.06d	-1.29e
C^*	7.84a	6.43b	5.72c	5.59c	5.80c
h^*	305.64a	316.33b	329.72c	338.33d	347.33e
total carotenoid ($\mu\text{g/g}$)	0.11e	0.30d	0.44c	0.62d	0.77a
total phenolic compound ($\mu\text{gAE/g}$)	116.25a	116.41a	116.21a	122.24a	126.47a
antioxidant capacity by DPPH ($\mu\text{gVCEAC/g}$)	54.78c	56.79bc	56.12c	59.91ab	61.44a

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

นอกจากนี้ ปริมาณสีผงที่ใส่ยังมีผลต่อปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เยลลี่ ได้แก่ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเยลลี่ที่ใส่สีผง

แครอทมีปริมาณแคโรทีนอยด์และความสามารถต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง เมื่อใส่สีผงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เยลลี่มีปริมาณแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เยลลี่ผสมสีผงจากแครอท พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผงมากกว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผง 1.0 1.50 และ 2.0% มีคะแนนความชอบทุกด้านมากกว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง แต่ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผง 1.0% มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (5.80 คะแนน) สี (5.85 คะแนน) กลิ่น (5.20 คะแนน) รสชาติ (5.70 คะแนน) และความชอบโดยรวม (5.70 คะแนน) สูงที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค จึงเลือกสูตรที่ผสมสีผง 1.0% เป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เยลลี่จากสีผงแครอท

5.3 ผลการประยุกต์ใช้สีผงจากใบเตยในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา พบว่าครีมสังขยามีลักษณะดัง Figure 13 โดยการใส่สีผงปริมาณมากขึ้นทำให้ครีมสังขยามี ค่าสี L* ค่าสี a* และ ค่าสี b* ลดลง นั่นคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเขียวเข้มขึ้น ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสีผงมากขึ้นตามลำดับ ดัง Table 28

Table 28 Quality of custard cream in different pandan powder (0.0-2.5%)

Qualities	Pandan powder (%)					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
total soluble solid ($^{\circ}$ Brix)	40.47	42.37	37.9	43.43	38.62	43.93
pH	7.22	7.32	7.31	7.22	7.24	7.1
color value L*	44.29d	40.70c	40.70c	37.9 b	37.54b	34.95a
a*	0.37d	-1.04c	-1.61b	-2.12a	-2.09a	-2.05a
b*	8.94d	8.46c	8.7cd	7.85b	8.00b	6.69a
C*	8.95cd	8.53bc	9.03d	8.12b	8.26b	6.88a
h*	87.59d	96.98c	103.50b	103.55b	104.89a	104.39a
total chlorophyll ($\mu\text{g/g}$)	1.59e	2.95de	5.85cd	7.70c	11.41b	14.72a
total phenolic compound ($\mu\text{g gAE/g}$)	84.21c	95.60bc	104.39abc	103.26abc	116.77ab	125.67a
antioxidant capacity by DPPH ($\mu\text{g VCEAC/g}$)	16.10e	20.64de	24.34cd	30.17bc	37.05ab	44.17a

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level



Figure 13 Custard cream product in different pandan powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสครีมสังขยาผสมสีผงจากใบเตย พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับครีมสังขยาที่ใส่สีผงมากกว่าผลิตภัณฑ์ครีมสังขยาที่ไม่ใส่สีผง ทั้งนี้เนื่องจากสีผงจากใบเตยมีกลิ่นหอมของใบเตย กลิ่นของสีผงจึงช่วยลดกลิ่นไขของครีมสังขยา โดยครีมสังขยาที่ใส่สีผง 1.5 2.0 และ 2.5% มีคะแนนความชอบทุกด้านไม่แตกต่างกัน แต่ผลิตภัณฑ์ครีมสังขยาที่ใส่สีผง 2.0% มีคะแนนความชอบด้านสี 5.55 คะแนน รสชาติ 5.55 คะแนน และความชอบโดยรวม 5.50 คะแนน สูงที่สุด ดังนั้นสูตรการผลิตครีมสังขยาผสมสีผงจากใบเตย 2.0% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผง

6.1 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผงจากดอกอัญชัน เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าสีผงมีลักษณะดัง Figure 14 โดยตลอดอายุการเก็บรักษา 12 เดือน ค่าสี L^* มีแนวโน้มลดลง ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (ΔE) ที่อายุการเก็บรักษา 2-6 เดือน มีค่า ΔE น้อยกว่า 2.3 แสดงว่าค่าสีของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 2-6 เดือน ไม่แตกต่างกับค่าสีของสีผงเริ่มต้น เมื่อเก็บรักษานานตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป พบว่า ΔE มีค่ามากกว่า 2.3 แสดงว่าสีของสีผงที่อายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป มีค่าสีแตกต่างกับค่าสีของสีผงเริ่มต้น เนื่องจากหากค่า $\Delta E \geq 2.3$ แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (Sharma, 2003) การเก็บรักษาสีผงนานขึ้นมีผลทำให้ความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน สีผงมีค่า a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.372 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เช่น ธัญชาติ นมผง และกาแฟ ซึ่งต้องมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 (ปรียาและสุดสาย, 2546) ในขณะที่การละลายของสีผงและปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 29)

Table 29 Quality of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 12 months

Qualities	Shelf life (month)						
	0	2	4	6	8	10	12
color value L^*	57.36	57.22	55.84	56.28	54.49	54.61	52.39
a^*	16.02	16.07	16.45	14.92	16.01	16.03	15.97
b^*	-2.69	-2.67	-2.3	-1.15	-1.99	-2.11	-1.82
ΔE	0	0.15	1.63	2.18	2.95	2.81	5.05
moisture content (%)	4.31a	4.66ab	5.02bc	5.16c	5.29cd	5.61d	6.71e
water activity	0.255a	0.292ab	0.260a	0.305abc	0.315bc	0.353cd	0.372d
water solubility (%)	98.71a	97.73ab	97.16b	96.99b	96.92b	95.56c	93.56d
pH	2.26a	2.27a	2.34b	2.40c	2.42c	2.43c	2.42c
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g)	40.02a	35.39b	34.59b	32.37c	31.42c	31.19c	28.70d
total phenolic compound (mg gAE/100 g)	694.32a	645.56b	516.22c	491.25cd	461.88de	460.20de	434.24e
antioxidant capacity by DPPH (mg VCEAC/100 g)	254.24a	211.15b	206.25b	191.46c	183.30cd	176.72de	166.34e

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level



Figure 14 Appearance of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 12 months

6.2 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผงจากแครอท เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าสีผงที่ได้มีลักษณะดัง Figure 15 โดยสีผงที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2-6 เดือน มีค่า ΔE น้อยกว่า 2.3 แสดงว่ามีค่าสีไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น การเก็บรักษาสีผงนานขึ้นทำให้ความชื้นและค่า a_w มีค่าเพิ่มขึ้น โดยความชื้นของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 2-6 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากสีผงเริ่มต้น ค่า a_w ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 2-4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากสีผงเริ่มต้น และที่อายุการเก็บรักษา 12 เดือน มีค่า a_w เท่ากับ 0.30 แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง สำหรับการละลายของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 2-10 เดือน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น นอกจากนี้การเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณลดลง คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 30)

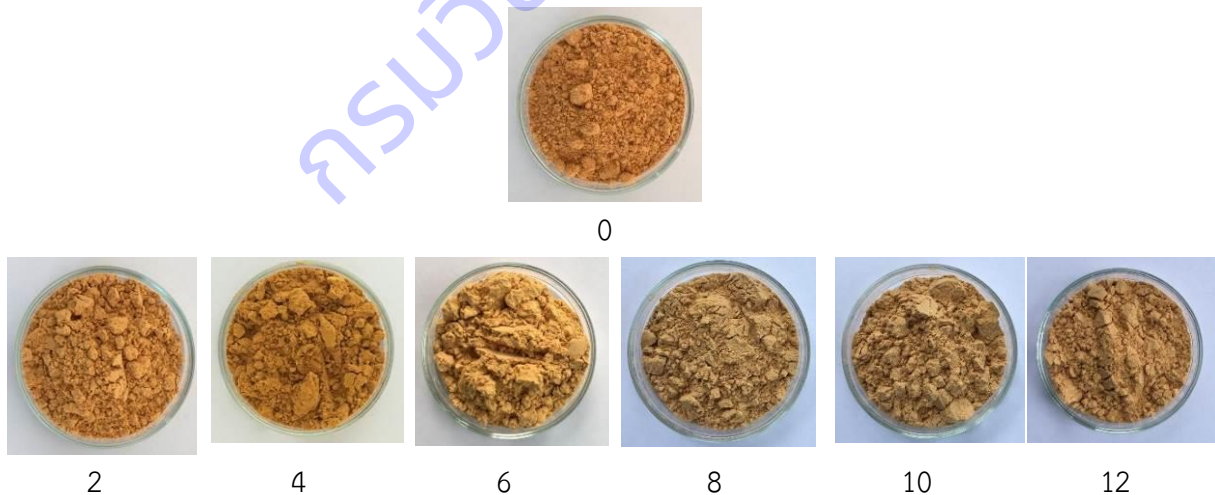


Figure 15 Appearance of carrot powder was kept at ambient temperature for 12 months

Table 30 Quality of carrot powder was kept at ambient temperature for 12 months

Qualities	Shelf life (month)						
	0	2	4	6	8	10	12

color value L*	52.44	52.33	53.1	52.74	53.14	53.3	53.61
a*	8.52	7.74	7.38	6.82	6.82	6.5	5.62
b*	11.97	13.11	12.52	12.47	13.79	12.84	14.01
ΔE	0	1.39	1.43	1.80	2.59	2.36	3.73
moisture content (%)	1.65a	1.76a	2.01a	1.96a	2.42b	2.88c	3.10c
water activity	0.27a	0.28ab	0.27a	0.29b	0.31c	0.30c	0.30c
water solubility (%)	84.51a	83.53a	81.65ab	82.87a	80.61ab	81.62ab	78.34b
pH	5.31ab	5.33b	5.32ab	5.3 ab	5.28ab	5.22a	5.28ab
total carotenoid (mg/100 g)	8.98a	8.60ab	8.30bc	8.34bc	8.11c	7.36d	7.51d
total phenolic compound (mg gAE/100 g)	180.30a	168.26ab	162.13bc	152.66bcd	150.72cd	147.43cd	139.88d
antioxidant capacity by DPPH (mg VCEAC/100 g)	67.84ab	71.020a	64.08b	57.08c	53.53c	45.46d	42.35d

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

6.3 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผงจากใบเตย พบว่าสีผงที่ได้มีลักษณะดังภาพ Figure 16 โดยค่า ΔE ตลอดอายุการเก็บรักษา 12 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น แต่ไม่เกิน 2.30 แสดงว่าค่าสีผงจากใบเตยมีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น

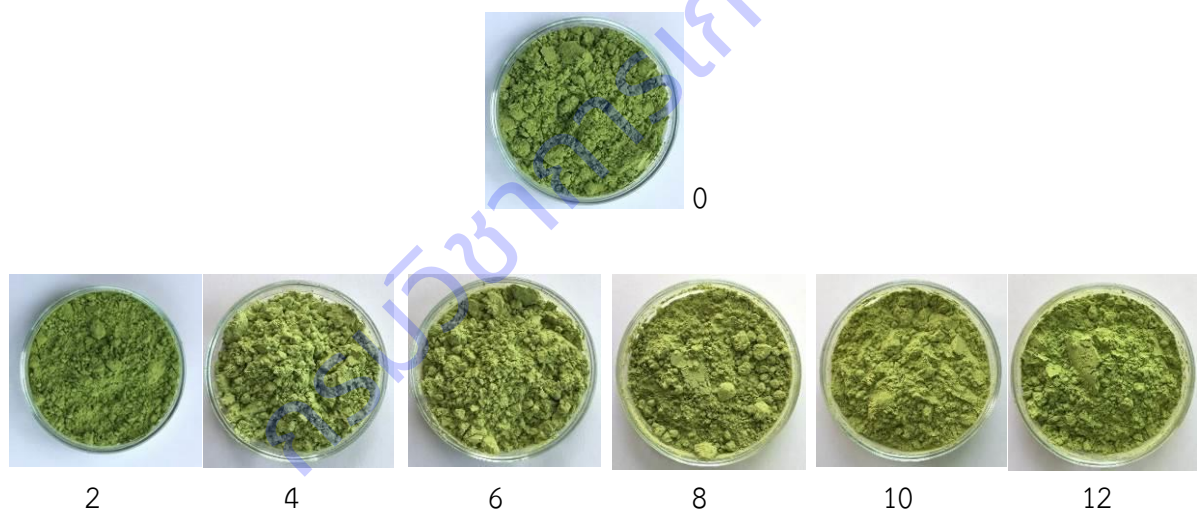


Figure 16 Appearance of pandan powder was kept at ambient temperature for 12 months

Table 31 Quality of pandan powder was kept at ambient temperature for 12 months

Qualities	Shelf life (month)						
	0	2	4	6	8	10	12
color value L*	52.43	52.11	52.53	52.91	53	53.13	53.3
a*	-5.54	-5.31	-5.12	-4.99	-4.62	-4.4	-4.33
b*	12.67	12.65	12.68	12.15	11.74	11.2	10.98
ΔE	0	0.39	0.43	0.9	1.43	1.99	2.25
moisture content (%)	1.18a	1.71bc	1.71bc	1.50b	2.17de	1.96cd	2.40e

water activity	0.20a	0.22a	0.24a	0.22a	0.21a	0.22a	0.23a
water solubility (%)	91.88a	87.53ab	88.08ab	87.30ab	83.46abc	80.00bc	75.24c
pH	4.61a	4.61a	4.57bc	4.59b	4.56c	4.58bc	4.53d
total chlorophyll (mg/100 g)	103.63a	98.63b	95.91c	92.54d	93.01d	89.04e	83.00f
total phenolic compound (mg gAE/100 g)	340.91a	316.54b	291.73c	279.56d	226.21e	174.16f	171.03f
antioxidant capacity by DPPH (mg VCEAC/100 g)	74.07a	74.37a	60.48b	72.90a	58.94b	57.10b	43.25c

In a row, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

การเก็บรักษาสีผงบานขึ้นทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น แต่การละลายมีค่าลดลง โดยความชื้นของสีผงบานที่อายุการเก็บรักษา 2-12 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากสีผงบานเริ่มต้น ค่า aw ของสีผงบานที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกัน การละลายของสีผงบานที่อายุการเก็บรักษา 2-8 เดือน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้น นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษานานขึ้นปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าลดลง สำหรับคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงบานที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 31)

7. การคำนวณต้นทุนการผลิตสีผงบาน

สีผงบานจากดอกอัญชันปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 680 บาท ดังนี้ ดอกอัญชันแห้ง 1 kg 400 บาท กรดซิตริก 1.5 kg 105 บาท มอลโตเด็กซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท

สีผงบานจากแครอทปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 1,675 บาท ดังนี้ แครอท 60 kg 1,500 บาท มอลโตเด็กซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท

สีผงบานจากใบเตยปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 1,175 บาท ดังนี้ ใบเตย 40 kg 1,000 บาท มอลโตเด็กซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท

ซึ่งต้นทุนการผลิตสีผงบานทุกสียังไม่รวมค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การทดลองที่ 1.4 การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงบานจากใบย่านางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง

การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง โดยหั่นใบย่านางเป็นชิ้นเล็กๆ (Figure 17) และนำไปสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) (Figure 18) จากนั้นสกัด AIS ด้วยน้ำพบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเพิ่มขึ้นโดยสภาวะที่เหมาะสมของการสกัด คือ อุณหภูมิ 80 °C อัตราส่วนของ AIS:น้ำ เท่ากับ 1:20 และระยะเวลาในการสกัด 90 min นำสารสกัดไปประเหยน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศแล้วนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% จะได้สารสกัดดัง Figure 19 จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 5.45% มีลักษณะเป็นผงสีเทา (Figure 20) มีความชื้น 7.32% (Table 32)



Figure 17 Yanang leaves



Figure 18 Alcohol-insoluble solid (AIS) of Yanang leaves extract



Figure 19 Yanang leaves extracted after filtrate from ethanol



Figure 20 Yanang leaves Hydrocolloids

Table 32 Yield of hydrocolloids extracts from Yanang leaves with different extraction conditions.

Temperature (°c)	Extraction conditions		Yield (%)
	Ratio of alcohol-insoluble solid : water (w/v)	Time (minute)	
70	1:20	60	3.52f
70	1:20	90	3.84e
70	1:25	60	3.06h
70	1:25	90	3.37g
80	1:20	60	5.12b
80	1:20	90	5.45a
80	1:25	60	4.25d
80	1:25	90	4.63c

Note^{a-f} Values with the same letter in column are not significantly different (p<0.05)

เมื่อเปรียบเทียบการสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางของจิตราและคณะ (2550) ที่สกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางแห้งด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 85 °C อัตราส่วนของใบย่านาง:น้ำ เท่ากับ 1:5 ระยะเวลาในการสกัด 180 min พบว่าได้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 4.51% เปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสภาวะในการสกัดจากงานวิจัยนี้ให้ปริมาณผลได้ (%yield) ของไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางมากกว่า

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง

พบว่าสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางที่สกัดได้มีความชื้น 7.32% และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดยูโรนิกและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางกับไซเลนทางการค้า (ไซเลนจากพืชวูด) พบว่าไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางมีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 55.68% ใกล้เคียงกับไซเลนทางการค้าที่มีปริมาณกรดยูโรนิกประมาณ 8.7-12.8% และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 60-80% โดยปริมาณกรดยูโรนิกและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและไซเลนทางการค้า แตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากแหล่งของวัตถุดิบแตกต่างกัน

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางความเข้มข้น 1.5% พบว่าสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ โดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC50 เท่ากับ 12.63 ($\mu\text{g/ml}$) และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 1.42 (mg GAE/100 ml)

3. การศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง

ผลการศึกษาค่าคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางโดยการวัดความหนืดที่ความเร็วรอบ 250 rpm และการวัดความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ทำให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น (Table 33) เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเพิ่มมากขึ้นทำให้ไฮโดรคอลลอยด์สามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น ปริมาณน้ำอิสระจึงลดลงส่งผลให้ความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น (จิตราและคณะ, 2550)

Table 33 Effect of concentration of hydrocolloids extracts from Yanang leaves on viscosity and gel strength

Concentration of hydrocolloids extracts from Yanang leaves (% w/v)	Viscosity (cPs)	gel strength (N)
0.5	9.1d	0.054d
1.0	14.7c	0.085c
1.5	18.6b	0.124b
2.0	22.7a	0.187a

Note^{a-d} Values with the same letter in column are not significantly different ($p < 0.05$)

การเติมน้ำตาล sucrose ส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลสามารถจับกับน้ำและทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงจึงส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น (Table 34) ส่วนการเติม NaCl ส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลง (Table 35) ซึ่งเกิดจากไอออน Na^+ ไปแย่งจับกับน้ำทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า salting out หรืออาจเกิดจากการที่ไอออน Na^+ เกิดการผลักกันของตัวมันเองซึ่งเป็นผลทำให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลงเช่นกัน (Whistler and Bemiller, 1993)

Table 34 Effect of concentration of sucrose in 1 % hydrocolloids extracts from Yanang leaves on viscosity and gel strength

concentration of sucrose (%w/v)	Viscosity (cPs)	gel strength (N)
0	14.7e	0.085e
10	16.1d	0.097d
20	17.8c	0.132c
30	19.2b	0.156b
40	21.3a	0.179a

Note^{a-e} Values with the same letter in column are not significantly different ($p < 0.05$)

Table 35 Effect of concentration of NaCl in 1 % hydrocolloids extracts from Yanang leaves on viscosity and gel strength.

concentration of NaCl (%w/v)	Viscosity (cPs)	gel strength (N)
0	14.7a	0.085a
1.0	13.4b	0.075b
3.0	12.3c	0.063c
5.0	11.5d	0.051d
7.0	10.2e	0.044e

Note ^{a-e} Values with the same letter in column are not significantly different ($p < 0.05$)

4. การศึกษาโครงสร้างของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง

ผลการศึกษาโครงสร้างของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ด้วยเครื่อง FT-IR (Figure 21) เปรียบเทียบกับไซแลนทางการค้า (ไซแลนจากบีชูด) (Figure 22) พบว่าโครงสร้างของสารสกัดทั้ง 2 ชนิด มีองค์ประกอบหลักเหมือนกัน คือ น้ำตาลไซโรส โดยพบพิกที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน 5 ตำแหน่ง ได้แก่ หมู่ฟังก์ชัน C-O ที่ความยาวคลื่นช่วง 1039.65 (Table 36) ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะ β (1 \rightarrow 3) linkage และ β (1 \rightarrow 4) linkage ซึ่งพันธะดังกล่าวตรงกับโครงสร้างของไซแลนทางการค้าที่มีโครงสร้างเป็นน้ำตาลไซโรสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β (1 \rightarrow 3) linkage และ β (1 \rightarrow 4) linkage แสดงว่าโครงสร้างหลักของไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางมีน้ำตาลไซโรสเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางที่สกัดได้น่าจะเป็นสารไซแลน

นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและสารมาตรฐานไซแลนมีพิกที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันที่เป็นโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ พิกในช่วงความยาวคลื่น 3363.86 cm^{-1} ซึ่งเป็นพันธะ O-H ของหมู่ไฮดรอกซิล ที่บ่งบอกถึงพันธะไกลโคซิดิกซึ่งเป็นพันธะโครงสร้างทางเคมีของโพลีแซคคาไรด์ และยังมีโครงสร้างของหมู่เมทิล (C-H) ช่วง 2891.3 cm^{-1} เป็นองค์ประกอบด้วย แสดงว่าสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางมีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์

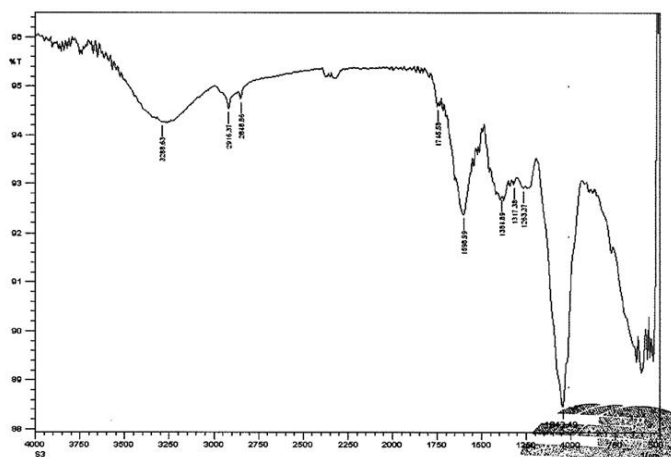


Figure 21 FTIR peak of hydrocolloids extracts from Yanang

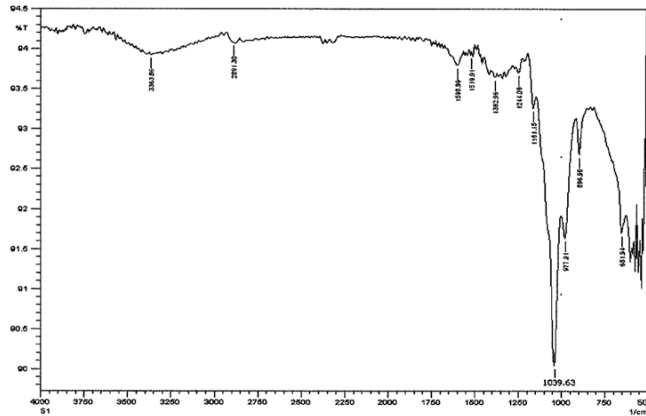


Figure 22 FTIR peak of xylan

Table 36 FTIR wave number and functional groups of hydrocolloids extracts from Yanang leaves and xylan

Functional groups	Wave number (cm ⁻¹)	
	Hydrocolloids extracts from Yanang leaves	xylan
O-H Stretching	3363.86	3288.63
C-H Stretching	2891.3	2916.37
C=C Stretching	1598.99	1598.99
CH ₂ Bending	1382.96	1384.89
C-O Stretching	1039.63	1043.49

5. การประยุกต์ใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางในผลิตภัณฑ์อาหาร

การใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree เปรียบเทียบกับการใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า คือ แชนแทนกัม และกัมอาราบิก พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง แชนแทนกัม และกัมอะราบิก 0.5 1.0 และ 1.5% ในตัวอย่างซอสพริก ให้ลักษณะของซอสพริกดัง Figure 23 โดยทำให้ค่าความข้นหนืดของซอสพริกเพิ่มขึ้นและการแยกชั้น (%Serum Loss) ลดลง ซึ่ง %Serum Loss จะบ่งบอกความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความคงตัวต่ำ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน และวิเคราะห์คุณสมบัติ ทุก 1 เดือน พบว่าตัวอย่างซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและสารให้ความคงตัวทางการค้าที่ความเข้มข้นเท่ากัน ให้ค่าความข้นหนืด (consistency) จากมากไปน้อยและ %Serum Loss จากน้อยไปมากเรียงตามลำดับ ดังนั้นซอสที่เติมแชนแทนกัม ซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง และซอสที่เติมกัมอะราบิก โดยซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ปริมาณ 1.5% มีค่าความข้นหนืด และ %Serum Loss ใกล้เคียงกับซอสที่เติมแชนแทนกัม 1.0% (Table 37) ดังนั้นสามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางที่ความเข้มข้น 1.5% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกได้

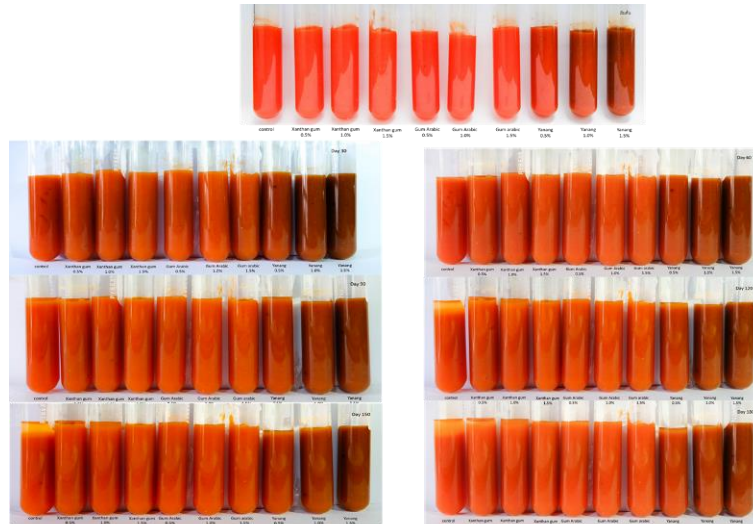


Figure 23 Chili sauce with xanthan gum, chili sauce with gum arabic and chili sauce with hydrocolloid from Yanang leaves with different concentration of stabilizer during refrigerated storage ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) for 180 days.

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของซอสพริกที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางความเข้มข้น 1.5% มีค่าความขุ่นลดลง 8.21% และมีค่าการแยกชั้นของซอสเพิ่มขึ้น 9.41% ใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมแซนแทนกัม 1.0% ที่มีค่าความขุ่นลดลง 4.87% และมีค่าการแยกชั้นของซอสเพิ่มขึ้น 5.46% ตามลำดับ และซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางความเข้มข้น 1.5% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC50 เท่ากับ 13.57 (mg/ml)

ผลการศึกษาการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree เปรียบเทียบกับการใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า คือ แซนแทนกัมและกัมอาราบิก พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง แซนแทนกัม และกัมอาราบิก ปริมาณ 0.5 1.0 และ 1.5% ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree มีลักษณะปรากฏดัง Figure 24 โดยมีผลทำให้ค่าความขุ่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและ %Serum Loss ลดลง เมื่อเปรียบเทียบอาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง แซนแทนกัม และกัมอาราบิกที่ระยะเวลาเก็บรักษา 6 เดือน โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทุก 1 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางและสารให้ความคงตัวทางการค้าที่ความเข้มข้นเท่ากันให้ค่าความขุ่นที่เรียงจากมากไปน้อยและค่า %Serum Loss เรียงจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ ผลิตภัณฑ์ที่เติมแซนแทนกัม ผลิตภัณฑ์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง และผลิตภัณฑ์ที่เติมกัมอาราบิก โดยผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง ปริมาณ 2.0% มีค่าความขุ่น และ %Serum Loss ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมแซนแทนกัม 1.5% และเติมกัมอาราบิก 2.5% จึงสามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางที่ความเข้มข้น 2.0% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ได้ (Table 38)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าอาหารเสริมสำหรับเด็กมีค่าความขุ่นลดลง 7.90% ค่าร้อยละการแยกชั้นเพิ่มขึ้น 7.64% ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC50 เท่ากับ 24.31 (mg/ml)

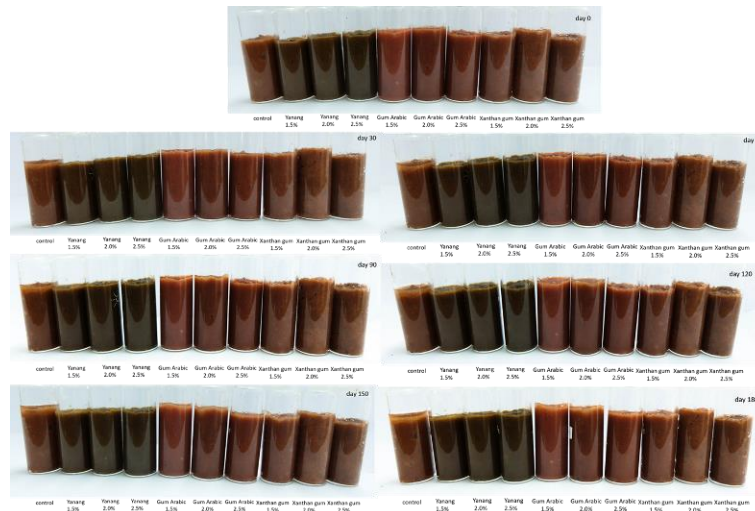


Figure 24 Baby food puree with Yanang leaves hydrocolloid, baby food puree with gum arabic and baby food puree with xanthan gum with different concentration of stabilizer during refrigerated storage ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) for 180 days.

กรมวิชาการเกษตร

Table 37 Serum Loss and consistency of chili sauce with yanang leaves hydrocolloid, chili sauce with xanthan gum and chili sauce with gum arabic with different concentration of stabilizer during refrigerated storage (4±2°C) for 180 days.

Sample	Day	Serum Loss (% w/w)						Consistency (g)							
		0	30	60	90	120	150	180	0	30	60	90	120	150	180
control		71.15a	73.54a	75.65a	77.43a	80.34a	82.54a	84.73a	5974.21g	5869.39g	5722.75g	5693.59g	5612.17g	5592.28g	5514.73g
0.5 % Yanang leaves hydrocolloid		16.71e	20.48e	22.62e	26.84e	30.33e	33.64e	35.87d	12680.53d	12343.80d	11954.82d	11387.94d	10649.41d	10175.76d	9863.75e
1.0 % Yanang leaves hydrocolloid		7.63g	8.45g	9.21g	10.68g	12.77g	13.48g	14.36f	14954.51c	14683.92c	14469.25c	14325.83c	14021.49c	13943.36c	13782.84d
1.5 % Yanang leaves hydrocolloid		5.82h	5.91h	5.96h	6.17h	6.21h	6.29h	6.36g	16843.94b	16639.02b	16583.58b	16253.20b	15975.51b	15784.32b	15461.06c
0.5 % Xanthan gum		9.73f	10.94f	11.29f	11.82f	13.64f	14.58f	15.73e	14296.29c	14138.29c	14056.39c	13904.58c	13864.62c	13254.41c	13092.43d
1.0 % Xanthan gum		5.02h	5.09h	5.14h	5.18i	5.21i	5.26i	5.29h	17054.82b	16953.65b	16753.32b	16582.65b	16490.82b	16332.84b	16224.25b
1.5 % Xanthan gum		3.64i	3.86i	3.92i	4.18j	4.32j	4.39j	4.49i	18384.63a	18293.59a	18201.03a	18143.54a	18033.29a	17984.73a	17850.38a
0.5 % gum arabic		50.78b	58.70b	60.48b	62.87b	67.34b	68.12b	69.65b	8485.79f	8068.18f	7893.48f	7781.23f	7626.22f	7542.34f	7386.39f
1.0 % gum arabic		39.75c	43.65c	45.68c	46.31c	46.87c	47.51c	48.32c	10539.48e	10187.47e	9982.65e	9759.36e	9606.29e	9518.48e	9469.93e
1.5 % gum arabic		29.68d	32.17d	32.96d	33.18d	34.05d	34.83d	35.16d	12407.45d	12039.68d	11805.9d	11286.5d	10974.5d	10583.42d	10253.87e

Note ^{a-j} Values with the same letter in column are not significantly different (p<0.05)

Table 38 Serum Loss and consistency of baby food puree with yanang leaves hydrocolloid, baby food puree with xanthan gum and baby food puree with gum arabic with different concentration of stabilizer during refrigerated storage (4±2°C) for 180 days.

Sample	Serum Loss (% w/w)							Consistency (g)						
	0	30	60	90	120	150	180	0	30	60	90	120	150	180
control	22.45a	29.25a	34.25a	36.34a	38.37a	39.26a	39.85a	2757.67i	2596.25h	2482.63i	2374.86i	2296.48i	2209.56h	2125.56j
1.5 % Yanang leaves hydrocolloid	16.84c	21.43c	23.73c	26.55c	28.38c	29.57c	30.12c	3945.49g	3831.46f	3772.48g	3694.48g	3623.39g	3584.32f	3475.53h
2.0 % Yanang leaves hydrocolloid	6.15f	6.29f	6.47f	6.51f	6.54f	6.59f	6.62e	5748.92d	5686.54d	5595.46d	5543.10d	5496.49d	5362.01d	5294.57e
2.5 % Yanang leaves hydrocolloid	3.65g	3.76g	3.82g	3.88g	3.91g	3.96g	3.99f	6357.93c	6296.53c	6132.07c	6107.59c	6083.52c	6048.65c	6011.39c
1.5 % Xanthan gum	6.03f	6.08f	6.14f	6.22f	6.27f	6.35f	6.40e	5984.72d	5918.56d	5849.42d	5811.74d	5792.58d	5729.36d	5704.48d
2.0 % Xanthan gum	3.64g	3.69g	3.75g	3.79g	3.83g	3.89g	3.92f	7820.27b	7784.58b	7725.43b	7688.53b	7649.43b	7637.86b	7612.65b
2.5 % Xanthan gum	1.38h	1.41h	1.44h	1.49h	1.51h	1.57h	1.6g	9717.59a	9695.57a	9660.56a	9632.68a	9614.68a	9592.65a	9524.86a
1.5 % gum arabic	19.54b	24.37b	28.27b	30.38b	31.48b	33.22b	35.63b	3157.93h	3042.47g	2956.25h	2914.67h	2864.57h	2815.36g	2773.69i
2.0 % gum arabic	12.63d	17.82d	20.46d	24.38d	26.59d	27.35d	29.21c	4232.32f	4127.49f	4089.53f	4015.69f	3986.45f	3905.84f	3884.73g
2.5 % gum arabic	8.39e	9.12e	9.24e	9.35e	10.46e	12.64e	14.37d	4931.86e	4895.38e	4853.48e	4812.36e	4793.57e	4775.49e	4716.39f

Note^{a-i} Values with the same letter in column are not significantly different (p<0.05)

6. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง พบว่าไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง ปริมาณ 1 kg มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 7,800.46 บาท (ไม่รวมค่าอุปกรณ์ เครื่องมือ และพลังงานเชื้อเพลิง) โดยมีรายละเอียดต้นทุนของวัตถุดิบและสารเคมี ดังนี้

ไบบานาง จำนวน 18.35 kg	ราคา 1,101 บาท
เอทานอล 95% จำนวน 36.70 ลิตร	ราคา 5064.60 บาท
น้ำ จำนวน 297.25 ลิตร	ราคา 1,634.86

ซึ่งราคาสูงกว่าไซแลนเกรดอาหารทางการค้า ที่มีราคาประมาณ 3000 – 3500 บาท/kg

การทดลองที่ 1.5 การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

1. การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปสับปะรดในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลน

จากการศึกษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย พบว่าสับปะรด 1 ผล ประกอบด้วย ชิ้นส่วนของจุก เปลือกติดเนื้อ กับตา แขน และก้านผล เท่ากับ 7.76 35.61 9.56 และ 4.66% ตามลำดับ ซึ่งส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปสับปะรดที่มีปริมาณมากที่สุด

เมื่อนำชิ้นส่วนต่างๆ ข้างต้นมาสับเป็นชิ้นเล็กๆ เติมน้ำกลั่นอัตราส่วน 2:1 w/v แล้วนำไปตีปั่นเพื่อให้ตัวทำละลายช่วยดึงเอนไซม์บรอมีเลนออกจากเนื้อเยื่อวัตถุดิบ แล้วคั้นน้ำพร้อมแยกกาก พบว่ากากของส่วนจุกและก้านผลที่ได้มีลักษณะการเหลกน้อยกว่าส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมาก จึงนำกากทุกส่วนกลับไปทำซ้ำอีกครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถสกัดเอนไซม์บรอมีเลนออกจากเนื้อเยื่อวัตถุดิบได้เพียงพอ น้ำคั้นรวมที่ได้มีคุณสมบัติดังแสดงใน Table 39 โดยมีค่าของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วง 3.3-6.1 °Brix และค่า pH อยู่ในช่วง 4.39-4.95 ซึ่งส่วนน้ำคั้นจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงกว่า อีกทั้งมีค่า pH ต่ำกว่าส่วนจุกและก้านผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ส่วนจุกและก้านผลมีค่าของแข็งละลายน้ำและ pH ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของชิ้นส่วนสับปะรดอาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ติดกับผลสับปะรด (fruit) ได้แก่ เปลือกติดเนื้อกับตาและแกน และกลุ่มนอกผล คือ จุกและก้านผล

ผลการตรวจสอบปริมาณโปรตีนพบว่าในน้ำคั้นจากส่วนจุกมีปริมาณมากกว่าส่วนอื่นๆ กว่า 2 เท่า (8.77 mg/g น้ำหนักสด) โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา แขน และก้านผล มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 4.30, 3.51 และ 4.23 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) น้ำคั้นที่ได้มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนเป็น 139.00 111.36 และ 106.12 CDU/g น้ำหนักสด จากส่วนจุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกนตามลำดับ แต่ไม่พบค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนในน้ำคั้นส่วนก้านผล อาจเนื่องมาจากก้านผลสับปะรดเป็นส่วนที่ถูกตัดออกมาจากลำต้น ทำให้ผิวหน้าสัมผัสอากาศภายนอกระหว่างขนส่งและรอจัดจำหน่ายทำให้เอนไซม์บรอมีเลนค่อยๆ เสื่อมสภาพไปได้ โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนที่ตรวจพบจากน้ำคั้นส่วนจุกมีปริมาณมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำมาคำนวณค่ากิจกรรมจำเพาะ (Specific activity) ที่แสดงถึงความบริสุทธิ์ของเอนไซม์บรอมีเลนต่อปริมาณโปรตีนพบว่า ส่วนแกนและเปลือกติดเนื้อกับตามีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงแต่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) คือ 30.51 และ 26.14 CDU/mg โปรตีน ในขณะที่ค่ากิจกรรมจำเพาะของส่วนจุกอยู่ที่ 16.13 CDU/mg โปรตีน ซึ่งแตกต่างจากสองส่วนข้างต้นอย่างมาก ($p \leq 0.05$)

Table 39 Properties of pineapple fragments as a by-product of its processing in terms of bromelain extract production.

