



รายงานแผนงานวิจัยย่อย

วิจัยและพัฒนาสารสกัดจากสารธรรมชาติ
Research and Development on Natural Extracts

นางสาวศิริพร เต็งรัง
Miss Siriporn Tengrang

ปี พ.ศ. 2564



รายงานแผนงานวิจัยย่อย

วิจัยและพัฒนาสารสกัดจากสารธรรมชาติ
Research and Development on Natural Extracts

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

ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติและการต่อยอดนำสารสกัดจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ จึงต้องศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการสกัดที่เหมาะสมเพื่อดึงเอาสารสำคัญออกมาให้ได้มากที่สุด ศึกษาเทคโนโลยีหรือวิธีการกักเก็บสารสกัดให้คงไว้ซึ่งคุณภาพ ประโยชน์และคุณสมบัติของสารนั้นๆ และศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณสมบัติของสาร

ซึ่งความสำเร็จจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ได้ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มคุณสมบัติและเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารธรรมชาติไปใช้ ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลกมากยิ่งขึ้น

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	5
คณะผู้วิจัย	6
บทนำ	7
บทคัดย่อ	10
1. โครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ	16
2. โครงการวิจัยและพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์จากสารสกัดธรรมชาติ	91
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	116
บรรณานุกรม	120

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

แผนงานวิจัยย่อยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการสนับสนุนทุนการวิจัย และแผนงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี จากความร่วมมือ การสนับสนุน ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาจากข้าราชการ พนักงานราชการ เจ้าหน้าที่ และหน่วยงานภายในกรมวิชาการเกษตร ตลอดจนหน่วยงานภายนอก ที่อนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการปฏิบัติงาน ดังรายนามต่อไปนี้

ผู้บริหารกรมวิชาการเกษตร

ผอ. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (กวป.)

ผอ. สุปรียา สุขเกษม ผอ.กลุ่มบริหารโครงการวิจัย กวป.

คณะผู้เชี่ยวชาญกรมวิชาการเกษตร

คณะกรรมการวิจัยและพัฒนาองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
กองแผนงานและวิชาการ

นางพุดผกา 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
นางสาวนภัสสร เลียบวัน	Ms. Napatsorn Leabwan
นางสาวสุรีย์รัตน์ รักเหลือ	Ms. Sureerat Rukluarh
นางสาวศุภมาศ กลิ่นขจร	Ms. Supamas Klinkajorn
นางสาวสุปรียา สุขเกษม	Ms. Supreeya Sukhasem
นายประยูร เอ็นมาก	Mr. Prayoon Enmak
นางสาวอัจฉราพร ศรีจูดานู	Ms. Atcharaporn Srijudanu

บทนำ

ประเทศไทยมีผลผลิตจากพืชผัก สมุนไพร และผลไม้จำนวนมาก โดยการผลิตส่วนใหญ่เป็นการผลิตเพื่อรองรับการบริโภคสดและการแปรรูป มีส่วนน้อยที่ผลิตเพื่อนำเอาสารสำคัญซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยสารสำคัญจากพืชผัก สมุนไพร และผลไม้หลายชนิดสามารถใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ได้ เช่น สีสังเคราะห์ สารเสริมสุขภาพและยาสังเคราะห์ สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์ สารทำให้เนื้อนุ่ม และสารที่ช่วยในระบบการย่อยอาหาร เป็นต้น โดยตัวอย่างสารสำคัญจากพืชที่นิยมใช้แทนสารเคมีสังเคราะห์ เช่น รงควัตถุ (สารสี) น้ำมันหอมระเหย (สารให้กลิ่น) แทนนิน (สารฝาด) อัลคาลอยด์ (สารขม) ไฮโดรคอลลอยด์ (สารเพิ่มความคงตัว) และบรอมิเลน (เอนไซม์ย่อยโปรตีน และสารที่ช่วยในระบบการย่อยอาหาร) แคปไซซิน (สารกระตุ้นการขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนัง สารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านการอักเสบ) เป็นต้น

สารเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันส่วนมากนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น สีสังเคราะห์ มีการนำเข้าจากต่างประเทศจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี 2556 มีการนำเข้าสูงถึง 9,717.40 ล้านบาท โดยการนำเข้าสารเคมีสังเคราะห์อาจทำให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเนื่องจากร่างกายได้รับหรือสะสมสารเคมีเป็นเวลานาน เช่น ทำให้เกิดอาการแพ้ เป็นลมพิษ หรือเป็นสาเหตุของโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ การแพ้สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง และการเจ็บป่วยเนื่องจากการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น อีกทั้งในปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรผู้สูงอายุ มากกว่า 10 ล้านคนหรือ 15% ของประชากรทั้งหมด ซึ่งคาดว่าจะเพิ่มขึ้น 20% ของประชากรทั้งหมดในปี 2564 และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นทุกปี ซึ่งเมื่อก้าวเข้าสู่วัยสูงอายุ การเสื่อมถอยของร่างกายมีมากขึ้น การทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายเสื่อมลง โดยเฉพาะระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมถอยและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระทำได้น้อยลง และระบบการย่อยอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ผู้สูงอายุมักประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคไม่ติดต่อ (Non-Communicable Diseases) และโรคที่เกิดจากความเสื่อมของร่างกาย ดังนั้นผู้บริโภคที่จึงตื่นตัวเรื่องความปลอดภัย (Food safety) และหันมาบริโภคอาหาร/อาหารเสริมสุขภาพ และใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของสารสกัดจากสารธรรมชาติเพิ่มขึ้น จึงมีผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติหลากหลายชนิดออกมาจำหน่ายอย่างแพร่หลาย ซึ่งสารธรรมชาติจากพืชที่ผลิตในประเทศไทยอาจมีไม่เพียงพอหรือไม่ครอบคลุมต่อความต้องการใช้งาน จึงทำให้มีการนำเข้าสารสำคัญหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เช่น มีการนำเข้าน้ำมันหอมระเหยมากกว่า 876 ล้านบาท/ปี นำเข้าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยมากกว่า 13,924 ล้านบาท ซึ่งหากมีงานวิจัยที่สามารถใช้เทคโนโลยีในการสกัดและกักเก็บสารสำคัญจากพืชในประเทศให้เพียงพอและครอบคลุมต่อความต้องการหรือนำเอาสารสกัดที่ได้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้ จะช่วยลดการนำเข้าสารสกัด ผลิตภัณฑ์ รวมถึงเทคโนโลยีที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถสร้างรายได้ให้ประเทศอีกทางหนึ่ง

นอกจากนี้การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์หรืออาหารเน่าเสียเนื่องจากไม่สามารถทราบถึงคุณภาพของอาหารที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะหรือเกิดจากการปนเปื้อนของสารเติมแต่งในบรรจุภัณฑ์สู่อาหารก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วย ซึ่งในปัจจุบันต่างประเทศได้พัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) ที่สามารถต้านทานการเกิดเชื้อจุลินทรีย์บนอาหาร และบรรจุภัณฑ์ฉลาด (Intelligent Packaging) ที่สามารถบ่งบอกหรือตรวจติดตามคุณภาพของอาหารที่บรรจุอยู่ภายในผ่านการเปลี่ยนแปลงของอินดิเคเตอร์บนบรรจุภัณฑ์ออกมาจำหน่ายอย่างแพร่หลาย แต่มีการนำเข้ามาใช้น้อยมากในประเทศไทยเนื่องจากมีราคาสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากหากมีงานวิจัยที่สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์แอคทีฟและอินดิเคเตอร์สำหรับบรรจุภัณฑ์ฉลาดใช้ในประเทศ โดยใช้สารสกัดจากพืชเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติและเพิ่มคุณภาพให้บรรจุภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยให้ความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ดังนั้นการศึกษา วิจัย และพัฒนาเพื่อหากระบวนการและเทคโนโลยีที่เหมาะสม ไม่ซับซ้อน และมีต้นทุนการผลิตต่ำ ในการสกัดสารธรรมชาติหรือแปรรูปสารธรรมชาติจากพืชหรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรมาผลิตเป็นอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ สารเติมแต่งในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ โดยยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ของสารธรรมชาตินั้นๆ จะช่วยให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง ช่วยเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ช่วยเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร อุตสาหกรรมเกษตร และประเทศต่อไป

มีวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดสารสำคัญจากธรรมชาติ ให้คงไว้ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ของสารสำคัญนั้นๆ
- 2) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้สารสกัดจากธรรมชาติมาผลิตเป็นอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ สารเติมแต่งในอาหาร อุตสาหกรรมอาหารและเวชสำอาง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และเพิ่มความปลอดภัยให้ผู้บริโภค และใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้บรรจุภัณฑ์

ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคปไซซินจากพริกชี้ฟ้าและการสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกหวาน ศึกษาสมบัติและวิเคราะห์ค่า antioxidant activity ของสารสกัด ทำ microencapsulation ของสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการนำไปใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ
- 2) ศึกษาการประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินจากพริกในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อกระตุ้นการขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังและมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง
- 3) ศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว การสกัดเพคตินจากกากมะนาว การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเวชสำอาง
- 4) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีเพื่อให้ได้ปริมาณสารสีมากที่สุด ศึกษาปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน และอุณหภูมิในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตสีผง วิเคราะห์องค์ประกอบ คุณสมบัติ และตรวจสอบคุณภาพของสีผง และการนำสีผงไปใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร
- 5) ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการทำแห้งแบบโพนเพื่อผลิตสีผงจากสารสกัดดอกอัญชัน สำหรับเติมแต่งในผลิตภัณฑ์อาหาร
- 6) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรคอลลอยด์จากไยยานาง ศึกษาคุณสมบัติและวิเคราะห์ค่า antioxidant activity ของสารสกัด รวมทั้งศึกษาการใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอส
- 7) ศึกษาการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด พร้อมศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่
- 8) ศึกษาการประยุกต์ใช้สารสกัดบรอมีเลนจากสับปะรดในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อช่วยในระบบการย่อยอาหาร
- 9) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุด พร้อมทั้งทดสอบฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด การนำไปประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ และทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

- 10) ศึกษาวิธีการสกัด คุณสมบัติ และคุณภาพของลิกนินจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ศึกษาวิธีการเตรียมคุณสมบัติ และคุณภาพของนาโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มชีวภาพที่ใช้ลิกนินและนาโนเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง พร้อมทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม
- 11) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากพืชสำหรับใช้เป็น pH อินดิเคเตอร์ ศึกษาการเตรียมสีอินดิเคเตอร์และฟิล์มอินดิเคเตอร์ ทดสอบประสิทธิภาพและการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ และการนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์
- 12) ศึกษาต้นทุนการผลิตสารธรรมชาติเปรียบเทียบกับสารทางการค้า

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

แผนงานงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัด การกักเก็บสาร และการใช้ประโยชน์สารสำคัญ 13 ชนิด ที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์เกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 8 ชนิด ได้แก่ สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ จากพริก น้ำมันหอมระเหยและเพคตินจากมะนาว สีกุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน สีกุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอท สีกุ่มคลอโรฟิลล์จากใบเตย เอนไซม์บรอมีเลนจากส่วนเหลือทิ้งสับปะรด สารแซนโทนจากเปลือกมังคุด ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และสีนินดีเคเตอร์กลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน รวมถึงการนำสารสำคัญที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลน เจลนวดจากแคปไซซิน และสียงจากการทำแห้งแบบโฟมเมท ดำเนินงานวิจัยระหว่างปี 2560-2564 ที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์ ดังนี้

สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก โดยพริกขี้หนูพันธุ์หัวเรือที่สกัดด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 1:5 w/v ให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด 2,374.35 $\mu\text{g/g}$ พริกขี้พ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าว ให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด 229.42 $\mu\text{g/ml}$ และ 97.62 $\mu\text{moles Trolox/ml}$ กักเก็บสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อัตราส่วน สารสกัดแคปไซซิน:สารสกัดแคโรทีนอยด์:มอลโทเด็กซ์ทริน 0.5:10:40 v/v ให้ปริมาณสารสกัดสูงที่สุด สามารถเก็บรักษาสารสกัดโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูลเก็บในขวดแก้วใส เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพได้นาน 180 วัน จากนั้นนำสารสกัดแคปไซซินที่สกัดได้จากพริกพันธุ์ซุเปอร์ฮอตมาผลิตเจลนวดแคปไซซิน โดยใช้ปริมาณ 1.5% พบว่าเจลนวดที่ได้มีปริมาณสารแคปไซซิน 0.0123 (%) (โดยน้ำหนักของตัวอย่าง) ปริมาณฟีนอลิกรวม 2.83 (mg gallic acid/g) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (SC50) เท่ากับ 10.11 (mg/ml) ผลการทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน ในอาสาสมัครจำนวน 15 คน พบว่าอาสาสมัครจำนวน 11 คน ไม่พบการระคายเคืองที่ผิวหนังบริเวณที่ทาผลิตภัณฑ์ ขณะที่อาสาสมัครจำนวน 4 คน มีอาการแดงและบวมเล็กน้อยบริเวณที่ทาผลิตภัณฑ์แต่อาการจะหายไปภายใน 24 ชม.

น้ำมันหอมระเหย และเพคติน เตรียมจากมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและพันธุ์แป้นโดยสามารถใช้เวลาประโยชน์ได้ทั้งน้ำ และเปลือก โดยผลิตน้ำมันหอมระเหยพร้อมเติมบรรจุในถุงรีโอร์ตแพชเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน ผลิตน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย 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 ซึ่งได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของมะนาวและได้ประโยชน์จากวิตามินซีจากผลมะนาว

สียงจากธรรมชาติ 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 จากนั้นนำสีผงที่สกัดได้จากดอกอัญชันมาทำแห้งแบบโฟมเมท โดยนำสารสกัดมาผสมมอลโทเด็กซ์ทริน 20% w/w จากนั้นเติมสารก่อโฟม methocel ปริมาณ 2.5% ตีให้เกิดโฟม 15 นาที ใส่ถุงบีบให้เป็นเส้นลงบนถาด นำไปทำ

แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 70 °C เป็นเวลา 3 ชม. ได้สีผงเป็นสีชมพู มีความชื้น 4.50% ค่า aw เท่ากับ 0.239 ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 42.11, 15.90 และ -1.45 ตามลำดับ ค่าการละลาย 86.92% ปริมาณแอนโทไซยานิน 19.37 mg cyanidin-3-glucoside/100g ปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ซอร์เบต คือ 2.5% โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาสีผงเป็นเวลา 4 เดือน ในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ พบว่าสีผงมีความชื้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น ในขณะที่ปริมาณสารแอนโทไซยานินมีค่าลดลง

ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง สกัดจากของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ด้วยน้ำ ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง 5.45% มีสีเทา มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 55.68% มอความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63 µg/ml และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg GAE/100 ml มีโครงสร้างใกล้เคียงกับสารไซแลน สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเปียวเร่ได้ โดยใช้ปริมาณ 1.5% ในซอสพริก และ 2.0% ในอาหารเสริมสำหรับเด็ก เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นหนืดและการแยกชั้นใกล้เคียงกับการเติมแซนแทนกัม

เอนไซม์บรอมีเลน สกัดจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ได้แก่ จุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุด มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 111.36 CDU/g น้ำหนักสด และมีความบริสุทธิ์ของเอนไซม์สูง สกัดโดยตีปั่นที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที ปั่นคั้นน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นมาสกัดแยกโปรตีนด้วยการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง โดยดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 4 °C จะได้ผงเอนไซม์บรอมีเลนมีสีเหลืองอ่อน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิต 0.24±0.09% ต่อน้ำหนักสด นำไปประยุกต์ใช้ในสูตรซอสหมักเนื้อ ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.1% โดยน้ำหนักเนื้อสัตว์ และใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 นาที จากนั้นนำเอนไซม์มาผลิตเครื่องดื่มช่วยย่อยในรูปแบบกรานูลฟองฟู โดยสูตรที่มีคะแนนความชอบดีที่สุดคือ กรดซิตริก 0.80 g กรดทาร์ทาริก 0.40 g โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g เอนไซม์บรอมีเลนผง 0.20 g พีวีพี 0.15 g สารลดการก่อโฟม 0.036 g ซูคราโรส 0.007 g โซลิตอล 0.80 g และสารให้กลิ่นสับปะรด 0.12 จากนั้นนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการทำกรานูลแห้ง ได้ผลิตภัณฑ์กรานูลฟองฟูที่มีสมบัติการไหลของผงยาในระดับดี และยังคงค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนไว้ได้ที่ 87.9% ละลายน้ำได้ดี ใช้เวลาในการเกิดสภาวะฟองฟู 94 วินาที

สารแอลฟาแมงโกสติน เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยเมื่อสกัดเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงจะได้แอลฟาแมงโกสติน 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 และดึงยืดได้ 387.10 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน

ลิกนินและนาโนเซลลูโลส สกัดได้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดย งานวิจัยนี้เลือกสกัดจากเปลือกทุเรียน เนื่องจากมีปริมาณการทิ้งสูง โดยต้มเยื่อด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แล้วกรองน้ำดำ นำไปสกัดลิกนินพบว่า สกัดลิกนินได้ 39.5% สกัดนาโนเซลลูโลสได้ 10% นำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) มีคุณสมบัติดีที่สุดเหมาะสมสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแห่ง มีค่าแรงดึงขาด 142.51 kgf/cm² ร้อยละการยืดตัว 10.81% ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 109.1 cm³/m²/day และค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม 0.40 µm สามารถต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ที่ความยาวคลื่น 400 nm. ขึ้นรูปเป็นถุงขนาด 10x10 cm² บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับถุงทางการค้าเก็บรักษา

3 เดือน พบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ได้ดีใกล้เคียงกับอุณหภูมิการคั่ว โดยค่าเปอร์ออกไซด์ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุง L3 และปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าในอุณหภูมิการคั่ว

สีอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ ใช้สีจากสารกลุ่มแอนโทไซยานินโดยสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M มีค่า pH 2.50 มีค่าความสว่าง L^* 25.54 ค่าความเป็นสีแดง a^* 6.50 และค่าความเป็นสีน้ำเงิน b^* -5.83 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ และคงตัวได้ดี นำมาเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยเติมในฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA และไคโตซาน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ และเมื่อสัมผัสกับไอระเหยของแอมโมเนีย คนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างของฟิล์มได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อพลาสติก 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, xanthonenes from mangosteen peel, lignin and nanocellulose from durian husk. and anthocyanin group indicator color from butterfly pea flowers. Including the introduction of important substances that have been developed into products such as digestion products from bromelain enzymes, capsaicin massage gel and powder color from foam mat drying. 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. The capsaicin extract extracted from the superhot chili peppers was then used as a capsaicin massage gel at 1.5% amount. It was found that the massage gel contains 0.0123 capsaicin (% by sample weight), total phenolic content of 2.83 (mg gallic acid/g) and antioxidant activity (SC50) were 10.11 (mg/ml). Irritation test in 15 volunteers, 11 volunteers showed no skin irritation at the application site. While four of the volunteers had slight redness and swelling where the product was applied, the symptoms resolved within 24 hours.

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. Then take the color powder extracted from butterfly pea flowers to dry like a foam mat. The extract was mixed with maltodextrin 20% w/w and 2.5% methocel foaming agent. Beat to foam for 15 minutes. Dry in a hot air dryer at 70 °C for 3 hrs. The powder was pink with a moisture content of 4.50%, the aw value was 0.239, the color values L* a* and b* were 42.11, 15.90 and -1.45, respectively. Solubility 86.92% and anthocyanin content 19.37 mg cyanidin-3-glucoside/100g. The optimum amount for application of sorbate products is 2.5% by weight of the total ingredient. When storing the powder paint for 4 months in an aluminum foil bag. It was found that the color powder had a slight change in moisture content but not different from the beginning, while the anthocyanin content was 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 µg/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. The enzymes are then used to produce a digestive aid in the form of effervescent granules. The formula with the best liking score was citric acid 0.80 g, tartaric acid 0.40 g, sodium bicarbonate 0.90 g, bromelain powder 0.20 g, PVP 0.15 g, foaming agent 0.036 g, sucralose 0.007 g, xylitol 0.80 g and 0.12 of pineapple flavoring agent were then prepared by dry granulation method. The effervescent granule product with good rheological properties of the medicinal powder was obtained and retained bromelain enzyme activity at 87.9% and good water solubility. It takes 94 seconds for the bubble to form.

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 $0.40 \mu\text{m}$ 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.

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 1
วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ
Research and Development on Products from Natural Substances

ศิริพร เต็งรัง อภินิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์ วิลัยศรี ลิมปพยอม จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม
ศิวัช พลายเสน นายกนกศักดิ์ ลอยเลิศ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร โกเมศ สัตยาวุธ ปารีชาติ อยู่แพทย์
นายนราทร สุขวิเสส นางสาวนภัสสร เลียบวัน ศุภมาศ กลิ่นขจร สุปรียา สุขเกษม
ประยูร เอ็นมาก และอัจฉราพร ศรีจูดานู

Siriporn Tengrang Akanit Pisalwadcharin Wilaisri Limpapayom Charuwan Rattanasakultham
Siwat Plaisen Kanoksak Loiloes Wimonwan Wattanawichit Komate Satayawut Parichart Yooapat
Narathorn Sukwises Napatsorn Leabwan Supamas Klinkajorn Supreeya Sukhasem
Prayoon Enmak and Atcharaporn Srijudanu

คำสำคัญ (Key words)

แคปไซซิน แคโรทีนอยด์ พริก อาหารเสริม มะนาว นาโนเทคโนโลยี การทำแห้งแบบพ่นฝอย เอนแคปซูเลชัน เครื่องสำอาง แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ ไบยานาง ไฮโดรคอลลอยด์ สารให้ความคงตัว ซอสพริก อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบพืชมะนาว เอนไซม์บรอมีเลน การแปรรูปสับปะรด ผงหมักเนื้อนุ่ม แชนโทน บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ फिल्मชีวภาพ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลิกนิน นาโนเซลลูโลส บรรจุภัณฑ์ฉลาด สีธรรมชาติ แอนโทไซยานิน ดอกอัญชัน

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัด การกักเก็บสาร และการใช้ประโยชน์สารสำคัญ 13 ชนิด ที่สกัดได้จากผลผลิตเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 8 ชนิด ได้แก่ สารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก น้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาว สีกุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน สีกุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอท สีกุ่มคลอโรฟิลล์จากใบเตย เอนไซม์บรอมีเลนจากส่วนเหลือทิ้งสับปะรด สารแชนโทนจากเปลือกมังคุด ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และสีอินดิเคเตอร์กุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน 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:มอลโทเด็กซ์ทรีน 0.5:10:40 v/v ให้ปริมาณสารสกัดผงสูงที่สุด สามารถเก็บรักษาสารสกัดโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์และแคปซูลเก็บในขวดแก้วใส เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพได้นาน 180 วัน

น้ำมันาว น้ำมันหอมระเหย และเพคติน เตรียมจากมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและพันธุ์แป้นโดยสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งน้ำ และเปลือก โดยผลิตน้ำมันาวพร้อมดื่มบรรจุในถุงรีทอร์ทแพคเกจรักษาได้นาน 6 เดือน ผลิตน้ำมันาวผงโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย 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 เมื่อเก็บรักษาสีผงในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ 12 เดือน ค่าความชื้นและค่า aw เพิ่มขึ้น คุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และปริมาณสารสำคัญมีค่าลดลง

ไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง สกัดจากของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ด้วยน้ำ ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง 5.45% มีสีเทา มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 55.68% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63 $\mu\text{g/ml}$ และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg GAE/100 ml มีโครงสร้างใกล้เคียงกับสารไซแลน สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ได้ โดยใช้ปริมาณ 1.5% ในซอสพริก และ 2.0% ในอาหารเสริมสำหรับเด็ก เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นหนืดและการแยกชั้นใกล้เคียงกับการเติมแซนแทนกัม

เอนไซม์บรอมีเลน สกัดจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ได้แก่ จุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุด มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 111.36 CDU/g น้ำหนักสด และมีความบริสุทธิ์ของเอนไซม์สูง สกัดโดยตีปั่นที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที บีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นมาสกัดแยกโปรตีนด้วยการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง โดยดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 4 °C จะได้ผงเอนไซม์บรอมีเลนสีเหลืองอ่อน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 19,832.66 \pm 5128.13 CDU/g มีปริมาณผลผลิต 0.24 \pm 0.09% ต่อน้ำหนักสด นำไปประยุกต์ใช้ในสูตรซอสหมักเนื้อ ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.1% โดยน้ำหนักเนื้อสัตว์ และใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 นาที

สารแอลฟาแมงโกสติน เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยเมื่อสกัดเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงจะได้แอลฟาแมงโกสติน 55.74% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุดในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส 12.25 mm. จึงนำมาเติมในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยฟิล์มเติมสารสกัด 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุดในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 13.25 mm. สามารถนำไปประยุกต์ใช้

เป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ได้ มีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm^2 และดึงยืดได้ 387.10 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน

ลิกนินและนาโนเซลลูโลส สกัดได้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดย งานวิจัยนี้เลือกสกัดจากเปลือกทุเรียน เนื่องจากมีปริมาณการทิ้งสูง โดยต้มเยื่อด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แล้วกรองน้ำดำ นำไปสกัดลิกนินพบว่า สกัดลิกนินได้ 39.5% สกัดนาโนเซลลูโลสได้ 10% นำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดเหมาะสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแห้ง มีค่าแรงดึงขาด 142.51 kgf/cm^2 ร้อยละการยืดตัว 10.81% ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน $109.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ และค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม $0.40 \mu\text{m}$ สามารถต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ที่มีความยาวคลื่น 400 nm . ขึ้นรูปเป็นถุงขนาด $10 \times 10 \text{ cm}^2$ บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับถุงทางการค้าเก็บรักษา 3 เดือน พบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ได้ดีใกล้เคียงกับถุงทางการค้า โดยค่าเปอร์ออกไซด์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุง L3 และปริมาตรก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าในถุงทางการค้า

สีอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ ใช้สีจากสารกลุ่มแอนโทไซยานินโดยสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M มีค่า pH 2.50 มีค่าความสว่าง $L^* 25.54$ ค่าความเป็นสีแดง $a^* 6.50$ และค่าความเป็นสีน้ำเงิน $b^* -5.83$ มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ และคงตัวได้ดี นำมาเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยเติมในฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA และไคโตซาน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ และเมื่อสัมผัสกับไอระเหยของแอมโมเนีย คนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างของฟิล์มได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อพลาสติก 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 nanocellula 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, uronic 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/cm² 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/cm², elongation was 10.81%, oxygen permeation rate 109.1 cm³/m²/day, film surface roughness 0.40 μm and UV and visible light resistance at a wavelength of 400 nm. Prepared a bag of 10x10 cm², 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.