Parameters	Fragments of pineapple			
	Crown	Peel	Core	Stem
Proportion (%)	7.76±2.21b	35.61±9.98a	9.56±1.73b	4.66±3.20b
Total soluble solid (Brix)	3.5±0.2c	4.8±0.3b	6.1±0.2a	3.3±0.6c
pH	4.7±0.05a	4.39±0.12b	4.37±0.09b	4.95±0.11a
Protein content (mg/g fresh weight)	8.77±1.39a	4.30±0.06b	3.51±0.60b	4.23±1.02b
Bromelain activity (CDU/g fresh weight)	139.00±8.85a	111.36±21.41ab	106.12±16.08b	ND
Specific activity (CDU/mg Protein)	16.13±2.35b	26.14±5.50a	30.51±4.01a	-

In a row, means followed by different letter are significantly different ($p < 0.05$) by turkey's test

ND = Not detectable

เมื่อนำน้ำคั้นจากชิ้นส่วนสับประรดที่มีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์บรอเลน ได้แก่ ส่วนจุก เปลือกติดเนื้อ กับตา และแกน ไปตรวจสอบสารพิษตกค้างทางการเกษตรกลุ่มคาร์บาเมต ออร์กาโนฟอสเฟต ออร์กาโนคลอรีน และไพรีทรอยด์ด้วยวิธีการและห้องปฏิบัติการมาตรฐาน พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษทางการเกษตรในวัตถุดิบ แม้ว่าส่วนจุกจะมีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอเลนสูงที่สุดแต่กลับมีค่ากิจกรรมจำเพาะที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าการผลิตเอนไซม์บรอเลนจากส่วนจุกจะได้เอนไซม์บรอเลนปริมาณสูงแต่ไม่ค่อยบริสุทธิ์ อีกทั้งยังเป็นชิ้นส่วนที่ไม่นิยมบริโภค จึงจำเป็นต้องตรวจสอบสารชีวโมเลกุลอื่นๆ ว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพียงพอที่จะนำมาผลิตเอนไซม์บรอเลนเพื่อเป็น meat tenderizer หรือไม่ ดังนั้นจึงเลือกพัฒนากระบวนการผลิตเอนไซม์บรอเลนจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา เนื่องจากมีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอเลนและค่ากิจกรรมจำเพาะสูง อีกทั้งยังเป็นชิ้นส่วนที่เป็นผลพลอยจากการแปรรูปในสัดส่วนที่สูงด้วย

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในสกัดเอนไซม์บรอเลน

2.1 การศึกษาช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีปั่นชิ้นส่วนสับประรด

เอนไซม์เป็นสารชีวโมเลกุลที่ต้องดำเนินการกระบวนการต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิต่ำ (cold extraction) เพื่อป้องกันการเสียสภาพของเอนไซม์ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าเอนไซม์บรอเลนสามารถทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 10 °C โดยมีค่ากิจกรรมที่ดีในช่วง 40-60 °C แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์บรอเลนมีเสถียรภาพต่อการทำงานได้ครอบคลุมในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง งานวิจัยนี้จึงศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีปั่นชิ้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา โดยกรรมวิธีที่ใช้ คือ อุณหภูมิเย็ดจัด (0-2 °C) อุณหภูมิต่ำที่ 5±2 °C อุณหภูมิห้อง (30±2 °C) จนถึงอุณหภูมิสูงที่ 35±2 และ 45±2 °C เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำคั้นที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว พบว่ามีปริมาณโปรตีน ค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอเลน กิจกรรมจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงใน Table 40

Table 40 Properties of the juice from pineapple peels on an effect of extraction temperatures.

Extraction temperature	Protein content (mg/g fresh weight)	Bromelain activity (CDU/g fresh weight)	Specific activity (CDU/mg Protein)
0-2 °C	4.02±0.60a	148.95±9.85a	37.36±2.96a
4±2 °C	4.79±0.98a	148.53±4.84a	32.15±8.52a
30±2 °C (Room temp.)	4.51±0.65a	161.04±9.37a	36.13±5.35a
35±2 °C	4.28±0.50a	159.59±3.50a	35.17±1.16a
45±2 °C	4.59±0.91a	165.11±3.06a	36.81±6.22a

In a column, means followed by different letter are significantly different ($p < 0.05$) by turkey's test

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอนไซม์บรอมีเลนมีเสถียรภาพเพียงพอต่ออุณหภูมิต่างๆ ข้างต้น อีกทั้งใช้ระยะเวลาในการตีปั่นไม่นานทำให้ได้ปริมาณเอนไซม์ที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้กรรมวิธีตีปั่นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อลดกระบวนการที่ยุ่งยากและการใช้พลังโดยไม่จำเป็นในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตีปั่นชิ้นส่วนสับปะรด

เมื่อนำชิ้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตามาตีปั่นกับน้ำกลั่นภายใต้อุณหภูมิห้องและตีปั่นตามระยะเวลาตั้ง 0 1 2 3 และ 4 min โดยที่ 0 min คือไม่มีการตีปั่น จะได้น้ำคั้นที่มีคุณสมบัติดังแสดงใน Table 41 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้เวลาคั้นนานขึ้นจะได้ปริมาณโปรตีนสูงขึ้นจนกระทั่งระยะเวลาการตีปั่นที่ 2 min ขึ้นไปจะได้ปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในขณะที่การตีปั่นเป็นเวลา 1 min มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนสูงที่สุด และสูงกว่าการไม่ตีปั่นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้เวลาคั้นนานขึ้นค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนจะลดลงตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเมื่อเวลาในการตีปั่นนานขึ้นทำให้โมเลกุลของเอนไซม์ถูกเฉือนโดยใบมีดของเครื่องบดปั่นจึงทำให้เอนไซม์เสียประสิทธิภาพในการทำงาน นอกจากนี้กระบวนการแบบไม่ตีปั่นและตีปั่น 1 min จะมีค่ากิจกรรมจำเพาะที่สูงและลดลงเล็กน้อยตามลำดับ โดยที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อตีปั่นนานตั้งแต่ 2 min ขึ้นไปทำให้ค่ากิจกรรมจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวได้ปริมาณโปรตีนมากขึ้นแต่ค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนลดลง เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิต (%yield) ของเอนไซม์บรอมีเลนที่ได้เปรียบเทียบกับความบริสุทธิ์ที่ลดลงจากค่ากิจกรรมจำเพาะ ขั้นตอนการตีปั่นร่วมกับการบีบคั้นแยกกาก จึงเลือกสภาวะการตีปั่นวัตถุดิบด้วยน้ำกลั่นนาน 1 min ภายใต้อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปบีบคั้นน้ำเป็นสภาวะที่เหมาะสม โดยไม่นำกากกลับมาทำซ้ำ

จากการศึกษาช่วงของอุณหภูมิและระยะเวลาในการตีปั่นชิ้นส่วนสับปะรดที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าการสกัดเอาน้ำคั้นด้วยแรงเชิงกลจะมีอิทธิพลต่อปริมาณเอนไซม์บรอมีเลนและโปรตีนมากกว่าผลของอุณหภูมิ เพราะการทำให้เซลล์เนื้อเยื่อแตกออกจะสามารถปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอารี (2554)

Table 41 Properties of the juice from pineapple peels on an effect of extraction time

Extraction time	Protein content (mg/g fresh weight)	Bromelain activity (CDU/g fresh weight)	Specific activity (CDU/mg Protein)
0 min	2.61±0.35b	151.54±4.22c	58.67±7.50a
1 min	2.95±0.27b	166.58±3.69a	56.79±5.73a
2 min	3.88±0.45a	163.71±5.75ab	43.46±2.68b
3 min	3.69±0.35a	154.02±6.81bc	40.60±3.64b
4 min	3.59±0.24a	150.01±7.06c	41.43±3.75b

In a column, means followed by different letter are significantly different ($p < 0.05$) by turkey's test

2.3 การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์บรอมีเลนจากน้ำคั้นชิ้นส่วนสับปะรดโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล

เมื่อเติมเอทานอลที่เย็นลงในน้ำคั้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา ทำให้เอนไซม์บรอมีเลนเกิดการจับกลุ่มและเกิดเป็นตะกอนแยกตัวออกจากสารละลายเนื่องจากเอทานอลจะดึงโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถละลายอยู่ในสารละลายผสมนี้ได้ โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำภายใต้อุณหภูมิต่ำเพื่อลดการสูญเสียของเอนไซม์ (ทงง, 2530) ซึ่งหลังจากเติมเอทานอลลงในน้ำคั้นแล้วนำไปพักไว้ที่ 4 °C เพื่อให้เกิดตะกอนสมบูรณ์เป็นเวลา 30 60 120 และ 240 min พบว่าสารละลายตะกอนโปรตีนที่ได้มีปริมาณโปรตีนและค่ากิจกรรม

เอนไซม์บรอมีเลนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ส่งผลต่อความแปรปรวนของค่ากิจกรรมจำเพาะให้มีค่าแตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลา 60 min เป็นเวลาที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นเวลาที่น้อยสุดที่ให้ค่ากิจกรรมจำเพาะสูง (Table 42)

Table 42 Properties of protein extraction solution on an effect of precipitation time.

Precipitation time	Protein content (mg/ml)	Bromelain activity (CDU/ml)	Specific activity (CDU/mg Protein)
30 min	1.40±0.14	201.68±21.27	134.45±14.18a
60 min	1.20±0.28	218.97±4.33	156.41±3.0a
120 min	1.25±0.21	214.82±6.79	153.44±4.85b
240 min	1.65±0.07	211.72±12.71	121.93±8.03b

In a column, means followed by different letter are significantly different ($p\leq 0.05$) by turkey's test

3. ศึกษาการทำเอนไซม์ผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เมื่อนำสารสกัดเอนไซม์บรอมีเลนที่เตรียมได้จากสภาวะที่เหมาะสมข้างต้น แล้วปั่นเหวี่ยงเอาเฉพาะตะกอนไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะได้ชิ้นโปรตีนที่แห้งและเหนียว บดให้เป็นผงได้ยาก อีกทั้งยังละลายน้ำได้ไม่ดี จึงได้ปรับปรุงวิธีการโดยนำตะกอนที่ได้จากขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงมาละลายด้วยน้ำกลั่นจนตะกอนก้อนแตกตัวและแขวนลอยในน้ำในลักษณะคล้ายน้ำนม แล้วจึงนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้ผงโปรตีนที่มีสีเหลืองอ่อน (Figure 25) นอกจากนี้ยังได้ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการตีปั่นขึ้นส่วนสับประรดจากวิธีการเดิมที่เติมน้ำกลั่นอัตราส่วน 2:1 w/v เปรียบเทียบกับการตีปั่นโดยไม่เติมน้ำกลั่นภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาเดิม พบว่าได้น้ำคั้นที่ปริมาณผลผลิตเข้มข้นขึ้นอีกประมาณ 20% ได้วิธีการทำเอนไซม์ผงจากส่วนเปลือกสับประรดคือตีปั่นวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้องนาน 1 แล้วนำไปปั่นคั้นน้ำ (ค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนอยู่ที่ 135.72±34.71 CDU/g น้ำหนักสด) ได้ผงสารสกัดเอนไซม์บรอมีเลนที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 19,832.66±5,128.13 CDU/g มีค่าสี L* a* b* และ H เท่ากับ 42.6 0.7 5.2 และ 2.6Y ตามลำดับ ค่า aw และความชื้นเป็น 0.21 และ 6.6±0.9% มีความหนาแน่นรวม 0.16 g/ml ปริมาณผลผลิตได้ 0.24±0.09% โดยน้ำหนักเปลือกสับประรดสด



Figure 25 The bromelain powder produced from this research

4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์สำหรับหมักเนื้อสัตว์

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์นำเอนไซม์บรอมีเลนผงที่ผลิตได้จากวิธีการข้างต้นมาใช้ร่วมกับซอสหมักเนื้อ เนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู โดยกำหนดสูตรพื้นฐาน และแปรปริมาณผงเอนไซม์^a ที่ 0.1 0.3 และ 0.5% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ โดยหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 30 min ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) หลังจากทำให้สุกแล้วสังเกตลักษณะขึ้นเนื้อหมูที่ได้จากสูตรที่เติมผงเอนไซม์เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่ามีลักษณะเนื้อนุ่มลง เสียรูปทรงมากขึ้น และฉีกขาดมากขึ้น ตามปริมาณของผงเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรซอสหมัก เมื่อนำไปทดสอบค่าเนื้อสัมผัส พบว่าขึ้นเนื้อมีความแรงเฉือน (shear force) ความแข็ง (hardness) ความเหนียว (adhesiveness) และความทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ลดลงตามลำดับ เมื่อปริมาณผงเอนไซม์เพิ่มขึ้น (Table 43) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์บรอมีเลนที่ผลิตได้มีความสามารถในการย่อยพันธะเปปไทด์ของโปรตีนแล้วทำให้ความสามารถในการรัดตัวของกล้ามเนื้อเสื่อมสภาพลง (Kang and Rice, 1970) เนื้อจึงมีความแข็งแรงน้อยลงและถูกตัดขาดได้ง่ายขึ้น การเติมผงเอนไซม์ที่ปริมาณ 0.3 และ 0.5% มีค่าแรงเฉือนและความทนต่อการเคี้ยว ไม่แตกต่างกัน แต่ยังคงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสูตรที่เติมผงเอนไซม์ 0.1% แสดงว่าปริมาณผงเอนไซม์ตั้งแต่ 0.3% ขึ้นไปอาจมากเกินไปสำหรับการประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ทุกสูตรมีความยืดหยุ่น (springness) และ cohesiveness ไม่ต่างกัน ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยวิธี hedonic scale (7 point) จำนวน 30 คน ช่วงอายุ 21-46 พบว่าการเพิ่มปริมาณผงเอนไซม์ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏลดลง (6.0-5.2) ตามลำดับ ซึ่งสูตรที่เติมผงเอนไซม์ 0.5% มีคะแนนความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากสูตรควบคุม คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของสูตรควบคุมและสูตรที่เติมผงเอนไซม์ 0.1% มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน คือ 5.4 และ 5.2 ตามลำดับ แต่เมื่อเติมผงเอนไซม์ร้อยละ 0.3 และ 0.5 ความชอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่ 4.4-4.7 คะแนนความชอบด้านรสชาติ กลิ่น และความชอบโดยรวมของการเติมผงเอนไซม์ที่ 0.3 และ 0.5% ลดลงจากสูตรควบคุมมีนัยสำคัญ โดยสูตรที่เติมผงเอนไซม์ 0.1% มีคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุม แต่มีคะแนนด้านกลิ่นสูงที่สุด (Figure 26) โดยการใช้งเอนไซม์ที่มากเกินไปทำให้ขึ้นเนื้อเปื่อยยุ่ย ไม่คงรูป รวมทั้งอาจเสียรสชาติในการบริโภค ดังนั้นการประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนผงสำหรับซอสหมักเนื้อ เนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู ใช้ปริมาณเอนไซม์ผง 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ในสูตร ใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 min ที่อุณหภูมิห้องก็เพียงพอที่จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มลงได้โดยคงไว้ซึ่งรสชาติของเนื้อสัตว์

Table 43 Texture profile of pork after marinating with varying amounts of bromelain powder

Enzyme powder (%)	Shear Force (N)	Hardness (N)	Springness	Adhesiveness (J)	Cohesiveness	Chewiness (N)
0.0	26.61c	20.36b	1.44	-0.00116b	0.45	12.81c
0.1	17.68b	15.10a	1.50	-0.00058ab	0.46	10.27b
0.3	14.07a	13.13a	1.51	-0.00069ab	0.45	8.94a
0.5	11.81a	12.13a	1.38	-0.00014a	0.48	7.92a

Means within same column followed by different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT

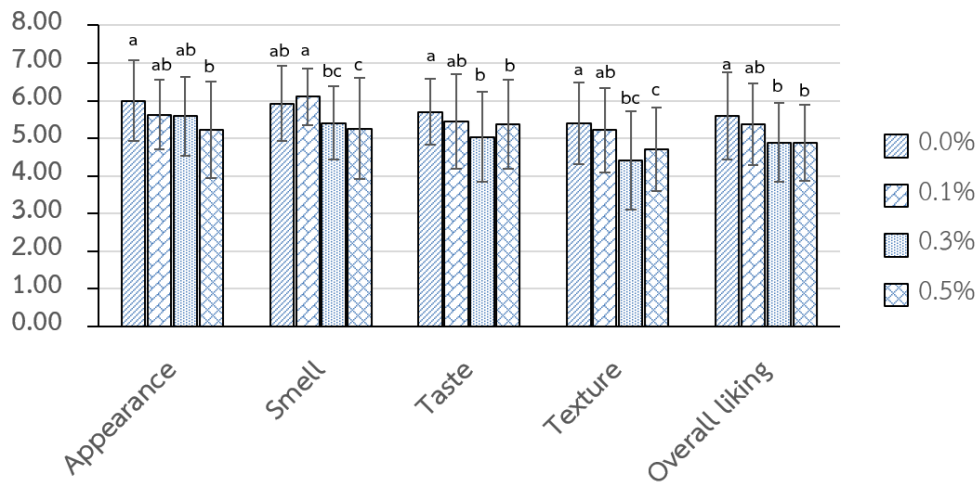


Figure 26 Sensory results of pork after marinating with varying amounts of bromelain powder

แม้ว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคมีคะแนนความชอบต่อสูตรที่มีการเติมผงเอนไซม์บรอมีเลนไม่ได้ดีกว่าสูตรควบคุม แต่จะเห็นได้ว่าเอนไซม์ที่ผลิตได้มีความเข้มข้นสูง ใช้ปริมาณเพียง 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ (หนา 0.5 cm.) ก็เพียงพอที่จะทำให้เนื้อสัตว์เปื่อยนุ่มได้ ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงสูตรให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จำเพาะ เช่น ผู้สูงอายุ ได้ในอนาคต

5. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผงจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา 100 g ได้จากการใช้เอทานอล 85.70 l จะมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 7,136 บาท โดยไม่รวมค่าวัตถุดิบเนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปได้ และยังไม่รวมค่าพลังงาน อย่างไรก็ตามการผลิตในระดับสเกลที่ใหญ่ขึ้นและมีระบบการนำเอทานอลมากลับมาใช้ประโยชน์เพื่อใช้ซ้ำจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลงได้ อีกทั้งเป็นการหมุนเวียนผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตตามหลัก BCG model

สรุปผลการวิจัย

กิจกรรมที่ 1 มีข้อสรุปจากผลการวิจัยทั้ง 5 การทดลอง พร้อมด้วยข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

การสกัดสารแคปไซซินจากพริกสามารถสกัดได้ด้วยเอทานอล โดยที่อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 95% เท่ากับ 1:5 w/v ได้ปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด โดยพริกพันธุ์หัวเรือมีปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด ส่วนการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริกสามารถสกัดได้ด้วยน้ำมันรำข้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะพร้าว โดยสารสกัดที่ได้จากพริกชี้ฟ้าสกัดด้วยน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกแห้งต่อน้ำมันเท่ากับ 1:2.5 w/v มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อนำอิมัลชันของสารสกัดแคปไซซินผง สารสกัดแคโรทีนอยด์ผง และสารเคลือบมอลโทเด็กซ์ทริน มา encapsulation ด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย พบว่าที่อัตราส่วน 0.5:10:40 v/v ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงที่สุด

การเก็บรักษาสารสกัดแคปไซซินผงและสารสกัดแคโรทีนอยด์ผงจากพริกโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และแคปซูลเจลลาตินแบบใส เจลาตินแบบขุ่น และแคปซูลเซลลูโลส เก็บในขวดแก้วใสเป็นเวลา 180 วัน ที่อุณหภูมิห้อง สามารถรักษาความคงตัวของสารแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์ได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น

ค่า aw และความสามารถในการละลายเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรก ปริมาณสารแคปไซซิน สารแคโรทีนอยด์และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในอะลูมิเนียมพอลย์และบรรจุในแคปซูล 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน

ต้นทุนการผลิตสารสกัดแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงขนาด 500 mg/1 แคปซูล เท่ากับ 1.15 บาท ซึ่งถูกกว่าสารสกัดแคปไซซินในท้องตลาดที่มีราคาประมาณ 4-12 บาท/แคปซูล

2. การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล

มะนาว สามารถนำมาผลิตน้ำมะนาว มะนาวผง สกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือก สกัดเพคตินจากกาก ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรจำนวน 100 ลูก มีน้ำหนักเฉลี่ย 12.50 kg ให้น้ำมะนาวเฉลี่ย 4.62 kg และมีเปลือกเฉลี่ย 6.15 kg สูงกว่ามะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบาง โดยในน้ำมะนาว 100 g มีวิตามินซี 69.89 mg มีกรดซิตริก 7.53% มีค่า pH 2.51 เปลือกมะนาวสามารถสกัดเพคตินได้ 1.59% w/w และสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ 1.06% v/w โดยองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหย คือ D-Limonene ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 52.63% เพคตินที่สกัดได้เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในอาหารและในเครื่องสำอาง โดยใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารก่อเจล และสารคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารได้

มะนาวผง สามารถผลิตได้ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อัตราส่วนน้ำมะนาว:มอลโตเด็กซ์ทริน DE10 เท่ากับ 50:50 ฉีดพ่นที่อุณหภูมิเข้า 150 °C จะได้มะนาวผง 45.91% ให้อายุการใช้งาน 407.61 กิโลแคลอรี/100 g โดยยังคงมีความเปรี้ยวและมีกลิ่นมะนาว สามารถใช้ปรุงอาหารและผลิตเป็นเครื่องดื่มมะนาวได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้สารสกัดจากมะนาว ได้แก่ น้ำมะนาวพร้อมดื่มในถุงรีทอร์ตเพาซ์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน การนำน้ำมันหอมระเหยและเพคตินมาใช้ในการพัฒนาสูตรเครื่องสำอาง เช่น มาร์คฟอกหน้า ครีมโฟมล้างหน้า เจลล้างหน้า เซรั่มผสมไมโครแคปซูลวิตามินซี (น้ำมะนาวผง) และนาโนอิมัลชัน ซึ่งมีความคงตัวและไม่แยกชั้น

3. การผลิตสีผงจากสารสกัดดอกอัญชันแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

การผลิตสีผงจากสารสกัดดอกอัญชัน ทำโดยสกัดดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันต่อสารละลายกรดซิตริก เท่ากับ 1:50 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 min นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำออกจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 8 °Brix จากนั้นผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงเป็นสีชมพู สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.5% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

การผลิตสีผงจากสารสกัดแครอท โดยสกัดแครอทด้วยเครื่องแยกกาก นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำออกให้สารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 25 °Brix จากนั้นผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C ได้สีผงเป็นสีส้ม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

การผลิตสีผงจากสารสกัดใบเตย ทำการสกัดใบเตยด้วยเครื่องแยกกาก สารสกัดที่ได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 5 °Brix จากนั้นผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงเป็นสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยาได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

4. การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากไบบานางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) จากนั้นสกัด AIS ด้วยน้ำ ในสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 80 °C อัตราส่วนของ AIS:น้ำ เท่ากับ 1:20 ระยะเวลาในการสกัด 90 min ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง 5.45% โดยสารสกัดมีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิค 11.47% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 55.68% ใกล้เคียงกับไซแลนทาง

การค้ำ โดยไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานางความเข้มข้น 1.5% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) เท่ากับ 12.63 และมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 1.42 (mg GAE/100 ml) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานางและน้ำตาล sucrose มีผลทำให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ส่วนการเติม NaCl ส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลง โครงสร้างของสารสกัดมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำตาลไซโรส ซึ่งใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้ำ ดังนั้นไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานางที่สกัดได้น่าจะเป็นสารไซแลน ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง เท่ากับ 7,800.46 บาท/kg

การใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ทดแทนสารเพิ่มความข้นหนืดทางการค้ำ พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ซอสพริก คือ 1.5% และปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ คือ 2.0%

5. การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

ผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดที่สามารถนำมาผลิตเอนไซม์บรอมีเลนได้ ได้แก่ ส่วนจุกสับปะรด เปลือกติดเนื้อกับตา และแกน เนื่องจากตรวจพบค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนสูง โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนมากกว่าส่วนจุก เนื่องจากมีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์สูงนั้นคือมีความบริสุทธิ์มากกว่า โดยเปลือกติดเนื้อกับตาจะใช้เป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตเอนไซม์บรอมีเลน เนื่องจากมีสัดส่วนที่เหลืองสูงกว่าผลพลอยได้ส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผงจากเปลือกติดเนื้อกับตาทำได้โดยตีปั่นวัตถุดิบด้วยเครื่องบดปั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 min นำไปบดคั้นน้ำพร้อมแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำน้ำคั้นที่ได้มาตกตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกและสกัดเอนไซม์บรอมีเลนโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลอัตราส่วน 26:74 v/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 15 min โดยต้องดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 4 °C ตลอดกระบวนการ ละลายตะกอนโปรตีนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้เอนไซม์บรอมีเลนเป็นผงสีเหลืองอ่อน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนอยู่ที่ $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิตร้อยละ $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อน้ำหนักสด

การประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนผงเป็นซอสหมักเนื้อเนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู โดยปริมาณเอนไซม์ผงที่เหมาะสมต่อการหมักชิ้นเนื้อหั่นบาง เท่ากับ 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ หมักไม่เกิน 30 min จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้น โดยคงไว้ซึ่งรสชาติของเนื้อสัตว์ เมื่อปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้นค่าเนื้อสัมผัส ค่าแรงเคี้ยว ความแข็ง ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเนื้อสัตว์จะเปื่อยมากขึ้น

กิจกรรมที่ 2
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพ
Natural product development for quality packaging

ศิริพร เต็งรัง กนกศักดิ์ ลอยเลิศ นภัสสร เลียบวัน จารุวรรณ รัตน์สกุลธรรม
วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร ประยูร เอ็นมาก อัจฉราพร ศรีจูดานู และสุปรียา สุขเกษม
Siriporn Tengrang Kanoksak Loiloes Napatsorn Leabwan Charuwan Rattanasakultham Wimonwan
Wattanawichit Prayoon Enmak Atcharaporn Srijudanu and Supreeya Sukhasem

คำสำคัญ (Key words)

แซนโทน บรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มชีวภาพ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลิกนิน นาโนเซลลูโลส บรรจุภัณฑ์ฉลาด สีธรรมชาติ แอนโทไซยานิน ดอกอัญชัน

Xanthone, Antimicrobial packaging, Active packaging, Polyvinyl alcohol, Biofilm, agricultural waste, lignin, nanocellulose, Intelligent Packaging, Natural Dye, Anthocyanin, Butterfly pea flower

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดและการใช้ประโยชน์ สารสำคัญ 4 ชนิด ที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์เกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ สารแซนโทนจากเปลือกมังคุด ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และสีกลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน ดำเนินงานวิจัยระหว่างปี 2560-2564 ที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

สารแอลฟาแมงโกสติน เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากเปลือกมังคุด มีคุณสมบัติต้านการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จึงนำมาเติมในฟิล์ม PVA เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต้านจุลินทรีย์ให้ฟิล์ม โดยเตรียมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบขึ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า ด้วยการแช่ในสารละลายเอทานอล 95% 48 ชั่วโมง พบว่าเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงให้ปริมาณสารสกัดหยาบมากที่สุด 24.04% และมีปริมาณสารแอลฟาแมงโกสตินสูงสุด เท่ากับ 55.74% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส 12.25 mm. จึงนำมาเติมในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm เติมหีสเจอร์อลปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดมีค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 4.1 16.4 29.3 47.6 และ 56.3 ตามลำดับ เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มและคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าฟิล์มเติมสารสกัดปริมาณ 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด เนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนผิวหน้าของฟิล์ม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 13.25 mm. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ได้ ส่วนฟิล์มในกรรมวิธีอื่นมีการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของฟิล์ม โดยฟิล์มไม่เติมสารสกัดเชื้อเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คุณสมบัติของฟิล์มเติมสารสกัด 70,000 ppm มีความชื้น 7.71% มีค่า aw 0.412 มีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm² และดึงยืดได้ 387.10% สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ 94.28% มีต้นทุนการผลิตเฉพาะต้นทุนจากสารเคมีประมาณ 17 บาท/ตารางฟุต จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตออกมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

ลิกนินและนาโนเซลลูโลส สกัดได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติดีขึ้น โดยได้ศึกษาการสกัดสารสำคัญจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เปลือกข้าวโพด และเปลือกส้ม โดยต้มเยื่อด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 18% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 300 ml ที่อุณหภูมิ 80 °C 4 ชั่วโมง กรองน้ำดำ (black liquor) นำไปสกัดลิกนิน พบว่าปริมาณลิกนินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนมีค่าสูงสุด 39.5% และเลือกเส้นใยจากพืชที่ให้ปริมาณลิกนินสูงสุด (เปลือกทุเรียน) ไปสกัดนาโนเซลลูโลส พบว่าสกัดนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนได้ 10% จากการทดสอบสมบัติของลิกนินและนาโนเซลลูโลสพบว่าใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพได้ โดยเตรียมฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลัง เติมหีสเซอร์อลปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก และเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน พบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุดเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหารแห้ง โดยมีค่าแรงดึงขาดสูงถึง 142.51 kgf/cm² และร้อยละการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม 10.81% ปริมาณความชื้น 7.97% การละลายน้ำ 4.88% ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 109.1 cm³/m²/day ใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มชุดควบคุม 109.5 cm³/m²/day ความหนา 0.185 mm. การเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) 41.89 ค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม 0.40 μm สำหรับการต้านรังสียูวีเลือกความยาวคลื่นที่ 400 nm เนื่องจากเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทฟิล์มพลาสติก โดยการเติมนาโนเซลลูโลส/ลิกนิน มีค่าการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) จากนั้นขึ้นรูปเป็นถุงขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับถุงทางการค้าเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุง L3 มีค่าต่ำกว่าที่บรรจุในถุงทางการค้าเดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) ปริมาตรก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (39.99 และ 48.24 ml) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า

สีอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ โดยเฉพาะสีจากสารกลุ่มแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนสีได้เมื่อ pH เปลี่ยน สามารถนำมาเติมในฟิล์ม PVA เพื่อให้ฟิล์มสามารถตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างได้ โดยสีอินดิเคเตอร์ที่สกัดจากดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 min มีความเหมาะสมมากที่สุด มีปริมาณแอนโทไซยานิน 246.79 mgไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/100 g น้ำหนักแห้ง มีค่า pH 2.50 มีค่าความสว่าง L* 25.54 ค่าความเป็นสีแดง a* 6.50 และค่าความเป็นสีน้ำเงิน b* -5.83 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ และคงตัวได้ดี ดังนั้นจึงนำมาเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยเติมในฟิล์มคอมโพสิทระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน เติมหีสเซอร์อลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ปริมาณ 0 2 4 6 และ 8% สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฟิล์ม คือ เก็บในถุงซิปลี่ที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นาน 1 เดือน ฟิล์มที่เตรียมได้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.14-0.15 mm. มีความชื้นในช่วง 7.71-9.12 การละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 23.55-26.89% มีค่าความสว่างลดลงจาก 87.13 ในฟิล์มไม่สีเติมอินดิเคเตอร์ เป็น 69.35 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น มีค่าความต้านทานแรงดึงขาด (TS) อยู่ในช่วง 364.64-437.15 kgF/cm² และมีค่าการยืดตัว (E) อยู่ในช่วง 544.63-273.53% อัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ในช่วง 2,571-2,878 g/m²/day และค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.410-0.738 cm³/m²/day มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ และเมื่อสัมผัสกับไอระเหยของแอมโมเนีย คนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างของฟิล์มได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อปลาสด พบว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลา และปริมาณก๊าซ

แอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินมาประยุกต์ใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างได้

Abstract

The purpose of this research was to study the extraction, retention and utilization methods of 4 active substances extracted from 3 agricultural produce and agricultural waste materials; Xanthonenes from mangosteen peel, lignin and nanocellulose from durian husk and anthocyanin group indicator color from butterfly pea flowers. The experiments were carried out at Postharvest and Processing Research and Development Division from during 2017-2021, The details are as follows.

Alpha-Mangostin It is the main component in mangosteen peel extract. It has antimicrobial properties. Therefore, it is added to the PVA film to increase the film's antimicrobial properties. The crude mangosteen peel extracts were prepared from thin slices of dried mangosteen peel, dried mangosteen peel powder and commercial mangosteen peel powder by soaked in 95% ethanol 48 hours, it was found that dried mangosteen peel powder had the highest content of crude extract as 24.04% and highest content of alpha-mangostin was 55.74%. In addition, it is the most effective in inhibiting the growth of bacterial *Staphylococcus aureus*. The average diameter of the clear zone was 12.25 mm. Therefore, it was chosen to add to the polyvinyl alcohol (PVA) film in the amount of 0, 10,000, 30,000, 50,000 and 70,000 ppm, adding glycerol 30% by weight. The higher contents of extract would affect the increase of the blue-yellow color score (b^*) of films as 4.1, 16.4, 29.3, 47.6 and 56.3, respectively. The antimicrobial efficiency and the other properties of films were investigated. It was found that the film containing 70,000 ppm of the extract could inhibit the growth of bacteria *Staphylococcus aureus* due to no growth of the bacteria on the film surface. The average diameter of the clear zone was 13.25 mm., which could be applied as the antimicrobial film. Properties of 70,000 ppm extract-added film showed the moisture content 7.71%, water activity (a_w) 0.412, tensile strength 329.69 kgf/cm² and elongation 387.10% which could be applied as a stretch wrap film. Because tensile strength and elongation were higher than the standard of polyethylene stretch film according to the TIS 1136-1993 standard. Besides, it was also environmentally friendly because of 94.28% water-soluble. The production cost was approximately 17 baht/ft² from chemicals. Therefore, there is a possibility to produce for commercial use.

Lignin and nanocellulose extracted from agricultural waste applied to use for dry food packaging. The extraction of active substances from four agricultural waste materials, namely durian husk, banana tree, corn husk, and orange peel were studied. The pulp was boiling with 18% by weight of potassium hydroxide solution, a volume of 300 ml at 80 °C within 4 hours after that separating lignin extraction from black liquor. It was found that the highest lignin extraction from durian husk was 39.5%. The plant fiber (Durian husk) was given the highest lignin and extracted from nanocellulose. It was found that 10% nanocellulose content. Durian husk

was extracted from the lignin and nanocellulose properties can be produced as an additive for biofilm production. The biofilm made from cassava starch by adding cassava starch to 30% by weight of glycerol and adding additives from agricultural waste materials (lignin and nanocellulose). The mechanical and physical properties testing, was found that the biofilm added 3% lignin (L3), showed the best overall properties for the production of dry food packaging (Cashew nut), the tensile strength was higher 142.51 kgf/cm², the percentage elongation of the film was 10.81%, moisture content 7.97%, water solubility 4.88%, lignin has a hydrophobic functional group, was making some parts of insoluble. The oxygen permeation rate was 109.1 cm³/m²/day, similar to the control biofilm 109.5 cm³/m²/day, thickness 0.185 mm., color change (ΔE) 41.89, surface roughness 0.40 μm . For UV blocking, a wavelength of 400 nm was chosen as an important wavelength range in the application of plastic film for food packaging. By adding nanocellulose/lignin, it has UV and visible light blocking ($p > 0.05$). Biofilm can be formed into a bag size 10x10 cm², packed cashew nut and compared with the commercial bag. It found that the peroxide value of cashew nut packed in the L3 bag was lower than commercial bag of the 1st and 2nd months (1.31 and 1.58 meq/kg), and the volume of oxygen gas in the package was the same with peroxide cashew nut packed in the L3 bag, which had lower oxygen content in packaged at 1st and 2nd months (39.99 and 48.24 ml) compared to commercial bag.