บทนำ

ประเทศไทยมีผลผลิตจากพืชผัก สมุนไพร และผลไม้จำนวนมาก โดยการผลิตส่วนใหญ่เป็นการผลิตเพื่อรองรับการบริโภคสดและการแปรรูป มีส่วนน้อยที่ผลิตเพื่อนำเอาสารสำคัญซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยสารสำคัญจากพืชผัก สมุนไพร ผลไม้ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดสามารถใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ได้ ซึ่งมีรายงานการศึกษาวิธีการสกัด วิธีการกักเก็บ และคุณสมบัติของสารสกัดหรือสารสำคัญหลายชนิด ตลอดจนการนำเอาสารสกัดมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. แคปไซซิน เป็นสารประกอบสำคัญของพริกที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน เป็นสารกลุ่มแคปไซซินอยด์ มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{27}NO_3$ พบมากบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาวหรือ “รกพริก” ในส่วนของเนื้อ เปลือก และเมล็ดพริกจะมีน้อยมาก ปริมาณแคปไซซินจะแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์ของพริก ดังนี้ พริกขี้หนูมีแคปไซซิน 18.2 ppm พริกเหลืองมีแคปไซซิน 16.7 ppm พริกขี้พามีแคปไซซิน 4.5 ppm พริกหยวกมีแคปไซซิน 3.8 ppm และพริกหวานมีแคปไซซิน 1.6 ppm (สัมพันธ, 2546) โดยแคปไซซินบริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายในน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในไขมัน น้ำมัน และแอลกอฮอล์ มีจุดหลอมเหลว $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทนความร้อนและความเย็นได้ดี (มโนวิชและจันทรรัตน์, 2547) แคปไซซินมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น ช่วยสลายลิมโฟไซต์ ลดการเกิดการอุดตันของเส้นเลือด (ชวนพิศ, 2547) บรรเทาปวด ลดการอักเสบ โดยมีรายงานการวิจัยว่ามีการใช้แคปไซซินในการรักษาอาการปวดต่างๆ เช่น อาการปวด/คันที่ผิวหนังจากการผ่าตัด ความผิดปกติของระบบประสาทจากเนื้องอก ข้ออักเสบรูมาตอยด์ ข้อเสื่อม ปลายประสาทอักเสบจากเบาหวาน บรรเทาอาการคัดจมูกน้ำมูกไหลเรื้อรัง (สนทยา, 2540)

2. แคโรทีนอยด์ เป็นสารสำคัญที่ให้สีในพริกและแครอท ให้สีเหลืองจนถึงสีแดง ก่อนข้างคางตัว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ มีจุดหลอมเหลว $175\text{-}176\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของแอลดีแอลได้ นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นวิตามินเอ โดยแคปแซนทินบริสุทธิ์จะเป็นผลึกรูปเข็มสีแดงเข้ม ในพริกที่ยังไม่สุกจะไม่พบรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์แต่จะพบรงควัตถุที่ให้สีเขียวและเหลืองส้ม เช่น ลูเทออิน บีตาแคโรทีน แคปไซรูบิน และคริปโตแซนทิน การกระจายตัวของรงควัตถุในพริกจะแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ โดยพบในส่วนเนื้อสูงกว่าเมล็ด (สนทยา, 2540)

การวิจัยเกี่ยวกับสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริกจะเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสารสำคัญจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ และพัฒนาเป็นแหล่งอาหารที่มีความสำคัญต่อสุขภาพ แต่เนื่องจากแคปไซซินและแคโรทีนอยด์สลายตัวได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะแคโรทีนอยด์สลายตัวได้ง่ายด้วยแสง ความร้อน กรดและปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงได้นำเทคโนโลยีการเก็บกักมาเป็นตัวช่วยเพื่อคงประสิทธิภาพและรักษาคุณภาพของสารไว้ โดยสามารถนำผลิตภัณฑ์สารสำคัญจากพริกที่อยู่ในรูปแบบผงมาประยุกต์ใช้เป็นอาหารเสริมได้ นอกจากนี้ยังมีการสกัดสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอทมาใช้เป็นสารให้สีในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยสกัดด้วยเอโนไซม์และเติมมอลโตเดกซ์ทริน DE10 10% ทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า $135\text{-}145\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิลมร้อนออก $90\text{-}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ผงสีที่ได้มีสีเหลืองอ่อน (กิตติมา, 2549)

3. น้ำมะนาวผง มะนาวเป็นไม้ผลในตระกูลส้ม มีรสเปรี้ยวจัดหรือเป็นแหล่งของวิตามินซี ให้รสชาติและกลิ่นหอม มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันโรคมะเร็งไข้เจ็บต่างๆ โดยการควบคุมอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะสมดุลที่ร่างกายรับได้ ซึ่งหากทำให้น้ำมะนาวอยู่ในรูปผงจะทำให้การใช้งานสะดวกขึ้น โดยวรรณิ (2545) ได้วิจัยทำมะนาวผง โดยใช้ความร้อนลดความขมจากเปลือกมะนาวด้วยการลวกมะนาวที่ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1 นาที ก่อนคั้นน้ำ พบว่าช่วยลดความขมลงได้ การทำแห้งมะนาวผงโดยใช้น้ำเชื่อมกลูโคสในสัดส่วนน้ำมะนาวต่อน้ำเชื่อมกลูโคสและมอลโตเดกซ์ทริน DE26 อัตราส่วน 100:30 ให้ผลิตภัณฑ์มะนาวผงที่ดีแต่ต้องเติมกลิ่นมะนาวโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวซึ่งได้จากการกลั่นเปลือกมะนาวด้วยน้ำ โดยนำมาผสมหลังการทำแห้งมะนาวผงปริมาณ 0.3%

4. น้ำมันหอมระเหยจากมะนาว มีการนำมาใช้เป็นสารให้กลิ่นอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่มและเครื่องสำอาง รวมทั้งของใช้ภายในบ้าน เช่น ก้อนหอมดับกลิ่น โดย Rao and McClements (2014) ได้วิจัยการสกัดน้ำมันมะนาวจากเปลือกมะนาว โดยศึกษาการเตรียมอิมัลชันในรูปแบบ Oil in water พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันมะนาวก็คือ monoterpenes 35% sesquiterpenes 14% และ Oxygenated 33% เตรียมอิมัลชัน oil in water ด้วยเครื่อง High pressure Homogenizer ประกอบด้วยน้ำมันมะนาว 10% Tween80 1% และสารละลายบัฟเฟอร์ (10 mMole phosphate pH7) 89% w/w ได้น้ำมันมะนาว 10%

5. เพคติน มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มความเหนียวและความเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ใช้ผสมในไอศกรีม เยลลี่ วุ้น เป็นต้น รวมถึงการใช้ในเครื่องสำอาง (Wang et al., 2014) โดยทั่วไปพบเพคตินในผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล กล้วย ลิ้นจี่ มะม่วง เป็นต้น ซึ่งผลไม้ตระกูลส้มและแอปเปิ้ลมีเพคตินในเปลือกปริมาณสูง โดยในไทยมีพืชตระกูลส้มหลายชนิด เช่น ส้มโอ มะนาวและมะกรูด ที่เป็นแหล่งของเพคตินธรรมชาติ โดยสมฤทัยและคณะ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคติน คือ ใช้กรดเกลือเข้มข้น 10% ปรับ pH ให้เท่ากับ 2 สกัด 60 นาที ได้เพคติน $2.34 \pm 0.05\%$ น้ำหนักแห้ง เป็นผงละเอียด ร่วน ดูดความชื้นได้ มีสีเนื้อถึงสีน้ำตาล เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายใสสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม มี pH 3-4 เมื่อเติมกรดหรือด่างจะเกิดเจลหรือตะกอนวุ้นสีขาว มีค่า methoxy content ต่ำ 24.42% และค่า Loss on drying 5.62% ของน้ำหนักสาร

6. รงควัตถุหรือสี มีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากสีเป็นคุณลักษณะแรกๆที่ผู้บริโภคได้รับทางประสาทสัมผัส และเป็นปัจจัยที่ดึงดูดให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกและยอมรับอาหารชนิดนั้นๆ ปัจจุบันสีสังเคราะห์ผสมอาหารมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ทำให้ผู้ผลิตใช้แทนสีธรรมชาติมากขึ้น (เวณิกาและคณะ, ม.ป.ป.) แต่การบริโภคสีสังเคราะห์มากเกินไปอาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อสุขภาพจึงสนใจสีธรรมชาติที่ได้จากพืชมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยและมีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เช่น

แอนโทไซยานิน เป็นสารประกอบฟีนอลิก ให้สีช่วงแดง-น้ำเงิน มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ละลายน้ำได้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็น แก้อาการตาฟางและช่วยขับปัสสาวะ เป็นต้น พบได้ในผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เป็นต้น (Shahidi and Naczka, 2004 และ Giusti and Wrolstad, 2005) มีโครงสร้าง 4 แบบ คือ flavylum cation, quinoidal base, carbinol pseudobase และ chalcone (Wojdylo et al., 2009) ซึ่งความคงตัวของสีขึ้นกับโครงสร้าง pH และอุณหภูมิ โดยในสภาวะกรด แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูป flavylum cation (สีแดง) เมื่อ pH เพิ่มขึ้น flavylum cation จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในรูป carbinol pseudobase, chalcone (ไม่มีสี) และ quinoidal base (สีน้ำเงิน) (Tsao and McCallum, 2010) เช่น สารสกัดจากกะหล่ำปลีสีแดงจะมีสีแดงเมื่ออยู่ในสารละลายกรดและเปลี่ยนเป็นน้ำเงินเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง สารสกัดดอกอัญชันด้วย 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 โดยมีงานวิจัยสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยน้ำและปรับ pH เท่ากับ 4 ผสมสารหล่อหุ้ม 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซิลโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและเจลาติน นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยมีอุณหภูมิลมร้อนเข้า 130 °C พบว่าสีผสมจากดอกอัญชันที่ใช้เจลาตินเป็นสารหล่อหุ้มมีความคงตัวมากกว่า (Angkana et al., 2008)

คลอโรฟิลล์ เป็นกลุ่มสีที่ให้รงควัตถุสีเขียวในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของใบ เป็นสีที่ไม่คงตัวโดยแสง อุณหภูมิ ระยะเวลาเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนสีคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ คลอโรฟิลล์ a และ คลอโรฟิลล์ b การเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวสว่างไปเป็นสีเขียวน้ำตาลทึบ และสภาวะกรดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทางความร้อนก็มีผลต่อการเปลี่ยนสีด้วย (Dennis, 1998) โดยมี

งานวิจัยผลิตผงใบเตยโดยสกัดใบเตยด้วยน้ำ 1:6 นำสารสกัดที่ได้ 600 g ผสมกับน้ำมันปาล์ม 240 g มอลโตเด็กซ์ทริน 136 g โซเดียมเคซิเนต 24 g นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170-200 °C พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งที่เหมาะสมคือ 170 °C ซึ่งทำให้ผงใบเตยมีคุณภาพดีที่สุด (Loh et al., 2005)