Natural indicator color using color from anthocyanin group by extracting color from butterfly pea flower with 0.15 M acetic acid concentration at 60 °C 30 minutes was suitable. The extracted color has anthocyanin content of 246.79 mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight basis, pH 2.50, color score; L* 25.54 a* 6.50 and b* -5.83. It has good color change performance in various pH buffer solutions and is stable. Therefore, it was used to prepare a pH Indicator film by adding in the composite film between polyvinyl alcohol and chitosan at 0, 2, 4, 6 and 8% and glycerol was added as plasticizer. The storage conditions for the film were to be stored in a zip-bag at 4 °C, which could be stored for 1 month. Properties of film showed the thickness was between 0.14-0.15 mm. and moisture content was between 7.71-9.12. Water solubility increased when the color indicators increased, was between 23.55-26.89%. The brightness decreased from 87.13 in non-indicator color fill-in film to 69.35 in the 8% indicator color film and has an increased bluish value. Its tensile strength (TS) is between 364.64-437.15 kF/cm² and the elongation (E) is between 544.63-273.53%. The water vapor permeability is between 2571-2,878 g/m²/day and the oxygen permeation rate is between 0.410-0.738 cm³/m²/day. The film is effective in the pH measurement because the film changes its color clearly when exposed to buffer solutions at different pH and when exposed to ammonia vapors and people can differentiate the film. When applied to measure the quality deterioration of fresh fish, it was found that the film color value changed corresponding to the increase of microorganisms in the fish and the increase of ammonia gas inside the package. It shows that natural substances containing anthocyanins can be applied as indicators color for acid-base pH indicator films.

บทนำ

ประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดเอาสารสำคัญมาเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์ได้ เช่น เปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียน โดยสารสำคัญในเปลือกมังคุด มีสารสำคัญหลัก คือ แชนโทน เป็นสารในกลุ่มพอลิฟีนอล มีอนุพันธ์หรือสารประกอบหลัก คือ แอลฟา-แมงโกสติน และสารออกฤทธิ์อื่นๆ เช่น ซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น มีคุณสมบัติเด่น คือ ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี สามารถสกัดได้หลายวิธี โดยพบว่าการสกัดเปลือกมังคุดแห้งด้วยเอทานอลได้สารสกัดหยาบมากที่สุด 26.59% และสารสกัดจากเปลือกมังคุดสดที่สกัดเย็นด้วยเอทานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ได้ดี (อุดมลักษณ์และคณะ, 2549) โดยสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *S. aureus* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *E. coli* (Palakawong et al., 2010) นอกจากนี้ยังมีการนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาเคลือบบนฟิล์ม LDPE แล้วนำไปห่อชั้นปลา พบว่าฟิล์มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในชั้นปลาได้ (บุษกรและคณะ, 2554) แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ได้

บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ คือ ระบบการบรรจุที่สามารถทำลาย/ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนในอาหารได้ หลักการคือการใช้สารต้านจุลินทรีย์ร่วมกับระบบการบรรจุ เช่น ซองหรือแผ่นปลดปล่อยสารระเหย ฟิล์มเคลือบต่อต้านจุลินทรีย์ และฟิล์มแต่งเติมต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยฟิล์มแต่งเติมต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นการเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงไปในฟิล์มโดยตรง โดยใช้สารต้านจุลินทรีย์เข้มข้นประมาณ 0.1-5 โดยน้ำหนัก (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR31, 2555) โดยสารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารที่ทำให้จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตหรือตาย เนื่องจากไปทำให้สมบัติของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เปลี่ยนไป ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และมีผลต่อกลไกทางพันธุกรรม ซึ่งสารที่นิยมใช้และได้รับการอนุมัติจาก FDA ได้แก่ ซิลเวอร์ไอออนและซีโอไมค แต่มีราคาสูง ซึ่งหากใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดได้ จะเป็นการลดต้นทุนการผลิต ปลอดภัย และเพิ่มมูลค่าให้เปลือกมังคุด

การทิ้งอาหารเน่าเสียจากการถูกทำลายโดยจุลินทรีย์และการเจ็บป่วยจากอาหารเป็นพิษที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี ทำให้มีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์มากขึ้น เพื่อลดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้ไม่สามารถรู้ได้ว่าอาหารนั้นมีการปนเปื้อนหรือไม่ โดยแบคทีเรียก่อโรคที่พบมาก ได้แก่ *S. aureus*, *Salmonella* และ *E. coli* เป็นต้น โดย *S. aureus* สามารถเจริญได้ดีเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 7-48 °C และจะผลิตสารพิษเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 20-37 °C ขณะที่อยู่ในอาหารสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วเมื่อทิ้งอาหารไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้อาหารเน่าเสีย (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR19, 2553)

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์นิยมใช้พลาสติกย่อยสลายได้เป็นสารก่อก่อฟิล์ม เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยพลาสติกย่อยสลายได้ที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีและราคาไม่สูงมาก คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol; PVA) โดย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต มีโครงสร้างทางเคมีดัง Figure 2 เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ละลายได้ดีในน้ำ มีความต้านทานต่อน้ำมัน ไขมัน และสารละลายต่างๆ มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึงขาด สามารถกั้นการแพร่ผ่านของกาซออกซิเจนได้สูง การย่อยสลายขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกและน้ำหนักโมเลกุล โดยย่อยสลายได้ดีในบอบำบัดน้ำเสีย แต่ย่อยสลายได้ช้าในดิน (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: IR12, 2553) นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ใช้ครั้งเดียว เช่น ใส่เอนไซม์ สารกำจัดแมลง หรือสารกำจัดวัชพืช นอกจากนี้ยังมีการนำ PVA ไปเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ พบว่าฟิล์มสามารถต้านเชื้อ *Salmonella typhimurium* ได้ดี (Tripathi et al., 2018) และการเติมสารสกัดจากเมล็ดองุ่น 2.5% ลงในฟิล์ม PVA ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล สามารถยับยั้งการ

เจริญเติบโตของ *Salmonella enteritidis* และ *Listeria innocua* ได้ (Musetti et al., 2014) แสดงให้เห็นว่าสามารถเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงใน PVA เพื่อพัฒนาเป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ได้

ของเสียทางการเกษตร หมายถึง ของที่เหลือทิ้งจากการเพาะปลูกและการแปรรูปผลิตผลเกษตร เช่น ผลไม้ ผัก เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก ผลิตภัณฑ์นม และพืชผลทางการเกษตร เป็นต้น ยกตัวอย่างข้าวโพด สามารถผลิตข้าวโพดกระป๋องได้เพียง 20% ที่เหลืออีก 80% เป็นวัสดุเหลือทิ้ง เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ โดยของเหลือทิ้งประเภทอินทรีย์มีปริมาณสูงกว่า 80% ของที่เหลือทิ้งทั้งหมด (Obi et al., 2016) สำหรับทุเรียนเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมสูงทั้งในและต่างประเทศ ในปี 2564 มีผลผลิตทุเรียนสูงถึง 1,283,593 ตัน เพิ่มขึ้น 15.44% จากปี 2563 (สำนักการค้าสินค้า, 2564) การส่งออกทุเรียนไปขายยังต่างประเทศขยายตัว 45.2% จากปี 2563 มีมูลค่าสูงถึง 1,839 ล้านดอลลาร์สหรัฐ สำหรับการบริโภคทุเรียนภายในประเทศที่สูงขึ้นส่งผลให้เปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัด การนำมาเพิ่มมูลค่าโดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารสกัดหรือสารเติมแต่งจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์ โดยองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตสารเติมแต่งจากเปลือกทุเรียน ได้แก่ ลิกนิน และนาโนเซลลูโลส

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากต้นไม้ ซึ่งมีปริมาณมากและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์ มีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบอะโรมาติก โครงสร้างเป็นแบบพอลิฟีนอลิกแบบซับซ้อนและหมู่ฟังก์ชันของลิกนินมีจำนวนมาก (Aadil et al., 2016a) โครงสร้างประกอบด้วยอนุภาคแบบหลายขนาด (polydisperse) อัสัฐาน และโครงผลึกตาข่าย (cross-linked) ในอะโรมาติกมีโมโนลิกนอล 3 ชนิด ได้แก่ p-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol ลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่หลากหลาย ได้แก่ ไฮดรอกซิล เมทอกซิล คาร์บอนิล และคาร์บอกซิล (Aadil et al., 2016b) โดยส่วนมากเป็นของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ ซึ่งมีปริมาณลิกนินถึง 50 ล้านตัน มีปริมาณลิกนินถึง 98% ถูกนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานหมุนเวียน แต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านเคมีและการประยุกต์ใช้กับวัสดุ (Nair et al., 2017) นอกจากนี้ลิกนินมีทั้งหมู่ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านวัสดุชีวภาพได้ ลิกนินสามารถเข้ากันได้ทั้งในส่วนของพอลิเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (Acosta et al., 2016) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาพอลิเมอร์ สารยึดติด สารเคลือบ คาร์บอนไฟเบอร์ ถ่านกัมมันต์ โฟม และโลหะระดับอนุภาคนาโน (Aadil et al., 2016a) สารคงตัว ฟิลเลอร์ สารเติมแต่ง ในวัสดุพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์แตกต่างกัน เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเอทิลีนออกไซด์ และพอลิแลกติกแอซิด และอาจจะเป็นสารที่เติมลงไปเพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต่อต้านจุลินทรีย์ ลดการส่องผ่านรังสียูวี รวมไปถึงยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารจากการรายงาน พบว่ามีการใช้ลิกนินมากกว่า 1 ล้านตันในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Aadil et al., 2016b)

การนำเส้นใยเซลลูโลสจากวัสดุลิกโนเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์จะต้องผ่านกระบวนการกำจัดลิกนินรวมถึงเฮมิเซลลูโลสหรือเซลลูโลสอสัณฐานโดยการปรับสภาพทางกล เคมี กายภาพ และชีวภาพด้วยเอนไซม์และจุลินทรีย์ (Narkchamnan and Chularat, 2012) โดยเซลลูโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ สามารถผลิตได้ถึง 7.5×10^{10} ตัน ตัวอย่างของการนำเซลลูโลสมาใช้ เช่น สารเสริมแรงในพลาสติกประเภทที่เป็นวัสดุร่วม (composite) เส้นใยเซลลูโลสผลิตโดยใช้วิธีการเชิงกลจากการใช้แรงเฉือน หรือการย่อยด้วยกรด ส่งผลให้ขนาดหรืออนุภาคเล็กลง เส้นใยที่ได้จะอยู่ในรูปของโครงสร้างที่เป็นผลึก ในระดับนาโนสเกล ดังนั้นในงานวิจัยที่ได้รับความสนใจจึงมุ่งเน้นไปที่การทำให้เซลลูโลสอยู่ในระดับนาโน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้งานได้หลากหลาย โดยเฉพาะจุดเด่นของนาโนเซลลูโลสที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพ และเคมีของวัสดุร่วมดียิ่งขึ้น นาโนเซลลูโลสแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ cellulose nanocrystals (CNCs), nanofibrillated cellulose (NFC) และ bacterial nanocellulose (BNC) โดย Cellulose nanocrystals (CNCs) ผลิตโดยการนำเส้นใยเซลลูโลสมาย่อยด้วยกรดสามารถแยกเส้นใยในแนวขวาง บริเวณที่เป็นอสัณฐานพอนาโน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณที่

ล้อมรอบไมโครไฟบริล ส่วนที่เป็นผลึกยังคงเดิม แต่ส่วนโครงสร้างอสัณฐานใช้พลังงานจลนพลศาสตร์ในการทำให้ออนุภาคเล็กลงเร็วกว่าส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบผลึก เส้นใยที่ได้มีขนาดระดับnm ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพืช Nanofibrillated cellulose (NFC) ผลิตโดยการนำเส้นใยมาลดขนาดด้วยวิธีเชิงกล บางครั้งใช้ร่วมกับเอนไซม์หรือสารเคมี เส้นใยที่ได้มีความยาวระดับไมโครเมตร จนถึง 10-100 nm ได้ผลิตภัณฑ์ลักษณะเป็นเจลในน้ำ เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตมี 3 แบบ คือ โฮโมจีไนเซชัน ไมโครฟลูอิดไทเซชัน และการบดระดับไมโคร (microgrinding) และ Bacterial nanocellulose (BNC) ผลิตโดยการนำเส้นใยมาลดขนาดโดยใช้แบคทีเรีย เช่น *Acetobacter g. xylinus* เป็นต้น โดยคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถให้แหล่งของคาร์บอนและไนโตรเจนตามรอบระหว่างวันในการทดสอบได้ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบผลึกตาข่าย (network) มีความกว้างของเส้นใยน้อยกว่า 100 nm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4 nm (Youssef, 2014)

ฟิล์มฐานแบ่งจัดเป็นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ และให้คุณลักษณะทางกายภาพที่ดี เช่น ปลอดภัย ไม่มีพิษ กลิ่น รสชาติ และสี แต่มีข้อเสีย เช่น สมบัติเชิงกลและความต้านทานความชื้นที่ต่ำ แต่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยผสมแบ่งกับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เช่น ลิกนิน โดยลิกนินมีสมบัติลดความชอบน้ำเมื่อในแบ่ง และเพิ่มความแข็งแรงของฟิล์ม (Acosta et al., 2016) รวมถึงเติมนาโนเซลลูโลสยังช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกล และสมบัติกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้อีกด้วย ถ้าเติมในปริมาณที่เหมาะสม (Priyanka and Vigneshwaran, 2019)

บรรจุภัณฑ์ฉลาด (Intelligent Packaging) (ศิวพันธุ์, 2552) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถให้ข้อมูลหรือแสดงสถานะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน เช่น

- บ่งบอกความสมบูรณ์ของการบรรจุ เช่น การฉีกขาดหรือแตกของบรรจุภัณฑ์
- บ่งบอกคุณภาพและความปลอดภัย เช่น มีตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของเวลาและอุณหภูมิ (time-temperature indicators; TTIs) ก๊าซ (gas sensing devices) การเจริญของจุลินทรีย์ (microbial growth) การตรวจจับจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค (pathogen detection) และตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicators)
- เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับ เช่น การใช้ ratio frequency identification (RFID)

การบรรจุแบบอินเทลลิเจนท์ หมายถึงระบบการบรรจุที่ตรวจติดตามภาวะของอาหารภายในภาชนะบรรจุแล้วให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของอาหารระหว่างการขนส่งและการเก็บ เพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้บริโภคและเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้กลไกการเปลี่ยนสีเมื่อภาวะอาหาร ภาชนะบรรจุ หรือสถานะการเก็บที่เปลี่ยนแปลงไป (งามทิพย์, 2550) โดยไม่จำเป็นต้องเปิดบรรจุภัณฑ์ออกสำรวจ

อินดิเคเตอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Indicators) สามารถแสดงให้ผู้บริโภคทราบถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ่านการเปลี่ยนสีของ pH Indicators โดยอินดิเคเตอร์ คือ สารที่ใช้บอกความเป็นกรด-ด่าง ของสารเป็นสารที่เปลี่ยนสีได้ที่ pH เฉพาะตัว เช่น ฟีนอล์ฟทาลิน ไม่มีสีเมื่ออยู่ในสารละลายกรด และจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง เมทิลเรด มีสีแดงเมื่ออยู่ในสารละลายกรด และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง ซึ่งวรภัทรและคณะ (2548) ได้พัฒนาแถบสีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยใช้โบรโมไทมอลบลู เมทิลเรด และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นอินดิเคเตอร์ พบว่าสามารถบ่งชี้การหมดอายุของผลิตภัณฑ์ได้

นอกจากสารอินทรีย์แล้ว ในธรรมชาติยังมีสารที่สามารถใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ เช่น กะหล่ำปลีม่วง กุหลาบแดง กระจับปี่ ดอกอัญชัน และผลหม่อน เป็นต้น สีที่ต่างกันเกิดจากรงควัตถุที่ให้สีต่างกัน โดยรงควัตถุที่ให้สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน คือ สารกลุ่มแอนโทไซยานิน ซึ่งความคงตัวของสีขึ้นกับโครงสร้าง ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เช่น สารสกัดจากกะหล่ำปลีสีแดงจะมีสีแดงเมื่ออยู่ในสารละลายกรดและเปลี่ยนเป็นน้ำเงินเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง สารสกัดกระจับปี่แดงด้วย acidified ethanol ให้สีแดงที่ pH 1-3 และ 10-12 ส่วนสารสกัดดอกอัญชันด้วย

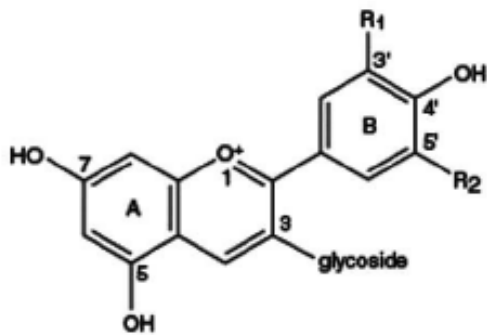
acidified ethanol ให้สีแดงที่ pH 1-2 สีม่วงที่ pH 3-6 และ 10-11 และสีเขียวที่ pH 7-9 และ 12 (อรุษาและคณะ, 2552) และเมื่อสกัดดอกอัญชันด้วยน้ำ สารสกัดจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีม่วง ในช่วง pH 1-3 เป็นต้น จึงมีการนำสารสกัดจากดอกอัญชันมาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น ใช้เป็นสารให้สีในอาหาร ผสมในเครื่องสำอาง และใช้เป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งนักสุวรรณ (2553) ได้ศึกษาการใช้สารแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันเป็นอินดิเคเตอร์ในชุดตรวจสอบ pH สำหรับน้ำทิ้ง พบว่าดอกอัญชันให้ปริมาณสารแอนโทไซยานิน 544 mg/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาทดสอบกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 1.0-13.0 สามารถแบ่งช่วงสีของบัฟเฟอร์ได้ดี สิริยุพาและคณะ (2562) ได้สกัดอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันด้วยน้ำร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ สัดส่วนของตัวอย่างต่อน้ำ 1:3 g/ml ใช้พลังงาน 800 วัตต์ 180 วินาที เพื่อเตรียมฟิล์มอินดิเคเตอร์ โดยสูตรของฟิล์ม คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1.5% คาราจีแนน 105% แพคติน 1.5% ผงเซลลูโลส 1% และสารสกัด 6% พบว่า ฟิล์มมีสีใกล้เคียงกันที่ค่า pH 4-6 ซึ่งยากต่อการแยกแยะด้วยตาเปล่า จากนั้นนำไปทดสอบกับอาหารที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น เช่น ผลไม้ตัดแต่ง ปลาสด แหนมเห็ด และเต้าหู้ไข่ พบว่าฟิล์มมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้บอกคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะอาหารหมัก แต่ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้บ่งชี้ความปลอดภัยของอาหาร ซึ่งอินดิเคเตอร์สามารถเก็บในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทได้นาน 2-4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้คุณธิปและคณะ (2015) ได้ผลิตฟิล์มอินดิเคเตอร์ไคโตซาน/PVA ผสมแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพด ปริมาณ 2.626 mg พบว่าฟิล์มเปลี่ยนสีจากสีแดงถึงสีเขียวเข้มเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 1-8 และเมื่อนำไปทดสอบการเน่าเสียของปลาซาบะและไก่ ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวเข้มอย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสามารถใช้ชี้บ่งชี้การเน่าเสียของเนื้อปลาและเนื้อไก่ได้

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุหรือสีธรรมชาติที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย พบในพืชทั้งในดอกและในผล ให้สีแดง นำเงิน ม่วง ละลายน้ำได้ โดยโครงสร้างประกอบด้วยสารประกอบ 2 หรือ 3 ชนิด ดังนี้

- ชนิดที่ 1 คือ แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidins) หรืออะไกลโคน (Aglycone) อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็น $C_6-C_3-C_6$ ในปัจจุบันแอนโทไซยานิดินที่พบมากในพืช มี 6 ชนิด โดยแต่ละชนิดแตกต่างกันตรงตำแหน่ง C-3' และ C-5' ว่าจะเป็นไฮดรอกซิล ไฮดรอกซิล หรือเมธอกซิล (อรุษา, 2554) ดัง Figure 27 โดยสีของแอนโทไซยานิดินขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง (pH) (Figure 28) ไอออนของโลหะ (metal ions) และการเกิดพันธะกับน้ำตาล เช่น pelargonidin (สีส้ม-แดง) cyanidin (สีแดง) peonidin (สีชมพู-แดง) delphinidin (สีน้ำเงิน-ม่วง) petunidin (สีน้ำเงิน-แดงเข้ม) และ malvidin (สีแดงเข้ม) ซึ่งความแตกต่างของสีในพืชเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของแอนโทไซยานิดิน (Vermeris and Nicholson, 2006)

- ชนิดที่ 2 คือ น้ำตาล โดยน้ำตาลจะเกิดพันธะกับคาร์บอนตำแหน่ง C-3 หรือ C-3 และ C-5 ตัวอย่างน้ำตาลที่เกิดพันธะได้ เช่น กลูโคส กาแลคโตส และแรมโนส เป็นต้น

- ชนิดที่ 3 คือ กรด ซึ่งอาจมีหรือไม่มี ถ้าแอนโทไซยานินมีกรดเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า Non-acylated anthocyanin แต่ถ้าไม่มีกรดเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า Acylated anthocyanin โดยกรดจะเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำตาลที่จับกับ C-3 และ/หรือ C-5 เช่น กรดเพอร์รูริก และกรดคาร์แพอิก เป็นต้น ซึ่งการเกิด Acylation ในโครงสร้างของแอนโทไซยานินทำให้แอนโทไซยานินมีความคงตัวดีขึ้น

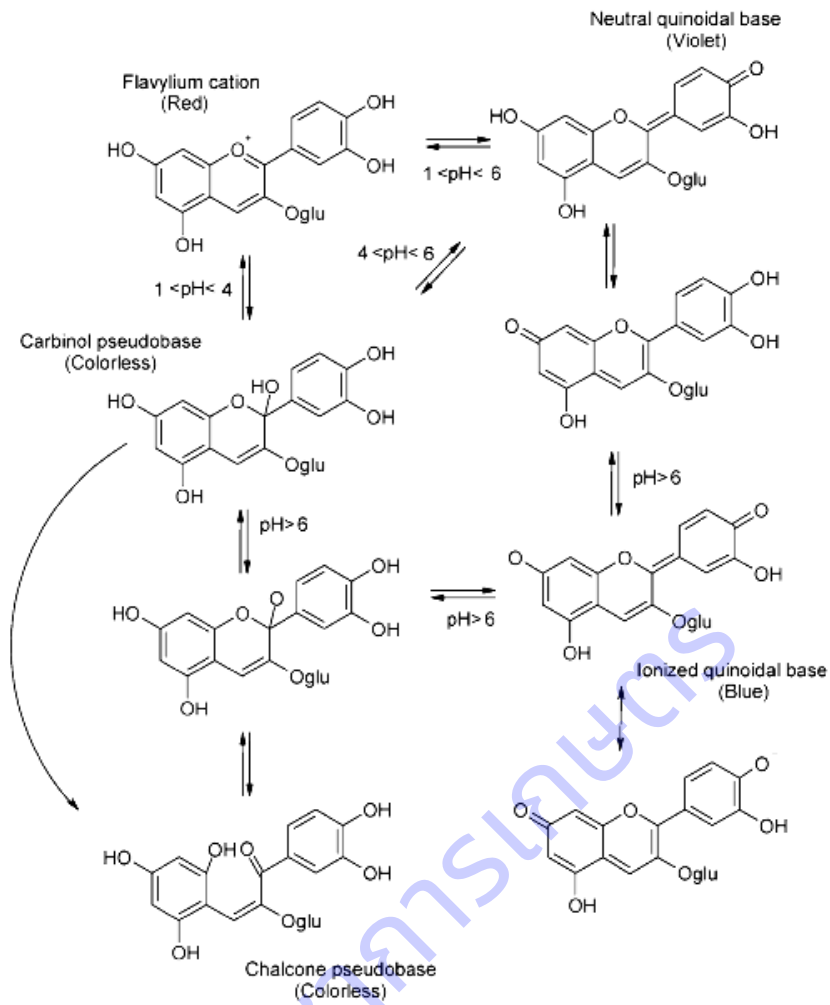


Anthocyanidin	R1	R2
Pelargonidin	H	H
Cyanidin	H	OH
Delphinidin	OH	OH
Peonidin	OCH ₃	H
Petunidin	OCH ₃	OH
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃

Figure 27 Chemical Structure of Anthocyanidin (อรุษา, 2554)

แอนโทไซยานิน สามารถพบได้ในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น ดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง ผลหม่อน กระเจี๊ยบ องุ่น พลัม และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เป็นต้น (Shahidi and Naczki, 2004) โดยมีโครงสร้าง 4 แบบ คือ flavylium cation, quinoidal base, carbinol pseudobase และ chalcone (Wojdylo et al., 2009) ซึ่งจะมีสีที่แตกต่างกันในโครงสร้างแต่ละแบบขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง โดยในสภาวะที่เป็นกรดแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูป flavylium cation (สีแดง) เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น flavylium cation จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในรูป carbinol pseudobase, chalcone (ไม่มีสี) และ quinoidal base (สีน้ำเงิน) (Tsao and McCallum, 2010)

จากคุณสมบัติของแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุจากธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนสีได้ในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ จึงมีแนวคิดในการสกัดแอนโทไซยานินจากพืชมาเป็นสีอินดิเคเตอร์สำหรับการผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เพื่อใช้ชี้บ่งคุณภาพและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารที่เน่าเสียง่ายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลผลิตทางการเกษตร



(a)

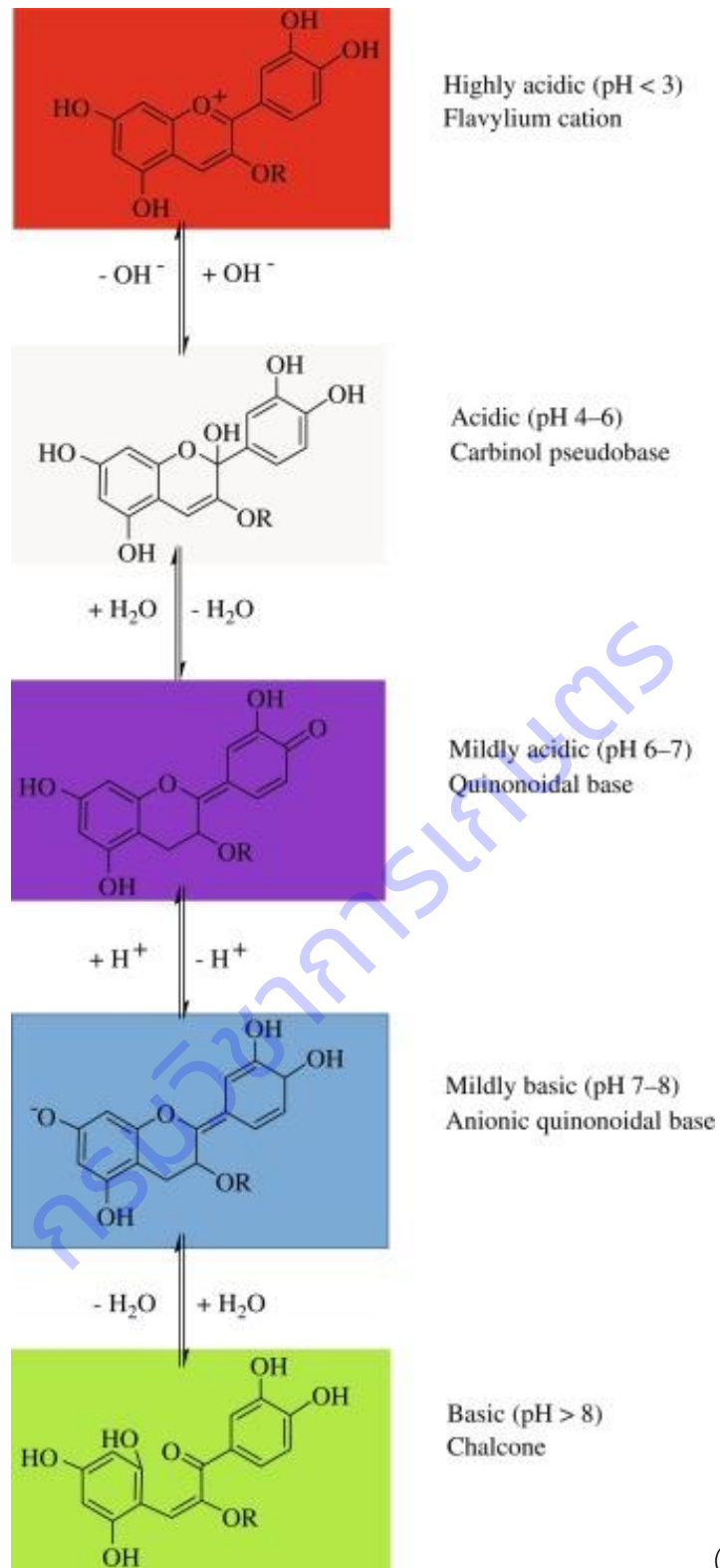


Figure 28 Structural changes of anthocyanins at various pH

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติจำเพาะ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์ป้องกันแสง และบรรจุภัณฑ์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติเป็นสารที่ช่วยเพิ่ม

คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเพิ่มคุณสมบัติให้บรรจุภัณฑ์

ระเบียบวิธีวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2559 – กันยายน 2554

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลิตผลและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกมังคุด มันสำปะหลังพันธุ์ 5 min ดอกอัญชันอบแห้ง ผลหม่อน กะหล่ำปลีม่วง เปลือกข้าวโพด เปลือกส้ม เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย จากตลาดไทยจากตลาดไท
2. สมุนไพรเปลือกมังคุด (ผง) บริษัท ฮงฮวด จำกัด
3. เชื้อ *staphylococcus aureus* ATCC 6538
4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol: PVA, commercial grade: Hydrolysis 88.6 Mol%, Viscosity 30.4 MPa.S, บ.รวมเคมี 1986 จำกัด)
5. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol : PVA:, Mw 85,000-124,000, 99+% hydrolyzed, Sigma-Aldrich)
6. ไคโตซาน (Chitosan, medium molecular weight, Sigma-Aldrich)
7. โซเดียมไตรฟอสเฟต (Soduim tripolyphospate, technical grade, 85%, Sigma-Aldrich)
8. โซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์ (12.5% AR grade, Ajax Finechem)
9. เอทานอล (Ethanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
10. กลีเซอรอล (glycerol, AR grade, Fisher Scientific)
11. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (85% AR grade, LOBA CHEMIE PVT. LTD)
12. กรดซัลฟูริก (98% AR grade, LOBA CHEMIE PVT. LTD)
13. กรดอะซิติก (Acitic acid 100%, Merck)
14. อะซีโตน (99.5% AR grade, LOBA CHEMIE PVT. LTD)
15. ลิกนินทางการค้า (SIGMA ALDRICH)
16. สารมาตรฐานแอลฟาแมงโกสติน (Alpha-Mangostin Standard, 98%, HPLC grade, Sigma-Aldric)
17. สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer Solution, Merck)
18. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid Titrimax Standaed Solution, QRec)
19. สารละลายแอมโมเนีย (Ammonia Solution 25%, AR grade, Qrec)
20. อาหารเลี้ยงเชื้อ (Potato dextrose agar, Plate Count Agar, HIMEDIA และ Pseudomonas Agar Base, OXOID)
21. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
22. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Novasina: รุ่น TH 200
23. เครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Thermo Scientific: รุ่น Nicolet iS5 (iD5 ATR)
24. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer, Shinadzu: รุ่น UV-2600
25. เครื่อง Universal Testing, Instron: รุ่น 3340

26. ถุงเยื่อเลือกผ่าน (Molecularporous membrane tubing, Spectrum Laboratories, Inc.)
27. แผ่นอะคริลิคสำหรับขึ้นรูป (ขนาด 30×30×0.4 เซนติเมตร)
28. เนื้อปลากระพงสดแล่นเนื้อ จากแมคโคร
29. แผ่นอะคริลิคสำหรับขึ้นรูป ขนาด 30×30×0.4 เซนติเมตร
30. ตู้บรรมร้อน KOTTERMANN 2736
31. โถดูดความชื้น
32. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBSA-08 Series B
33. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204
34. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
35. เครื่องวัดความหนา Dial Thickness gauge, MOORE & WEIRHT
36. เครื่องวัดความชื้น Sartorius ME Model
37. เครื่องตีบดผสมตัวอย่าง (Bag mixer stomacher)
38. จานคอนเวย์

วิธีการดำเนินการ

กิจกรรมที่ 2 ประกอบด้วย 3 การทดลอง ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีวิธีการดำเนินงานแตกต่างกัน ดังนี้
การทดลองที่ 2.1 การผลิตฟิล์มด้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

1. เตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด (ดัดแปลงวิธีของประสงค์และคณะ (2552) และ Kusmayadi et al. (2018))

นำเปลือกมังคุดมาล้างด้วยน้ำเปล่า หั่นเป็นชิ้นบางๆ และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C แล้วนำไปบดจนเป็นผงละเอียด จากนั้นนำเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า มาสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% โดยแช่ในอัตราส่วนผงเปลือกมังคุด 1 g ต่อเอทานอล 6 ml เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศ นำส่วนของผงเปลือกมังคุดไปสกัดซ้ำอีกครั้ง จากนั้นนำส่วนของเหลวที่ได้มารวมกันแล้วนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C คำนวณปริมาณสารสกัดหยابที่ได้

2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหยابที่ได้

วิเคราะห์โครงสร้างของสารสกัดด้วยเครื่อง FTIR โดยวัด %Transmittance ของสารในช่วงความยาวคลื่น 4000 ถึง 400 cm^{-1} เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสทิน และวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนทั้งหมดตามวิธีของ Aisha et al. (2013) ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 50 $\mu\text{g/ml}$ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มแสง 243 nm. คำนวณปริมาณสารแซนโทนทั้งหมดโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสทิน

3. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด

ทดสอบโดยวิธี agar disc diffusion โดยดัดแปลงวิธีของพัชรินทร์และสุวิษญา (2561) ดังนี้ เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ATCC 6538 ในอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) ปริมาตร 5 ml บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำเชื้อที่ได้มาปรับความขุ่นให้มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 1.5×10^8 cfu/ml โดยเทียบกับ McFarland standard No. 0.5 จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 100 μl มา spread plate บนอาหาร MHB จากนั้นนำ paper disc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. จุ่มลงในสารละลายของสารสกัด ซึ่งละลายด้วยเมทานอลแล้วผึ่งให้แห้ง นำมาวางลงบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว เทียบกับน้ำกลั่นและเมทานอล ทำการทดสอบ 4 ชั่วโมง จากนั้น

นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง บันทึกผลโดยสังเกตบริเวณด้านเชื้อแบคทีเรียแล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง

4. เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์

โดยนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดชนิดที่ให้ปริมาณสารสกัดหยาบและปริมาณสารสำคัญมากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ดีที่สุด จากข้อ 1-3 มาเติมในฟิล์ม PVA โดยเริ่มจากเตรียมสารละลาย PVA เข้มข้น 4% w/v ปริมาณ 300 ml เติมกลีเซอรอล 30% โดยน้ำหนัก PVA เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น (Pu-you et al., 2014) กวนให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุด (ดัดแปลงวิธีของสุพรรณและคณะ, 2554) ให้มีปริมาณสารสกัดในเนื้อฟิล์มตามกรรมวิธี ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ได้แก่ ฟิล์ม PVA เติมสารสกัดปริมาณ 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm นำสารละลายพอลิเมอร์มาเทลงในเพลทอะคลิลิกขนาด 30×30 cm² ทิ้งให้เซตตัวที่อุณหภูมิห้อง แล้วอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มต้านจุลินทรีย์

วิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง FTIR โดยวัด %Transmittance ของฟิล์มในช่วงความยาวคลื่น 4000 ถึง 400 cm⁻¹ เปรียบเทียบกับฟิล์มไม่เติมสารสกัดและสารสกัดจากเปลือกมังคุด (Bonilla et al., 2014) วัดความหนา ค่าสี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (aw) การละลายน้ำ ตามวิธีของ Tongdeesoontorn et al. (2011) โดยตัดฟิล์มขนาด 5x5 cm² อบที่ 65 °C 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักก่อนการละลาย (W₀) แช่น้ำ 50 ml ปิดปากบีกเกอร์แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง กรองแล้วนำไปอบที่ 80 °C 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย (W₁) นำไปคำนวณค่า ดังนี้ %Solubility = [(W₀-W₁)/W₀] × 100 ทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวด้วยเครื่อง Universal Testing ตามมาตรฐาน ASTM D 882-10 Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting

6. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม

ทดสอบโดยวิธี agar disc diffusion โดยดัดแปลงวิธีของพัชรินทร์และสุวิชญา (2561) ดังนี้ เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ATCC 6538 ในอาหาร MHB ปริมาตร 5 ml บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C 18 ชั่วโมง นำเชื้อที่ได้มาปรับความขุ่นให้มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 1.5x10⁸ cfu/ml โดยเทียบกับ McFarland standard No. 0.5 จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 100 µl มา spread plate บนอาหาร MHB แล้วนำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. มาวางบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว ทดสอบ 4 ซ้ำ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C 18 ชั่วโมง บันทึกผลโดยสังเกตบริเวณด้านเชื้อแบคทีเรียแล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง

การทดลองที่ 2.2 การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1. การผลิตสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.1 การผลิตลิควิน

นำน้ำดำ (black liquor) จากการต้มเยื่อเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด เปลือกส้ม เปลือกทุเรียน และต้นกล้วย ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 18% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 300 ml ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาปรับ pH ให้เท่ากับ 2 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 50% กวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 °C กรอง black liquor ด้วยชุดกรองสารแบบสุญญากาศ นำของแข็งที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น จนค่า pH เท่ากับ 7 นำตะกอนที่ได้ไปสกัดด้วยอะซิโตน โดยกวนสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6500 rpm เป็นเวลา 10 min นำตะกอนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 1 ชนิด ที่ให้ปริมาณลิควินสูงสุดมาทำการทดลอง

ศึกษาสมบัติของลิกนินที่สกัดได้เทียบกับลิกนินทางการค้า โดยบันทึกข้อมูล ดังนี้ ค่าสี ความชื้น ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของสาร (ATR-FTIR) วัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสาร (DSC) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเชิงความร้อนของสาร (TGA) และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

1.2 การผลิตนาโนเซลลูโลส

ทำความสะอาดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยน้ำสะอาด หั่นให้มีขนาด 1-2 นิ้ว ออบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต้มเยี่ยวด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 18% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 300 ml ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ล้างเยี่ยวด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด เก็บส่วนที่เป็นน้ำดำ (black liquor) ไปเตรียมลิกนิน หาน้ำหนักเยี่ยวที่ได้จากการต้มเยี่ยว เพื่อคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูงไปทำการทดลองต่อไป

พอกเยี่ยว 10 g ด้วยสารละลายโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์เข้มข้น 100% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 300 ml ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 min ล้างออกด้วยน้ำกลั่น (5 รอบ) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 64% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 100 ml ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 40% โดยปริมาตร ปริมาณ 100 ml ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C อีก 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 เท่าของปริมาณกรด ล้างกรดโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 6,500 rpm ล้างเยี่ยวด้วยน้ำกลั่นจน pH เท่ากับ 7 โดยใช้ถุงเยี่ยวเลือกผ่านจากนั้นนำไปโฮโมจีไนซ์เป็นเวลา 10 min

ศึกษาสมบัติของนาโนเซลลูโลสที่ได้ และบันทึกข้อมูล ได้แก่ ค่าสี ความชื้น ขนาดอนุภาค (particle size) วิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) วิเคราะห์ความเป็นผลึกของเส้นใยจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

2. การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้นาโนเซลลูโลสและลิกนินเป็นสารเติมแต่ง

2.1 การเตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง (ดัดแปลงจากวิธีของ Tsakama et.al. (2010) และวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสตามวิธีของ Santisopasri et al. (1996))

ทำความสะอาดมันสำปะหลัง 10 kg ด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกและนำไปแช่ในน้ำส้มสายชูความเข้มข้น 5% หั่นมันสำปะหลังให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหั่นย่อย นำไปใส่ในถุงผ้าคั้นน้ำกะทิแล้วบีบอัดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิ เก็บน้ำแป้งที่ได้ นำกากที่เหลือจากการบีบอัดนำมาผสมน้ำสะอาดอัตราส่วน 1:2 แล้วนำไปบีบอัดอีกครั้ง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง นำน้ำแป้งมารวมกัน จากนั้นแบ่งใส่ถังพลาสติกขนาด 10 ลิตร ปรับปริมาตรให้เท่าๆ กัน โดยเติมน้ำให้ได้ปริมาตร 2 ใน 3 ส่วนของถังพลาสติก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง เทน้ำทิ้งให้เหลือแต่ส่วนของแป้งที่ตกตะกอน เติมน้ำ 2 ใน 3 ส่วนของถังพลาสติกอีกครั้ง กวนให้น้ำแป้งผสมกับน้ำ ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง อีก 6 ชั่วโมง เทน้ำทิ้ง หากแป้งที่ได้จากการตกตะกอนยังไม่เป็นสีขาวให้เปลี่ยนน้ำอีก 2-3 ครั้ง จนกว่าแป้งที่ตกตะกอนได้จะเป็นสีขาว เทตะกอนแป้งลงภาตสแตนเลส ขนาด 24x30 ตารางเซนติเมตร ให้มีความสูงประมาณ 2 เซนติเมตรจากกันภาต นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแป้งที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดขนาดช่องตะแกรง 0.25 mm. จะได้สตาร์ชมันสำปะหลัง นำไปเก็บในถุง Low Density Polyethylene (LDPE) แบบ Ziploc ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส โดยเทคนิค HPSEC (High performance size exclusion chromatography)

2.2 การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ

ศึกษาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยวางแผนการทดลอง 3 ซ้ำ 16 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สตาร์ช ไม่เติมสารเติมแต่ง

- กรรมวิธีที่ 2 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 3 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 2% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 4 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 3% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 5 สตาร์ชเติมลิกนิน 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 6 สตาร์ชเติมลิกนิน 2% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 7 สตาร์ชเติมลิกนิน 3% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 8 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 1% และเติมลิกนิน 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 9 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 1% และเติมลิกนิน 2% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 10 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 1% และเติมลิกนิน 3% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 11 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 2% และเติมลิกนิน 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 12 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 2% และเติมลิกนิน 2% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 13 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 2% และเติมลิกนิน 3% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 14 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 3% และเติมลิกนิน 1% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 15 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 3% และเติมลิกนิน 2% โดยน้ำหนักของสตาร์ช
- กรรมวิธีที่ 16 สตาร์ชเติมนาโนเซลลูโลส 3% และเติมลิกนิน 3% โดยน้ำหนักของสตาร์ช

ทุกกรรมวิธีเติมกลีเซอรอลปริมาณ 30% โดยน้ำหนักของสตาร์ชเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม จากนั้นนึ่งจนโดยให้ความร้อนที่ 75 °C ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มและอบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มและบันทึกข้อมูล ดังนี้ การต้านทานแรงดึงขาด ร้อยละการยืดตัว ความหนา การเปลี่ยนแปลงสี ความชื้น การละลายน้ำ ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ (blocking effect) และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ

3. ศึกษาศักยภาพประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

คัดเลือกฟิล์มชีวภาพที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากข้อ 2 มา 1 กรรมวิธี ผลิตฟิล์มและเตรียมเป็นบรรจุภัณฑ์เป็นของขนาด 10x10 cm² บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารของละ 5 g ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มทางการค้า จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ภายในช่องบรรจุ ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ พร้อมวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์

การทดลองที่ 2.3 การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

1. เตรียมสีอินดิเคเตอร์

1.1 เตรียมสีอินดิเคเตอร์จากผลิตผลเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ผลหม่อน และกะหล่ำปลีม่วง โดยสกัดสีอินดิเคเตอร์ ดังนี้

- สีจากดอกอัญชัน สกัดตามวิธีของ จารูวรรณและคณะ (2563) คือ สกัดด้วยน้ำโดยใช้อัตราส่วนดอกอัญชันแห้ง:น้ำ เท่ากับ 1:40 w/v อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 min และสกัดด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันแห้ง:สารละลายกรดซิตริก เท่ากับ 1:50 w/v ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 min จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยตัวทำละลายออก

- สีจากผลหม่อน และกะหล่ำปลีม่วง: เตรียมสีจากน้ำคั้นโดยใช้เครื่องบีบคั้นน้ำ แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง และเตรียมสีจากการสกัดด้วย acidified ethanol เตรียมโดยนำตัวอย่างสดมาปั่นให้ละเอียดแล้วแช่ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 70% อัตราส่วนตัวอย่าง:สารละลายเอทานอล เท่ากับ 2:1 w/v จากนั้นปรับ pH ด้วย

สารละลายกรด HCl เข้มข้น 1M จนมี pH เท่ากับ 2 ใส่ขวดสีชา เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2000 rpm เป็นเวลา 10 min กรองสารละลายที่ได้ จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยตัวทำละลายออก (ดัดแปลงวิธีของ Perreira Jr et al., 2015)

1.2 วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุ: แอนโทไซยานินทั้งหมดในสีอินดิเคเตอร์ด้วยวิธี pH differential ตามวิธีของ Giusti and Wrolstad, 2005 โดยหาค่า dilution factor (DF) โดยการเจือจางสีอินดิเคเตอร์ที่ได้จากข้อ 1.1 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ pH 1.0 และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.2-0.8 จากนั้นนำสีอินดิเคเตอร์มาเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น pH 1.0 และสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท pH 4.5 ตาม DF ที่ได้ ตั้งทิ้งไว้ให้สมดุลเป็นเวลา 15 min และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 ($A_{510\text{nm}}$) และ 700 nm ($A_{700\text{nm}}$) โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ (blank) จากนั้นจึงคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A) แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณเป็นปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในตัวอย่างเริ่มต้น ตามสมการ

$$A = (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4.5}$$

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $(A \times MW \times DF \times 1000) / (\epsilon \times l)$

โดย MW = มวลโมเลกุลของไซยานิน-3-กลูโคไซด์ = 449.2

DF (Dilution Factor) = อัตราส่วนของปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง เจือจางกับปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง

ϵ (Molar absorptivity) ของไซยานิน-3-กลูโคไซด์ = 26900

1.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของสีอินดิเคเตอร์เมื่อ pH เปลี่ยน โดยหยดสีอินดิเคเตอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 2 4 7 9 10 และ 12 ในอัตราส่วนสีอินดิเคเตอร์:สารละลายบัฟเฟอร์ เท่ากับ 1.2:100 v/v สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย (อรุษาและคณะ, 2009)

1.4 ทดสอบความคงตัวของสีอินดิเคเตอร์ โดยผสมสีอินดิเคเตอร์กับสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 2 4 7 9 10 และ 12 ในอัตราส่วนสีอินดิเคเตอร์:บัฟเฟอร์ 1.2:100 (v/v) แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 25 °C เป็นเวลา 6 วัน วัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายทุกวัน (อรุษาและคณะ, 2009)

คัดเลือกสีอินดิเคเตอร์จากผลิตภัณฑ์เกษตรชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจน เมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยน และมีความคงตัวของสีมากที่สุดไปศึกษาต่อ

2. เตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (ดัดแปลงวิธีของ Ma et al., 2018)

2.1 เตรียมสารละลาย CHNPS โดยเตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.3% w/v ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% v/v จากนั้นเติมสารละลายไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้น 1% w/v ลงในสารละลายไคโตซานปริมาณ 4% v/v กวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2 เตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยนำสีอินดิเคเตอร์ (pH indicator) ที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 มาเติมในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เข้มข้น 5% w/v ปริมาตร 300 ml เติมสารละลาย CHNPS จากข้อ 2.1 ปริมาณ 6% โดยน้ำหนักของ PVA และเติมกลีเซอรอล ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักของ PVA โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม คือ ฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์

กรรมวิธีที่ 2 ฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 2% โดยน้ำหนัก PVA

กรรมวิธีที่ 3 ฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 4% โดยน้ำหนัก PVA

กรรมวิธีที่ 4 ฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 6% โดยน้ำหนัก PVA

กรรมวิธีที่ 5 พิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% โดยน้ำหนัก PVA

จากนั้นปรับ pH ของสารละลายฟิล์มให้เท่ากับ 6 ด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 1M ขึ้นรูปโดยวิธี Casting ที่ไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง กับฟิล์มที่ได้จากสารละลายฟิล์มไม่ปรับ pH

3. ทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของฟิล์ม และบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อสารละลายบัฟเฟอร์ (ดัดแปลงจากวิธีของ คุณาธิปและคณะ, 2015 และ Musa et al., 2020) โดยตัดฟิล์มให้มีขนาด $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ จากนั้นนำไปแช่ในขวดสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ระหว่าง 2-11 ปริมาตร 3 ml เป็นเวลา 10 min

3.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอระเหยของกรดอะซิติก โดยนำสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 99% ปริมาตร 15 ml ใส่ในขวด vial ปิดด้วยฝาที่เจาะรูตรงกลางและติดด้วยฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอระเหยแอมโมเนีย (ดัดแปลงจากวิธีของ Wannawisan et al., 2019) โดยนำสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 0.1 M ปริมาตร 10 ml ใส่ในงานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm. ปิดด้วยฝาจานที่ติดฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร บริเวณใต้ฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0.5 1 1.5 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.4 นำฟิล์มจากข้อ 3.1 3.2 และ 3.3 มาวางบนเพลทสีขาวแล้ววัดค่าสี $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดสีทันทีโดยไม่ต้องอบให้แห้ง จากนั้นคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าสี (ΔE) พร้อมบันทึกภาพฟิล์ม จากนั้นคัดเลือกฟิล์มที่มีการเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า และมีค่า ΔE มากกว่า 3.5 ไปทดสอบกับผลิตภัณฑ์

4. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มอินดิเคเตอร์ ดังนี้

4.1 ความหนา (Thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนา

4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ทดสอบด้วยเครื่องวัดความชื้น

4.3 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ทดสอบด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

4.4 อายุการเก็บรักษาฟิล์มที่อุณหภูมิห้องและ 4°C

4.5 การละลายน้ำ (Water solubility) ตามวิธีของ Tongdeesoontorn, W., et al. (2011) ดังนี้

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด $50 \times 50 \text{ mm}^2$ หรือน้ำหนักประมาณ 0.3 g ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการละลาย (W_0) แช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 ml ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย (W_1) นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

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

4.6 ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing ตามมาตรฐาน ASTM D 882-10 Standard test method for tensile properties of thin plastic sheetin

4.7 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) : ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM E 96-00 Water Vapor transmission of Materials

4.8 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) : ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor

5. การประยุกต์ใช้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างกับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเสื่อมเสียง่าย

ประยุกต์ใช้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เป็นฉลากบ่งชี้ความสดของเนื้อปลา โดยนำเนื้อปลากระพงสด แล่เนื้อ น้ำหนักประมาณ 200 g บรรจุในกล่องพอลิพรอพิลีนความจุ 500 ml ปิดกล่องด้วยฝาที่ติดฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เติมสียินดิเคเตอร์ 0 2 4 6 และ 8% ขนาด 1.5x1.5 cm² ด้านในฝากล่อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 8 วัน สุ่มตัวอย่างทุกวัน วันละ 3 กล่อง นำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

5.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อปลา ดังนี้

- 1) ลักษณะภายนอกจากการประเมินด้วยตาเปล่า พร้อมบันทึกภาพถ่าย
- 2) ค่า pH โดยสุ่มตัวอย่างเนื้อปลาน้ำหนัก 10 g เติมน้ำกลั่น 90 ml ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter (ตามวิธีของ Ezati et al., 2019)
- 3) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และปริมาณ *Pseudomonas spp.* (ดัดแปลงจากวิธีของ Kuswandi et al., 2012) โดยสุ่มเนื้อปลาน้ำหนัก 25 g เติมน้ำสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตเนอ ความเข้มข้น 0.1% ปริมาณ 225 ml ในถุงปลอดเชื้อ จากนั้นนำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องตีผสมตัวอย่าง เป็นเวลา 2 min นำสารละลายตัวอย่างที่ได้มาเจือจางด้วยเทคนิคการเจือจางทุก 10 เท่า (10-fold serial dilution) ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตเนอความเข้มข้น 0.1% ได้เป็นสารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 10⁻¹ - 10⁻⁷ จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างแต่ละระดับความเจือจางปริมาณ 0.1 ml ไปวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณ *Pseudomonas spp.* ด้วยเทคนิค spread plated บนอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA) และอาหารเลี้ยงเชื้อ cetrimide-fucidin-cephaloridine agar (C-F-C agar) ตามลำดับ โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30±2 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง คำนวณเป็นปริมาณจุลินทรีย์เป็นค่า Log CFU/g
- 4) ปริมาณไนโตรเจนระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile nitrogen – Base, TVB-N) ด้วยวิธีคอนเวย์ (Conway microdiffusion) (Ng, 1987) โดย สุ่มตัวอย่างเนื้อปลาน้ำหนัก 4 g (จุดค่าน้ำหนักที่แน่นอน) เติมน้ำสารละลายไตรคลอโรอะซิติก ความเข้มข้น 4% ปริมาณ 16 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 min กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่าง 1 ml ใส่ลงในวงกลมชั้นนอกของจานคอนเวย์ เติมน้ำ Inner ring solution (สารละลายกรดบอริก 1% ผสมโบโรโมครีซอลกรีน 2% และเมทิลเรด 1%) 1 ml ใส่ลงในวงกลมชั้นในของจาน และดูดสารละลายอิมตัวของ K₂CO₃ 1 ml ใส่ลงในวงกลมชั้นนอกของจานคอนเวย์อีกด้านของสารละลายตัวอย่าง จากนั้นนำฝาที่ทำด้วย vacuum grease ปิดจานคอนเวย์ให้สนิท แล้วหมุนจานเบาๆ ให้สารละลาย K₂CO₃ และตัวอย่างผสมกันโดยระวังไม่ให้สารเข้าไปผสมกับ Inner ring solution ที่วงกลมชั้นในของจานคอนเวย์ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 60 min เมื่อครบเวลาเปิดฝาจานคอนเวย์ แล้วไตเตรทวงกลมชั้นใน ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02N จนสารละลายสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีชมพู นำปริมาตรกรดที่ไตเตรทได้มาคำนวณปริมาณ TVB-N ดังสมการ

$$TVB - N = \frac{N \times 14 \times (A - B) \times \left[\left(Weight_{sample} \times \frac{Moisture_{sample}}{100} \right) + V_{TCA4\%} \right] \times 100}{Weight_{sample}}$$

- โดย **N** = Normality ของ HCl ที่ใช้ไตเตรต
A = ปริมาตร HCl ที่ใช้ไตเตรต Sample
B = ปริมาตร HCl ที่ใช้ไตเตรต Blank

$V_{TCA4\%}$ = ปริมาตรกรดไตรคลอโรอะซิติก 4% ที่ใช้ในการสกัดตัวอย่าง

5.2 การเปลี่ยนแปลงสีฟิล์มอินดิเคเตอร์ โดยนำฟิล์มอินดิเคเตอร์ที่ติดบริเวณฝากล่องแต่ละกล่องมาวัดค่าสี และคำนวณเป็นค่า ΔE เปรียบเทียบกับฟิล์มก่อนทดสอบ

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 2.1 การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

1. การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด

เปลือกมังคุดที่นำมาสกัดสารสำคัญมาจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกมังคุดจากผลมังคุดสดและเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่ามังคุดสดประกอบด้วยเปลือก 52.17% เมื่ออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จะได้เปลือกมังคุดแห้ง 33.67% โดยน้ำหนักเปลือกสด มีความชื้น 4.36% มีลักษณะดัง Figure 29(a) จากนั้นนำไปบดให้เป็นผงละเอียด พบว่าเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงที่ได้มีสีน้ำตาล มีความชื้น 4.82% ดัง Figure 29(b) เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่าเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีสีเข้มและผงมีความเนียนละเอียดมากกว่าดัง Figure 29(c) เมื่อนำเปลือกมังคุดไปสกัดด้วยสารละลายเอทานอล 95% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าได้สารสกัดชั้นหนืดสีน้ำตาล ดัง Figure 30 โดยปริมาณสารสกัดหายจากเปลือกมังคุดรวม 2 ครั้ง จากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง แบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า เท่ากับ 21.82 24.04 และ 12.49% ตามลำดับ แสดงว่าตัวทำละลายสามารถสกัดเอาสารสำคัญออกจากตัวอย่างที่เป็นผงได้ดีกว่าตัวอย่างที่เป็นชิ้น เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสมากกว่า ส่วนเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีปริมาณสารสกัดน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าอาจมีการใส่สารตัวเติมอื่นๆ ลงในตัวอย่างเพื่อเพิ่มปริมาณสาร ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงและจำหน่ายได้ในราคาถูก



Figure 29 Appearance of slices of dried mangosteen peel (a) dried mangosteen peel powder (b) and commercial mangosteen peel powder (c).

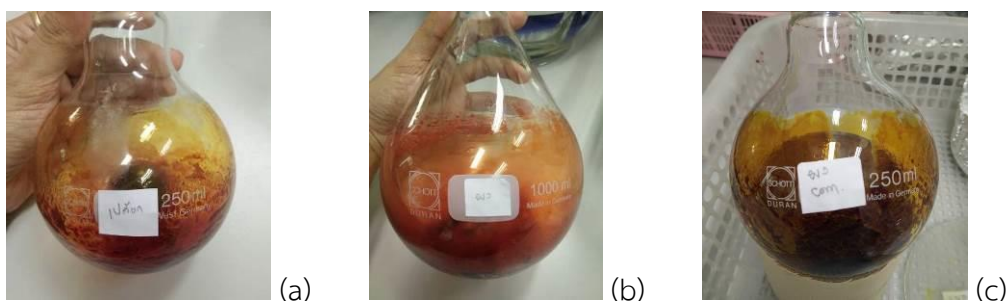


Figure 30 Appearance of crude extract from slices of dried mangosteen peel (a) dried mangosteen peel powder (b) and commercial mangosteen peel powder (c)

2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหยาบที่ได้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของสารสกัดเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสทิน ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด มีแอลฟา-แมงโกสทินเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีสเปกตรัมหลักหรือมีโครงสร้างหลักเหมือนกับสารมาตรฐาน โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัม (Figure 31) พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีสเปกตรัมหลักในตำแหน่งและความเข้มของสเปกตรัมเหมือนกับสารมาตรฐานมากกว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง โดยผลการวิเคราะห์สเปกตรัมพบว่าสอดคล้องกับโครงสร้างของแซนโทนและอนุพันธ์ ดังนี้ ช่วง $3600-3000\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของกลุ่มไฮดรอกซิลของแซนโทน (-OH) (Aisha et al., 2015) ช่วง $2970-2860\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งของ C-H_n stretching และ C-H vibration ของกลุ่มเมทิลในโครงสร้างของแอลฟา-แมงโกสทิน ที่ 1716 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ C=O stretching ของวงอะโรมาติก ที่ $1607-1604\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งของ C=C stretching ของวงอะโรมาติก ที่ $1080-1046\text{ cm}^{-1}$ เป็น C-O-C stretching vibration ที่ $700-900\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งของ C-H ของ aromatic hydrogen (Machmudah et al., 2014) และที่ $2359-2340\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งของ C-O stretching ของแซนโทน (Netata et al., 2014)

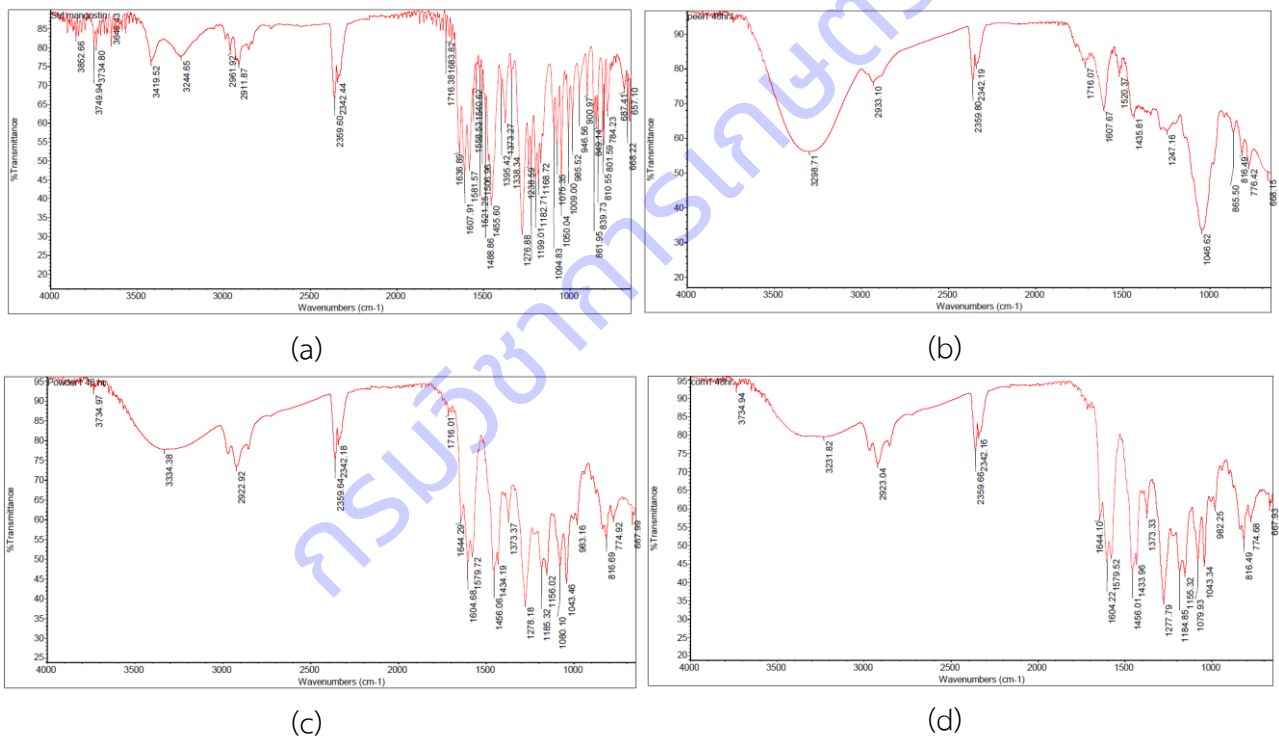


Figure 31 Wave number of FTIR spectra of α -mangostin standard (a) crude extract from slices of dried mangosteen peel (b) crude extract from dried mangosteen peel powder (c) and crude extract from commercial mangosteen peel powder (d).

จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทินในสารสกัดหยาบที่ได้จากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 243 nm. พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทินใกล้เคียงกับ คือ 55.74 และ 55.70% ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบางมีปริมาณสาร 47.39% แสดงให้เห็นว่าแม้จะสกัดได้สารสกัดหยาบปริมาณมากแต่สารสกัดที่ได้อาจมีสารสำคัญที่ต้องการในปริมาณน้อยแต่มีสารชนิดอื่นถูกสกัดออกมา

มากกว่า สอดคล้องกับสเปกตรัมของสารสกัดที่ตำแหน่ง 3298 cm^{-1} และ 1046 cm^{-1} ที่มีความเข้มและความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างของสารชนิดอื่น ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากตัวอย่างแบบขึ้นบางมีพื้นที่ให้ตัวทำละลายเข้าไปสกัดเอาสารสำคัญออกมาได้น้อย

3. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบขึ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิดสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ สอดคล้องกับรายงานของอุดมลักษณ์และคณะ (2549) แต่มีประสิทธิภาพแตกต่างกันดัง Figure 32 โดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อได้ดีที่สุด มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย เท่ากับ 12.25 mm. สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทิน คือ มีปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทินสูงสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี เนื่องจากมีปริมาณสารออกฤทธิ์ไปทำลายเชื้อได้มากกว่า ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบขึ้นบาง และสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย เท่ากับ 8.56 และ 8.38 mm. โดยการยับยั้งเกิดจากกลไกการทำงานของสารแซนโทนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในสารสกัดจากเปลือกมังคุด ยับยั้งการเกิดกิจกรรมต่างๆ ในผนังเซลล์ ยับยั้งการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ในการสังเคราะห์โปรตีน การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน และการยับยั้งเอนไซม์ โดยแซนโทนจะไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเชื้อ ซาโปนินจะไปเพิ่มแรงตึงผิวให้ผนังเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายไลโปฟิลิกและเทอพิโนอยด์จะไปทำลายเมมเบรนของเซลล์ และสารพอลิฟีนอลจะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียเสื่อมสภาพ เป็นต้น (Sitti R H S. et al., 2018)

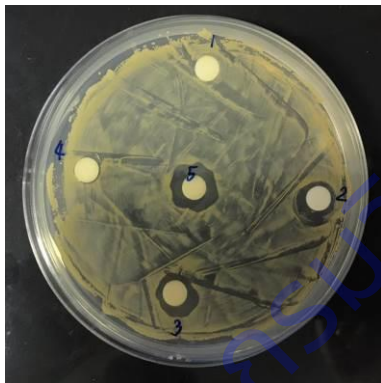


Figure 32 Inhibitory effect of water (1) methanol (2) extract from commercial mangosteen peel powder (3) extract from slices of dried mangosteen peel (4) and extract from dried mangosteen peel powder (5) against *Staphylococcus aureus*.

ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงไปเตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากให้ปริมาณสารสกัดหายากกว่า มีปริมาณสารสำคัญแอลฟา-แมงโกสทินมากกว่า และสามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้

4. เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์และทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

ผลการเตรียมฟิล์มโดยวิธีการแต่งเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงลงในฟิล์ม PVA เข้มข้น 4% โดยให้มีปริมาณของสารสกัด 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง มีสีเหลืองเข้มขึ้นตามปริมาณสารสกัด มีลักษณะเรียบ ยืดหยุ่นได้ดี ดัง Figure 33 มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง เท่ากับ 92.4 89.0 86.7 80.8 และ 86.6 ตามลำดับ และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น เท่ากับ 4.1 16.4 29.3 47.6 และ 56.3 ตามลำดับ ดัง Table 44

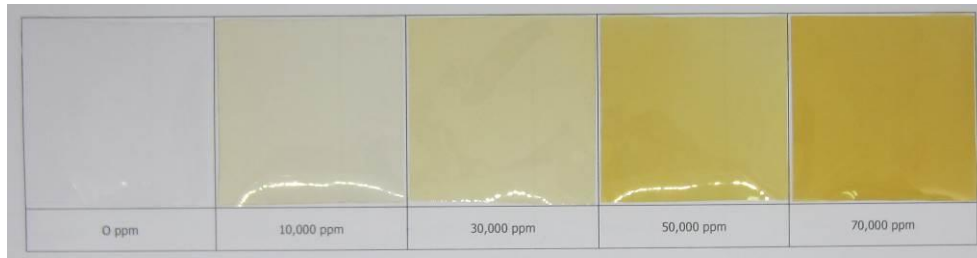


Figure 33 PVA films appearance at various mangosteen peel extract various content: 0, 10,000, 30,000, 50,000 and 70,000 ppm (left to right).

Table 44 Properties of PVA films incorporated with mangosteen peel extract.

Extract Content (ppm)	Film Properties								
	Thickness (mm)	Moisture Content (%)	Water Solubility (%)	a_w	Tensile Strength (kF/cm ²)	Elongation (%)	Color Score		
							L*	a*	b*
0	0.11	10.05a	96.58a	0.367b	292.40bc	316.00c	92.4	-0.1	4.1
10,000	0.12	9.89a	96.15a	0.410a	279.49c	291.98c	89.0	0.3	16.4
30,000	0.12	9.59ab	93.21b	0.409a	304.59abc	424.00a	86.7	1.9	29.3
50,000	0.12	9.07ab	93.69b	0.419a	322.76ab	379.58b	80.8	6.6	47.6
70,000	0.13	7.71b	94.28b	0.412a	329.69a	387.10ab	76.6	10.4	56.3

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

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสเปกตรัมของฟิล์มที่เติมสารสกัดในช่วง $2500-2000\text{ cm}^{-1}$ มีความเข้มของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารสกัดเพิ่มขึ้น และไม่มีสเปกตรัมในช่วง $1714-1713\text{ cm}^{-1}$ ในสเปกตรัมของสารสกัดแต่มีในสเปกตรัมของฟิล์ม ดัง Figure 34

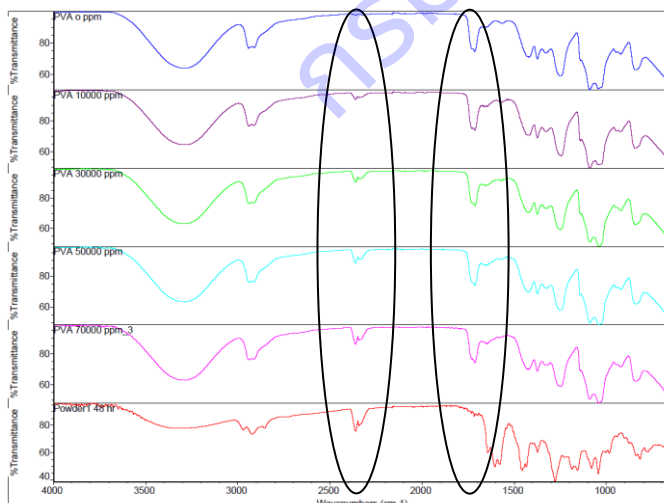
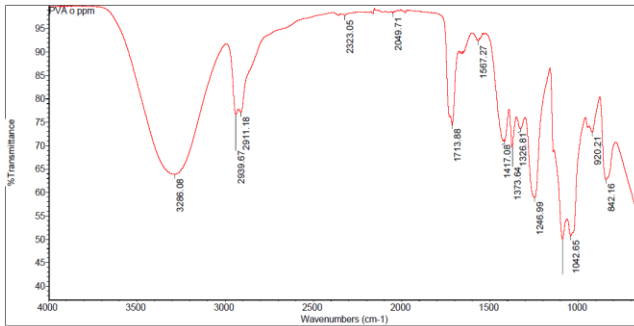
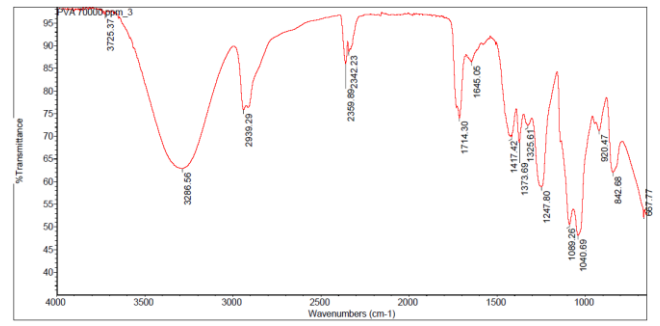


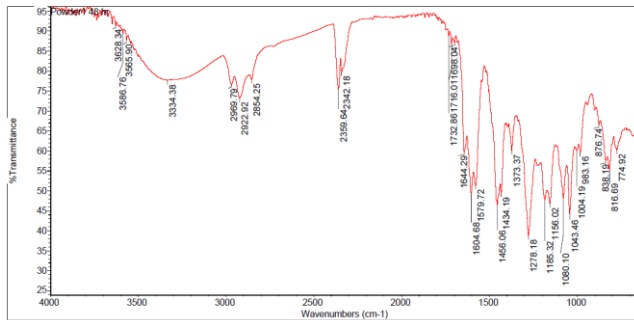
Figure 34 FTIR spectra of PVA film incorporated with dried mangosteen peel powder extract 0, 10000, 30,000, 50,000 70,000 ppm and mangosteen peel extract.



(a)



(b)



(c)

Figure 35 Wave number of FTIR spectra of PVA film (a) PVA film incorporated with dried mangosteen peel powder extract 70,000 ppm (b) and extract of dried mangosteen peel powder (c).

โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัมเปรียบเทียบกับพบว่า พิล์ม PVA ที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด (Figure 35(a) และ 35(b)) มีสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 3286 และ 3266 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของ PVA ซึ่งจะอยู่ในช่วง 3550-3200 ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของสารสกัด ส่วนสเปกตรัมของสารสกัด (Figure 35(c)) ที่ตำแหน่ง 3298 cm^{-1} ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เดียวกันนั้นเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของกลุ่มไฮดรอกซิลของแซนโทน (Aisha et al., 2015) ส่วนช่วง 3000-2840 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ C-H_n stretching และ C-H vibration ของกลุ่มเมทิลในโครงสร้างของแอลฟา-แมงโกสทิน และกลุ่มอัลคิลของ PVA (Machmudah et al., 2014 และ Mansur et al., 2008) ที่ตำแหน่ง 2359-2342 เป็นตำแหน่งของ C-O stretching (Netala et al., 2014) ของแซนโทนในสารสกัด ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัด และความเข้มหรือความสูงของสเปกตรัมที่ตำแหน่งนี้เพิ่มขึ้นในฟิล์มที่เติมสารสกัดปริมาณมากขึ้น และที่ตำแหน่ง 1714 cm^{-1} ซึ่งพบในฟิล์มทั้งที่เติมและไม่เติมสารสกัดแต่ไม่พบในสารสกัดเกิดจากการ stretching vibration ของ C=O ของกลุ่มคาร์บอนิลของพอลิไวโนลอะซิเตดที่หลงเหลือจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไว-นอลอะซิเตดเพื่อเตรียม PVA (Korbag et al., 2016) เช่นเดียวกับที่สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR12 (2553) ได้อธิบายไว้ว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสบางสวณยังคงมีหมู่อะซิเตดเหลืออยู่ จากสเปกตรัมจึงแสดงให้เห็นว่าสารสกัดกับ PVA เกิดแรงกระทำระหว่างกัน ทำให้เกิดสเปกตรัมในตำแหน่งของทั้งสารสกัดและ PVA ในฟิล์มทุกกรรมวิธี และฟิล์มแสดงสเปกตรัมที่เข้มข้น/สูงขึ้นในตำแหน่งของสารสกัดเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามปริมาณสารสกัดที่เติม ดัง Table 44 โดยฟิล์มทุกกรรมวิธีมีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.11-0.13 mm. มีความชื้นลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกับการละลายน้ำที่ลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ PVA เกิดแรงกระทำกับสารสกัดทำให้หมู่ไฮดรอกซิลในฟิล์มลดลง จึงเกิดแรงกระทำกับโมเลกุลของของน้ำได้น้อยลง ดังนั้นจึงดูความชื้นได้น้อยลงและละลายน้ำลดลง โดยความชื้นของฟิล์มทุกกรรมวิธีอยู่ในช่วง 7.71-10.05% ส่วนการ

ละลายน้ำของฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000-70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อยู่ในช่วง 93.21-94.28% ส่วนฟิล์มไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 96.58 และ 96.15% ซึ่งผลจากการละลายน้ำของฟิล์มทำให้ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ แต่เหมาะกับการบรรจุอาหารแห้ง และจากคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดีจึงทำให้ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (aw) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำต่ำสุดในฟิล์มที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ โดยแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า aw ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า aw ต่ำกว่า 0.7 ซึ่งพบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดทุกกรรมวิธีมีค่า aw ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อยู่ในช่วง 0.409–0.419 ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติกับฟิล์มไม่เติมสารสกัดที่มีค่า aw 0.367 แสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตบนฟิล์มได้

คุณสมบัติเชิงกล เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของของฟิล์มซึ่งหากมีค่าสูงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ดี โดยความแข็งแรงของฟิล์มเกิดขึ้นจากแรงกระทำทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลพอลิเมอร์ กลีเซอรอล และสารสกัด ซึ่งในการทดลองได้ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัว พบว่าความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength; TS) ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น (Table 44) เนื่องจากสารสกัดมีสารในกลุ่มแซนโทนซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดแรงกระทำกับหมู่ไฮดรอกซิลของ PVA ได้ และเมื่อมีปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้นแรงกระทำก็เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000 50,000 และ 70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 304.59 322.76 และ 329.69 kgf/cm² ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์มได้

นอกจาก PVA จะมีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงขาดดีแล้วยังมีคุณสมบัติดึงยืดหรือยืดตัว (Elongation; E) ได้ดีด้วย โดยฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดสามารถดึงยืดได้สูงถึง 316% ของฟิล์ม และความสามารถในการยืดตัวลดลงเมื่อเติมสารสกัด 10,000 ppm เท่ากับ 219.98% แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากสารสกัดเข้าไปขัดขวางการเกิดแรงกระทำกันภายในสายโซ่พอลิเมอร์ และการเกิดแรงกระทำกันระหว่างพอลิเมอร์กับกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และสารสกัดมีปริมาณน้อยเกินไปที่จะช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ แต่เมื่อเติมสารสกัดมากขึ้นเป็น 30,000 ppm พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถดึงยืดได้สูงถึง 424% แสดงว่าสารสกัดที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดแรงกระทำกับ PVA ได้ดีขึ้น เป็นสารช่วยเสริมแรงให้พอลิเมอร์ได้ โดยเมื่อเติมสารสกัด 50,000 และ 70,000 ppm พบว่าความสามารถในการดึงยืดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000 ppm (Table 44)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเติมสารสกัด พบว่าสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดได้เทียบเท่ากับฟิล์มพอลิเอทิลีน (PE) เนื่องจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “ฟิล์มยืดหุ้มห่ออาหาร” (มอก. 1136-2536) ได้ระบุไว้ว่าฟิล์มชนิด PE จะต้องมีความต้านทานแรงดึงขาดได้น้อย 30 MPa หรือประมาณ 306 kgf/cm² และสามารถดึงยืดได้น้อย 120% ซึ่งฟิล์มที่เตรียมได้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้จะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมด้านความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้บรรจุอาหาร

5. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม

ผลการนำฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* พบว่าไม่เกิด clear zone บริเวณรอบๆ ฟิล์ม เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดไม่ได้แพร่ออกมาจากฟิล์ม อีกทั้ง PVA ละลายน้ำได้ดี เมื่อวางบนอาหารทำให้ฟิล์มละลายออก โดยฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm ไม่สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้ เนื่องจากเชื้อเจริญเติบโตได้ดีในจานเพาะเชื้อจนมองไม่เห็นฟิล์ม ส่วน

ฟิล์มเติมสารสกัด 30,000 และ 50,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้เล็กน้อย เนื่องจากยังพบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของฟิล์ม ส่วนฟิล์มที่เติมสารสกัด 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้ดี เนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสเฉลี่ยเท่ากับ 13.25 mm. ดัง Figure 36 ดังนั้นจึงสามารถนำฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุด ปริมาณ 70,000 ppm ไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ได้

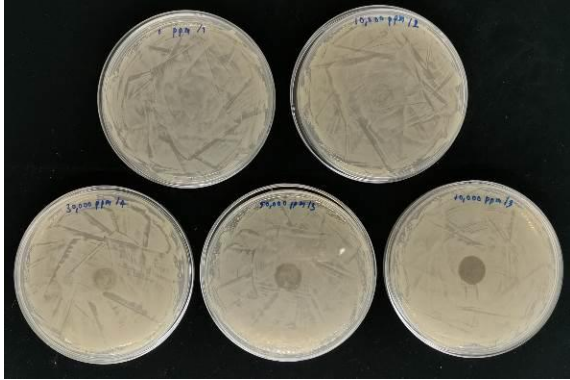


Figure 36 Inhibition zone of PVA films incorporated with various content of dried mangosteen peel powder extract: 0 10,000 30,000 50,000 and 70,000 ppm against *Staphylococcus aureus* (left to right and top to down).

6. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตเป็นต้นทุนจากการสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุด 12 บาท/g PVA เกรดทางการค้า 230 บาท/kg กลีเซอรอล 1 บาท/ml ดังนั้นในการเตรียมฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุด 70,000 ppm มีต้นทุนจากสารเคมีทั้งหมด 17 บาท/ตารางฟุต หรือประมาณ 0.60 บาท/ตารางเซนติเมตร

การทดลองที่ 2.2 การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1. การผลิตสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.1 การผลิตลิกนิน

นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เปลือกข้าวโพด และเปลือกส้ม มาผลิตเยื่อโดยการต้มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้น 18% โดยเยื่อที่ต้มจะมีสีคล้ำลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย KOH และองค์ประกอบของพืช ซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบได้เป็นเส้นใยและน้ำดำที่เรียกว่า “black liquor” โดยในน้ำดำมีองค์ประกอบของสารประกอบในรูปเกลือต่างๆ สารประกอบคาร์โบไฮเดรต และลิกนิน (Cardoso et al., 2009)

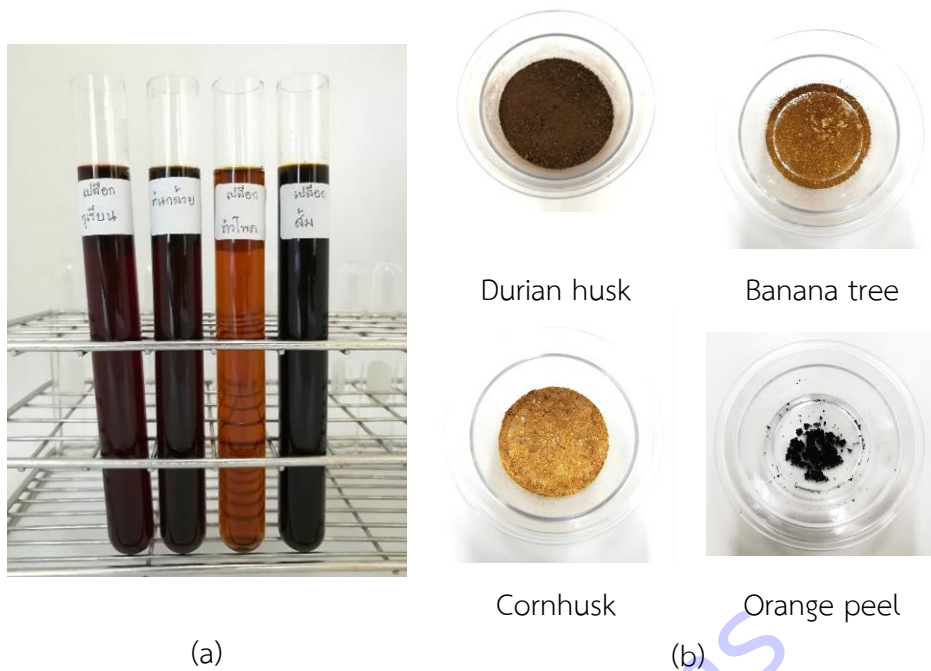


Figure 37 Black liquor obtained from pulping (a) and extracted lignin (b) from agricultural waste materials

น้ำดำ (Black liquor) เป็นของเหลวที่เหลือจากการต้มเยื่อ ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือเป็นของแข็ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์และลิกนิน รวมถึงสารอินทรีย์ เช่น โซเดียม เป็นต้น ลิกนินมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ มีสีน้ำตาลทำหน้าที่คล้ายกาว ยึดเส้นใยให้ติดกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าได้ เช่น ผงถ่านกัมมันต์ สารตัวเติม โพลีเมอร์ ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ เป็นต้น (Aadil et al., 2016a) จากการทดลอง พบว่า น้ำดำที่ได้จากการต้มเยื่อมีสีที่แตกต่างกัน โดยสีของน้ำดำจากเปลือกทุเรียน ต้นกล้วย และเปลือกส้ม มีสีที่เข้มกว่าเปลือกข้าวโพด (Figure 37 (a)) ดังนั้นในน้ำดำที่มีสีเข้มกว่าจะมีปริมาณสารอินทรีย์และลิกนินที่แยกออกจากเยื่อปริมาณมากกว่า โดยน้ำดำจากการต้มเปลือกทุเรียนมีปริมาณลิกนินสูงสุด เท่ากับ 39.5% รองลงมาคือ น้ำดำจากการต้มเปลือกข้าวโพด ต้นกล้วย และเปลือกส้ม มีปริมาณลิกนิน 13.5 3.0 และ 2.0% โดยลิกนินจะเป็นของแข็งมีสีน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับลิกนินทางการค้าแล้วสีจะอ่อนกว่า เนื่องจากลิกนินที่ได้มาจากพืชต่างชนิดกัน ความเข้มของสีจึงแตกต่างกัน (Figure 37 (b))

โดยปกติจะพบปริมาณลิกนินจากพืชทางการเกษตรซึ่งอยู่ในช่วง 10-40 % (Li et al., 2015) แสดงให้เห็นว่าลิกนินที่ได้จากเปลือกทุเรียนมีปริมาณสูงซึ่งมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในการนำลิกนินจากเปลือกทุเรียนมาใช้ประโยชน์ในทางด้านอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นจึงเลือกเปลือกทุเรียนเป็นวัตถุดิบในการผลิตนาโนเซลลูโลสและลิกนิน เนื่องจากมีปริมาณลิกนินสูงและมีปริมาณการทิ้งสูง จึงมีศักยภาพและมีความคุ้มค่าในการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรมด้านบรรจุภัณฑ์มากกว่าวัสดุชนิดอื่น

เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของลิกนินเปรียบเทียบกับลิกนินทางการค้า พบว่าค่าสีของลิกนินทางการค้ามีค่า $L^* 33.62$ $a^* 4.79$ และ $b^* -3.32$ ลิกนินจากเปลือกทุเรียนมีค่า $L^* 35.80$ $a^* 5.00$ และ $b^* -1.43$ โดยลิกนินทางการค้ามีสีเข้มกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน แต่มีความชื้นที่สูงกว่า คือ ลิกนินทางการค้ามีความชื้น 7.93% ส่วนลิกนินจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 2.89%

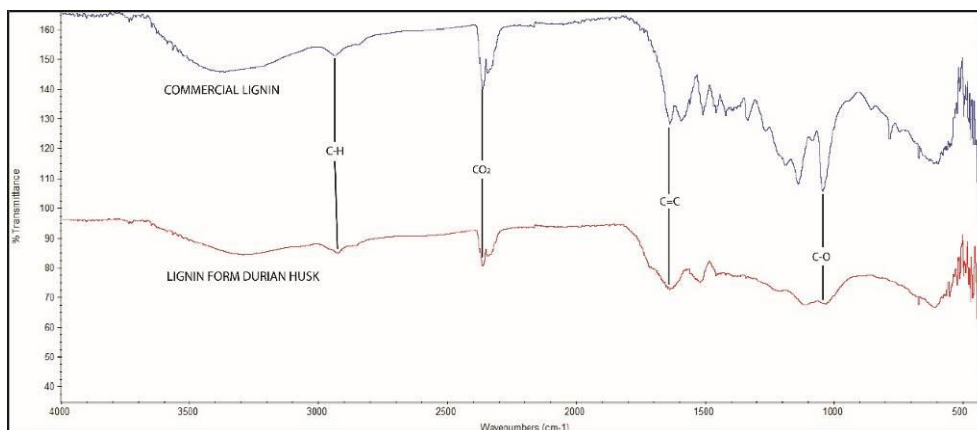


Figure 38 ATR-FTIR spectra of commercial lignin and lignin from durian husk

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของลิกนิน แสดงดัง Figure 38 โดยเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของลิกนินทางการค้าและลิกนินจากเปลือกทุเรียน พบว่าตัวอย่างมีหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกัน โดยบริเวณลายนิ้วมือ (fingerprint region) ของสารอยู่ในช่วง $1300-650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสารที่พบอยู่ในช่วงนี้ ได้แก่ C-O stretching ช่วง 1019 และ 1039 cm^{-1} สำหรับช่วง $4000-1300\text{ cm}^{-1}$ เรียกว่าเป็นบริเวณหมู่ฟังก์ชันจะปรากฏพีกสำคัญของหมู่ฟังก์ชันอยู่หลายหมู่ ได้แก่ C-H stretching ช่วง 2925 และ 2935 cm^{-1} , CO_2 ช่วง 2359 cm^{-1} และ C=C (alkenes) stretching ช่วง 1633 cm^{-1} (Awal and Sain, 2011 and Cao et al., 2013) ดังนั้นผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าสารที่สังเคราะห์ได้ คือ ลิกนิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่ (enthalpy) ด้วยวิธีดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (DSC) พบว่า ลิกนินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน มีค่าพลังงาน 71.22 J/g มากกว่าลิกนินทางการค้าที่มีค่าพลังงาน 69.85 J/g ทำให้ลิกนินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนมีความคงตัวและสามารถพัฒนาเป็นวัสดุที่ทนไฟ ความร้อน หรือวัสดุที่ให้พลังงานได้สูงกว่าลิกนินทางการค้า แต่ลิกนินทางการค้ามีจุดหลอมเหลว (T_m) สูงกว่าลิกนินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 220.2 และ $188.8\text{ }^\circ\text{C}$ สำหรับการไหลของความร้อนของลิกนินที่อุณหภูมิในการทดสอบ $10-250\text{ }^\circ\text{C}$ ใช้ก๊าซไนโตรเจนที่ 40 ml/min พบว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน (endothermic reactions) เนื่องจากเกิดการหลอมเหลวที่จุดต่ำสุดของกราฟ (Tipduangta and Jakkapan, 2018)

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักเชิงความร้อน (Thermal gravimetric Analysis, TGA) ของลิกนินและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (Mass loss rate, DTg) การไหลของความร้อน (Heat flow) และการสูญเสียน้ำหนัก (Mass loss, Tg) (กราฟเส้นสีดำ) โดยทำการทดสอบเผาผลิกนินในช่วงอุณหภูมิ $30-200\text{ }^\circ\text{C}$ (อัตราการให้ความร้อน $10\text{ }^\circ\text{C/min}$) ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน (N_2) อัตรา 30 ml/min พบว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (DTg) ของลิกนินทางการค้าเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ $65.00\text{ }^\circ\text{C}$ ใช้เวลาน้อยและอุณหภูมิต่ำกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน ซึ่งมีค่าอุณหภูมิ $190.00\text{ }^\circ\text{C}$ แสดงให้เห็นว่าลิกนินทางการค้าสลายตัวได้เร็วกว่าเมื่อได้รับความร้อน สำหรับการไหลของความร้อนสูงสุดของลิกนินทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าเท่ากัน คือ $183.00\text{ }^\circ\text{C}$ และการสูญเสียน้ำหนัก (Tg) บ่งบอกถึงปริมาณกากของลิกนินที่เหลือจากการเผา ถ้าพบปริมาณกากมาก (Tg สูง) แสดงว่ามีการสูญเสียน้ำหนักน้อย โดยลิกนินทางการค้ามี Tg เท่ากับ 87.05% สูงกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน ที่มี Tg 86.01% สำหรับช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวของลิกนินช่วง $30-150\text{ }^\circ\text{C}$ เกิดจากน้ำที่อยู่ในลิกนินระเหยออกไป ส่วน $150-200\text{ }^\circ\text{C}$ เกิดจากการสลายตัวของลิกนินแปรเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย เช่น CO , CO_2 และ CH_4 เป็นต้น จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA แสดงให้เห็นว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน มีค่า DTg สูงสุดจึงมีสมบัติดีกว่าลิกนินทางการค้า

ต้นทุนการผลิตลิกนินเปลือกทุเรียน เท่ากับ 15.52 บาท/g (ลิกนินทางการค้า 30 บาท/g) (โดยไม่รวมค่าวัตถุดิบซึ่งนับเป็นผลพลอยได้ รวมทั้งค่าพลังงานและบุคลากร)

1.2 การผลิตนาโนเซลลูโลส

คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เปลือกข้าวโพด และเปลือกส้ม ผลิตเยื่อโดยการต้มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 18% จากการทดลองหาปริมาณเยื่อพบว่า เปลือกข้าวโพดให้ปริมาณเยื่อสูงสุด 43.18% รองลงมาคือ ต้นกล้วย 24.35% เปลือกส้ม 21.78% และเปลือกทุเรียน 14.06% โดยเยื่อที่สกัดได้มีสีที่แตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในพืชแต่ละชนิด (Figure 39) แต่เมื่อเทียบสัดส่วนปริมาณของเหลือทิ้งจากวัสดุเหลือใช้ทั้ง 4 ชนิด พบว่า เปลือกทุเรียนมีปริมาณสูงสุดโดยเฉพาะเศษเหลือทิ้งจากการบริโภคในช่วงฤดูกาลที่มีผลผลิตออกสู่ตลาด ก่อให้เกิดปัญหาขยะปริมาณมาก (Charoenphun et al., 2020) และยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ได้มากเท่าที่ควร สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุนาโนเซลลูโลสต่อไปได้ สำหรับต้นกล้วยและเปลือกข้าวโพดมีมูลค่าสูงกว่าเนื่องจากการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น การเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ทำให้ปริมาณของเหลือทิ้งน้อยกว่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563 และ Prapatigul et al., 2021) ส่วนเปลือกส้มพบว่าเยื่อที่ได้มีลักษณะที่แข็ง จับตัวกันเป็นก้อน อาจเกิดจากการย่อยด้วยด่างที่ไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นวัสดุนาโนเซลลูโลส



Figure 39 Characteristic of pulp from agricultural waste materials

ผลการสกัดนาโนเซลลูโลส พบว่า การใช้สารฟอกสีโดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์เข้มข้น 100% ใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 40% ได้ผงนาโนเซลลูโลสที่สีขาว เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์เข้มข้น 100% เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเส้นใยได้อย่างสมบูรณ์ (Heggset et al., 2017) แสดงดัง Figure 40 โดยสกัดนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนสกัดได้ 10%



Figure 40 Nanocellulose powder from durian husk

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของนาโนเซลลูโลส พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 42.36 ค่า a* 2.06 b* 8.96 และความชื้น 7.05% ขนาดของอนุภาคนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Mastersizer) พบว่า การใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 40% จะได้นาโนเซลลูโลส

ที่มีขนาดอนุภาค 0.05 nm การใช้ความเข้มข้นของกรดน้อยกว่า 30% กรดไม่สามารถย่อยเส้นใยได้สมบูรณ์ ส่วนการใช้กรดมากกว่า 40% เส้นใยจะไหม้ ยุ่ยเป็นสีดำ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากการใช้กรดในปริมาณที่น้อย การทำปฏิกิริยาของกรดกับเส้นใยเกิดได้ไม่สมบูรณ์ หรือมากจนเกินไปการทำปฏิกิริยาของกรดกับเส้นใย ส่งผลให้โครงสร้างเส้นใยถูกทำลายด้วยกรด (Liu et al., 2016) เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (TEM) กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเส้นใยมีขนาดเล็ก กระจุกตัวกันเป็นกลุ่ม (Figure 41) โดยสาเหตุที่เส้นใยมีขนาดเล็กเกิดจากการย่อยด้วยกรด การใช้สารฟอกสี และการใช้แรงเชิงกลในการลดขนาดเส้นใยให้เหมาะกับการผลิตเป็นนาโนเซลลูโลส

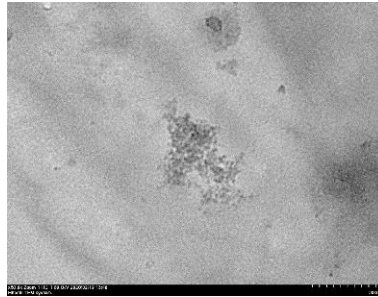


Figure 41 Transmission electron micrograph (TEM) of Nanocellulose from durian husk (X50)

เมื่อวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เพื่อหาความเป็นผลึกของสาร พบว่า ปริมาณความเป็นผลึกของนาโนเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณสูง สามารถหาได้จากค่าดัชนีความเป็นผลึก (CrI) มีความเป็นผลึกถึง 94.30% (Figure 42) ความเป็นผลึกที่สูงของนาโนเซลลูโลสจะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของฟิล์มชีวภาพให้ดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่เหมาะสมในการเติมด้วย

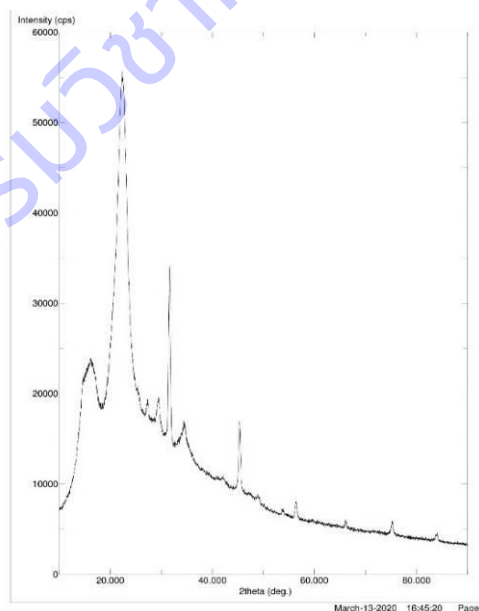


Figure 42 X-ray diffractogram (XRD) of Nanocellulose from durian husk

ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของนาโนเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) แสดงดัง Figure 43 พบว่า ความขรุขระของนาโนเซลลูโลสอยู่ในระดับนาโน มีค่า 6.278 nm เส้นใยมีการกระจุกตัวเป็น

กลุ่ม สอดคล้องกับการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (TEM) กำลังขยาย 50 เท่า ความขรุขระที่ต่ำส่งผลให้การนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งผสมสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพได้

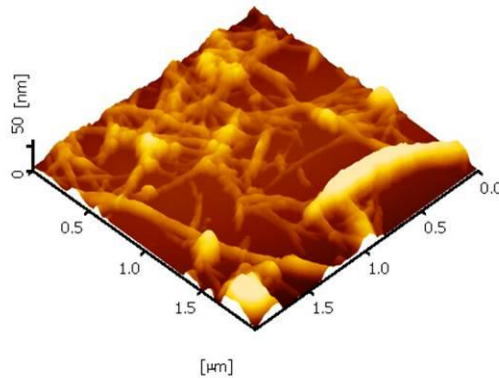


Figure 43 Micromorphology and roughness of Nanocellulose from durian husk measured by AFM

ต้นทุนการผลิตนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 141.93 บาท/ก ถูกกว่านาโนเซลลูโลสทางการค้า ที่มีราคา 1,050 บาท/ก โดยต้นทุนไม่รวมค่าวัตถุดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้ ค่าพลังงาน และบุคลากร

2. การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้นาโนเซลลูโลสและลิกนินเป็นสารเติมแต่ง

2.1 การเตรียมแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง

สตาร์ชมันสำปะหลังที่ได้มีสีขาว หลังจากอบและบดแล้วสตาร์ชที่ได้จะเป็นผงละเอียดสีขาว เมื่อนำไปวัดค่าสี พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังให้ค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 106.55 ปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 22% สอดคล้องกับ Rolland-Sabaté et al. (2012) ที่รายงานว่าแป้งสตาร์ชมันสำปะหลังมีอะไมโลสเท่ากับ 21.5%

2.2 การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากการทดลองขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพทั้ง 16 กรรมวิธี พบว่าได้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีลักษณะทางกายแตกต่างกันออกไปตามปริมาณสารเติมแต่งที่ที่แตกต่างกัน แสดงดัง Figure 44

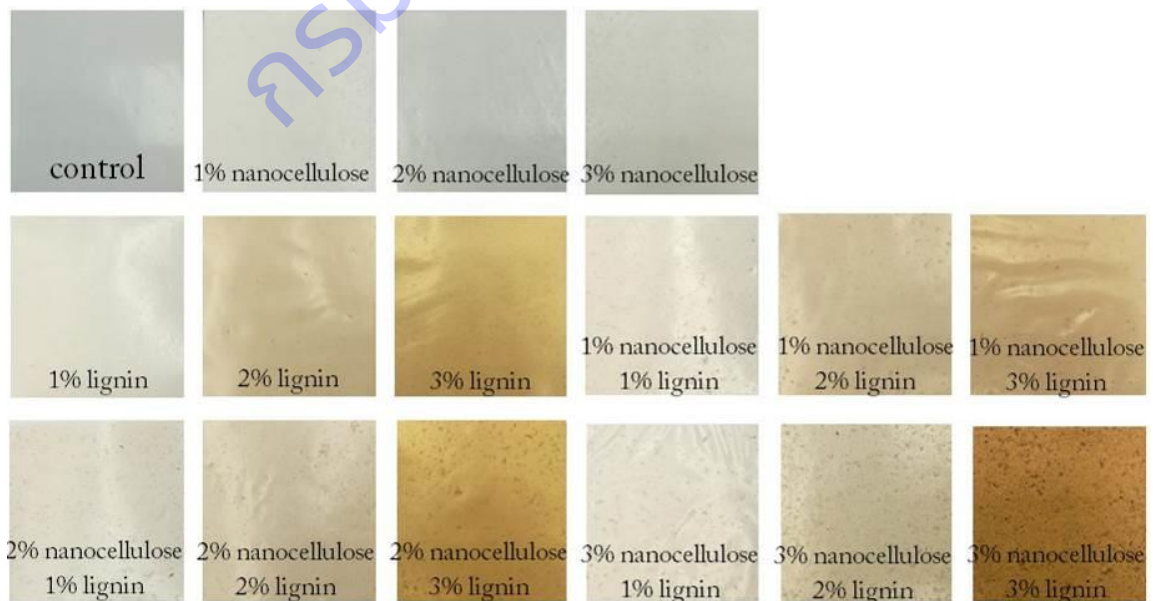


Figure 44 Photograph of different compositions of lignin, nanocellulose containing biofilms

สมบัติของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

1) สมบัติเชิงกล ได้แก่การต้านทานแรงดึงขาด และร้อยละการยืดตัว จากการทดลอง พบว่า การเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสในแผ่นฟิล์มชีวภาพมีค่าการต้านทานแรงดึงขาดน้อยกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม (C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงถึง 229.36 kgF/cm^2 เกิดจากการที่ลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ส่งผลให้การรวมเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์มสตาร์ชได้ไม่สมบูรณ์ (Acosta et al., 2015) ส่วนนาโนเซลลูโลสเกิดจากการกระจายตัวของนาโนเซลลูโลสไม่สม่ำเสมอบนแผ่นฟิล์มชีวภาพ ส่งผลให้บริเวณของฟิล์มที่มีการกระจุกตัวของนาโนเซลลูโลสขาดเป็นลำดับแรก เมื่อพิจารณาค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่ 93.71 kgF/cm^2 เนื่องจากปริมาณของนาโนเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นทำอันตรกิริยากับวัสดุหลัก (matrix) ลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง (Chen et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น มีค่าสูงสุด 151.51 kgF/cm^2 ที่ปริมาณลิกนิน 2% (L2) และลดลงเมื่อเติมลิกนิน 3% (L3) เพราะหมู่ฟังก์ชันในส่วนที่ชอบน้ำระหว่างสตาร์ชและลิกนินยึดติดได้ดีในระดับหนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินเกินจากนั้น อันตรกิริยาการยึดติดกันระหว่างสตาร์ชและลิกนินอ่อนแอลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง (Bhat et al., 2013) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด 131.98 kgF/cm^2 ที่ปริมาณนาโนเซลลูโลส 2%/ลิกนิน 3% (N2L3) การเติมปริมาณนาโนเซลลูโลสมีผลอย่างยิ่งในการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแข็งแรงของฟิล์ม โดยการเติมนาโนเซลลูโลส 1% แปรปริมาณลิกนิน 1 2 และ 3% ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณนาโนเซลลูโลส 2 และ 3% ความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการที่หมู่ฟังก์ชันในส่วนที่ชอบน้ำระหว่างนาโนเซลลูโลสและลิกนินยึดติดได้ดีในปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มขึ้นได้

ผลของค่าร้อยละการยืดตัว (%elongation) ของแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลแบบร่างแหที่เกิดขึ้นจำกัดการเคลื่อนไหวสายโซ่โมเลกุลสตาร์ชและนาโนเซลลูโลส (Chen et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของอนุภาคลิกนิน เกิดการรวมตัวกันในบางจุดของฟิล์ม (Bhat et al., 2013) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) โดยการเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสในแผ่นฟิล์มชีวภาพมีค่าร้อยละการยืดตัวสูงที่สุดถึง 25.16% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม เกิดจากการที่โครงสร้างของสตาร์ชถูกทำลายทำให้อนุภาคของลิกนินและนาโนเซลลูโลสเข้าไปแทรกโครงสร้างของสตาร์ชได้ ส่งผลให้การเหนี่ยวนำระหว่างพันธะไฮโดรเจนของสตาร์ชจำกัดลง เกิดการรวมตัวเป็นโครงสร้างใหม่ (reform) ในขณะที่เดียวกันสายโซ่โมเลกุลของสตาร์ช แบบอสัณฐาน (amorphous) ไม่สามารถหมุนหรือบิดตัวโครงสร้างได้เช่นเดียวกับพันธะไฮโดรเจนของสตาร์ช ทำให้เกิดการเชื่อมต่อของสายโซ่พอลิเมอร์และจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ในระบบ (ลิกนิน-นาโนเซลลูโลส-วัสดุหลัก) (Yang et al., 2020) ส่งผลให้แผ่นฟิล์มแข็ง (stiffness) ความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง (Espinosa et al., 2019) ดัง Figure 45

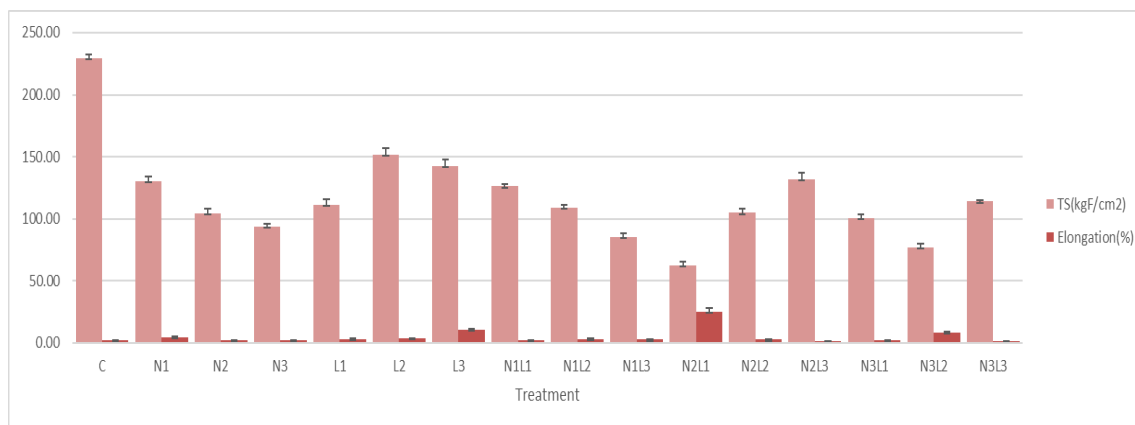


Figure 45 Tensile strength and elongation at break of biofilms

2) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนา พบว่า การเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (starch film) เนื่องจากการเติมสารลงในแผ่นฟิล์มทำให้ปริมาตรของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น (Nagar et al., 2019) โดยแผ่นฟิล์มเติมนาโนเซลลูโลส 3%/ลิกนิน 3%(N3L3) มีค่าสูงสุด คือ 0.228 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส และแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน แสดงดัง Table 45

Table 45 Physical properties of biofilms

Symbol	Treatment	Thickness (mm)	Moisture content (%)	Solubility (%)
C	control	0.110±0.000g	6.93±0.21e	14.383±0.875a
N1	1%nanocellulose	0.142±0.004f	6.93±0.24e	14.160±0.339a
N2	2%nanocellulose	0.159±0.001ef	9.18±0.48d	13.673±0.540a
N3	3%nanocellulose	0.169±0.009def	13.01±1.00a	12.180±0.859ab
L1	1%lignin	0.144±0.005f	7.48±0.32e	8.327±0.887c
L2	2%lignin	0.161±0.001ef	7.49±0.02e	3.806±2.482d
L3	3%lignin	0.185±0.005bcde	7.97±0.18e	4.887±0.657d
N1L1	1%nanocellulose+1%lignin	0.180±0.003cde	7.03±0.55e	10.463±0.392bc
N1L2	1%nanocellulose+2%lignin	0.189±0.004bcd	10.25±0.42bcd	10.303±0.686bc
N1L3	1%nanocellulose+3%lignin	0.210±0.007ab	10.82±0.12bc	10.690±0.644bc
N2L1	2%nanocellulose+1%lignin	0.229±0.017a	11.29±0.25b	9.883±1.962bc
N2L2	2%nanocellulose+2%lignin	0.217±0.012a	10.14±0.17bcd	9.577±0.559bc
N2L3	2%nanocellulose+3%lignin	0.203±0.009abc	10.08±0.26cd	10.883±0.473bc
N3L1	3%nanocellulose+1%lignin	0.207±0.003abc	11.05±0.32bc	8.777±1.059c
N3L2	3%nanocellulose+2%lignin	0.226±0.006a	10.82±0.29bc	10.999±0.977bc
N3L3	3%nanocellulose+3%lignin	0.228±0.028a	10.75±0.48bc	10.227±0.819bc

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

การศึกษาความชื้นของแผ่นฟิล์มช่วยให้เข้าใจถึงอันตรกิริยาขององค์ประกอบหรือส่วนผสมในการผลิตฟิล์มและผลของน้ำที่มีต่อฟิล์ม (Nagar et al., 2019) จากการทดลอง พบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุมและเติมลิกนิน โดยแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส 3%(N3) มีความชื้น 13.01% แตกต่างกับแผ่นฟิล์มชีวภาพทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ โดยนาโนเซลลูโลสจัดอยู่ในสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Tan et al., 2018) การเติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับน้ำส่งผลต่อการเกิดพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น จำกัดการระเหยของน้ำออกจากเม็ดแป้ง เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์จะเข้าไปห่อหุ้มเม็ดแป้งแทน โดยทั่วไปไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติชอบน้ำตามธรรมชาติ ส่งผลต่อการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น (Nagar et al., 2019) ดัง Table 45

ผลของค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างนาโนเซลลูโลสและนาโนเซลลูโลสได้ดี รวมถึงนาโนเซลลูโลสมีรูปแบบโครงสร้างแบบร่างแห สามารถขัดขวางการแพร่ผ่านของน้ำเข้าสู่วัสดุหลักได้ (Pelissari et al., 2017) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) มีค่าลดลง โดยการเติมปริมาณลิกนิน2%(L2) และลิกนิน3%(L3) ไม่แตกต่าง โดยลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำ จึงทำให้บางส่วนไม่ละลายน้ำ รวมถึงความเข้ากันได้ของสารประกอบพีนอลิกของลิกนินกับส่วนประกอบอะมิโลสของแป้ง และการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลแป้งกับสารประกอบพีนอลิก (Bhat et al., 2013) และฟิล์มชีวภาพผสมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ไม่แตกต่างกันทุกกรรมวิธี แสดงว่าการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินไม่ทำให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าการละลายน้ำทุกกรรมวิธี พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) ที่เติมลิกนิน2%(L2) และ 3%(L3) มีความสามารถในการต้านทานการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน2%(L2) มีค่าต่ำสุด คือ 3.80% แสดงดัง Table 45