7. กัมหรือไฮโดรคอลลอยด์ เป็นพอลิเมอร์สายยาวนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารตามคุณสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว สารเพิ่มความหนืด อิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ สารช่วยให้เกิดเจลและสารที่ทำให้เกิดฟิล์ม เป็นต้น โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากพืชกำลังเป็นที่สนใจเพื่อใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ เมล็ด ยาง เช่น กัมอาราบิก ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือจากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน หรือได้จากสัตว์ เช่น ไคติน หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แชนแทนกัม (นิริยา, 2549) โดยยானางเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้เป็นอาหารและเป็นยามาตั้งแต่โบราณ เมื่อคั้นน้ำจากใบยானางจะได้สารละลายที่มีความข้นหนืดซึ่งเกิดจากไฮโดรคอลลอยด์ที่อยู่ในใบยானาง มีคุณสมบัติคล้ายไซแลนที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล โดยองค์ประกอบทางเคมีมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดรวมทั้งกรดยูโรนิกคล้ายคลึงกับน้ำตาลที่พบในไซแลนจากบรีซูด ไซแลนจากไธสเพลทและไซแลนจากเมล็ดฝ้าย มีน้ำตาลไซโรสเป็นองค์ประกอบหลัก (จิตรา, 2550) นอกจากนี้ใบยானางยังมีสารพฤกษเคมีในปริมาณสูง ได้แก่ สารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แทนนินและซาโปนิน 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 มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น ใช้ป้องกันความชุ่มของเบียร์ขณะเก็บรักษา เรงกระบวนการหมักน้ำปลา และใช้สารที่ช่วยทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (Valles et al., 2007) เป็นต้น โดยการผลิตโดยเอนไซม์บรอมิเลนทางการค้าจะผลิตได้จากพืชชนิดเดียว คือ สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr.) ซึ่งคุณสมบัติของเอนไซม์จะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบเอนไซม์และพันธุ์ของสับปะรด โดยนำน้ำสับปะรดมาผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ได้แก่ อัลตราฟิวเตรชัน เซนทริฟิวจ และไลโอไฟไลเซชัน ซึ่งจะได้บรอมิเลนที่มีลักษณะเป็นผงโปรตีนสีเหลือง (Coelho et al., 2013) และมีราคาสูง (Ramli, 2017) การสกัดเอนไซม์บรอมิเลนในระดับห้องปฏิบัติการทำได้โดยการตีปั่นด้วยน้ำผสมน้ำแข็งปราศจากไอออน (ทอง, 2530) การตีปั่นด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่เย็น (Ketnawa, 2011) การบีบอัดด้วยเครื่องไฮโดรริก (นิมิตพิสุทธิ์, 2530) นำน้ำสับปะรดมาทำให้บริสุทธิ์โดยปั่นเหวี่ยงของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกแล้วสกัดเอนไซม์บรอมิเลนโดยตกตะกอนด้วยตัวทำละลายอะซิโตน/เอทานอลเย็น (ทอง, 2530) เป็นต้น หลังจากนั้นนำตะกอนทำให้แห้ง โดยการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ร้อยละผลได้ของค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมิเลนสูง (Devakate, 2009) การนำเอนไซม์บรอมิเลนมาประยุกต์ใช้เพื่อทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้นโดยการนวดหมักเนื้อและการจุ่มแช่ เอนไซม์บรอมิเลนจะทำให้คอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อสัตว์ในส่วนกล้ามเนื้อละลายเสื่อมคุณภาพลง ทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์อ่อนนุ่ม และเนื่องจากไทยเป็นผู้ผลิตสับปะรดรายใหญ่ของโลก นิยมปลูกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียส่งโรงงานเพื่อแปรรูป (จารุพันธ์, 2526) จะทำให้ได้เศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปถึงร้อยละ 70 (มาลี, 2521) คิดเป็น 7.17 ล้านตันต่อปีจากทั้งเปลือก ใบสับปะรดและจุก (สมบัติและคณะ, 2537) ซึ่งส่วนเหลือทิ้งสามารถนำมาผลิตเอนไซม์บรอมิเลนได้

9. แชนโทน เป็นสารในกลุ่มพอลิฟีนอล มีสารประกอบหลัก คือ แอลฟา-แมงโกสทิน และสารออกฤทธิ์อื่นๆ เช่น ซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น มีคุณสมบัติเด่น คือ ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี สามารถสกัดได้หลายวิธี โดยการสกัดเปลือกมังคุดแห้งด้วยเอทานอลได้สารสกัดหยาบมากที่สุด 26.59% และสารสกัดจากเปลือกมังคุดสดที่สกัดเย็นด้วยเอทานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ได้ดี (อุดมลักษณ์และคณะ, 2549) โดยสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *S. aureus* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *E. coli* (Palakawong et al., 2010) นอกจากนี้ยังมีการนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาเคลือบบนฟิล์ม LDPE

แล้วนำไปห่อขึ้นปลา พบว่าฟิล์มมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในขึ้นปลาได้ (บุษกรและคณะ, 2554) แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ได้

10. ลิกนิน เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากต้นไม้ ซึ่งมีปริมาณมากและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์ มีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบอะโรมาติก (Aadil et al., 2016a) ประกอบด้วยอนุภาคแบบหลายขนาดทั้งอสัณฐานและโครงสร้างผลึกตาข่าย ลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่หลากหลาย ได้แก่ ไฮดรอกซิล เมทอกซิล คาร์บอนิล และคาร์บอกซิล (Aadil et al., 2016b) โดยส่วนมากเป็นของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ ซึ่งมีปริมาณลิกนินถึง 50 ล้านตัน โดยลิกนิน 98% ถูกนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานหมุนเวียน แต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านเคมีและการประยุกต์ใช้กับวัสดุ (Nair et al., 2017) นอกจากนี้ ลิกนินมีทั้งหมู่ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านวัสดุชีวภาพได้ ลิกนินสามารถเข้ากันได้ทั้งในส่วนของพอลิเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (Acosta et al., 2016) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาพอลิเมอร์ สารยึดติด สารเคลือบ คาร์บอนไฟเบอร์ ถ่านกัมมันต์ โฟม และโลหะระดับอนุภาคนาโน (Aadil et al., 2016a) สารคงตัว ฟิวเลอร์ สารเติมแต่ง ในวัสดุพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์แตกต่างกัน เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเอทิลีนออกไซด์ และพอลิแลกติกแอซิด และอาจจะเป็นสารที่เติมลงไปเพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต่อต้านจุลินทรีย์ ลดการส่องผ่านรังสียูวี รวมไปถึงยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร จากการรายงาน พบว่ามีการใช้ลิกนินมากกว่า 1 ล้านตันในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Aadil et al., 2016b)

11. เส้นใยเซลลูโลสจากวัสดุลิกนินเซลลูโลส การมาใช้ประโยชน์จะต้องผ่านกระบวนการกำจัด ลิกนินรวมถึงเฮมิเซลลูโลสหรือเซลลูโลสอสัณฐานโดยการปรับสภาพทางกล เคมี ภายภาพ และชีวภาพด้วยเอนไซม์ และจุลินทรีย์ (Narkchamnan and Chularat, 2012) โดยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ สามารถผลิตได้ถึง 7.5×10^{10} ตัน มีการนำมาใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติกประเภทที่เป็นวัสดุร่วม (composite) เส้นใยเซลลูโลสผลิตโดยใช้วิธีเชิงกลจากการใช้แรงเฉือนหรือการย่อยด้วยกรด ส่งผลให้ขนาดหรืออนุภาคเล็กลง เส้นใยที่ได้จะอยู่ในรูปของโครงสร้างที่เป็นผลึกในระดับนาโนสเกล โดยเฉพาะจุดเด่นของนาโนเซลลูโลส คือ เพิ่มสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุร่วมให้ดียิ่งขึ้น นาโนเซลลูโลสแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ cellulose nanocrystals (CNCs), nanofibrillated cellulose (NFC) และ bacterial nanocellulose (BNC) โดย CNCs ผลิตโดยการนำเซลลูโลสมาย่อยด้วยกรด เส้นใยที่ได้มีขนาดระดับ nm. ขึ้นอยู่กับชนิดพืช NFC ผลิตโดยการนำเส้นใยมาลดขนาดด้วยวิธีเชิงกล บางครั้งใช้ร่วมกับเอนไซม์หรือสารเคมี เส้นใยที่ได้มีความยาวระดับไมโครเมตร จนถึง 10-100 nm. ได้ผลิตภัณฑ์ลักษณะเป็นเจลในน้ำ เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตมี 3 แบบ คือ โฮโมจีไนเซชัน ไมโครฟลูอิดิเคชัน และการบดระดับไมโคร (microgrinding) ส่วน BNC ผลิตโดยการนำเส้นใยมาลดขนาดโดยใช้แบคทีเรีย เช่น *Acetobacter g. xylinus* เป็นต้น โดยคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถให้แหล่งของคาร์บอนและไนโตรเจน มีความกว้างของเส้นใยน้อยกว่า 100 nm. และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4 nm. (Youssef, 2014)

สารธรรมชาติทั้ง 11 ชนิด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เวชสำอาง เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด ใช้เป็นสารให้สี กลิ่น เป็นสารช่วยย่อย และสารเสริมสุขภาพ นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์เพื่อทำให้บรรจุภัณฑ์มีคุณสมบัติพิเศษขึ้น เช่น ด้านจุลินทรีย์ หรือซึบคุณภาพของอาหารภายในบรรจุภัณฑ์โดยการเปลี่ยนสีของฟิล์ม ดังนี้

บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ คือ ระบบการบรรจุที่สามารถทำลาย/ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนในอาหารได้ เป็นการเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงไปในฟิล์ม โดยใช้สารต้านจุลินทรีย์เข้มข้น 0.1-5 โดยน้ำหนัก (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR31, 2555) โดยสารต้านจุลินทรีย์ที่นิยมใช้และได้รับการอนุมัติจาก FDA ได้แก่ ซิลเวอร์ไอออนและซีโอไมค แต่มีราคาสูง ซึ่งหากใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดได้จะเป็นการลดต้นทุนการผลิต ปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าให้เปลือกมังคุด การ

พัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์นิยมใช้พลาสติกย่อยสลายได้เป็นสารก่อฟิล์ม เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยมีการนำ PVA เติมนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ พบว่าฟิล์มสามารถต้านเชื้อ *Salmonella typhimurium* ได้ดี (Tripathi et al., 2018)

บรรจุภัณฑ์ฉลาด (Intelligent Packaging) (ศิวพันธุ์, 2552) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถให้ข้อมูลหรือแสดงสถานะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน เช่น บ่งบอกคุณภาพและความปลอดภัย เช่น มีตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของเวลาและอุณหภูมิ (time-temperature indicators; TTIs) การเจริญของจุลินทรีย์ และตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicators) เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้บริโภค ใช้กลไกการเปลี่ยนสีเมื่อภาวะอาหารภาชนะบรรจุ หรือสถานะการเก็บที่เปลี่ยนแปลงไป (งามทิพย์, 2550) โดยไม่จำเป็นต้องเปิดบรรจุภัณฑ์ออกสำรวจ เช่น อินดิเคเตอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง สามารถแสดงให้ผู้บริโภคทราบถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ่านการเปลี่ยนสีของ pH Indicators โดยอินดิเคเตอร์ คือ สารที่ใช้บอกความเป็นกรด-ด่าง ของสาร เป็นสารที่เปลี่ยนสีได้ที่ pH เฉพาะตัว เช่น เมทิลเรด มีสีแดงเมื่ออยู่ในสารละลายกรด และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง ซึ่งวรภัทรและคณะ (2548) ได้พัฒนาแถบสีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยใช้โบรโมไทมอลบลู เมทิลเรดและไซเตียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นอินดิเคเตอร์ พบว่าสามารถบ่งชี้การหมดอายุของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากสารอินทรีย์แล้ว ในธรรมชาติยังมีสารที่สามารถใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ เช่น กะหล่ำปลีม่วง ดอกอัญชัน และผลหม่อน เป็นต้น เช่น รงควัตถุที่ให้สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน คือ สารกลุ่มแอนโทไซยานิน ซึ่งคุณาธิปและคณะ (2015) ได้ผลิตฟิล์มอินดิเคเตอร์ไคโตซาน/PVA ผสมแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพด 2.626 mg พบว่าฟิล์มเปลี่ยนสีจากสีแดง-สีชมพูเข้มเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 1-8 และเมื่อนำไปทดสอบการเน่าเสียของปลาซาบะและไก่ ฟิล์มเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูเข้มอย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสามารถใช้ชี้บ่งการเน่าเสียของเนื้อปลาและไก่ได้

นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มจากแบ่งด้านสมบัติเชิงกลและความต้านทานความชื้นที่ต่ำได้โดยผสมกับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เช่น ลิกนิน โดยลิกนินมีสมบัติลดความชอบน้ำในแบ่งและเพิ่มความแข็งแรงของฟิล์ม (Acosta et al., 2016) รวมถึงการเติมนาโนเซลลูโลส จะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลและสมบัติกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้อีกด้วย (Priyanka and Vigneshwaran, 2019)

ดังนั้นในโครงการนี้จึงมุ่งเน้นศึกษา วิจัย และพัฒนาเพื่อหากระบวนการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการสกัดหรือแปรรูปสารธรรมชาติจากพืชหรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรมาเป็นอาหาร อาหารเสริม สุขภาพ สารเติมแต่งในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ โดยยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ของสารธรรมชาตินั้นๆ ทั้งช่วยส่งเสริม เพิ่มคุณสมบัติ และเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารสกัดจากธรรมชาติไปใช้ รวมถึงเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค

ระเบียบวิธีการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2559 – กันยายน 2554

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ พริกชี้หนู พริกชี้ฟ้า มะนาวพันธุ์แป้นและแป้นพิจิตร สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย แครอท ใบเตย ดอกอัญชันพันธุ์ 7-1-16 มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด
2. เครื่องมือ ได้แก่ GC-MS, HPLC, UV-VIS, FTIR, Spray Dryer, Centrifuge, pH meter, Universal Testing, Evaporator, Freeze dryer, Texture Analyzer, Mixer Stomacher, Thickness gauge,

Hydraulic press, เครื่องวัดสี เครื่องวัดความหนืด, เครื่องวัดค่า aw ตู้อบลมร้อน เครื่องชั่ง เครื่องบด เครื่องคั้นน้ำแยกกาก เครื่องปั่น เครื่องหั่นสไลด์ อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

3. วัสดุและสารเคมี ได้แก่ PVA, STPP, HCl, KOH, NaOH, PDA, L-Tyrosine, เอทานอล บัฟเฟอร์ ลิกนิน ไคโตซาน อะซิโตน กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดไตรคลอโรอะซิติก ไดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟส เคซีน โซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์ กลีเซอรอล เฮกเซน สารละลายแอมโมเนีย สารมาตรฐานแอลฟาแมงโกสตินและ เอนไซม์บรอมีเลน ถูยื่อเลือกผ่าน แผ่นอะคริลิก จานคอนเวเย่