ผลของค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (Total Color Difference (ΔE)) พบว่า ฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อพื้นผิวการดูดซับแสงของฟิล์มชีวภาพ (Nagar et al., 2019) ส่วนฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนินมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสและชุดควบคุม(C) โดยฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส 3%/ลิกนิน 3%(N3L3) มีค่า ΔE สูงสุด เนื่องจากลิกนินอยู่ในรูปผงสีน้ำตาลเข้มเมื่อเติมลงในฟิล์มชีวภาพแล้วยังคงเป็นสีน้ำตาล ดังนั้น การเพิ่มปริมาณลิกนินในฟิล์มชีวภาพส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้นด้วย (Shankar et al., 2015) จากการเก็บรักษาแผ่นฟิล์มชีวภาพทุกกรรมวิธีเพื่อศึกษาค่า ΔE ระยะเวลา 6 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE เพียงเล็กน้อย แสดงดัง Figure 46

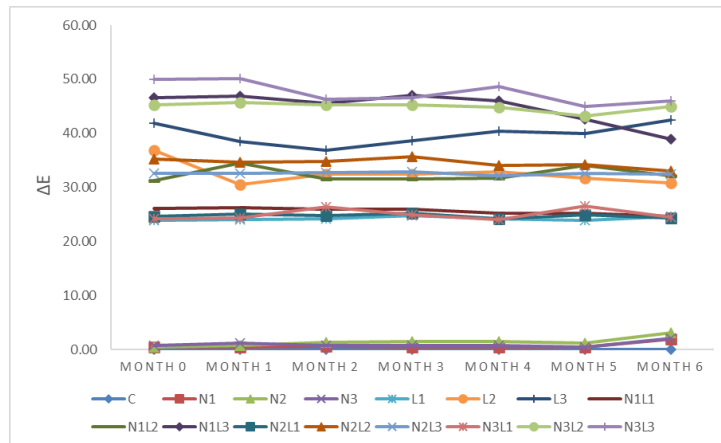


Figure 46 Total Color Difference (ΔE) of biofilms

3) ผลของความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) พบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) มีค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมตัวหรือการกระจุกตัวของนาโนเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น (Yuan et al., 2020) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) มีค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากการเติมลิกนินมากเกินไปส่งผลต่อการรวมตัวระหว่างฟิล์มและลิกนินทำให้ไม่สม่ำเสมอเกิดการแยกเฟสขึ้นได้ ความขรุขระของฟิล์มจึงเพิ่มสูงขึ้น (Zhang et al., 2020) และฟิล์มชีวภาพผสมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ความขรุขระของพื้นผิวแผ่นฟิล์มน้อยกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม (C) และจากการทดลองพบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส(N3) มีค่าความขรุขระของพื้นผิวแผ่นฟิล์มสูงสุด $0.49 \mu\text{m}$ มากกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) $0.42 \mu\text{m}$ ซึ่งการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มสมบัติของแผ่นฟิล์มชีวภาพ และยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากความขรุขระของพื้นผิววัสดุมีผลต่อความเข้ากันได้สารที่เติมลงไปในตัววัสดุหลัก จาก Figure 47 แสดงให้เห็นว่าการเติมนาโนเซลลูโลส(N) ลิกนิน(L) และนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ในแผ่นฟิล์มชีวภาพมีความเข้ากันได้ดีกับวัสดุหลัก(ฟิล์มสตาร์ช) การกระจายตัวของนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินสม่ำเสมอไม่เรียบหรือขรุขระด้านใดด้านหนึ่ง

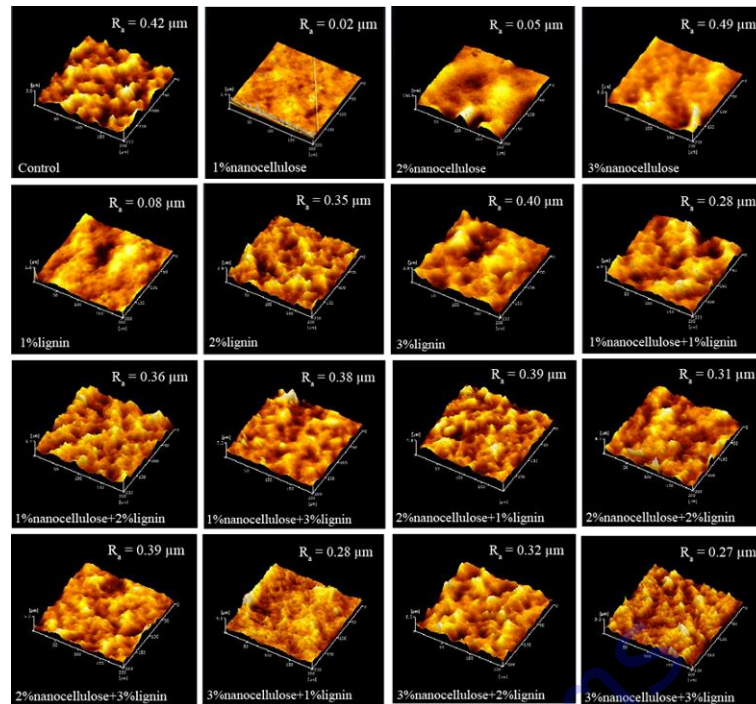


Figure 47 Micromorphology and roughness of biofilms measured by AFM

4) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน: ผลของอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการดูดซับโมเลกุลของก๊าซบนพื้นผิวของฟิล์ม การแพร่ผ่านโมเลกุลของก๊าซภายในฟิล์ม และการสลายตัวโมเลกุลของก๊าซภายในฟิล์มผ่านอีกด้านของฟิล์มได้ดีขึ้น (Espinosa et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของลิกนินช่วยลดรูพรุนของแผ่นฟิล์ม ก๊าซออกซิเจนจึงผ่านได้น้อยลง (Espinosa et al., 2019) และฟิล์มชีวภาพผสมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทุกกรรมวิธี และจากการทดลองพบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L3) มีค่า $109.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) $109.5 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ โดยฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส2% และลิกนิน1%(N2L1) มีค่าสูงสุดถึง $195 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) ดังนั้น เลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L3) ที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุด เป็นปัจจัยหนึ่งที่พัฒนาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง แสดงดัง Figure 48

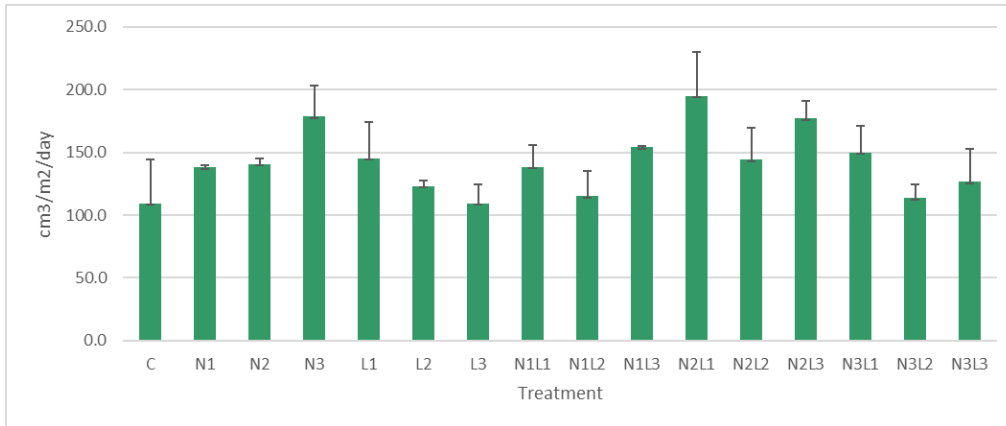


Figure 48 Oxygen transmission rate (OTR) of biofilms

5) การต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้: ผลของค่าการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ของแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยแบ่งช่วงความยาวคลื่นเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 300 400 และ 700 nm พบว่าการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ได้ดีกว่าการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากลิกนินมีสมบัติในการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ โดยนาโนเซลลูโลสอาจเป็นตัวช่วยเพิ่มสมบัติการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ดียิ่งขึ้น เพราะนาโนเซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง สามารถเกิดการหักเหและสะท้อนของแสงได้ดี สอดคล้องกับ Castillo et al. (2013) ที่กล่าวว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งส่งผลให้เพิ่มความสามารถของการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรบกวน สามารถเพิ่มสมบัติต้านทานรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ รวมถึงส่งผลให้ค่าสีของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในการทดลองเลือกความยาวคลื่นที่ 400 nm ในการศึกษาสมบัติการต้านทานรังสียูวี เนื่องจากเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทฟิล์มพลาสติก เน้นการศึกษาด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีผลจากรังสียูวีเอ (UVA) ซึ่งเป็นรังสีที่ส่องผ่านบนพื้นผิวโลกถึง 95% แสดงดัง Figure 49

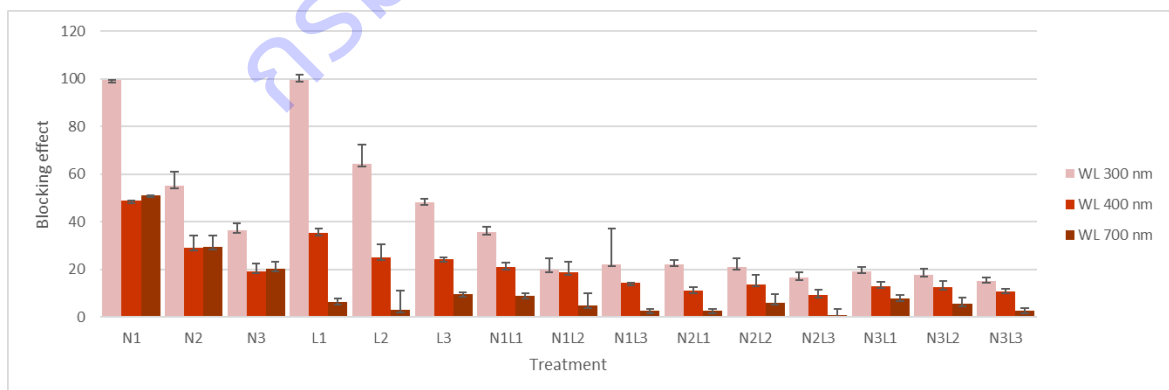


Figure 49 Blocking effect of biofilms (absorption spectra at 300, 400 and 700 nm)

2.3 ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 5.00 บาท โดยมีรายละเอียด ดังนี้ สตาเร็กซ์มันสำปะหลัง 9 g ราคา 0.22 บาท กลีเซอรอล 2.7 g ราคา 0.59 บาท ลิกนิน 0.27 g ราคา 4.19 บาท ดังนั้นต้นทุนขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร มีต้นทุน 1.11 บาท

3. ศึกษาศักยภาพประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

คัดเลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด 1 สูตร คือ แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน 3% (L3) นำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบถุงขนาด 10X10 cm² บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์ปริมาณ 5 g (Figure 50) ปิดผนึกถุงด้วยความร้อน เก็บรักษาเม็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 และปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (39.99 และ 48.24 ml) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 (Table 46) เนื่องจากอนุภาคของลิกนินช่วยลดทรูพอรอนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ก๊าซออกซิเจนจึงผ่านได้น้อย (Espinosa et al., 2019) และเมื่อเก็บรักษาไว้ในระยะเวลาที่นานฟิล์มชีวภาพจะปรับสมดุลของแผ่นฟิล์มให้มีความชื้นใกล้เคียงหรือเทียบเท่าสิ่งแวดล้อมภายนอกส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าไปในชั้นของฟิล์มชีวภาพได้มากขึ้น



Figure 50 Photograph of cashew nut packed in the bioplastic (L3 bag)

Table 46 Peroxide value (PV) and oxygen exchange of cashew nut packed in the bioplastic (L3 bag) compared commercial plastic

Months	Peroxide value (meq/kg) of cashew nut		The volume of oxygen gas (ml)	
	Commercial plastic	bioplastic (L3)	Commercial plastic	bioplastic (L3)
1	1.44	1.31	43.97	39.99
2	1.70	1.58	51.67	48.24
3	1.78	2.15	54.17	65.49

สำหรับฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส(N) เหมาะสำหรับเป็นชั้นเคลือบกล่องกระดาษด้านในเพื่อบรรจุมะเขือเทศเชอร์รี่สดสามารถเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่สดได้มากกว่า 10 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุกล่องกระดาษที่ไม่เคลือบ ส่วนฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) เหมาะสำหรับเป็นชั้นเคลือบกระดาษสำหรับเพิ่มสมบัติให้กระดาษ ซึ่งสามารถกั้นน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดีขึ้น (Rojo et al., 2015)

การทดลองที่ 2.3 การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

1. ผลการเตรียมสีอินดิเคเตอร์

1.1 ผลการเตรียมสีอินดิเคเตอร์จากผลิตผลเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน แสดงลักษณะปรากฏดัง Figure 51-53 และมีคุณสมบัติดัง Table 47 ดังนี้ สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันที่สกัดด้วยน้ำจะมีสีโทนน้ำเงิน มีค่า pH 4.93 ค่าสี L* 26.22 a* 5.69 และ b* -7.10 และเมื่อสกัดด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M จะมีสีโทนม่วงเข้ม มีค่า pH 2.50 ค่าสี L* 25.54 a* 6.50 และ b* -5.83 (Figure 51) สอดคล้องกับ Scordino et al. (2004) คือ เมื่อ pH อยู่ในช่วง 4-6 จะมีสีในช่วง ไม่มีสี-สีม่วง และช่วง pH 1-6 จะมีสีในช่วง แดง-ม่วง จึงทำให้ค่าสีที่ได้ออกโทนน้ำเงินเนื่องจากมีโครงสร้างของสารหลายชนิดอยู่รวมกัน คือ Flavylium cation (สีแดง) Neutral quinoidal base (สีม่วง) และ Carbinol pseudobase (ไม่มีสี)

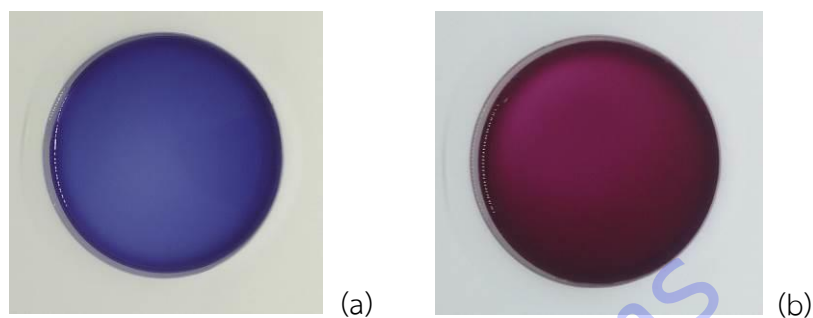


Figure 51 Appearance of indicator color from butterfly pea flower; water extraction (a) and acetic acid 0.15 M extraction (b)

Table 47 Properties of indicator Color from various extracted

Products	Extraction	Indicator Color Properties					Anthocyanin content (mg cyanidin-3- glucoside/100 g dry weight basis)
		pH	°Brix	Color			
				L*	a*	b*	
Butterfly pea flower	Water extraction	4.93	9	26.22	5.69	-7.10	261.91
	acetic acid 0.15 M extraction	2.50	9	25.54	6.50	-5.83	273.05
red cabbage	hydraulic press machine	6.14	11	25.95	7.13	-7.49	164.09
	acidified ethanol extraction	2.30	8	26.74	9.35	-5.41	431.34
mulberry	hydraulic press machine	3.50	7	25.32	6.51	-7.64	96.13
	acidified ethanol extraction	2.83	15	25.54	6.34	-7.60	914.21

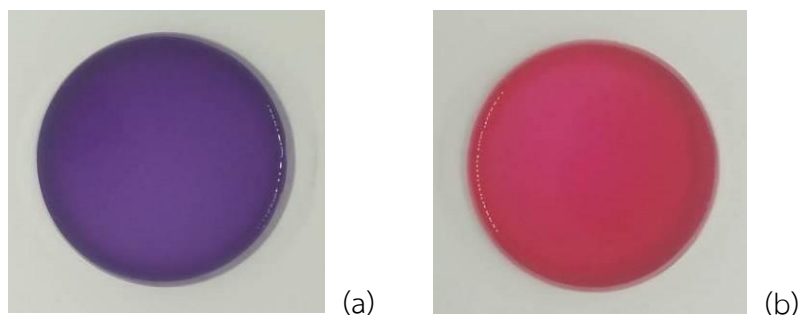


Figure 52 Appearance of indicator color from red cabbage; hydraulic press machine (a) and acidified ethanol extraction (b)

สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นกะหล่ำปลีม่วงจะมีสีโทนม่วงอ่อน มีค่า pH 6.14 ค่าสี L* 25.95 a* 7.13 และ b* -7.49 และมีสีโทนชมพูอ่อนเมื่อสกัดด้วย acidified ethanol มีค่า pH 2.30 ค่าสี L* 26.74 a* 9.35 และ b* -5.10 (Figure 52) เป็นไปตาม Figure 28 คือ เมื่อ pH อยู่ในช่วง 1-6 แอนโทไซยานินจะมีโครงสร้างอยู่ในรูปของ Flavylium cation (สีแดง) และ Neutral quinoidal base (สีม่วง) ($1 < \text{pH} < 6$) ขึ้นอยู่กับค่า pH

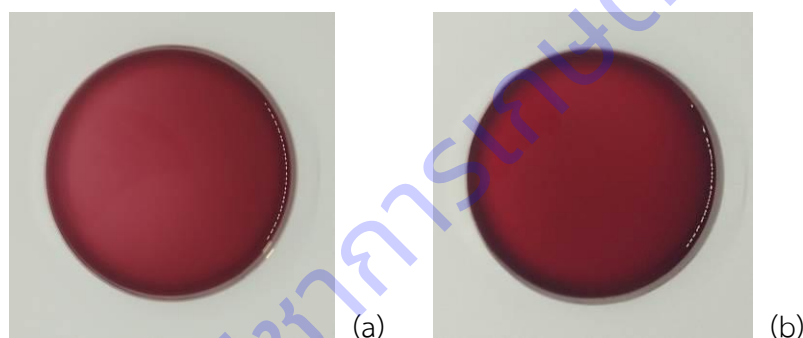


Figure 53 Appearance of indicator color from mulberry; hydraulic press machine (a) and acidified ethanol extraction (b)

สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหม่อน มีค่า pH 3.50 ค่าสี L* 25.32 a* 6.51 และ b* -7.64 และผลหม่อนสกัดด้วย acidified ethanol มีค่า pH 2.83 ค่าสี L* 25.54 a* 6.34 และ b* -7.60 ซึ่งสีใกล้เคียงกัน โดยมีสีโทนแดงเข้มดัง Figure 53 เนื่องจากสีอินดิเคเตอร์มีค่า pH เป็นกรดและมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สีใกล้เคียงกัน เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินอยู่ในรูปของ Flavylium cation ($1 < \text{pH} < 4$) (สีแดง) และ Carbinol pseudobase (ไม่มีสี)

แสดงให้เห็นว่าสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันและกะหล่ำปลีม่วงมีลักษณะปรากฏของสีแตกต่างกันเมื่อเตรียมด้วยสภาวะที่ต่างกัน หรือมีค่าสีที่แตกต่างกันเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายแตกต่างกัน ส่วนสีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหม่อนและผลหม่อนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีลักษณะปรากฏของสีใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารละลายมีค่า pH เป็นกรดเช่นเดียวกัน

1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ พบว่าสารสกัดจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน ให้ค่าสีและลักษณะปรากฏของสีแตกต่างกัน โดยสีที่ได้จากการสกัดในสภาวะกรดจะให้สีที่เข้มกว่าการสกัดด้วยน้ำและน้ำคั้น (Figure 51-53) สอดคล้องกับค่าปริมาณรงควัตถุที่วิเคราะห์ได้จาก Table 47 คือ เมื่อปริมาณรงควัตถุสูงจะทำให้สีที่เข้มกว่า โดยรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง

และผลหม่อน เป็นรงควัตถุชนิดเดียวกัน คือ แอนโทไซยานิน ดังนั้นจึงวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยวิธี pH-differential พบว่า สีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากการสกัดผลหม่อนด้วย acidified ethanol มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด เท่ากับ 914.21 mg cyanidin-3-glucoside/100 g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ สีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากการสกัดกะหล่ำปลีม่วงด้วย acidified ethanol เท่ากับ 431.34 mg cyanidin-3-glucoside/100 g น้ำหนักแห้ง และสีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M เท่ากับ 273.05 mg cyanidin-3-glucoside/100 g น้ำหนักแห้ง

1.3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีอินดิเคเตอร์เมื่อ pH เปลี่ยน ทดสอบโดยหยดสีอินดิเคเตอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 2 4 7 9 10 และ 12 พบว่า สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยกรด มีการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกันในสารละลายบัฟเฟอร์ pH เท่ากัน โดยเมื่อมองด้วยตาเปล่าสีปรากฏของสีอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วง แดง-ม่วง-ฟ้า-เขียวฟ้า-เขียวเหลือง-เขียวเหลือง ดัง Figure 54

สีจากกะหล่ำปลีม่วงที่สกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าน้ำคั้น โดยสีจากน้ำคั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง แดง-แดงอ่อน-ฟ้าอ่อน-เหลืองอ่อน-เขียว-เหลือง และสีจากการสกัดด้วยกรดมีสีในช่วง แดง-แดงอ่อน-น้ำเงิน-ม่วง-ฟ้า-เขียว สีอินดิเคเตอร์จากผลหม่อนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าสีจากน้ำคั้น โดยสีจากน้ำคั้นอยู่ในช่วง แดง-แดงเข้ม-ไม่มีสี-แดงอ่อน-ฟ้าอ่อน-เขียวอ่อน ส่วนสีที่สกัดด้วยกรดอยู่ในช่วง แดง-แดงอ่อน-ม่วงแดง-ส้ม-ม่วง-ม่วงน้ำเงิน

โดยสีอินดิเคเตอร์ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีสถานะเป็นกรดให้การเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนกว่าสีที่ได้จากน้ำคั้นและการสกัดด้วยน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์ได้

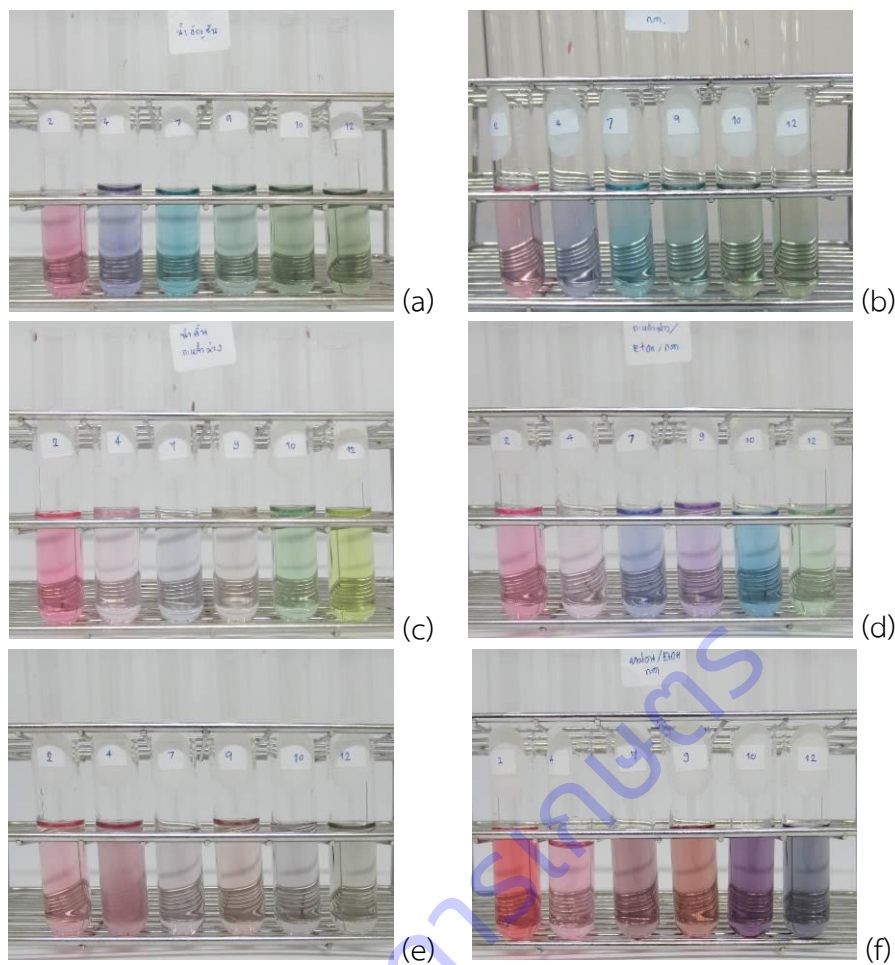


Figure 54 Color change when pH changed of indicator colors from butterfly pea flower extracted with water. (a) Butterfly pea flower extracted with 0.15M citric acid solution. (b) Red cabbage extracted by hydraulic press machine. (c) Red cabbage extracted with acidified ethanol. (d) Mulberry extracted by hydraulic press machine (e) and mulberry extracted with acidified ethanol (f), in order of pH 2, 4, 7, 9, 10 and 12 from left to right.

1.4 ผลการทดสอบความคงตัวของสีอินดิเคเตอร์ เป็นการทดสอบเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบและวิธีการสกัดที่ให้สีอินดิเคเตอร์ที่มีความคงตัวดีที่สุด มีลักษณะปรากฏของสีเมื่อมองด้วยตาเปล่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และที่ 4 °C พบว่าเมื่อเก็บรักษาไป 1 วัน สีอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH สูง และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ต่ำ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 °C และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าสีอินดิเคเตอร์ทุกชนิดมีสีเหมือนวันที่ 1 ของการเก็บรักษาแต่มีสีอ่อนลง ดัง Table 48 และ 49

การเก็บรักษาสีอินดิเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและกรดอะซิติกมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 12 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 และ 12 เมื่อเก็บรักษา 6 วัน สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นกะหล่ำปลีม่วงมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 10 และ 12 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol ทั้งในวันที่ 1 และ 6 ของการเก็บรักษา สีอินดิเคเตอร์จากผลหม่อนทั้งน้ำคั้นและสกัดด้วย acidified ethanol มีการ

เปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา (Table ที่ 48)

การเก็บรักษาสีอินดิเคเตอร์ที่ 4 °C สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันที่สกัดด้วยน้ำและกรดอะซิติก มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 12 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 และ 6 วัน สีอินดิเคเตอร์จากกะหล่ำปลีม่วงที่ได้จากน้ำคั้นมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 และ 12 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหม่อนมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 10 และ 12 ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาไปเป็นเวลา 6 วัน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ส่วนผลหม่อนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา (Table ที่ 49)

แสดงให้เห็นว่าสีอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติก เข้มข้น 0.15 M ให้ความคงตัวของสีที่ดีที่สุด และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C จะช่วยให้สีมีความคงตัวมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงคัดเลือกสีอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดไปเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ในขั้นตอนต่อไป








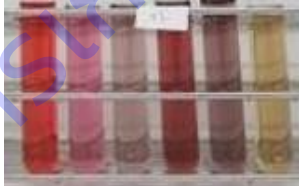

Table 48 Color change of indicator colors at pH 2-12 after storage 6 days at room temperature.

agricultural produce	Extraction	D0						D1						D6					
		pH	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10
Butterfly pea flower	water extraction																		
	acetic acid 0.15 M extraction																		
red cabbage	hydraulic press machine																		
	acidified																		

agricultural produce	Extraction	D0						D1						D6					
		pH	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10
	ethanol extraction																		
mulberry	hydraulic press machine																		
	acidified ethanol extraction																		

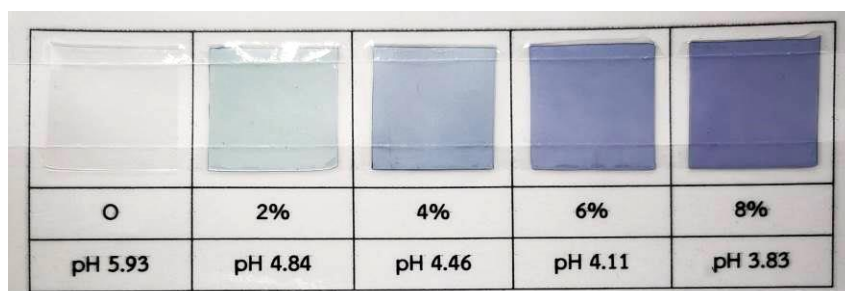
Table 49 Color change of indicator colors at pH 2-12 after storage 6 days at 4 °C.

agricultural produce	Extraction	D0						D1						D6					
		pH	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10
Butterfly pea flower	water extraction																		
	acetic acid 0.15 M extraction																		
red cabbage	hydraulic press																		

agricultural produce	Extraction machine	D0						D1						D6					
		pH	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10	12	2	4	7	9	10
mulberry	acidified ethanol extraction																		
	hydraulic press machine																		
	acidified ethanol extraction																		

2. ผลการเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง และคุณสมบัติของฟิล์ม

เตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยเตรียมฟิล์มผสมระหว่าง PVA และไคโตซาน เดิมกลีเซอรอล 30% โดยน้ำหนักของ PVA เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และเติมสีอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ปริมาณ 0 2 4 6 และ 8% โดยสารละลายฟิล์มที่ไม่ปรับ pH จะมีค่า pH ของสารละลายฟิล์มก่อนขึ้นรูป เท่ากับ 5.93 4.84 4.46 4.11 และ 3.83 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มที่ปรับ pH ให้เท่ากับ 6 ด้วยสารละลาย NaOH 1M มีค่า pH เท่ากับ 5.93 (ไม่ปรับ) 6.02 6.00 6.00 และ 6.07 ตามลำดับ จากขึ้นรูปบนแผ่นเพลทอะคริลิก พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส โปร่งแสง มีสีน้ำเงินถึงม่วง ยืดหยุ่นได้ดี มีสีแตกต่างกันตามปริมาณสีอินดิเคเตอร์ โดยสีเข้มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น ดัง Figure 55



(a)

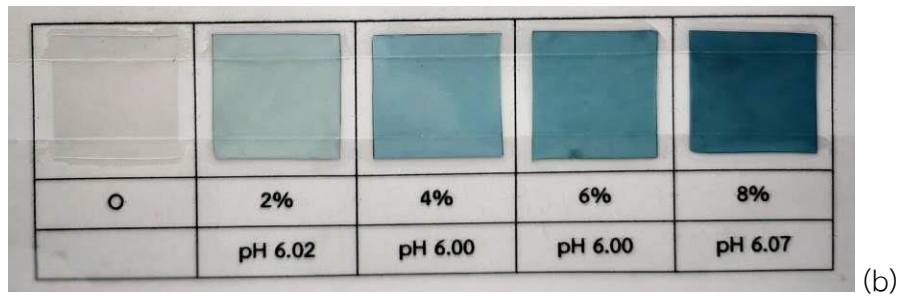


Figure 55 Appearance of pH Indicator films with indicator color 0, 2, 4, 6 and 8% were added, in order from left to right, where pH of the film-forming solution is not adjusted (a) and adjust to 6 with 1 M. NaOH (b)

ผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายฟิล์มไม่ปรับ pH มีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.14-0.15 mm. มีความชื้นลดลงเมื่อเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์มีความชื้นสูงสุดเท่ากับ 10.94% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ที่ปริมาณต่างๆ ให้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 7.71-9.12 การละลายน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 23.55-26.89% โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ละลายน้ำได้น้อยที่สุด และฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% ละลายน้ำได้มากที่สุด ส่วนค่าสีมีค่าความสว่างลดลงจาก 87.13 ในฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ เป็น 69.35 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มมากขึ้น ดัง Table 50 ซึ่งสอดคล้องลักษณะปรากฏใน Figure 55(a)

Table 50 pH Indicator film properties where pH of the film-forming solution is not adjusted

Indicator content (%)	Properties						
	Thickness (mm)	Moisture Content (%)	a_w	Water Solubility (%)	Color		
					L*	a*	b*
0	0.14	10.94b	0.297b	23.55c	87.13	-0.27	-5.00
2	0.14	7.82a	0.313a	23.22c	81.05	-6.67	-5.05
4	0.15	7.71a	0.313a	24.49b	75.95	-3.80	-12.55
6	0.15	8.32a	0.313a	24.94b	71.35	-2.35	-15.80
8	0.14	9.12a	0.316a	26.89a	69.35	-0.55	-16.25

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

ส่วนฟิล์มปรับ pH มีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.14-0.17 mm. มีความชื้นลดลงเมื่อเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์มีความชื้นสูงสุด เท่ากับ 11.09% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ที่ปริมาณต่างๆ ให้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 7.88-8.51 การละลายน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 26.36-30.55% โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ละลายน้ำได้น้อยที่สุด และฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% ละลายน้ำได้มากที่สุด ส่วนค่าสีมีค่าความสว่างลดลงจาก 86.90 ในฟิล์มไม่เติมอินดิเคเตอร์ เป็น 65.15 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินและค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มมากขึ้น ดัง Table 51 สอดคล้อง

ลักษณะปรากฏใน Figure 55(b) ซึ่งทั้งฟิล์มไม่ปรับ pH และปรับ pH มีคุณสมบัติเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการปรับ pH ของสารละลายฟิล์มก่อนขึ้นรูปเป็นแผ่น ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

Table 51 pH Indicator film properties where pH of the film-forming solution is adjusted to 6 with 1 M. NaOH

Indicator content (%)	Properties						
	Thickness (mm)	Moisture Content (%)	a_w	Water Solubility (%)	Color		
					L*	a*	b*
0	0.17	11.29b	0.314a	22.36e	86.90	-0.28	-4.90
2	0.14	8.11a	0.313ab	25.11d	80.43	-6.53	-6.07
4	0.14	7.88a	0.311b	27.51c	74.27	-11.10	-9.10
6	0.14	8.47a	0.307b	28.64b	71.27	-12.70	-9.80
8	0.14	8.51a	0.304d	30.55a	65.15	-15.53	-11.57

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

จากนั้นนำฟิล์มไปศึกษาอายุการเก็บรักษา เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มโดยเปรียบเทียบการเก็บฟิล์มในถุงซิปลและถุงฟอล์ย และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 °C เป็นเวลา 90 วัน พบว่าเมื่อเก็บฟิล์มนานขึ้น ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า ดัง Table 52-55 โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทั้งฟิล์มไม่ปรับ pH และปรับ pH มีการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนและมากกว่าการเก็บรักษาที่ 4 °C ทั้งในถุงซิปลและถุงฟอล์ย

Table 52 Appearance of pH unadjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at room temperature.

Storage time (Day)	Storage in zip bags					Storage in foil bags				
	(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)					(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
pH	5.93	4.84	4.46	4.11	3.83	5.93	4.84	4.46	4.11	3.83
D0										
$\Delta E/H$	0/4.73PB	0/3.50B	0/1.97PB	0/3.50PB	0/5.00PB	0/4.7PB	0/3.83B	0/1.80PB	0/3.50PB	0/4.80PB
D2										
$\Delta E/H$	0.54/4.83PB	0.71/3.33B	2.16/2.10PB	1.63/3.33PB	0.54/4.90PB	0.31/4.50PB	1.17/3.83B	0.30/1.80PB	2.79/4.20PB	0.94/4.73PB
D4										
$\Delta E/H$	0.51/4.77PB	1.26/3.73B	2.36/2.10PB	2.64/3.33PB	1.85/4.80PB	0.55/4.40PB	1.59/4.17B	1.33/1.70PB	2.89/4.10PB	1.22/4.73PB
D8										
$\Delta E/H$	0.59/4.47PB	1.45/3.10B	2.78/1.50PB	2.70/3.30PB	2.20/4.63PB	0.59/4.57PB	1.64/4.83B	1.71/1.60PB	3.03/3.13PB	1.60/4.60PB
D18										
$\Delta E/H$	0.67/4.23PB	1.64/3.03B	3.28/1.40PB	4.00/3.00PB	4.63/4.50PB	0.66/4.30PB	1.72/3.60B	3.00/1.60PB	4.42/2.87PB	3.89/4.20PB
D22										
$\Delta E/H$	1.30/4.53PB	1.77/2.93B	4.08/1.60PB	4.26/3.10PB	4.72/4.57PB	1.05/4.50PB	1.76/3.60B	3.46/1.57PB	4.72/3.00PB	4.10/4.20PB
D26										
$\Delta E/H$	1.75/4.50PB	2.62/2.03B	4.18/1.50PB	4.60/3.00PB	5.13/4.50PB	1.04/4.53PB	2.02/3.03B	3.70/1.50PB	5.57/2.90PB	4.60/4.20PB
D30										
$\Delta E/H$	1.75/4.50PB	2.70/0.97B	4.29/1.50PB	5.42/3.10PB	5.87/4.10PB	1.27/4.43PB	2.20/2.33B	4.26/1.50PB	5.42/3.00PB	5.02/4.20PB
D60										
$\Delta E/H$	1.83/4.50PB	4.72/6.77BG	6.00/1.30PB	7.30/2.90PB	7.94/4.43PB	1.20/4.47PB	3.91/7.43BG	5.70/1.47PB	7.96/2.93PB	8.00/4.20PB
D90										
$\Delta E/H$	1.81/4.53PB	5.00/6.63BG	6.89/1.20PB	8.76/2.47PB	10.20/3.70PB	1.30/4.50B	4.66/7.20BG	6.28/1.20PB	9.56/2.20PB	9.91/3.77PB

Table 53 Appearance of pH unadjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at 4 °C.