วิธีการดำเนินการ

โครงการวิจัยที่ 1 ประกอบด้วย 8 การทดลอง ซึ่งทั้ง 8 การทดลอง มีวิธีการดำเนินงานแตกต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 1.1 การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก (ดัดแปลงจาก Gudeva et al., 2013) โดยนำพริกมาเด็ดขั้ว ล้างให้สะอาด แล้วอบที่ 70 °C 24 ชม. บดให้ละเอียด นำไปสกัดด้วยเอทานอล 95% ที่ 75 °C พริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 1:7.5 และ 1:10 (w/v) กวนผสมที่ 600 rpm 5 cm. ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 3 วัน กรองแยกกาก แล้วนำสารละลายไประเหยแห้ง จากนั้นหา %yield วิเคราะห์ปริมาณแคปไซซินด้วย HPLC

2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริก (ดัดแปลงจาก Guadarrama-Lezama et al., 2012) โดยนำพริกมาเด็ดขั้ว ล้างให้สะอาด อบที่ 70 °C 24 ชม. บดให้ละเอียด นำไปสกัดด้วยน้ำมัน (น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และ น้ำมันข้าวโพด) อัตราส่วน 1:2 และ 1:2.5 w/v ที่ 60 °C กวนผสมที่ 600 rpm 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 1 ชม. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,700 rpm 25 °C 15 นาที เก็บส่วนใส แล้วนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี ABTS radical scavenging activity และปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดตามวิธีของ Dauqan (2011)

3. การทำ encapsulation สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์ โดยเตรียมอิมัลชันของสารสกัด ที่อัตราส่วนสารสกัดแคปไซซิน: สารสกัดแคโรทีนอยด์: กัมอะราบิก เท่ากับ 0.5:10:30 0.5:10:35 0.5:10:40 0.5:10:35 และ 0.5:10:40 v/v จากนั้นนำไป encapsulation ด้วยเครื่อง Spray Dryer ที่อุณหภูมิเข้า 170 °C ขาออก 80 °C นำสารสกัดผงที่ได้มาวิเคราะห์ %yield เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ 25±2 °C

4. ศึกษาการบรรจุสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผง โดยบรรจุสารสกัดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ แคปซูลที่ผลิตจากเจลาตินแบบใส แบบขุ่น และแคปซูลจากเซลลูโลส จากนั้นเก็บในขวดแก้วใสปิดสนิทเป็นเวลา 180 วัน สุ่มตัวอย่างสารสกัดทุก 45 วัน มาวิเคราะห์ปริมาณแคปไซซิน ปริมาณแคโรทีนอยด์ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความชื้น ค่า aw Solubility จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และรา

5. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้

การทดลองที่ 1.2 การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล

1. เตรียมน้ำมันมะนาวและน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว ดึงน้ำมันมะนาวพันธุ์แป้นและแป้นพิจิตรมาล้างทำความสะอาด ลวกด้วยน้ำร้อน ปอกเปลือก คั้นน้ำด้วยเครื่อง Hydraulic press จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้ ค่า pH ปริมาณกรดซิตริกและวิตามินซี จากนั้นนำเปลือกมะนาวมาสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยการกลั่นด้วยไอน้ำอัตราส่วนเปลือก:น้ำกลั่น 1:60 นาน 1 ชม. จากนั้นตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC-MS

2. การสกัดเพคตินจากเปลือกและกากมะนาว โดยนำเปลือกมะนาวส่วนสีขาวไปอบให้แห้ง บดให้ละเอียด แล้วสกัดด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ดังนี้ 1) สกัดด้วยกรดซิตริก 50% และเอทานอล: อัตราส่วนเปลือก:กรดซิตริก 1:12 w/v 2) สกัดด้วยน้ำและเอทานอล: อัตราส่วนเปลือก: น้ำกลั่น 1:12 w/v โดยยี่ง 2 วิธี สกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 95 °C 60 นาที กรองแล้วนำสารละลายมาตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% อัตราส่วน 1:1 v/v คนให้เข้ากัน

ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 1 คืน กรองแยกตะกอนเพคติน ล้างด้วยเอทานอล 95% 2 ครั้ง และซีโตนเข้มข้น 50% 2 ครั้ง นำเพคตินไปอบให้แห้งที่ 60 °C แล้วบดให้เป็นผง และวิธีที่ 3) นำกากที่คั้นน้ำและสกัดน้ำมันหอมระเหยแล้ว และนำต้มจากการสกัดน้ำมันหอมระเหยมาสกัดเพคติน โดยการรีฟลักซ์ด้วยน้ำที่มีสภาพกรดแล้วสกัดด้วยเอทานอล 95%

4. การวิเคราะห์คุณภาพของเพคติน การตรวจสอบค่าเมทอกซีทำโดยนำเพคตินผงที่ได้ 0.5 g เติมเอทานอล 2 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว 100 ml ผสมให้เข้ากัน หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไตเตรตด้วยสารละลาย NaOH 0.5 N บันทึกปริมาตรของ NaOH เป็นปริมาตรที่ 1 เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.5 N 10 ml เขย่าแรงๆ ทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายกรด HCl 0.5 โมลาร์ 10 ml เขย่าจนสีชมพูหายไป หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด แล้วนำไปไตเตรตด้วย NaOH 0.5 โมลาร์ แล้วบันทึกปริมาตร NaOH เป็นปริมาตรที่ 2 นำมาคำนวณหา DE

5. การเตรียมน้ำมะนาวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนี้ 1) ศึกษาอัตราส่วนของน้ำมะนาวและมอลโตเด็กซ์ทริน DE10 ที่มีผลต่อขนาดอนุภาค รสชาติและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ 3 อัตราส่วน 70:30 50:50 และ 60:40

2) เติมน้ำมะนาวผง ด้วย Spray Dryer โดยศึกษาอุณหภูมิเข้าที่ 130 และ 150 °C อุณหภูมิขาออก 90 °C

6. ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมะนาวผง ได้แก่ ความชื้น ค่าสี และปริมาณวิตามินซีด้วยเครื่อง HPLC

7. การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ ดังนี้ น้ำมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เครื่องดื่มมะนาวผสมน้ำผึ้งเข้มข้น แยม เยลลี่มะนาวจากเพคติน เครื่องดื่มมะนาวผง และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ผสมในเครื่องสำอางปริมาณ 5-15% เช่น นาโนอิมัลชัน ครีมบำรุงผิว เซรั่มบำรุงผิว และมาร์คค์พอกหน้า เป็นต้น

8. ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง โดยทดสอบอายุการเก็บรักษา ขนาดอนุภาคและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบการซึมผ่านโดยใช้เมมเบรนสำเร็จรูป เป็นต้น

การทดลองที่ 1.3 การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดสารสีจากดอกอัญชัน โดยใช้ดอกอัญชันแห้ง

1.1 สกัดสีด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วนอัญชัน:น้ำกลั่น 1:20 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 30 40 50 60 70 80 และ 90 °C และระยะเวลาสกัด 30 40 50 และ 60 นาที ปริมาตรเป็น 25 ml วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential (Giusti and Wrolstad, 2005) เพื่อคัดเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสม

1.2 สกัดด้วยกรดกรดซิตริกความเข้มข้น 0 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 M วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 ซ้ำ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.1 วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเพื่อเลือกความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสม

1.3 สกัดโดยสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.1 และ 1.2 ที่อัตราส่วนดอกอัญชันแห้งต่อตัวทำละลาย 1:20 1:30 1:40 1:50 และ 1:60 w/v โดยสกัดซ้ำ 2 ครั้ง วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. การสกัดสารสีจากแครอท โดยหั่นสไลด์แครอท บดแล้วแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้ จะได้สารสกัดแครอทสีส้ม จากนั้นนำสารสกัดไปทำให้เข้มข้นจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 25 °Brix

3. การสกัดสารสีจากใบเตย โดยตัดใบเตยเป็นชิ้นเล็กๆ บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้สารสกัดใบเตยสีเขียว มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 5 °Brix

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สารสกัดจากข้อ 1-3 ดังนี้

4.1 นำสารสกัดผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% w/w นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 140 -180 ° นำผงสีที่ได้มาวิเคราะห์ความชื้น ค่า aw %yield ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ค่าการละลาย และปริมาณสารสำคัญ แล้วเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสม

4.2 ศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่เหมาะสม โดยผสมสารสกัดกับมอลโตเด็กซ์ 10 20 และ 30% w/w นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจาก 4.1 นำผงสีที่ได้ไปวิเคราะห์ความชื้น ค่า aw %yield ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ค่าการละลาย และปริมาณสารสำคัญ

5. การประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์อาหาร โดย 1) ประยุกต์ใช้สีผงจากดอกอัญชันในผลิตภัณฑ์เยลลี่ โดยปรับจากสูตรเยลลี่กระเจี๊ยบ (พรพิมล, 2545) ใช้สีผง 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5% โดยน้ำหนัก 2) ประยุกต์ใช้สีผงจากแครอทในผลิตภัณฑ์เยลลี่ โดยปรับจากสูตรเยลลี่สับปะรดผสมแครอท (พรพิมล, 2545) ใช้สีผง 0.0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0% โดยน้ำหนัก และ 3) สีผงจากใบเตยในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา โดยใช้สีผง 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ค่าสี ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณสารสำคัญ และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี hedonic scale (7 point) จำนวน 30 คน เลือกสูตรที่เหมาะสม
6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผง โดยบรรจุสีผง 50 g ในถุงพลาสติกซิปปแบบใสและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เป็นเวลา 12 เดือน สุ่มเก็บตัวอย่างทุก 2 เดือน มาวิเคราะห์คุณภาพค่าสี ความชื้น ค่า aw ค่าการละลาย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และคุณภาพด้านจุลินทรีย์
7. คำนวณต้นทุนการผลิต

การทดลองที่ 1.4 การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากไບยานางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง โดยหั่นไບยานางเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปปั่นผสมกับเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 2 เท่าของน้ำหนักไບยานาง ให้ความร้อนที่ 70 °C กวนส่วนผสมที่ความเร็ว 400 rpm 45 นาที จากนั้นบีบแยกเอทานอลออก ได้ส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol-insoluble solid, AIS) จากนั้นนำไปสกัดด้วยน้ำที่ 70 และ 80 °C อัตราส่วน AIS: น้ำ เท่ากับ 1:20 และ 1:25 เวลาในการสกัด 60 และ 90 นาที นำสารที่สกัดได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 9500 rpm 40 นาที 25 °C จากนั้นนำส่วนใสไปทำให้เข้มข้นให้เหลือปริมาตรครึ่งหนึ่ง แล้วนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 3 เท่าของปริมาตรสารสกัด 24 ชม. นำตะกอนไปทำแห้งด้วยเครื่อง Freeze Dryer แล้วนำผงสารสกัดไปคั่วให้ละเอียดจะได้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง หา % Yield
2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง ดังนี้ ปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (2005) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตามวิธีของ Dubois et al. (1956) ปริมาณกรดยูโรนิกตามวิธี Melton and Smith (2001) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี ABTS radical scavenging activity
3. ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง ดังนี้ คุณสมบัติด้านความหนืด ความแข็งแรงของเจล โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้อง คือ ความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง โซเดียมคลอไรด์ และความเข้มข้นของน้ำตาล
4. ศึกษาโครงสร้างของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR
5. การประยุกต์ใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานางในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนี้ 1) ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริก โดยเติมสารสกัด 0 0.5 1.0 และ 1.5% เปรียบเทียบกับการเติมแซนแทนกัม 0.5 1.0 และ 1.5% และกัมอะราบิก 0.5 1.0 และ 1.5% วิเคราะห์คุณภาพทางด้านความคงตัวโดยวัดการแยกชั้น (percent serum loss, SL) ตามวิธีของ Hardeep et al., (2002) และความชื้นหนืดของซอสทุก 30 วัน ที่เวลาการเก็บรักษา 6 เดือน และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ 2) ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree โดยเติมสารสกัด 0 1.5 2.0 และ 2.5% เปรียบเทียบกับการเติมแซนแทนกัม 1.5 2.0 และ 2.5% และกัมอะราบิก 1.5 2.0 และ 2.5 จากนั้นวัดการแยกชั้นและความชื้นหนืดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุก 30 วัน ที่เวลาการเก็บรักษา 6 เดือน และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ
6. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานาง

การทดลองที่ 1.5 การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปสับปะรดในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลน โดยใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ล้างด้วยน้ำสารละลายคลอรีน ppm จากนั้นแยกออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ จุก ก้าน เปลือกติดเนื้อกับตา และแกน สับแต่ละส่วนให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งแต่ละส่วน 1 kg เติมน้ำกลั่นเย็น (4-8 °C) 500 ml ตีปั่น 2 นาที นำไปบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก สกัดซ้ำอีกครั้ง รวมน้ำคั้น กรองด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งน้ำหนักและวัดปริมาตร วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำคั้น ได้แก่ ค่าของแข็งที่ละลายได้ ค่า pH ปริมาณโปรตีนด้วยวิธีเจตาล (AOAC 981.10, 2016) สารพิษตกค้างทางการเกษตร ตรวจสอบกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนของน้ำคั้น โดยปรับปรุงวิธีจาก Ketnawa (2009) คัดเลือกส่วนของสับปะรดที่ให้คุณสมบัติและค่ากิจกรรมเอนไซม์ดีที่สุดในขั้นต่อไป