Storage time (Day)	Storage in zip bags					Storage in foil bags				
	(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)					(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
pH	5.93	4.84	4.46	4.11	3.83	5.93	4.84	4.46	4.11	3.83
D0										
$\Delta E/H$	0/4.37PB	0/3.50B	0/1.80PB	0/3.53PB	0/4.90PB	0/4.40PB	0/3.40B	0/2.00PB	0/3.50PB	0/4.90PB
D2										
$\Delta E/H$	0.44/4.37PB	0.22/3.40B	0.40/1.80PB	0.23/3.40PB	0.38/4.80PB	0.61/6.80PB	0.28/0.53B	0.38/2.63PB	0.60/4.30PB	0.17/4.80PB
D4										
$\Delta E/H$	0.50/4.37PB	0.39/3.30B	0.40/1.70PB	0.36/3.40PB	0.64/4.80PB	0.61/4.40PB	0.43/1.93B	0.47/2.50PB	0.94/4.33PB	0.53/4.80PB
D8										
$\Delta E/H$	0.65/4.20PB	0.57/3.27B	0.48/1.67PB	0.40/3.40PB	0.80/4.80PB	0.67/4.30PB	0.45/3.23B	0.41/1.87PB	0.98/3.30PB	1.32/4.77PB
D18										
$\Delta E/H$	0.69/4.00PB	0.81/3.20B	0.78/1.63PB	0.71/3.40PB	1.02/4.80PB	0.81/3.97PB	0.66/2.77B	0.77/1.80B	1.09/3.30PB	1.32/4.73PB
D22										
$\Delta E/H$	1.30/4.00PB	0.96/3.20B	0.86/1.63PB	1.04/3.40PB	1.19/4.80PB	1.00/4.23PB	0.92/3.20B	1.14/1.93PB	1.95/3.30PB	1.44/4.50PB
D26										
$\Delta E/H$	1.47/4.27PB	0.97/3.10B	1.02/1.63PB	1.08/3.40PB	1.26/4.80PB	1.00/4.40PB	1.16/3.60B	1.41/1.83PB	2.14/3.30PB	1.84/5.00PB
D30										
$\Delta E/H$	1.57/4.37PB	1.80/3.07B	1.08/1.70PB	1.30/3.40PB	1.34/4.90PB	1.14/4.27PB	1.64/3.07B	1.44/1.90PB	2.22/3.40PB	2.26/5.10PB
D60										
$\Delta E/H$	1.61/4.37PB	1.96/1.93B	1.40/1.70PB	1.73/3.30PB	2.95/4.93B	2.14/4.17PB	2.53/2.03B	1.75/1.80PB	2.31/3.30PB	4.23/4.90PB
D90										
$\Delta E/H$	1.70/4.27PB	2.98/0.33B	2.72/1.70PB	1.84/3.30PB	3.53/4.40PB	2.13/4.30PB	3.41/1.30B	2.08/1.90PB	3.68/3.30PB	5.27/4.50PB

Table 54 Appearance of pH adjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at room temperature.

Storage time (Day)	Storage in zip bags					Storage in foil bags				
	(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)					(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
pH	5.93	6.02	6.00	6.00	6.07	5.93	6.02	6.00	6.00	6.07
D0										
$\Delta E/H$	0/4.67PB	0/4.77B	0/4.00B	0/3.80B	0/3.40B	0/4.6PB	0/5.47B	0/4.10B	0/3.60B	0/3.20B
D2										
$\Delta E/H$	1.12/4.50PB	3.04/3.77B	2.65/2.77B	3.04/2.03B	2.64/2.50B	0.41/4.50PB	0.93/4.47B	2.04/2.40B	2.01/9.20B	3.02/1.47B
D4										
$\Delta E/H$	1.95/6.10PB	3.37/3.10B	3.09/2.33B	5.44/1.23B	5.77/1.10B	0.48/4.30PB	1.09/5.17B	3.18/2.17B	2.13/2.00PB	5.68/9.93BG
D8										
$\Delta E/H$	1.72/4.50PB	3.52/3.00B	3.06/1.30B	7.31/9.77BG	7.87/8.60BG	0.50/4.37PB	1.82/4.63B	3.05/1.60B	3.64/1.23B	7.05/9.10BG
D18										
$\Delta E/H$	1.40/4.07PB	3.80/9.37BG	6.89/5.87BG	9.84/4.63BG	10.75/5.27BG	0.83/4.20PB	2.42/2.00B	6.13/7.77BG	6.74/7.37BG	8.54/6.63BG
D22										
$\Delta E/H$	2.02/4.50PB	4.56/7.47BG	7.47/4.77BG	10.29/2.80BG	11.46/3.87BG	0.71/4.57PB	2.89/1.13B	7.18/6.20BG	8.50/4.87BG	9.68/4.83BG
D26										
$\Delta E/H$	2.32/4.40PB	5.20/6.03BG	8.84/2.33BG	12.05/8.77G	12.95/1.57BG	0.98/4.57PB	3.81/9.53BG	8.45/4.43BG	9.75/2.80BG	11.10/2.80BG
D30										
$\Delta E/H$	2.30/4.40PB	5.80/5.07BG	9.77/9.67G	12.98/6.63G	14.11/9.67G	1.08/4.50PB	4.04/7.60BG	9.71/2.43BG	11.25/9.40G	12.77/9.87G
D60										
$\Delta E/H$	2.33/4.47PB	8.31/5.63G	15.26/9.70GY	20.62/7.33GY	23.47/8.57GY	1.11/4.50PB	6.69/9.07G	15.64/1.00G	20.05/7.70GY	21.97/8.50GY
D90										
$\Delta E/H$	2.35/4.50PB	9.22/2.60G	16.93/7.50GY	22.91/5.50GY	28.40/5.60GY	1.37/4.50PB	7.24/6.23G	17.78/8.20PB	21.86/5.70GY	26.91/5.33GY

Table 55 Appearance of pH adjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at 4 °C

Storage time (Day)	Storage in zip bags					Storage in foil bags				
	(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)					(Indicator color content 0 2 4 6 and 8% from left to right)				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
pH	5.93	6.02	6.00	6.00	6.07	5.93	6.02	6.00	6.00	6.07
D0										
$\Delta E/H$	0/4.20PB	0/5.13B	0/4.03B	0/3.93B	0/3.77B	0/4.60PB	0/5.17B	0/3.93B	0/3.50B	0/2.87B
D2										
$\Delta E/H$	0.67/4.20PB	0.55/4.90B	2.55/2.43B	2.33/2.67B	1.02/2.80B	0.59/4.50PB	0.63/4.30B	1.31/2.33PB	2.00/2.03B	1.41/2.20B
D4										
$\Delta E/H$	0.68/4.10PB	1.33/4.13B	2.65/2.13B	2.38/2.38B	1.81/2.37B	1.27/4.40PB	0.68/4.20B	2.22/1.90B	2.80/1.90B	2.30/1.00B
D8										
$\Delta E/H$	1.14/4.10PB	1.28/3.57B	3.16/1.70B	2.50/1.77B	2.89/1.67B	1.40/4.07PB	1.23/3.88B	2.44/1.93B	3.60/1.10B	3.87/9.83BG
D18										
$\Delta E/H$	1.44/4.10PB	1.82/3.53B	3.33/0.6B	3.74/0.43B	5.05/10.00BG	1.65/3.70PB	1.33/3.70B	3.02/1.10B	5.20/9.60BG	5.01/9.20BG
D22										
$\Delta E/H$	1.57/4.10PB	1.97/3.53B	3.39/0.77B	3.84/0.40B	5.29/9.80BG	1.84/4.20PB	1.55/3.50B	3.48/1.08B	5.31/9.80BG	5.58/8.53BG
D26										
$\Delta E/H$	1.77/4.23PB	2.31/3.20B	3.53/0.37B	4.84/10.00BG	6.86/8.80BG	1.84/4.20PB	1.57/3.50B	3.56/1.00B	5.87/9.10BG	6.02/8.90BG
D30										
$\Delta E/H$	1.90/4.23PB	2.72/2.57B	4.12/9.73BG	6.01/9.13BG	7.32/8.57BG	1.89/4.07PB	1.57/3.50B	4.24/10.00BG	6.44/8.93BG	7.52/7.77BG
D60										
$\Delta E/H$	2.04/4.53PB	2.92/2.30B	5.15/8.43BG	8.04/7.17BG	9.72/6.40BG	1.96/4.40PB	3.11/2.40B	5.35/8.07BG	8.05/6.87BG	8.76/6.63BG
D90										
$\Delta E/H$	2.07/4.47BG	3.92/8.63BG	7.15/5.67PB	9.07/4.83BG	11.29/4.60BG	1.97/4.27PB	3.19/1.13B	6.35/6.40BG	9.58/6.40BG	10.06/4.80PB

ซึ่งที่อุณหภูมิห้องฟิล์มไม่ปรับ pH เก็บในถุงซิปลเติมสีอินเคเตอร์ 2% สามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 30 วัน (ΔE 2.70) แต่ไม่เกิน 60 วัน (ΔE 4.72) ฟิล์มเติมสีอินเคเตอร์ 4% สามารถเก็บได้มากกว่า 18 วัน (ΔE 3.28) แต่ไม่เกิน 22 วัน (ΔE 4.08) ส่วนฟิล์มเติมสีอินเคเตอร์ 6 และ 8% สามารถเก็บได้มากกว่า 8 วัน (ΔE 3.30 และ 2.20) แต่ไม่เกิน 18 วัน (ΔE 4.00 และ 4.50) เนื่องจากเมื่อค่า ΔE มากกว่า 3.5 คนทั่วไปสามารถจำแนกความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่า (Mokrzycki and Tatol, 2011) ส่วนฟิล์มที่เก็บในถุงฟอล์ยพบว่ามียุการเก็บรักษาใกล้เคียงกัน คือ ฟิล์มเติมสีอินเคเตอร์ 2% สามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 30 วัน (ΔE

2.20) แต่ไม่เกิน 60 วัน (ΔE 3.91) फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 4% สามารถเก็บได้มากกว่า 22 วัน (ΔE 3.46) แต่ไม่เกิน 26 วัน (ΔE 3.70) ส่วนฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 6 และ 8% สามารถเก็บได้มากกว่า 8 วัน (ΔE 3.03 และ 1.60) แต่ไม่เกิน 18 วัน (ΔE 4.42 และ 3.89) โดยฟิล์มยังคงมีเฉดสีเหมือนเดิม คือ PB (Table 52)

ฟิล์มปรับ pH เก็บที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเร็วกว่าฟิล์มไม่ปรับ pH ดังนี้ เมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 2% สามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 4 วัน (ΔE 3.37) แต่ไม่เกิน 8 วัน (ΔE 3.52) फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 4% สามารถเก็บได้มากกว่า 8 วัน (ΔE 3.06) แต่ไม่เกิน 18 วัน (ΔE 6.89) ส่วนฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 6 และ 8% สามารถเก็บได้มากกว่า 2 วัน (ΔE 3.04 และ 2.64) แต่ไม่เกิน 4 วัน (ΔE 5.44 และ 5.77) ส่วนฟิล์มที่เก็บในถุงฟอลย์ พบว่าสามารถเก็บได้นานฟิล์มขึ้นในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 2% และ 6% คือ फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 2% สามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 22 วัน (ΔE 2.89) แต่ไม่เกิน 26 วัน (ΔE 3.81) फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 6% สามารถเก็บได้มากกว่า 4 วัน (ΔE 2.13) แต่ไม่เกิน 8 วัน (ΔE 3.64) ส่วนฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 4 และ 8% สามารถเก็บรักษาได้เท่ากับการเก็บในถุงซิปล โดยเมื่อค่า ΔE มากกว่า 3.5 ฟิล์มจะเปลี่ยนเฉดสีจาก B เป็น BG (Table 54)

ส่วนฟิล์มที่เก็บรักษาที่ 4 °C พบว่าฟิล์มปรับ pH มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนและรวดเร็วกว่าฟิล์มไม่ปรับ pH ดังนี้ फिल्मไม่ปรับ pH ที่เติมสีอินดิเคเตอร์ 2 4 และ 6% เมื่อเก็บในถุงซิปล สามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 90 วัน เนื่องจาก ΔE ยังไม่เกิน 3.50 ส่วนฟิล์มที่เติมสีอินดิเคเตอร์ 8% สามารถเก็บได้มากกว่า 60 วัน (ΔE 2.95) แต่ไม่เกิน 90 วัน (ΔE 3.53) ส่วนที่เก็บในถุงฟอลย์ พบว่า फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 2 และ 4% สามารถเก็บได้มากกว่า 90 วัน ส่วนฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 6% เก็บได้มากกว่า 60 วัน (ΔE 2.31) แต่ไม่เกิน 90 วัน (ΔE 3.68) फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% สามารถเก็บได้มากกว่า 30 วัน (ΔE 2.26 และ 2.64) แต่ไม่เกิน 60 วัน (ΔE 4.23) ส่วนฟิล์มปรับ pH เติมสีอินดิเคเตอร์ 2% ในถุงซิปล เก็บรักษาได้มากกว่า 60 วัน (ΔE 2.92) แต่ไม่เกิน 90 วัน (ΔE 3.92) และเก็บรักษาได้มากกว่า 90 วัน เมื่อเก็บรักษาในถุงฟอลย์ फिल्मเติมสีอินดิเคเตอร์ 4% ทั้งที่เก็บในถุงซิปลและถุงฟอลย์ เก็บได้มากกว่า 22 วัน แต่ไม่เกิน 26 วัน เท่ากัน ส่วนฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 6 และ 8% ทั้งที่เก็บในถุงซิปลและถุงฟอลย์เก็บได้มากกว่า 8 วัน แต่ไม่เกิน 18 วัน เท่ากัน (Table 53 และ 55)

แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาฟิล์มในถุงซิปลและถุงฟอลย์ไม่มีผลต่อการเก็บรักษาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่คนทั่วไปสามารถจำแนกความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่าอยู่ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน ควรเก็บรักษาฟิล์มไว้ในที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อคงไว้ซึ่งสีของฟิล์ม และควรใช้งานฟิล์มภายใน 1 เดือน สำหรับฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เกิน 18 วัน สำหรับฟิล์มปรับ pH หลังจากผลิตเพื่อให้ฟิล์มมีประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างมากที่สุด

3. ผลการทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของฟิล์ม

3.1 ผลการทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของฟิล์ม โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ pH ต่างๆ พบว่าฟิล์มมีสีเปลี่ยนไปเมื่ออยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน ดัง Table 56 โดยฟิล์มไม่ปรับ pH ให้การเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าฟิล์มปรับ pH เมื่อมองด้วยตาเปล่า และเปลี่ยนสีชัดเจนเมื่ออยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง สูง โดยฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ปริมาณ 4 6 และ 8% ให้การเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่า 2%

Table 56 Photograph of pH indicator films after immersed in buffer solutions at different pH values 10 minutes

Buffer solution of film forming solution	pH indicator films that the pH of the film forming solution is not adjusted, at various color indicator content; 0 2 4 6 and 8% (left to right)					pH indicator films that adjust the pH of the film forming solution to 6, at various color indicator content; 0 2 4 6 and 8% (left to right)				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
	5.93	4.84	4.46	4.11	3.83	5.93	6.02	6.00	6.00	6.07
Start										
pH 2										
pH 4										
pH 5										
pH 7										
pH 9										
pH 11										

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง ต่อไอระเหยของกรดอะซิติกเข้มข้น 99% พบว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน โดยฟิล์มที่ไม่ปรับ pH จะเปลี่ยนจากโทน เขียว-ม่วง ไปเป็นโทนสีชมพู ส่วนฟิล์มที่ปรับ pH จะเปลี่ยนจากโทนเขียวไปเป็นโทนชมพูน้ำตาล โดยฟิล์มที่มีปริมาณสีอินดิเคเตอร์มากกว่าจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนกว่า ดัง Figure 56 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดความสุกของผลไม้ได้ เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตรอเบอร์รี่ เนื่องจากเมื่อผลไม้สุกจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้ ออกมา เช่น กรดอะซิติก กรดมาลิก และกรดทาทาริก เป็นต้น ซึ่งไอระเหยของกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง (Kuswandi et al., 2013 and Kuswandi and Murdyaningsih, 2017)

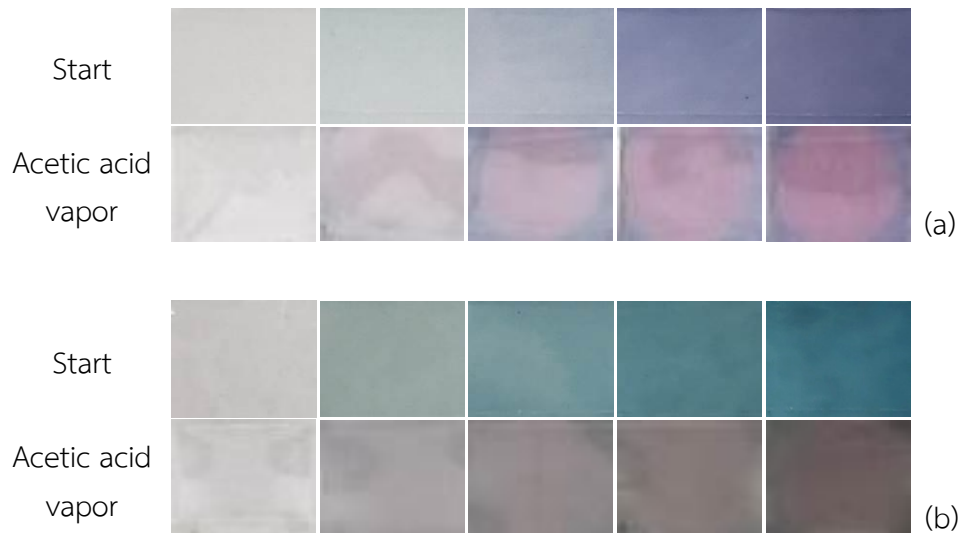


Figure 56 Color change of pH-indicator based film in response to 99% acetic acid vapor at 2 hours; (a) pH indicator films that the pH of the film forming solution is not adjusted and (b) pH indicator films that adjust the pH of the film-forming solution to 6 at various color indicator content; 0 2 4 6 and 8% (left to right)

3.3 ผลการทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของฟิล์ม โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอระเหยแอมโมเนีย โดยการอ้งไอระเหยแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 1.0 M เป็นเวลา 0 0.5 1 และ 2 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดสอบในข้อ 3.1 จึงเลือกฟิล์มชนิดไม่ปรับ pH มาทดสอบต่อ พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มอินดิเคเตอร์มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการสัมผัสกับไอระเหยแอมโมเนียและความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียคงที่ ฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่าเมื่อระยะเวลาในการอ้งไอระเหยนานขึ้น และที่เวลาสัมผัสกับไอระเหยเท่ากันฟิล์มที่อ้งไอระเหยแอมโมเนียที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นการเปลี่ยนสีของฟิล์มชัดเจนกว่าเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยฟิล์มที่มีปริมาณอินดิเคเตอร์น้อยกว่าจะเปลี่ยนสีเร็วกว่าฟิล์มที่มีอินดิเคเตอร์สูง ดังแสดงใน Figure 57

สอดคล้องกับผลการทดสอบการตอบสนองต่อไอระเหยแอมโมเนียของฟิล์มผสมสารสกัดสีแอนโทไซยานินจากดอกกุหลาบแดง Kang et al. (2020) ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนสีของฟิล์มไปทางต่าง คือ เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นน้ำเงินและเขียว ตามลำดับ โดยฟิล์มที่เติมสารสกัดดอกกุหลาบน้อยกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เร็วกว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดปริมาณมากกว่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจนไอออน (H+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH-) ทำให้ฟิล์มที่มีปริมาณสารสกัดมากต้องการปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินมากกว่า เช่นเดียวกันเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ฟิล์มจึงมีการเปลี่ยนแปลงสีเร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH-) เพิ่มขึ้น ในการศึกษาการตอบสนองต่อไอระเหยแอมโมเนียที่ความเข้มข้นแตกต่างกันของฟิล์มอินดิเคเตอร์ผสมสารสกัดเคอร์คิวมินของ Wannawisan et al. (2019) แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น สีของฟิล์มอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงสีไปทางต่าง คือ จากสีเหลืองเป็นส้ม



Figure 57 Color change of pH-indicator based film in response to ammonia vapor at different concentrations: (A) 0.01 M (B) 0.02 M (C) 0.04 M (D) 0.06 M (E) 0.08 M and (F) 0.10 M

ดังนั้นจึงนำฟิล์มต่างจวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่ไม่ปรับ pH ของสารละลายฟิล์ม เต็มสีอินดิเคเตอร์ จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 0.15M ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป โดยคุณสมบัติเชิงกล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม แสดงดัง Table 57 ซึ่งพบว่า ปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงขาด (TS) ลดลงและมีค่าการยึดตัว (E) ของฟิล์มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่า TS ในช่วง 364.64-437.15 kf/cm² และมีค่า E อยู่ในช่วง 544.63-273.53% ส่วนค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าอัตราการซึมผ่าน

ของไอน้ำอยู่ในช่วง 2,571-2,878 g/m²/day และค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.410-0.738 cm³/m²/day

Table 57 Mechanical Properties OTR and WVTR Properties of pH Indicator film properties where pH of the film-forming solution is not adjusted

Indicator content (%)	pH Indicator Film Properties			
	Tensile Strength (kf/cm ²)	Elongation (%)	Water Vapor Transmission Rate (g/m ² /day)	Oxygen Transmission Rate (cm ³ /m ² /day)
0	437.15a	544.63a	2,878	0.738
2	401.44ab	561.47a	2,701	0.538
4	387.13ab	571.67a	2,703	0.413
6	381.17ab	572.67a	2,768	0.520
8	364.64b	573.53a	2,571	0.410

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

4. ผลการประยุกต์ใช้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างกับผลิตภัณฑ์อาหาร

การนำฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง มาประยุกต์ใช้ตรวจวัดการเน่าเสียของเนื้อพลาสติก เก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 8 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นแบคทีเรียที่ติดมากับตัวปลาจะย่อยสลายเนื้อเยื่อของปลา ทำให้ปลา มีกลิ่นแรงขึ้น เนื้อปลานิ่มขึ้น และมีสีเปลี่ยน โดยฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่าง ชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดัง Figure 58 และ 59 สอดคล้องกับการเน่าเสียของเนื้อพลาสติก และ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และปริมาณแบคทีเรีย *Pseudomonas spp.* ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อ ปลาสด ดังนี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 5.36 log CFU/g ในวันที่ 0 เป็น 9.32 log CFU/g ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และปริมาณ *Pseudomonas spp.* เพิ่มขึ้นจาก 5.24 log CFU/g ในวันที่ 0 เป็น 9.44 log CFU/g ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ส่งผลให้เกิดก๊าซแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแอมโมเนียเป็นสารในกลุ่ม สารประกอบไนโตรเจนระเหยได้ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีการปลดปล่อยสารกลุ่มไนโตรเจนระเหยได้ (total volatile nitrogen-base, TVB-N) ออกมา เช่น แอมโมเนีย ไตรเมทิลเอมีน ไดเมทิลเอมีน เป็นต้น (ภาณุวัฒน์, 2561) และเนื่องจากแบคทีเรียสกุล *Pseudomonas spp.* สามารถเปลี่ยน Trimethylamine oxide ไปเป็น ไตรเมทิลเอมีนได้ สอดคล้องกับปริมาณ แบคทีเรีย *Pseudomonas spp.* ที่เพิ่มขึ้น และค่า TVB-N ที่เพิ่มขึ้น จาก 8.30 mg/100g ในวันที่ 0 เป็น 21.21 mg/100g ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ดังนั้นไอระเหยของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มตรวจวัดความเป็น กรด-ด่างเปลี่ยนสีเป็นสีโทนเขียว และมีค่า (ΔE อย่างชัดเจน (Table 58)

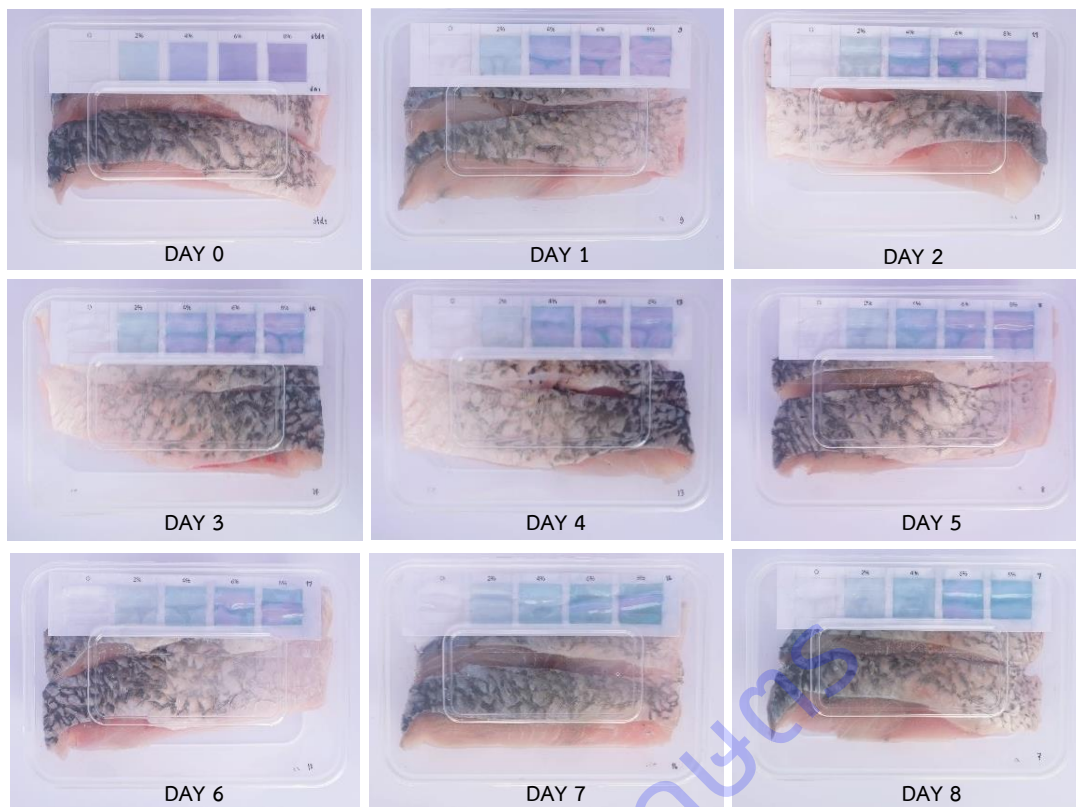


Figure 58 Change in appearance of packed seabass fillet with pH indicator label during 8 days storage at 4 °C.

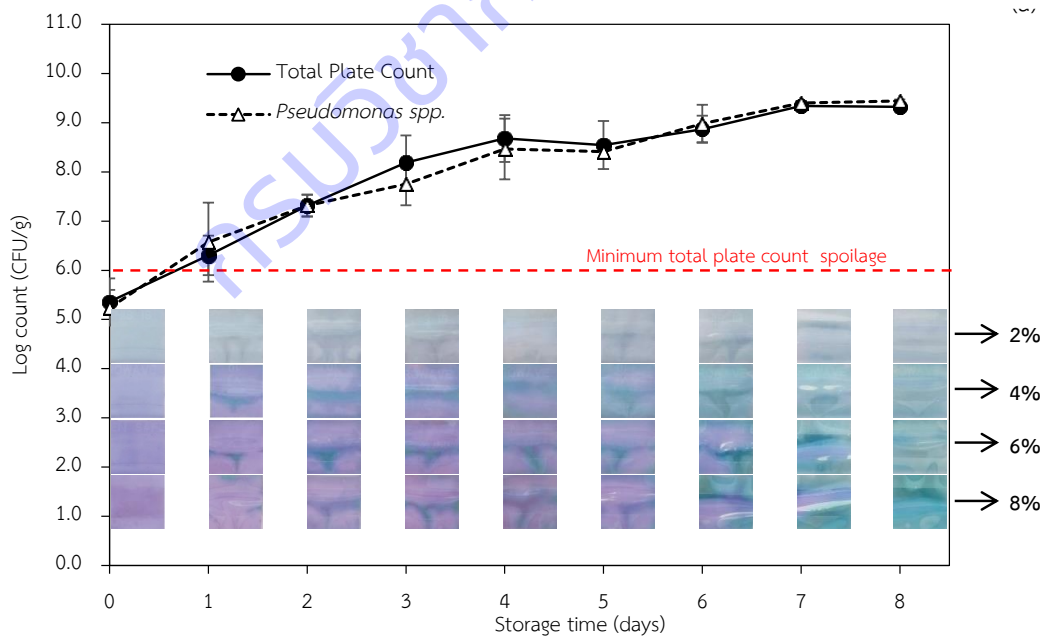






































Figure 59 Comparison color transition of pH-Indicator film label to quality of packed seabass fillets during 8 days storage at 4 °C.

โดยฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เติมสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทุกความเข้มข้น เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษา แต่ฟิล์มที่เติมสีอินดิเคเตอร์ 2% สังเกตเห็นการเปลี่ยนสีไม่ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า เนื่องจากฟิล์มมีสีเดิมเป็นสีโทนเขียว และเมื่อสัมผัสกับไอระเหยแอมโมเนียที่เป็นต่างแอนโทไซยานินจะให้สีโทนสีเขียวเช่นเดียวกับสีฟิล์มสี ส่วนฟิล์มที่เติมสีอินดิเคเตอร์ 4 6 และ 8% เห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยเปลี่ยนจากโทนน้ำเงิน/ม่วง ไปเป็นโทน ฟ้ำ/เขียว ดังแสดงใน Figure 61 และ Table 59 โดยการเปลี่ยนแปลงเกิดบริเวณของฟิล์มที่สัมผัสกับกระดาษก่อนฟิล์มส่วนอื่น อาจเนื่องจากกระดาษดูดซับไอระเหยของก๊าซและดูดซับไอน้ำเอาไว้ ส่งผลให้ฟิล์มสัมผัสกับความชื้นและไอระเหยได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีของฟิล์มกับคุณภาพของเนื้อปลา พบว่าฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 4 และ 6% มีการเปลี่ยนแปลงสีที่สอดคล้องกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำสดแช่เย็นตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดมากที่สุด คือ มีการเปลี่ยนสีเมื่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่าที่กำหนด $6 \log \text{CFU/g}$ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) ซึ่งจากการทดลองพบว่าเนื้อปลามีจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $6.30 \log \text{CFU/g}$ ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และฟิล์มเริ่มเกิดแถบสีโทนเขียวตรงกลางของฟิล์ม แสดงให้เห็นว่าฟิล์มทั้ง 2 ชนิดสามารถบ่งชี้การเสื่อมเสียของเนื้อปลาจากจุลินทรีย์ได้ แต่ฟิล์มที่เติมสีอินดิเคเตอร์น้อยกว่าจะไวต่อการเปลี่ยนสีมากกว่า แม้ว่าฟิล์มที่เติมอินดิเคเตอร์ 8% จะให้ค่า ΔE มากกว่า แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม ฟิล์มยังคงมีสีโทนเดิม ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า

แสดงให้เห็นว่าฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างที่ใช้สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันสกัดด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ปริมาณสีอินดิเคเตอร์ 4 และ 6% สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นฉลากตรวจวัดคุณภาพการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสด ซึ่งเกิดการเสื่อมเสียโดยเชื้อจุลินทรีย์และปลดปล่อยไอระเหยของแอมโมเนียได้

Table 58 Quality of seabass fish fillet and color response of pH indicator film during 8 days storage at 4 °C

Time (days)	pH of fish fillet	TVB-N (mg/100g)	Microorganisms		Color response of pH-indication film label				Total color of pH indication film label ($\Delta E/H/L^*/a^*/b^*$)			
			TPC (Log CFU/g)	<i>Pseudomonas</i> count (Log CFU/g)	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%
0	6.64bc	8.30a	5.36 ±0.47	5.24 ±0.36					0.00/6.09B/ 88.30/-0.60/-2.13	0.00/2.56PB/ 74.61/-4.82/-20.63	0.00/3.57PB/ 67.14/-3.37/-27.21	0.00/4.90PB/ 65.44/-0.40/-23.81
1	6.45e	8.29a	6.30 ±0.40	6.57 ±0.80					0.62/6.10B/ 81.77/-8.09/-8.30	1.22/2.72PB/ 74.81/-4.60/-20.83	0.75/3.59PB/ 67.77/-3.41/-27.42	2.74/3.97PB/ 66.07/-2.30/-25.23
2	6.51de	10.20a	7.05 ±0.44	7.32 ±0.22					2.45/3.72B/ 82.17/-8.20/-6.17	1.94/1.71PB/ 74.19/-6.49/-20.57	2.42/2.87PB/ 67.96/-4.96/-27.02	4.51/3.17PB/ 63.51/-3.99/-27.04
3	6.50de	12.67b	7.38 ±0.33	7.76 ±0.43					4.39/2.64B/ 81.74/-8.61/-4.04	2.23/1.72PB/ 72.62/-6.91/-20.70	2.94/2.33PB/ 68.21/-6.16/-26.80	4.86/3.42PB/ 64.63/-3.49/-27.20
4	6.55d	13.16b	8.68 ±0.47	8.46 ±0.62					4.37/5.09B/ 81.23/-8.42/-4.80	3.70/1.42PB/ 72.53/-7.31/-20.83	4.20/1.86PB/ 66.30/-7.19/-26.53	6.01/2.26PB/ 62.79/-5.88/-26.22
5	6.59cd	17.32c	8.55 ±0.49	8.41 ±0.15					5.49/5.41B/ 81.48/-8.27/-3.20	6.91/7.59PB/ 75.89/-11.01/-16.37	5.26/1.97PB/ 69.93/-6.71/-26.07	8.00/2.82PB/ 65.51/-4.92/-26.37
6	6.71b	18.82c	8.87 ±0.28	8.98 ±0.38					6.27/5.87B/ 81.66/-8.19/-3.70	8.20/2.43PB/ 73.43/-8.97/-15.45	6.27/1.73PB/ 66.94/-7.61/-26.59	8.50/4.62PB/ 61.61/-8.09/-26.83
7	6.83a	19.02c	9.34 ±0.10	9.40 ±0.04					6.37/5.74B/ 82.22/-7.47/-3.01	11.99/8.59PB/ 75.19/-12.53/-12.99	12.84/1.30PB/ 68.96/-10.93/-19.36	15.69/8.41PB/ 64.76/-13.16/-17.92
8	6.88a	19.30c	9.32 ±0.09	9.44 ±0.03					7.36/4.96B/ 81.96/-7.98/-1.08	16.95/6.62PB/ 76.16/-11.86/-5.72	20.92/7.59PB/ 69.86/-17.19/-11.67	21.75/4.99PB/ 64.44/-18.12/-16.37

Remark: TPC – Total Plate Count

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

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

กิจกรรมที่ 2 มีข้อสรุปจากผลการวิจัยทั้ง 3 การทดลอง ดังนี้

1. การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

การเตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์โดยใช้ PVA เข้มข้น 4% w/v เต็มกลีเซอรอล 30% w/w เป็นสารก่อฟิล์ม และใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงเป็นสารต้านจุลินทรีย์พบว่าฟิล์ม PVA เต็มสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้ดีที่สุด โดยฟิล์มมีความหนา 0.13 mm. มีค่าความสว่าง (L^*) 76.6 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) 56.3 มีความชื้น 7.71% มีค่า aw 0.412 สามารถนำไปใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm^2 และดึงยืดได้ 387.10% สูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 “ฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหาร” นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำ 94.28% มีต้นทุนการผลิตเฉพาะต้นทุนจากสารเคมีประมาณ 17 บาท/ตารางฟุต

ข้อแนะนำสำหรับการทดลองต่อไป คือ นำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารที่เน่าเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย เช่น ขนมอบัง ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ เป็นต้น แต่เนื่องจากฟิล์มมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีจึงอาจมีข้อจำกัดในการใช้งานกับบางผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ต้องทดสอบเพิ่มเติมด้านความปลอดภัยเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ เช่น ข้อกำหนดเรื่องวัสดุสัมผัสอาหาร เป็นต้น

2. การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เปลือกข้าวโพด และเปลือกส้ม เพื่อผลิตสารเติมแต่ง ได้แก่ ลิกนินและนาโนเซลลูโลส พบว่า เปลือกทุเรียนให้ปริมาณลิกนินสูงสุด 39.5% และได้นาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน 10% มีสมบัติที่สามารถผลิตเป็นสารเติมแต่งสำหรับใช้เติมในแผ่นฟิล์มชีวภาพได้