2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในสกัดเอนไซม์บรอมีเลน

2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีปั่น โดยนำส่วนที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 มา 1 kg เติมน้ำกลั่น 500 ml บ่มหรือปรับอุณหภูมิ ดังนี้ 1) วัตถุดิบแช่เย็น 0 °C ผสมน้ำแข็ง (0-2 °C) 2) วัตถุดิบแช่เย็น 4 °C ผสมน้ำเย็น (5±2 °C) 3) เตรียมวัตถุดิบที่ RT ตีปั่นด้วยน้ำที่ RT (30±2 °C) 4) เตรียมวัตถุดิบที่ RT เติมน้ำอุ่น บ่มให้ได้ 35±2 °C 5) เตรียมวัตถุดิบที่ RT เติมน้ำอุ่น บ่มให้ได้อุณหภูมิ 45±2 °C ทุกข้อตีปั่น 2 นาที นำไปคั้นน้ำแยกกาก ซึ่งน้ำหนักวัดปริมาตร และวิเคราะห์คุณสมบัติ น้ำคั้นตามข้อ 1

2.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตีปั่น โดยใช้วัตถุดิบ 1 kg เติมน้ำกลั่น 500 ml บ่มหรือปรับอุณหภูมิตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.1 จากนั้นตีปั่น ดังนี้ ไม่ตีปั่น ตีปั่น 1 2 3 4 นาที นำไปคั้นน้ำแยกกาก ซึ่งน้ำหนัก วัดปริมาตร และวิเคราะห์คุณสมบัติ น้ำคั้นตามข้อ 1

2.3 ตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล โดยนำน้ำคั้นที่ได้พักไว้ในขวดปิดสนิทที่ 4 °C 2 ชม. เพื่อให้ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอน รินเอาส่วนใสออก เติมน้ำเอทานอลเกรดอาหารเย็นจัด (0 °C) อัตราส่วน 26:74 v/v แล้วพักไว้ที่ 4 °C 30 60 90 และ 120 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 15 นาที ภายใต้อุณหภูมิ 4 °C แล้วรินแยกสารละลายออกจนเหลือตะกอนโปรตีนที่ก้นขวด เติมน้ำละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.0 อัตราส่วน 1:15 v/v เพื่อละลายตะกอนโปรตีนที่ได้ แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดตามข้อ 1

3. ศึกษาการทำเอนไซม์ผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยซังชิ้นส่วนสับปะรด 1 kg ตีปั่น 1 นาที แล้วนำไปบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นไปวิเคราะห์คุณสมบัติตามข้อ 1 และนำไปสกัดเอนไซม์บรอมีเลนโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชม. ตามข้อ 2.3 แล้วนำไปโปรตีนไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์สำหรับหมักเนื้อสัตว์ นำเอนไซม์บรอมีเลนผงมาผลิตเป็นซอสหมักเนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู โดยใช้เนื้อหมูสันนอกหั่นให้มีขนาด 1x2 in² 0.5 cm. 500 g เติมน้ำเปล่า 15 g เติมน้ำเอนไซม์ 0 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อหมูสด คลุกเคล้าให้เข้ากัน เติมน้ำเครื่องปรุงรสอื่นๆ ดังนี้ น้ำมันหอย 21.25 g ซีอิ้วขาว 10 g น้ำตาลทราย 12.5 g เกลือ 0.36 g พริกไทย 0.5 g แป้งข้าวโพด 4 g เบคกิ้งโซด 1.65 g น้ำเปล่า 15 g และน้ำมันงา 9.5 g คลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง หมักทิ้งไว้ที่ RT 30 นาที นำไปทำให้สุกโดยลวกในน้ำซุ๊ปเดือดนาน 1 นาที พักให้สะเด็ดน้ำ นำชิ้นเนื้อไปทดสอบเนื้อสัมผัสโดย texture analyzer และทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยวิธี hedonic scale (7 point) จำนวน 30 คน

การทดลองที่ 1.6 การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

1. เตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด (ดัดแปลงวิธีของประสงค์และคณะ (2552) และ Kusmayadi et al. (2018)) โดยนำเปลือกมังคุดอบแห้งที่ 60 °C แบบชิ้นบาง แบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า มาแช่ในด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% อัตราส่วน 1:6 w/v 48 ชม. กรองและสกัดซ้ำอีกครั้ง นำส่วนของเหลวไประเหยตัวทำละลายออกที่ 60 °C คำนวณปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้

2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหยาบ ดังนี้ วิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง FTIR เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน แอลฟา-แมงโกสติน และวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนทั้งหมดตามวิธีของ Aisha et al. (2013) ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer คำนวณปริมาณสารแซนโทนทั้งหมดโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน

3. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด โดยวิธี agar disc diffusion โดยดัดแปลงวิธีของ พัชรินทร์และสุวิษฐา (2561) ดังนี้ เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ATCC 6538 ในอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) 5 ml บ่มที่ 37 °C 18 ชม. นำเชื้อที่ได้มาปรับความขุ่นให้มีปริมาณเชื้อ 1.5×10^8 cfu/ml โดยเทียบกับ McFarland standard No. 0.5 จากนั้นนำเชื้อ 100 μ l มา spread plate บนอาหาร MHB นำ paper disc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. จุ่มลงในสารละลายของสารสกัด ผึ่งให้แห้ง นำมาวางลงบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้วเทียบกับน้ำกลั่นและเมทานอล นำไปบ่มที่ 37 °C 18 ชม. สังเกตบริเวณต้านเชื้อ แล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง

4. เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์ โดยนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดชนิดที่ให้ปริมาณสารสกัดหยาบและปริมาณสารสำคัญมากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีที่สุด มาเติมในฟิล์ม PVA เข้มข้น 4% w/v 300 ml เติมนีลเซอร์อล 30% กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น สารสกัดจากเปลือกมังคุด (ดัดแปลงวิธีของสุพัฒน์และคณะ, 2554) ให้มีปริมาณสารสกัดในเนื้อฟิล์มปริมาณ 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm นำสารละลายมาเทลงในเพลทอะคลิลิคขนาด 30x30 cm² ทิ้งให้เซตตัวที่ RT อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 °C 24 ชม.

5. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มต้านจุลินทรีย์ ดังนี้วิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง FTIR เปรียบเทียบกับฟิล์มไม่เติมสารสกัดและสารสกัดจากเปลือกมังคุด วัดความหนา ค่าสี ความชื้น ค่า aw การละลายน้ำ ตามวิธีของ Tongdeesoontorn et al. (2011) ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวตามมาตรฐาน ASTM D 882-10

6. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม เช่นเดียวกับข้อ 3 โดยนำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. มาวางบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว บ่มที่ 37 °C 18 ชม. บันทึกผลโดยสังเกตบริเวณต้านเชื้อแบคทีเรียแล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง

การทดลองที่ 1.7 การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1. การผลิตสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.1 การผลิตลิกนิน โดยนำน้ำดำ (black liquor) จากการต้มเยื่อเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด เปลือกส้ม เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย ด้วยสารละลาย KOH เข้มข้น 18% w/w 300 ml ที่ 80 °C 4 ชม. ปรับให้ pH เป็น 2 ด้วยสารละลาย H₂SO₄ เข้มข้น 50% กวน 1 ชม. ที่ 55 °C กรองแล้วนำของแข็งที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น จน pH เท่ากับ 7 นำตะกอนไปสกัดด้วยอะซิโตน โดยกวน 1 ชม. แล้วนำไปเหวี่ยงที่ 6500 rpm 10 นาที นำตะกอนไปอบที่ 80 °C 12 ชม. เลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 1 ชนิด ที่ให้ปริมาณลิกนินสูงสุดไปทดลองต่อ แล้วศึกษาสมบัติของลิกนินที่ได้เทียบกับลิกนินทางการค้า ดังนี้ ค่าสี ความชื้น หมู่ฟังก์ชันของสารด้วย FTIR ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารด้วย DSC การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเชิงความร้อนของสารด้วย TGA และต้นทุนการผลิต

1.2 การผลิตนาโนเซลลูโลส โดยหันวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้มีขนาด 1-2 นิ้ว อบให้แห้งที่ 80 °C 24 ชม. ต้มเยื่อด้วยสารละลาย KOH เข้มข้น 18% 300 ml ที่ 80 °C 4 ชม. ล้างเยื่อด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด เก็บส่วนที่เป็นน้ำดำไปเตรียมลิกนิน หาน้ำหนักเยื่อที่ได้ เพื่อคัดเลือกรวมวัสดุเหลือใช้ที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูงไปฟอก โดยใช้เยื่อ 10 g ด้วยสารละลายโซเดียมไฮเพอคลอไรท์เข้มข้น 100% 300 ml ที่ 80 °C 30 นาที ล้างออกด้วยน้ำกลั่น 5 รอบ เติมน้ำ H₂SO₄ เข้มข้น 64% 100 ml ที่ 80 °C 1 ชม. และเติมน้ำ H₂SO₄ เข้มข้น 40% 100 ml ให้ความร้อนที่ 80 °C อีก 1 ชม. ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 24 ชม. จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 เท่าของปริมาณกรด ล้างกรดโดยปั่นเหวี่ยงที่ 6,500 rpm ล้างเยื่อด้วยน้ำกลั่นจน pH เท่ากับ 7 โดยใช้ถุงเยื่อเลือกผ่าน จากนั้นนำไปโฮโมจีไนซ์ 10 นาที

ศึกษาสมบัติของนาโนเซลลูโลสที่ได้ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น ขนาดอนุภาค ลักษณะของเส้นใยด้วย TEM วิเคราะห์ความเป็นผลึกของเส้นใยด้วย XRD และวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วย AFM และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

2. การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้นาโนเซลลูโลสและลิกนินเป็นสารเติมแต่ง

2.1 การเตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง (ดัดแปลงจาก Tsakama et.al. (2010) โดยปอกเปลือกมันสำปะหลังมาและแช่ในน้ำส้มสายชู 5% หั่นให้เป็นแผ่นแล้วบดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิ ใ้บ่นน้ำแบ่งแล้วนำกากที่เหลือมาผสมน้ำอัตราส่วน 1:2 นำไปบดอีกครั้ง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง นำน้ำแบ่งมาใส่ถังพลาสติกปรับปริมาตรให้เท่าๆ กัน เติมน้ำให้ได้ 2 ใน 3 ส่วนของถัง ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 12 ชม. เหน้ทำทิ้ง ให้เหลือแต่ส่วนของแบ่ง เติมน้ำอีกครั้ง กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่ RT 6 ชม. เหน้ทำทิ้ง ทำซ้ำจนตะกอนแบ่งเป็นสีขาว นำไปอบที่ 50 °C 24 ชม. นำแบ่งไปบด และวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสตามวิธีของ Santisopasri et al. (1996)) โดยเทคนิค HPSEC

2.2 การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยเติมสารเติมแต่งในฟิล์มสตาร์ช ดังนี้ ไม่เติมสารเติมแต่ง เติมนานาโนเซลลูโลส 1 2 และ 3% w/w เติมลิกนิน 1 2 และ 3% w/w เติมนานาโนเซลลูโลส 1% และลิกนิน 1% เติมนานาโนเซลลูโลส 1% และลิกนิน 2% เติมนานาโนเซลลูโลส 1% และลิกนิน 3% เติมนานาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน 1% เติมนานาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน 2% เติมนานาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน 3% เติมนานาโนเซลลูโลส 3% ลิกนิน 1% เติมนานาโนเซลลูโลส 3% และลิกนิน 2% เติมนานาโนเซลลูโลส 3% และลิกนิน 3% w/w เติมลิกลิเซอร์อล 30% w/w กวนโดยให้ความร้อนที่ 75 °C ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มและอบที่ 60 °C 4 ชม. ทดสอบสมบัติของฟิล์ม ดังนี้ TS, %E, ΔE, OTR, ความหนา ความชื้น การละลายน้ำ ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ การต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ และต้นทุนการผลิต

3. ศึกษาศักยภาพประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยคัดเลือกฟิล์มชีวภาพที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากข้อ 2 มา 1 เตรียมเป็นซองขนาด 10x10 cm² บรรจุอาหารของละ 5 g ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาที่ RT 3 เดือน เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ทางการค้า จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ภายในซอง ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ พร้อมวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์