ฟิล์มชีวภาพเตรียมจากสตาร์ชมันสำปะหลัง เตรียมสตาร์ชโดยใช้วิธีการตกตะกอนจากน้ำแป้งแล้วล้างน้ำเพื่อแยกไขมันและโปรตีนออกจากเนื้อแป้งทำให้แป้งที่ได้มีลักษณะที่ขาว เมื่อนำไปบดจะได้แป้งเป็นผงละเอียด จากนั้นนำไปผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพทั้งหมด 16 กรรมวิธี โดยเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสที่เตรียมได้พบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน 3% (L3) มีสมบัติเชิงกลและกายภาพโดยรวมดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ โดยผลการนำฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) มาผลิตเป็นถุงบรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เทียบกับถุงทางการค้า พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุงชีวภาพเติมลิกนิน (L3) มีค่าต่ำกว่าทางการค้าเดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) และปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (39.99 และ 48.24 ml) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า

ต้นทุนการผลิตลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 15.52 บาท/g และ 141.93 บาท/g ต้นทุนการผลิตฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) ขนาด $30 \times 30 \text{ cm}^2$ เท่ากับ 5.00 บาท/แผ่น และต้นทุนการผลิตถุง L3 ขนาด $10 \times 10 \text{ cm}^2$ เท่ากับ 1.11 บาท ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าวัตถุดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้ ค่าพลังงาน และบุคลากร

3. การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เตรียมได้จากฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA เข้มข้น 5% และโคโตซาน เต็มกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น โดยสีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมคือสีจากดอกอัญชันสกัดด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M อุณหภูมิ $60 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 30 min เนื่องจากให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีชัดเจน คนทั่วไป

สามารถแยกความแตกต่างสีของฟิล์มได้เมื่อสัมผัสกับสารละลายหรือไอระเหยที่มีค่า pH ต่างๆ และมีความคงตัวของสีสูง เตรียมสารละลายฟิล์มก่อนการขึ้นรูปโดยไม่ต้องปรับ pH ของสารละลาย จากนั้นขึ้นรูปโดยเทในแผ่นอะคริลิก ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฟิล์ม คือ เก็บในถุงซิปลี่ที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ 1 เดือน

ฟิล์มมีคุณสมบัติดังนี้ มีความหนาอยู่ในช่วง 0.14-0.15 มม. มีความชื้นในช่วง 7.71-9.12 การละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 23.55-26.89% มีค่าความสว่างลดลงจาก 87.13 ในฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ เป็น 69.35 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ในช่วง 364.64-437.15 kf/cm² และมีค่าการยืดตัวอยู่ในช่วง 544.63-273.53% อัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ในช่วง 2,571-2,878 g/m²/day และค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.410-0.738 cm³/m²/day และฟิล์มที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่ pH ต่างๆ ไอระเหยของกรดอะซิติกและไอระเหยของแอมโมเนีย ดังนั้นสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ตรวจวัดความสุกของผลไม้ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้เมื่อสุก เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตอเบอรี่ และอาหารที่ปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียเมื่อเกิดการเน่าเสีย เช่น อาหารทะเล

เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารผ่านการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม โดยทดสอบกับเนื้อปลาสด พบว่าปริมาณสีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ 4 และ 6% เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลา และปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าเราสามารถนำสารธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินมาประยุกต์ใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์สำหรับผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างได้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยในโครงการ “วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ” แสดงให้เห็นว่าในพืชและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติจำเพาะ สามารถสกัดเอาสารสำคัญไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ โดยสารสกัด วิธีการสกัด การกักเก็บสารสำคัญ และการนำสารสกัดไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

1. แคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

แคปไซซินจากพริกสามารถสกัดได้ด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 1:5 w/v โดยพริกพันธุ์หัวเรือมีปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด ส่วนแคโรทีนอยด์จากพริกสกัดได้ด้วยน้ำมันรำข้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะพร้าว โดยพริกชี้ฟ้าสกัดด้วยน้ำมันรำข้าว อัตราส่วน 1:2.5 w/v มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อนำไปทำผงและบรรจุในแคปซูลเจลลาตินแบบใส เจลาตินแบบขุ่น และแคปซูลเซลลูโลส ปริมาณ 500 mg/แคปซูล เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพ สามารถเก็บได้ 180 วัน ต้นทุนการผลิต 1.15 บาท/แคปซูล ถูกกว่าสารสกัดแคปไซซินในท้องตลาดที่มีราคาประมาณ 4-12 บาท/แคปซูล

2. มะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล

มะนาว สามารถนำมาผลิตน้ำมะนาว มะนาวผง สกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือก สกัดเพคตินจากกาก ซึ่งสามารถเพื่อใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ในน้ำมะนาว 100 g มีวิตามินซี 69.89 mg มีกรดซิตริก 7.53% มีค่า pH 2.51 เปลือกมะนาวสกัดเพคตินได้ 1.59% w/w และสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ 1.06% v/w โดยน้ำมันหอมระเหยมี D-Limonene สูงถึง 52.63% เพคตินใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารก่อเจล และสารคงตัวในอาหาร มะนาวผงให้พลังงาน 407.61 กิโลแคลอรี/100 g โดยยังคงมีความเปรี้ยวและมีกลิ่นมะนาว สามารถใช้ปรุงอาหารและผลิตเป็นเครื่องดื่มมะนาวได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้สารสกัดจากมะนาว ได้แก่ น้ำมะนาวพร้อมดื่มในถุงรีทอร์ตเพาซ์ การนำไมโครแคปซูลวิตามินซี น้ำมันหอมระเหยและเพคตินมาใช้ในเครื่องสำอาง เช่น มาร์คพอกหน้า ครีมโฟมล้างหน้า เจลล้างหน้า และเซรั่ม ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวและทำให้ผิวกระจ่างใส

3. สีม่วงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

สีม่วงจากดอกอัญชัน ได้จากการสกัดดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันต่อสารละลายกรดซิตริก เท่ากับ 1:50 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 min นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีม่วงเป็นสีชมพู มีสารสำคัญหลัก คือ แอนไซยานิน มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.5% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

สีม่วงจากแครอท ได้จากการสกัดแครอทด้วยเครื่องแยกกาก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C ได้สีม่วงเป็นสีส้ม มีสารสำคัญ คือ แคโรทีนอยด์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

สีม่วงจากใบเตย ได้จากการสกัดใบเตยด้วยเครื่องแยกกาก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีม่วงเป็นสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย มีสารสำคัญ คือ คลอโรฟิลล์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยาได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

4. ไฮโดรคอลลอยด์ผงจากไบบานางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

สกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) จากนั้นสกัด AIS ด้วยน้ำที่ 80 °C อัตราส่วน 1:20 w/v ระยะเวลาในการสกัด 90 min ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง 5.45% มีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% และมีปริมาณน้ำตาล

ทั้งหมด 55.68% ใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้า โดยไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานางความเข้มข้น 1.5% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63 และมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg gAE/100 ml ต้นทุนการผลิต เท่ากับ 7,800.46 บาท/kg สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเรทแทนสารเพิ่มความข้นหนืดทางการค้า โดยปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ซอสพริก คือ 1.5% และปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ คือ 2.0%

5. เอนไซม์บรอมิเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

ผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดที่สามารถนำมาผลิตเอนไซม์บรอมิเลนได้ ได้แก่ จุกสับปะรด เปลือกติดเนื้อกับตาและแกน โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์บรอมิเลนมากกว่าส่วนจุก แต่ใช้เปลือกติดเนื้อกับตาเป็นวัตถุดิบหลักเนื่องจากมีสัดส่วนที่เหลืองสูงกว่าส่วนอื่นๆ ผลิตเอนไซม์โดยตีปั่นวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้อง 1 min นำไปปั่นคั้นน้ำ นำน้ำคั้นมาตกตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกและสกัดเอนไซม์โดยวิธีตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลอัตราส่วน 26:74 v/v นาน 1 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 15 min (ต้องทำภายใต้อุณหภูมิ 4 °C) นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้เอนไซม์บรอมิเลนเป็นผงสีเหลืองอ่อน ที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิตร้อยละ $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อน้ำหนักสด ประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมิเลนผงเป็นซอสหมักเนื้อเนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู่ โดยปริมาณเอนไซม์ผงที่เหมาะสมต่อการหมักขึ้นเนื้อหั่นบาง เท่ากับ 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ หมักไม่เกิน 30 min จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้น

6. พิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์โดยใช้ PVA เป็นสารกักฟิล์ม และใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงเป็นสารต้านจุลินทรีย์พบว่าฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้ดีที่สุดสามารถนำไปใช้เป็นฟิล์มยึดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm² และดึงยึดได้ 387.10% สูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยึดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำ 94.28% มีต้นทุนการผลิต 17 บาท/ตารางฟุต

7. พิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีลิกนินสูงถึง 39.5% และสามารถผลิตนาโนเซลลูโลสได้ 10% สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลังได้ โดยฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน 3% มีสมบัติเชิงกลและกายภาพเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง โดยเมื่อนำมาผลิตเป็นถุงบรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์เทียบกับถุงทางการค้า พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุงชีวภาพเติมลิกนินมีค่าต่ำกว่าทางการค้าเดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) ปริมาตรก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (39.99 และ 48.24 ml) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า ต้นทุนการผลิตลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนเท่ากับ 15.52 บาท/g และ 141.93 บาท/g ต้นทุนการผลิตฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% ขนาด 30x30 cm² เท่ากับ 5.00 บาท/แผ่น

3. พิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เตรียมได้จากฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA และไคโตซาน เติมกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น โดยสียินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมคือสีจากดอกอัญชันสกัดด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15M เตรียมสารละลายฟิล์มก่อนการขึ้นรูปโดยไม่ต้องปรับ pH ของสารละลาย สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฟิล์ม คือ เก็บในถุงซิปลี่ที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ 1 เดือน ฟิล์มมีค่าความสว่างลดลงจาก

87.13 ในฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ เป็น 69.35 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่ pH ต่างๆ ไอระเหยของกรดอะซิติกและไอระเหยของแอมโมเนีย สามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ตรวจวัดความสุกของผลไม้ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้เมื่อสุก เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตอเบอรี่ และอาหารที่ปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียเมื่อเกิดการเน่าเสีย เช่น อาหารทะเล เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพเนื้อปลาสด พบว่าปริมาณสีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ 4% เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลา และปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ สำหรับผลิตภัณฑ์จากโครงการวิจัยนี้ คือ ทดลองผลิตในสเกลที่ใหญ่ขึ้น วิเคราะห์คุณสมบัติและคุณภาพของสารสกัด และผลิตภัณฑ์ของสารสกัด พร้อมต้นทุนการผลิต เพื่อรองรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมในอนาคต

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป. คำแนะนำที่ 120 เรื่องสีผสมอาหารจากธรรมชาติ. กลุ่มงานเคหกิจเกษตร กองพัฒนาการบริหารงานเกษตร. 22 หน้า.
- กิติมา เหมวงษา. 2549. การพัฒนาการผลิตผงสีจากแครอทและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 168 หน้า.
- คุณาธิป ศิริมงคล อังคณา ไบบล และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. 2015. แอคทีฟไคโทซาน/พีวีเอ ฟิล์มผสมแอนโทไซยานินจากชั่งข้าวโพดสีม่วงเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ฟิล์ม. Chemical Engineering Project. 6 หน้า.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. บริษัท เอส. พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด. กรุงเทพฯ.
- จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 158 หน้า.
- จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม ศุภมาศ กลิ่นขจร ศิริพร เต็งรัง และ สุปรียา สุขเกษม. 2563. การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ปี 2563. กองวิจัยและพัฒนา วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. 22 หน้า
- จิตรา สิงห์ทอง สุเวทย์ นิงสานนท์ และ Steve W. Cui. 2550. การศึกษาการสกัดองค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดใบย่านาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- ชวนพิศ อรุณรังสิกุล .2547. พริก : พืชนำพิศวง. จ.นครปฐม งานเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัย และเรือนปลูกพืชทดลอง ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
- ทอง ภัคธัชพันธุ์ และ อรวินท์ วงศ์มีเกียรติ. 2530. กระบวนการตกตะกอนและความคงตัวของบรอมีเลน. ว.เกษตรศาสตร์(วิทย์.) 21: 289-294.
- นภัสวรรณ สุนทร. 2553. แอนโทไซยานิน-ชุดตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง จากวัสดุธรรมชาติสำหรับน้ำดื่ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- นิธยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- นิมิตพิสุทธิ์ ณรงค์ชวนะ. 2530. การผลิตโบรมิเลนจากต้นสับปะรด. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- บุษกร ทองใบ ญัฐกานต์ ไหวดี และกนต์พัฒน์ อุตราช. 2554. ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบสารสกัดเปลือกมังคุดในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนขึ้นปลา. ว.วิทย์.กษ. 42:1(พิเศษ). 599-602.
- ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ วิไลวรรณ อางนานนท์ และนิธยา รัตนานนท์. 2552. การพัฒนาสารสกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 69 หน้า.
- ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ และสุดสาย ตริวานิช. 2546. จุลินทรีย์ในอาหาร, น.48-74. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พรพิมล เลี้ยงสุทธิสกันธ์. 2545. เยลลี่กระเจี๊ยบแดง, น. 52-55. ใน คู่มือการแปรรูปผักและผลไม้. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- พัชรินทร์ มีทรัพย์ และสุวิธญา บัวชาติ. 2561. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรต่อการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*. ว.วิทย์.กษ. 49(2)(พิเศษ). 485-488.

- ภาณุวัฒน์ สรรพกุล. 2561. การบรรจุแบบแอกทีฟและอินเทลลิเจนต์: การปลดปล่อยและการวินิจฉัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- มนวิช และ จันทรัตน์. 2547. พริกใครว่าดีแต่เผ็ด. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 52 ฉบับที่ 164 มกราคม.
- มาลี วราหกิจ. 2521. การใช้ประโยชน์ของเศษเหลือจากขบวนการแปรรูปสับปะรด. ข่าวสารเกษตรศาสตร์ 23(6):44.
- วรภัทร ลัคนาทินวงศ์ อรรถวฤทธิ์ รื่นเรใจ และอรุณชัย ศิริทรัพย์. 2548. การพัฒนาแถบสีบ่งชี้อายุการเก็บรักษา ผักผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคในเชิงพาณิชย์. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. 26-29 เมษายน 2548 ณ โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช พัทยา จังหวัดชลบุรี. หน้า 239. (276 หน้า).
- วรรณิ มาวิมล (2545) วิทยานิพนธ์ เรื่องการพัฒนารวมวิธีการผลิตมะนาวผงและการประเนอายุการเก็บรักษา ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- เวณิกา เบ็ญจพงษ์ อาณัติ นิติตรรมยง และ จักรกฤษณ์ สกลกิจดิณฎากุล. ม.ป.ป. สีสิ้นในอาหาร. สืบค้นจาก: http://www.arda.or.th/ebook_flipbook.php?book_id=17 [11 กรกฎาคม 2562].
- ศิวพันธุ์ รัตนปฏิพันธุ์. 2552. การศึกษาวัสดุพอลิเมอร์เสริมองค์ประกอบด้วยอะลูมิเนียมซิลิเกตสีธรรมชาติเพื่อเป็นตัววัดค่าความเป็นกรดต่าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.
- สนทยา โสสนุย. 2540. พริก capsicums และประโยชน์ของสาร capsaicin, โพรแกมมิวิชา ชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- สมบัติ ตงเต้า, ทวีศักดิ์ แสงอุดม และยุพิน กลินเกษมพงษ์. 2537. สรุปผลงานกรมวิชาการเกษตรปี 2534-2535. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการสัปดาห์ ครั้งที่ 1 โรงแรมไพน์ฟิช ระยอง.
- สมฤทัย จิตภักดีดินทร์และคณะ (2549) การพัฒนาการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวให้มีความบริสุทธิ์และปริมาณมากในเชิงพาณิชย์.
- สัมพันธ์ คัมภีรานนท์. 2546. พริกเรื่องเผ็ดร้อนที่น้ำรู้. ฉบับที่ 191. หน้าที่ 45-54.
- สำนักงานค้าสินค้า. กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2564. สินค้าทุเรียนและผลิตภัณฑ์. รายงานสถานการณ์การผลิตทุเรียนของไทย และการบริโภคภายในประเทศ. 14 หน้า
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ม.ป.ป. ข้อกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานสำหรับสารสกัดให้สีจากส่วนของพืชหรือสัตว์. สืบค้นจาก: <http://www.fda.moph.go.th/sites/food/FoodAdditives/Extract-from-the-Plant-or-Animal.pdf> [11 มกราคม 2562].
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2555. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์. 23 หน้า.
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: แแบคทีเรียในอาหาร. 29 หน้า.
- สิริยุพา เนตรมัย สิทธิวัฒน์ เลิศศิริ และฐิติศิลป์ กิจเขวงกุล. 2562. การพัฒนาอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีซึ่งบ่งความเป็นกรด-ด่างและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากวัสดุชีวภาพและสารสกัดจากพืช สำหรับอาหารที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 102 หน้า.
- สุพรรณ คำไทย กิตติกุล อุงคนเดีวดี และวีรบูรณ์ คัดเก่ง. 2554. การเติมสารสกัดจากผงเปลือกมังคุดในฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรกโคโนส. ว.วิทย.เกษตร. 42:1 (พิเศษ): 583-583.

- อรุษา เขาวนลิขิต ศีร์รัตน์ อภิขยารักษ์ สรารัตน์ คงทอง และสุชญา ชูประทุม. 2552. ผลกระทบของ pH และอุณหภูมิ ต่อสีและความคงตัวของสารสกัดจากกระเจี๊ยบและอัญชัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40(3) (พิเศษ). หน้า 5-8.
- อรุษา เขาวนลิขิต. 2554. การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). ปีที่ 3 ฉบับที่ 6 กรกฎาคม-ธันวาคม. 26-36.
- อารี ฤทธิบุรณ์. 2554. การผลิตเอนไซม์โบรมิเลนจากลำต้นของสับปะรดและการนำไปใช้ประโยชน์ในการทำผงหมักเนื้อนุ่ม. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อุดมลักษณ์ สุขอัสตะ อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท ประภัสสร รักถาวร สิริพร ศิริวรรณ และพจมาน พิศเพียงจันทร์. 2549. การสกัดและการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด. เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาวิทยาศาสตร์. 700 หน้า.
- A.O.A.C. In Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. A.O.A.C. Inc. Arlington, Virginia, USA. 2005.
- Aadil, K. R., Anand, B. and H. Jha. 2016a. Synthesis and characterization of *Acacia* lignin-gelatin film for its possible application in food packaging. *Bioresources and Bioprocessing* (3)27: 1-11.
- Aadil, K. R., Dolly, P. and Harit, J. 2016b. Improvement of physico-chemical and functional properties of alginate film by *Acacia* lignin. *Food Packaging and Shelf Life* 10: 25–33.
- Acosta, J. L. E., Patricia, I. T. C., Benjamn, R., Luis, A. B., Alejandro, V., Ros, Elizabeth, C. M., Maribel, P. J. and A. I. L. Osuna. 2015. Mechanical, thermal, and antioxidant properties of composite films prepared from durum wheat starch and lignin. *Starch/ Stärke* 67: 502–511.
- Aisha, A. F. A., Abu-salah, K. M., Ismail, Z. and Majid, A. M. S. A. 2013. Determination of total xanthones in garcinia *Mangostana* fruit rind extracts by ultraviolet (UV) spectrophotometry. *Journal of Medicinal Plants Research*. Vol.7(1). 29-35.
- Aisha, A. F. A., Majid, A. M. S. A., Ismail, Z., Alrokayan, S. A. and Abu-Salah K. M. 2015. Development of Polymeric Nanoparticles of garcinis mangostana Xanthones in Eudragit RL100/RS100 for Anti-Colon Cancer Delivery. *Journal of Nanomaterials*. Vol.2015. 12p.
- Angkana, T., W. Pornpen, J. Pacharaporn and M. Kasorn. 2008. Preparation and stability of butterfly pea color extract loaded in microparticles prepared by spray drying. *Thai J. Pharm. Sci.* 32: 59-69.
- Awal, A. and M. Sain. 2011. Spectroscopic Studies and Evaluation of Thermorheological Properties of Softwood and Hardwood Lignin. *Journal of Applied Polymer Science* 122: 956–963.
- Bhat, R., Nurulismah, A., Rozman. H. Din and g.-S. Tay. 2013. Producing novel sago starch-based food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste. *Journal of Food Engineering* 119: 707–713.

- Bonilla, J., Fortunati, E., Atares, L., Chiralt, A. and Kenny, J. M. 2014. Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*. 35. 463-470.
- Cao, J., gang, X., Xiao, X., DeKui, S. and B. Jin. 2013. Study on carbonization of lignin by TG-FTIR and high-temperature carbonization reactor. *Fuel Processing Technology* 106: 41–47.
- Cardoso, M., Éder, D. O. and M. L. Passos. 2009. Chemical composition and physical properties of black liquors and their effects on liquor recovery operation in Brazilian pulp mills. *Fuel* 88: 756–763.
- Castillo, L., Olivia, L., Cintia, L., Noemí, Z., M. Alejandra, g., Silvia, B. and M. Villar. 2013. Thermoplastic starch films reinforced with talc nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* 95: 664–674.
- Charoenphun, N., Sakchai, S. and S. Sai-Ut. 2020. Chemical Composition and Trends in Utilization of By-products and Wastes from 4 Types of Tropical Fruit Processing. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)* 28(1): 114-128.
- Chen, Q., Yayun, L and g. Chen. 2019. A comparative study on the starch-based biocomposite films reinforced by nanocellulose prepared from different nonwood fibers. *Cellulose* 26: 2425–2435.
- Coelho, D.f., Silveira, E., Pessoa Jr. A. and B. N. Tambourgi. 2013. Bromelain purification through unconventional aqueous two-phase system (PEg/ammonium sulphate). *Bioprocess Biosyst. Eng.* 36: 185-192.
- Dauqan, E., H. A. Sani, A. Abdullah, H. Muhamad, and A. gapor. 2011. Vitamin E and beta-carotene composition in four different vegetable oils. *Am. J. Appl. Sci.* 8: 407-412.
- Dennis, D. M. 1998. *Food Chemistry A Laboratory Manual*. John Wiley & Sons Inc. USA.
- Devakate, R.V., Patil, V.V., Waje, S.S. and Thora, B.N. 2009. Purification and drying of bromelain. *Separation and Purification Technology* 64: 259–264.
- Dubois, M., gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
- Espinosa, E., Isabel, B., Antonio, R., Fernando, P., Gary, C. and A. Rodríguez. 2019. PVA/(ligno)nanocellulose biocomposite films. Effect of residual lignin content on structural, mechanical, barrier and antioxidant properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 141: 197–206.
- Ezati, P., Tajik, H., Moradi, M. and Molaei, R. 2019. Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet. *International Journal of Biological Macromolecules* 132: 157–165
- Giusti, M.M. and Wrolstad, R. E. 2005. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. p. 19-31. In: *Handbook of Food Analytical Chemistry*. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Guadarrama-Lezama A. Y, Alvarez. L. D, Jaramillo-Flores M. E., Alonso C. P., Niranjana K., gutierrez-Lopez a g. F., Alamilla-Beltran L. 2012. Preparation and characterization of

- non-aqueous extracts from Chilis (*Capsicum annuum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering* 112 (2012) 29–37.
- Gudeva, L. K., Mitrev S., Maksimova V., Spasov D. 2013. Content of capsaicin extracted from hot pepper (*Capsicum annuum* ssp. *microcarpum* L.) and its use as an ecopesticide. *Hem. ind.* 67 (4): 671–675
- Hardeep Singh Gujral, Sharma, A. and Singh, N. 2002. Effect of Hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup. *International Journal of Food Properties*, 5(1), 179–191.
- Heggset, E. B., Gary, C. C. and K. Syverud. 2017. Temperature stability of nanocellulose dispersions. *Carbohydrate Polymers* 157: 114–121.
- Kang, C.K. and Rice, E.E. 1970. Degradation of various meat fractions by tenderizing enzymes. *J. Food Sci.* 35: 563-565.
- Kang, S., Wang, H., Xia L., Chen, M., Cheng, M., Li, L., Cheng, J., Li, X. and Jiang, S. 2020. Colorimetric film based on polyvinyl alcohol/ okra mucilage polysaccharide incorporated with rose anthocyanins for shrimp freshness monitoring. *Carbohydrate Polymers* 229 (115402): 1-10.
- Ketnawa, S., Chaiwut, P. and Rawdkuen, S. 2011 Aqueous Two-phase Extraction of Bromelain from Pineapple Peels ('Phu Lae' cultiv.) and Its Biochemical Properties. *Food Sci. Biotechnol.* 20(5): 1219-1226.
- Kha, T.C., M.H. Nguyen and P.D. Roach. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering.* 98: 385-392.
- Korbag, I. and Saleh, S. M. 2016. Studies on the formation of intermolecular interactions and structural characterization of polyvinyl alcohol/lignin film. *International of Environment Studies.* from <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2016.1143700>. [10 January 2020]. 9p.
- Kusmayadi, A., Adriani, L., Abun, A., Muchtaridi, M. and Tanuwiria U. H. 2018. The effect of solvents and extraction time on total xanthone and antioxidant yields of mangosteen peel (*Garcinia mangostana* L.) extract. *Drug Invention Today.* 10:12. 2572-2576.
- Kuswandi, B. and Murdyaningsih, E. A. 2017. Simple on package indicator label for monitoring of grape ripening process using colorimetric pH sensor. from https://www.researchgate.net/publication/318623188_Simpleon_package_indicator_label_for_monitoring_of_grape_ripening_process_using_colorimetric_pH_sensor.
- Kuswandi, B., Jayus. Larasati, T.S., Abdullah, A. and Heng, L.Y. 2012. Real time monitoring of shrimp spoilage using on-package sticker sensor based on natural dye of curcumin. *Food Analytical Methods* 5: 881-889.
- Kuswandi, B., Maryska, C., Jayiu. Abdullah, A. and Heng, L.Y. 2013. Real time on-packaging freshness indicators for guavas packaging. *Food Measue.* 7:29-39.
- Li, C., Xiaochen, Z., Aiqin, W., George W. H. and T. Zhang. 2015. Catalytic Transformation of Lignin for the Production of Chemicals and Fuels. *Chem. Rev* 115: 11559-11624.

- Liu, C., Bin, L., Haishun, D., Dong, L., Yuedong, Z., Guang, Y., Xindong, M. and H. Peng. 2016. Properties of nanocellulose isolated from corncob residue using sulfuric acid, formic acid, oxidative and mechanical methods. *Carbohydrate Polymers* 151: 716–724.
- Loh, S.K., Y.B. Che Man, C.P. Tan, A. Osman and N.S.A. Hamid. 2005. Process optimization of encapsulated pandan (*Pandanus amaryllifolius*) powder using spray-drying method. *J. Sci Food Agric.* 85: 1999-2004.
- Machmudah, S., Shiddiqi, Q. Y. A., Kharisma, A. D., Widiyastuti, Wahyudiono, Kanda, H., Winardi, S. and Goto, M. 2014. Subcritical Water Extraction of Xanthone from Mangosteen (*garcinia Mangostana* Linn) Pericarp. *J Adv Chem Eng.* 5:1. 6p.
- Mansur, H. S., Sadahira, C. M., Souza, A. N. and Mansur, A. A. P. 2008. FTIR spectroscopy characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde. *Material Science and Engineering C.* 28. 539-548.
- Marpaung, A.M., N. Andarwulan and E. Prangdimurti. 2013. The optimization of anthocyanin pigment extraction from butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) petal using response surface methodology. *Acta Hort.* 1011: 205-211
- Melton, L.D. and B.G. Smith. 2001. Determination of the uronic acid content of plant cell walls using a colorimetric assay, pp. E3.3.1-E3.3.4. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D.M. Smith and P. Sporns, eds. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Mokrzycki, W. and Tatol, M. 2011. Color difference delta E – a survey. *Machine graphics and Vision* 20: 383-411.
- Musa, M.N.I., Marimuthu, T., Rashid, H.N.M. and Sambasevam, K.P. 2020. Development of pH Indicator Film Composed of Corn Starch-glycerol and Anthocyanin from *Hibiscus Sabdariffa*. *Malaysian Journal of Chemistry.* 22:1. pp. 19-24.
- Musetti, A., Paderni, K., Fabbri, P., Pulvirenti, A., Al-Moghazy, M. and Fava, P. 2014. Poly(vinyl alcohol)-Based Film Potentially Suitable for Antimicrobial Packaging Applications. *Journal of Food Science.* Vol.00. Nr.0. 6p.
- Nagar, M., Vijay, S. S., Yogesh, K. and L. Singh. 2019. Development and characterization of elephant foot yam starch–hydrocolloids based edible packaging film: physical, optical, thermal and barrier properties. *J Food Sci Technol:* 1-11.
- Nair, S. S., Pei-Y. K., Heyu, C and Ning, Y. 2017. Investigating the effect of lignin on the mechanical, thermal, and barrier properties of cellulose nanofibril reinforced epoxy composite. *Industrial Crops and Products* 100: 208–217.
- Narkchamnan and Chularat. 2012. Organosolv of Nanoscale Natural Fibers from Rice Straw by Organosolv-High Shear Homogenization System. *KKU Res J.* 17(2): 267-277.
- Netala, V.R., Kotakadi, V. S., Nagam, V., Bobbu, P., Ghosh, S. B. and Tarte, V. 2014. First report of biomimetic synthesis of silver nanoparticles using aqueous callus extract of *Centella*

- asiatica and their antimicrobial activity. from
www.researchgate.net/publication/268222793. [10 January 2020]. 7p.
- Ng, C.S. 1987. Determination of trimethylamine oxide (TMAO-N), trimethylamine (TMA-N), total volatile basic nitrogen (TVB-N) by Conway's method. *In*: Hasegawa, H. ed, Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products, Marine Fisheries Research Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore, 1987, pp. 1–8.
- Obi, F. O., Ugwuishiwu, B. O. and Nwakaire, J. N. 2016. AgRICULTURAL WASTE CONCEPT, gENERATION, UTILIZATION AND MANAgEMENT. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) 35(4): 957 – 964.
- Palakawong, C., Sophanodora, P., Pisuchpen, S. and Phongpaichit, S. 2010. Antioxidant and antimicrobial activities of crude extracts from mangosteen (*garcinia mangostana* L.) parts and some essential oils. International Food Research Journal. 17. 583-589.
- Pelissari, F. M., Margarita, M. A. M., Paulo, J. A. S. and F. C. Menegalli. 2017. Nanocomposites based on Banana Starch Reinforced with Cellulose Nanofibers Isolated from Banana Peels. Journal of Colloid and Interface Science 505: 154-167.
- Perreira Jr, V.A., Queiroz de Arruda, I.N. and Stefani, R. 2015. Active Chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Bed Cabbage) as Time-Temperature Indicators for application intelligent food packaging. Food Hydrocollids. 43: 180-188.
- Prapatigul, P., Wallratat, I. and S. Sreshtaputra. 2021. The Seeking of Roughage Sources from Agricultural Wastes in Community for Beef Cattle Raising: A Case Study of Beef Cattle Raising group at Pua District, Nan Province. Journal of Community Development and Life Quality 9(2): 278-288.
- Priyanka and Vigneshwaran. 2019. Mechanical, antibacterial and biodegradable properties of starch film containing bacteriocin immobilized crystalline nanocellulose. Carbohydrate Polymers. 222: 1-8.
- Pu-you, J., Cai-ying, B., Li-hong, H. and Young-hong, Z. 2014. Properties of Poly(vinyl alcohol) Plasticized by glycerin. JOURNAL OF FOREST PRODUCTS & INDUSTRIES. 3(3). 151-153.
- Ramli, A.N., Aznan T.N. and Illias R.M. 2017. Bromelain: from production to commercialisation. J Sci Food Agric. 97(5):1386-1395.
- Rao, J. and McClements, D.J. 2014. Impact of Lemon Oil composition on formation and stability of model food and beverage emulsion Food Chemistry 134. 749-757.
- Rattana, S., Phadungkit. U. and Cushine, B. (2010). Phytochemical screening, Flavonoi content and Antioxidant Activity of Tiliacora Triandra leaf extracts. The 2 ndAnnual International Conference of Northeast Phamacy Research.
- Rajo, E., Maria, S. P., William, W. S., Ingrid, C. H., Jari, V., Janne, L. and O. J. Rojas. 2015. Comprehensive elucidation of the effect of residual lignin on the physical, barrier, mechanical and surface properties of nanocellulose films. The Royal Society of Chemistry 17: 1853-1866.

- Rolland-Sabaté, A., Teresa, S., Alain, B., Paul, C., Benoît, J., Hernán, C. and Dominique, D. 2012. Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylose contents in comparison with other commercial sources. *Food Hydrocolloids* 27; 161-174.
- Santisopasri, V., Kanjana, K., Opas, B. and Klanarong, S. 1996. Influence of Water Stress During growth to Quality and Physicochemical Properties of Cassava Starch. The 37th Kasetsart University Annual Conference: 154-161.
- Scordino, M., Mauro, A.D., Passerini, A. and Maccarone, E. 2004. Adsorption of flavonoids on resins: cyanidin 3-glucoside. *J. Agric. Food Chem.* 52: 1965-1972.
- Shahidi, F. and M. Naczk. 2004. Phenolics in food and nutraceuticals. CRC Press, New York.
- Shankar, S., Jeevan, P. R. and Jong-Whan R. 2015. Effect of lignin on water vapor barrier, mechanical, and structural properties of agar/ lignin composite films. *International Journal of Biological Macromolecules* 81: 267–273.
- Sharma, g. 2003. Digital color imaging. CRC Press, New York.
- Szalóki-Dorkó, L., g. Végvári, M. Ladányi, g. Ficzek and M. Stéger-Máte. 2015. Degradation of anthocyanin content in sour cherry juice during heat treatment. *Food Technol. Biotechnol.* 53 (3): 354-360.
- Sitti R H S., Sugita, P., Ambarsari, L. and Rahayu, D. U. C. 2018. Antibacterial Mangosteen (*garcinia mangosteen* Linn.) peel extract encapsulated in Chitosan. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: conf. Series* 1116. 7 p.
- Tan, C., Chee, K.C., Lin, L. and g. Wong. 2018. Enhancing 3D printability of puree food by addition of hydrocolloids. *Proc. Of the 3rd Intl. Conf. on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2018):* 662-666.
- Terpstra, A.H., J.A. Lapre, H.T. Vries, A.C. Beynen. 2002. The hypocholesterolemic effect of Lemon peel, Lime peel, and the waste stream material of lemon peel in hybrid FIB hamster. *Eur. J. Nutr.* 41 (1). Pp19-26
- Tipduangta, P. and Sirithunyaug, J. 2018. FUNDAMENTAL PRINCIPLE AND APPLICATIONS OF THERMAL ANALYSIS BY DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY IN PHARMACEUTICAL SOLID-STATE FORMULATIONS. *Thai Bulletin Pharmaceutical Sciences* 13(2): 129-143.
- Tongdeesoontorn, 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. 8p.
- Tripathi, R. M., Pudake, R. N., Shrivastav, B. R. and Shrivastav, A. 2018. Antibacterial activity of poly (vinyl alcohol)-biogenic silver nanocomposite film for food packaging material. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 9. 5p.
- Tsakama, M., A.M. Mwangwela., T.A. Manani and N.M. Mahungu. 2010. Physicochemical and pasting properties of starch extracted from eleven sweetpotato varieties. *African Journal of Food Science and Technology.* 1(4):90-98.
- Tsao, R. and McCallum, J. 2010. Chemistry of Flavonoids, pp. 131-153. in L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parrilla and g. A. González-Aguilar, eds. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability.* Wiley-Blackwell Inc., India.

- Valles, D., S. Furtado and A.M.B. Cantera. 2007.. *Enzyme and Microbial Tech.* 40(3): 409-416.
- Vermerris, W. and R. Nicholson. 2006. Phenolic Compound Biochemistry. Springer Press, Netherlands.
- Wang, X., Chen, Q., Lu, X. 2014. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water *Journal of Food Hydrocolloids.* 38, 129-137.
- Wannawisan, N., Pathanasriwong, K., Wilaipun, P., Runglerdkriangkrai, J., Sane, A. and Suppakul, P. 2019. An intelligent colorimetric indicator based curcumin-methylcellulose for detecting status of sea bass fillets during chilled storage condition, pp 33-38. In *Proceedings of the 29th IAPRI Symposium on Packaging.* 11-14 June 2019, University of Twente. Enschede, The Netherlands.
- Whistler, R.L. and Bemiller, J.N. 1993. Industrial gums. California: Academic Press, Inc.
- Wojdylo, A., Figiel, A. and Oszmianski, J. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *J. Agric. Food Chem.* 57: 1337-1343.
- Yang, W., guochuang, Q., José, M. K., Debora, P. and P. Ma. 2020. Effect of Cellulose Nanocrystals and Lignin Nanoparticles on Mechanical, Antioxidant, and Water Vapour Barrier Properties of glutaraldehyde Crosslinked PVA Films. *Polymers* 12(6): 1-15.
- Youssef Habibi. 2014. Key advances in the chemical modification of nanocelluloses. *Chem Soc Rev.* 43: 1519-1542.
- Yuan, T., Jinsong, Z., Bin, W., Zheng, C., Wenhua, g., Jun, Xu. and K. Chen. 2020. Silver nanoparticles immobilized on cellulose nanofibrils for starch-based nanocomposites with high antibacterial, biocompatible, and mechanical properties. *Cellulose* 28: 855-869.
- Zhang, X., Weifeng, L., Wenqiang, L. and X. Qiu. 2020. High performance PVA/lignin nanocomposite films with excellent water vapor barrier and UV-shielding properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 142: 551-558.