การทดลองที่ 1.8 การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

1. เตรียมสีอินดิเคเตอร์

1.1 เตรียมสีอินดิเคเตอร์จากผลิตผลเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ผลหม่อน และกะหล่ำปลีม่วง โดยสกัดสีอินดิเคเตอร์ ดังนี้ 1) สีจากดอกอัญชัน สกัดด้วยน้ำโดยใช้อัตราส่วน 1:40 w/v ที่ 60 °C 30 นาที และสกัดด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วน 1:50 w/v ให้ความร้อนที่ 60 °C 30 นาที จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยตัวทำละลายออก (จารุวรรณและคณะ, 2563) 2) สีจากผลหม่อนและกะหล่ำปลีม่วง: เตรียมสีจากน้ำคั้น และจากการสกัดด้วย acidified ethanol โดยปั่นตัวอย่างแล้วแช่ในเอทานอลเข้มข้น 70% อัตราส่วน 2:1 w/v จากนั้นปรับ pH ด้วย HCl เข้มข้น 1M จนเท่ากับ 2 เก็บใส่ขวดสีชาที่ 4 °C 24 ชม. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2000 rpm 10 นาที กรองและทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยตัวทำละลายออก (Pereira Jr et al., 2015) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในสีด้วยวิธี pH differential ตามวิธีของ Giusti and Wrolstad, 2005

1.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีและความคงตัวของสีอินดิเคเตอร์เมื่อ pH เปลี่ยน โดยหยดสีในบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 2 4 7 9 10 และ 12 อัตราส่วนสี:บัฟเฟอร์ 1.2:100 v/v สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่ 4 และ 25 °C เป็นเวลา 6 วัน วัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายทุกวัน (อรุษาและคณะ, 2009)

คัดเลือกสีอินดิเคเตอร์จากผลิตผลเกษตรชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจน เมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยน และมีความคงตัวของสีมากที่สุดไปศึกษาต่อ

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

2.1 เตรียมสารละลาย CHNPS โดยเตรียมโคโตซานเข้มข้น 0.3% w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 1% v/v เติมสารละลาย STPP เข้มข้น 1% w/v ลงในสารละลายโคโตซานปริมาณ 4% v/v กวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2 เตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง โดยนำสียินดิเคเตอร์ที่คัดเลือกจากข้อ 1 มาเติมในสารละลาย PVA เข้มข้น 5% w/v 300 ml ปริมาณ 0 2 4 6 และ 8% w/w จากนั้นเติม CHNPS จากข้อ 2.1 6% w/w เติมกลีเซอรอล 30% w/w จากนั้นปรับ pH ของสารละลายฟิล์มให้เท่ากับ 6 ด้วย NaOH เข้มข้น 1M ขึ้นรูปโดยวิธี Casting ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับฟิล์มที่ได้จากสารละลายฟิล์มไม่ปรับ pH

3. ทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างของฟิล์ม และบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อสารละลายบัฟเฟอร์ (คูณาธิปและคณะ, 2015 และ Musa et al., 2020) โดยตัดฟิล์มให้มีขนาด $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ แล้วแช่ในขวดบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 2-11 ปริมาตร 3 ml 10 นาที

3.2 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอระเหยของกรดอะซิติก โดยนำสารละลายกรดอะซิติก 99% 15 ml ใส่ในขวด vial ปิดด้วยฝาที่เจาะรูตรงกลางและติดด้วยฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 2 ชม.

3.3 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอระเหย NH_3 (Wannawisan et al., 2019) โดยนำสารละลาย NH_3 เข้มข้น 0 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 0.1 M 10 ml ใส่ในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. ปิดด้วยฝาจานที่ติดฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง ขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ บริเวณใต้ฝา ตั้งทิ้งไว้ที่ RT เป็นเวลา 0.5 1 1.5 และ 2 ชม.

3.4 นำฟิล์มจากข้อ 3.1 3.2 และ 3.3 มาวางบนเพลทสีขาวแล้ววัดค่าสี $L^* a^* b^*$ ทันที โดยไม่ต้องอบให้แห้ง จากนั้นคำนวณค่า ΔE พร้อมบันทึกภาพฟิล์ม จากนั้นคัดเลือกฟิล์มที่มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า และมีค่า ΔE มากกว่า 3.5 ไปทดสอบกับผลิตภัณฑ์

4. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มอินดิเคเตอร์ ดังนี้ ความหนา ความชื้น ค่า aw อายุการเก็บรักษาที่ RT และ 4 °C การละลายน้ำ TS %E WVTR และ OTR ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05

5. การประยุกต์ใช้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างกับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเสื่อมเสียง่าย ใช้เป็นฉลากบ่งชี้ความสดของเนื้อปลา โดยนำเนื้อปลากระพงสดแล่นเนื้อ 200 g บรรจุในกล่อง PP ความจุ 500 ml ปิดกล่องด้วยฝาที่ติดฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง เติมสียินดิเคเตอร์ 0 2 4 6 และ 8% ขนาด $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ ด้านในฝากล่อง เก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 8 วัน สุ่มตัวอย่างทุกวัน วันละ 3 กล่อง นำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อปลา ได้แก่ ลักษณะภายนอกจากการประเมินด้วยตาเปล่า พร้อมบันทึกภาพถ่าย ค่า pH ตามวิธีของ Ezati et al. (2019) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณ *Pseudomonas spp.* (Kuswandi et al., 2012) ปริมาณไนโตรเจนระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile nitrogen – Base, TVB-N) ด้วยวิธีคอนเวย์ (Conway microdiffusion) (Ng, 1987) และการเปลี่ยนแปลงสีฟิล์มอินดิเคเตอร์ โดยนำฟิล์มอินดิเคเตอร์ที่ติดบริเวณฝากล่องแต่ละกล่องมาวัดค่าสี และคำนวณเป็นค่า ΔE เปรียบเทียบกับฟิล์มก่อนทดสอบ

ผลการวิจัยและอภิปราย

การทดลองที่ 1.1 การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก

การอบพริกสดที่ 70 °C 24 ชม. พบว่าพริกหลังอบแห้งมีน้ำหนักรายไป 70-75% มีความชื้น 3.0-3.5% การสกัดสารแคปไซซินจากพริกชี้หนูพันธุ์จินดา ซุปเปอร์ฮอต หัวเรือ เพชรดำ จินดา ศก.84 และยอดสน ด้วยเอทานอล 95% ได้สารสกัดเป็นของเหลวขุ่นหนืด สีน้ำตาลแดง ดัง Figure 1



Figure 1 Capsaicin extracts (crude extract) from Chilis

Table 1 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
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 ($p < 0.05$)

โดยพบว่าการสกัดพริกที่อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:10 w/v ให้ปริมาณสารสกัดพริกสูงที่สุด รองลงมาคือการสกัดโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 1:7.5 และ 1:5 w/v ตามลำดับ โดยพริกพันธุ์เพชรดำ ให้ปริมาณสารสกัดสูงที่สุด รองลงมาคือพริกพันธุ์ยอดสน หัวเรือ จินดา จินดา ศก.84 และซูปเปอร์ฮอต เท่ากับ 23.60 21.06 20.32 19.05 19.00 และ 17.40 g ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบสารแคปไซซินในสารสกัดพริกโดยการวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่าการสกัดโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 w/v ได้ปริมาณสารแคปไซซินและ ไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด รองลงมาคือ 1:7.5 และ 1:10 w/v เมื่อเปรียบเทียบพันธุ์พริกที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอลเท่ากัน พบว่าพริกพันธุ์หัวเรือมีปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด รองลงมาคือพริกพันธุ์ยอดสน ซูปเปอร์ฮอต จินดา เพชรดำ และ จินดา ศก.84 ตามลำดับ (Table 1)

2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริก

การอบพริกสดที่ 70 °C 24 ชม. พบว่าพริกหลังอบแห้งมีน้ำหนักหายไป 75-80% มีความชื้น 6.0-9.0% สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้จากพริกชี้ฟ้า พริกหวานพันธุ์สีแดง และพริกหวานพันธุ์สีเหลือง มีลักษณะปรากฏเป็นของเหลวใสสีส้มแดง ของเหลวใสสีน้ำตาลอมส้ม และของเหลวใสสีเหลือง ตามลำดับ (Figure 2)

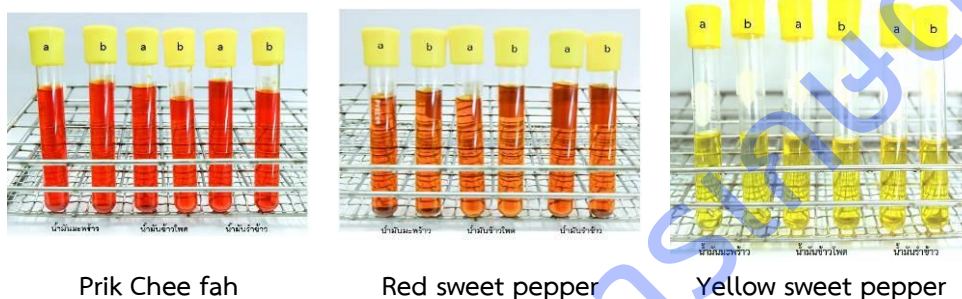


Figure 2
Carotenoid
extracts (crude
extract) from
Chilis

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพริก ทั้ง 3 ชนิด ที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกต่อน้ำมันเท่ากับ 1:2 และ 1:2.5 w/v พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) 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 ซึ่งผลการทดลองพบว่าสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจากน้ำมันมะพร้าวอาจเนื่องจากปริมาณแคโรทีนอยด์โดยธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดที่ใช้สกัดมีปริมาณ 60.21 และ 48.51 mg/L ซึ่งสูงกว่าในน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณ 40.25 mg/L ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้สูงกว่า ซึ่งสารสกัดจากพริกชี้ฟ้ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดจากพริกหวานพันธุ์สีแดง และพริกหวานพันธุ์สีเหลือง ตามลำดับ โดยสารแคโรทีนอยด์ที่พบในสารสกัดพริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าว 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 2 Total carotenoid content and antioxidant activity of carotenoid extracts

Treatment	Total carotenoid content (mg/L)	Antioxidant activity ($\mu\text{mol Trolox/ml}$)
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 1:5 w/v มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด และผลการสกัดแคโรทีนอยด์พบว่าพริกชี้ฟ้าที่สกัดโดยน้ำมันรำข้าวที่อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2.5 w/v มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด จึงเลือกสารสกัดแคปไซซินจากพริกพันธุ์หัวเรือและสารสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกชี้ฟ้าที่สกัดโดยสภาวะดังกล่าวมาทำ encapsulation โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิด คือ มอลโทเด็กซ์ทรินเข้มข้น 35% และกัมอะราบิกเข้มข้น 35% อิมัลชันของสารสกัดที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีส้ม เมื่อนำอิมัลชันมาทำ encapsulation ด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยที่อุณหภูมิขาเข้า 170 °C อุณหภูมิขาออก 90 °C จะได้สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์เป็นผงสีส้ม (Figure 3) อัตราส่วนสารสกัดแคปไซซิน สารแคโรทีนอยด์และสารเคลือบมอลโทเด็กซ์ทริน 0.5:10:40 v/v ให้ %yield สูงที่สุด (Table 3)

**Figure 3** capsaicin (A) and carotenoid (B) powder**Table 3** 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 มีขนาด \varnothing 7.62 มม. ความยาว 20.00 มม. ความหนาของผนังแคปซูล 0.213 มม. ขนาดบรรจุสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผง 500 mg/แคปซูล (Figure 4)



Figure 4 Capsaicin and carotenoid powder contain in clear gelatin capsules (A) Turbid gelatin capsules (B) and Cellulose capsules (C)

ผลการศึกษาปริมาณสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์แบบผงแบบบรรจุในแคปซูล 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 $\mu\text{g/g}$ และมีปริมาณลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษา 6 เดือน ที่ RT โดยที่เวลาเก็บรักษาเท่ากันปริมาณสารแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่บรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์และแบบบรรจุในแคปซูลทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน (Table 4) ความสามารถในการละลาย ความชื้น และค่า aw ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษา 6 เดือน โดยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์และบรรจุในแคปซูล 3 ชนิด ที่เวลาเก็บรักษาเท่ากันไม่แตกต่างกัน (Table 5)

Table 4 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 das	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 5 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 das	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/g และต้นทุนการผลิตสารสกัดแคปไซซินและสารแคโรทีนอยด์ผงบรรจุในแคปซูลขนาด 500 mg เท่ากับ 1.15 บาท/แคปซูล ถูกกว่าสารสกัดแคปไซซินบรรจุในแคปซูลขนาด 450-500 mg ที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีราคา 4-12 บาท/แคปซูล

การทดลองที่ 1.2 การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล

1. เตรียมตัวอย่างมะนาว

ผลการศึกษามะนาว 2 พันธุ์ พบว่า มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร 100 ลูก มีน้ำหนักเฉลี่ย 12.50 kg ให้น้ำมะนาว 4.62 kg และมีเปลือก 6.15 kg และมะนาวพันธุ์แป้นเปลือกบาง 100 ลูก มีน้ำหนักเฉลี่ย 6.19 kg ให้น้ำมะนาว 2.20 kg และมีเปลือก 3.40 kg โดยผลการตรวจสอบปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ได้จากพันธุ์แป้นพิจิตร และพันธุ์แป้นเปลือกบางโดยวิธีการไตเตรทและใช้เครื่อง HPLC รวมทั้งค่า pH ในน้ำมะนาวสด พบว่าน้ำมะนาวแป้นพิจิตรมีปริมาณวิตามินซี 69.89 mg/100 g มีปริมาณกรดซิตริก 7.53% ค่าความเป็นกรดต่าง 2.51 ส่วนน้ำมะนาวแป้นมีปริมาณวิตามินซี 62.32 mg/100 g มีปริมาณกรดซิตริก 7.40% ค่า pH 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 โดยมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร 100 kg มีปริมาณน้ำมะนาวสดเฉลี่ย 28.35% กากเปลือก 51.30% ให้น้ำมันหอมระเหย 1.4-4.9% และมีปริมาณเพคติน 5.56% ส่วนมะนาวพันธุ์แป้นมีปริมาณน้ำมะนาวสด 32.11% กากเปลือก 67.93% ให้น้ำมันหอมระเหย 3.63-8.47% และปริมาณเพคติน 2.48% ดัง 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 ซึ่งให้เพคติน 46.46% ในขณะที่การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มแห้งให้เพคติน 39.08% ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและมะนาวพันธุ์แป้นมืองค์ประกอบที่สำคัญคือ D-Limonene 52.63 และ 48.28% gamma-terpinene 15.42 และ 14.72% beta-pinene 11.68 และ 10.21% alpha-pinene 9.88 และ 8.54% และสารอื่นๆ 10.59 และ 18.25%

3. วิเคราะห์คุณภาพเพคติน

ผลการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร พบว่ามีปริมาณเพคติน 22.40% มีปริมาณ Methoxy Content 11.80% มีค่า Equivalent weight 328.48% และมีค่า Degree of Esterification 56.21 ดัง ส่วนเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นสกัดเพคตินได้ 13.82% มีค่า Equivalent weight 782.19% มีปริมาณ Methoxy Content 12.94% และมีค่า Degree of Esterification 76.52

4. การเตรียมน้ำมะนาวผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลการเตรียมน้ำมะนาวผง พบว่าสภาวะที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนน้ำมะนาว:มอลโตเด็คทรีน DE10 เท่ากับ 50:50 ฉีดพ่นที่อุณหภูมิเข้า 150 °C ได้มะนาวผง 45.91% มีความหอมและรสเปรี้ยวเหมือนมะนาวสด มีปริมาณกรดทั้งหมด 20.58 มิลลิกรัม/100 กรัมมะนาวผง มีความชื้น 3.12% (Table 6) คุณค่าทางโภชนาการของ มะนาวผง 100 กรัม คือ ให้พลังงาน 407.61 กิโลแคลอรี มีคาร์โบไฮเดรต 88.95 กรัม ใยอาหาร 0.44 กรัม แคลเซียม 61.38 มิลลิกรัม โซเดียม 24.78 มิลลิกรัม และวิตามิน 40.54 มิลลิกรัม ซึ่งสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ โดยนำไปบรรจุในซองออลูมิเนียมฟอยล์พร้อมใช้ เพื่อเป็นเครื่องดื่มและเครื่องปรุงรส โดยมะนาวผงมีลักษณะดัง Figure 5

Table 6 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	
Color	L*	88.94	90.64	91.51
	a*	1.72	1.73	1.72
	b*	13.51	12.97	12.86



Figure 5 Lime powder

5. การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์

5.1 ผลการแปรรูปน้ำมะนาวสดเป็นน้ำมะนาวพร้อมดื่ม ได้ผลิตเป็นมะนาวพร้อมดื่มบรรจุในถุงรีทอร์ต แพคเกจ พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยปริมาณกรดซิตริกระหว่างการเก็บรักษา 6 เดือน มีค่าลดลงเล็กน้อย จาก 0.89% ในวันผลิตเป็น 0.70% ในเดือนที่ 6

5.2 ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อนำไมโครแคปซูลวิตามินซี เพคตินและน้ำมันหอมระเหยของมะนาวมาใช้ประโยชน์ มีดังนี้

- มาร์คพอกหน้า ประกอบด้วย น้ำ กลีเซอริน เพคติน propylene-glycol และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- ครีมโฟมล้างหน้า ประกอบด้วย น้ำมันรำข้าว/น้ำมันมะพร้าว สเตียริกแอซิด โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมทิลพาราเบน 1,3 butylene-glycol, gMS, Abc 45%, Amilite, น้ำกลั่นบริสุทธิ์ และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- เจลล้างหน้า ประกอบด้วย ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส Lauryl glucoside (nonionic surfactant), Cocamidopropyl betain, Propylene-glycol, Ammodium lauryl sulfate, glydant, triethanolamine นยวและไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%
- เซรั่มวิตามินซีบำรุงผิว ประกอบด้วย น้ำกลั่นบริสุทธิ์ กลีเซอริน cetearyl alcohol, phynoxyethanol และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15% (Figure 6)
- เจลวิตามินซี ประกอบด้วย น้ำกลั่นบริสุทธิ์ แซนแทนกัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ propylene-glycol, methylparaben ไดโซเดียม-EDTA และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

โดยวิตามินซีในน้ำมะนาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหอมระเหยให้ความหอม ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีคุณสมบัติทำให้ผิวพรรณชุ่มชื้น กระชับ และสดชื่น



(a)



(b)

Figure 6 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 ทำให้มีน้ำหนัก 15 g ด้วยเอทานอล 95% ผสมกันโดยใช้ Hand Homogenizer 15 นาที ระเหยเอทานอลออกโดยใช้เครื่องระเหยสารสูญญากาศ จะได้ผลิตภัณฑ์ให้ความหอมกลิ่นมะนาว พบว่าอิมัลชันมีความคงตัวไม่แยกชั้น เมื่อวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง DLS พบว่าอิมัลชันมีขนาดอนุภาคในช่วง 46.9-47.7 41.7-44.6 และ 54.2-55.8 มีค่า zeta potential ในช่วง 8.29-8.47 10.30-10.57 และ 17.24-18.54 ตามลำดับ

การทดลองที่ 1.3 การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดสารสีจากดอกอัญชัน

1.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการสกัดสารสี แสดงดัง Table 7

Table 7 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

พบว่า เวลาไม่มีผลต่อการสกัด จึงเลือกเวลาในการสกัดที่น้อยที่สุด คือ 30 นาที ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อการสกัด โดยการสกัดที่ 50 60 และ 70 °C มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าที่ 60 °C มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีจากดอกอัญชัน คือ สกัดที่ 60 °C 30 นาที (Table 7) ซึ่งสอดคล้องกับ Marpaung et al. (2013) ที่รายงานว่า การสกัดสารสีจากดอกอัญชันด้วยสารละลายกรด HCl ที่ pH 4.5 โดยเขย่าหรือกวนอย่างต่อเนื่องในที่มีดที่ 60 °C 30 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารสีจากดอกอัญชัน

1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานิน พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก สารสกัดที่ได้มี pH ลดลง การสกัดสารแอนโทไซยานินด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.20 M ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับการสกัดด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ในการสกัดสารแอนโทไซยานิน (Table 8)

Table 8 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 ที่อัตราส่วน 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 พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้มีปริมาณน้อยมากและไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนการสกัด 1:50 และสกัดเพียง 1 ครั้ง เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัด

2. การสกัดสารสีจากแครอท เมื่อคั้นน้ำและแยกกากแครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้สารสกัดแครอทสีส้ม เมื่อนำไปทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออกจะได้สารสกัดแครอทเข้มข้น มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 25 °Brix ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 35.11 13.68 และ 6.67 ตามลำดับ ค่า pH 5.93 ปริมาณแคโรทีนอยด์ 22.00 mg/100 ml

3. การสกัดสารสีจากใบเตย เมื่อบั่นใบเตยให้ละเอียดและแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ 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 พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C มีความชื้นน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 และ 140 °C (Table 23) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อนุภาคมากขึ้น ทำให้น้ำระเหยเร็วขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว (Kha et al., 2010) โดยคุณภาพของสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 140 150 และ 160 °C มีคุณภาพด้านค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และปริมาณแอนโทไซยานินใกล้เคียงกัน ซึ่งการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะคำนึงถึงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เนื่องจากมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C การศึกษาปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรีนที่เหมาะสม พบว่า สีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 30% มีความชื้นและค่า aw น้อยที่สุด (Table 9) เนื่องจากการเพิ่มมอลโตเด็คซ์ทรีนจะไปเพิ่มส่วนที่เป็นของแข็งและลดส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง (Kha et al., 2010) แต่มี %yield มากที่สุดใกล้เคียงกับการผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 20% โดยสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 10% มีสีเข้มกว่าที่ผสม 20 และ 30% เนื่องจากมีค่าสี L* น้อยที่สุด ค่า a* และ ค่า C* มากกว่า มีความชื้นสูง มีค่าการละลายน้อยที่สุด และมีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด ส่วนสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 30% มีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ดังนั้นการใช้มอลโตเด็คซ์ทรีน 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสีผงจากดอกอัญชัน

Table 9 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

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดแคโรทีน พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 180 °C มีความชื้นน้อยที่สุด ไม่แตกต่างกับการใช้อุณหภูมิ 160 และ 170 °C มีค่า aw ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.27-0.28 และมี %yield อยู่ในช่วง 12.72-12.87% (Table 10) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพพบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C มีปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใช้อุณหภูมิ 170 °C ในขณะที่สีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 180 °C มีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อย

ที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C ส่วนปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรีนที่เหมาะสม พบว่าสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 30% มีความชื้นและปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด สีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 10% มีสีเข้มกว่าสีผงที่ผสม 20 และ 30% ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 8.33-9.33 °Brix ค่า pH อยู่ในช่วง 4.99-5.08 สีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 10% มีค่าการละลายน้อยที่สุด แต่มีปริมาณแคโรทีนอยด์และความชื้นมากที่สุด ดังนั้นปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรีน 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยสีผงจากแครอท

Table 10 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	5.24b	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 พบว่าสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C มีความชื้นน้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใช้อุณหภูมิ 160 °C (Table 11) นอกจากนี้สีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้าทั้ง 3 อุณหภูมิ มี %yield ค่า aw ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และค่าการละลายใกล้เคียงกัน โดยสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 150 และ 170 °C ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ส่วนการศึกษาปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรีนที่ พบว่าสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 30% มีความชื้นน้อยที่สุด (Table 11) โดยสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 10% มีสีเข้มกว่าสีผงที่ผสม 20 และ 30% แต่มีค่าการละลายน้อยกว่า ซึ่งสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 10% มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ผสมมอลโตเด็คซ์ทรีน 20% ดังนั้นปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรีน 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสีผงจากใบเตย

Table 11 Quality of pandan powder in different drying temperature (150-170 °C)

Qualities	Drying temperature (°C)			Maltodextrin (%)		
	150	160	170	10	20	30

moisture (%)	3.41b	3.24ab	3.10a	5.19c	2.93b	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 โพรตีน คาร์โบไฮเดรต (รวมใยอาหาร) ใยอาหาร และไขมัน เท่ากับ 0.66 4.33 2.05 92.53 1.06 และ 0.43% ตามลำดับ สีผงจากแครอทมีเถ้า ความชื้น โพรตีน คาร์โบไฮเดรต (รวมใยอาหาร) ใยอาหาร และไขมัน เท่ากับ 2.57 1.64 6.31 87.68, 1.68 และ 1.80% ตามลำดับ สีผงจากใบเตยมีเถ้า ความชื้น โพรตีน 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 การประยุกต์ใช้สีผงจากดอกอัญชันในผลิตภัณฑ์เยลลี่ พบว่าเยลลี่มีลักษณะดัง Figure 7 โดยเมื่อสีผงมากขึ้นมีผลทำให้ค่า pH ของเยลลี่ลดลง เนื่องจากในสีผงมีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบเพราะสกัดด้วยกรดซิตริก ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผงมากจึงมีกรดซิตริกเป็นส่วนประกอบมากขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ใส่สีผง 2.5% จึงมีค่า pH ต่ำที่สุด แต่ไม่ กับเยลลี่ที่ใส่สีผง 1.5 และ 2.0% นอกจากนี้การใส่สีผงปริมาณมากขึ้นทำให้เยลลี่มีสีเข้มขึ้น โดยค่าสี L* และ b* มีค่าลดลง ในขณะที่ค่าสี a* และ C* มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าสี h* พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ ที่ใส่สีผง 1.0-2.5% มีค่าเฉดสีไม่แตกต่างกัน ส่วนปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเยลลี่ที่ใส่สีผงทั้ง 5 สูตร มีค่าแตกต่างกับเยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง และการใส่สีผงเพิ่มขึ้นทำให้เยลลี่มีสารสำคัญเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเยลลี่ที่ใส่สีผง 2.5% มีปริมาณสำคัญทั้ง 3 ชนิดมากที่สุด (Table 12) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ที่ใส่สีผงมากกว่าที่ไม่ใส่สีผง โดยเยลลี่ที่ใส่สีผง 2.5% มีคะแนนความชอบสูงที่สุด ดังนี้ ด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 5.2 5.43 4.50 และ 5.37 คะแนน ดังนั้นสูตรเยลลี่ที่ผสมสีผง 2.5% จึงเป็นสูตรที่เหมาะสม

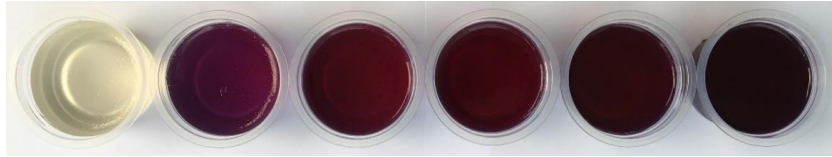


Figure 7 Jelly product in different butterfly pea powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)

Table 12 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

5.2 ผลการประยุกต์ใช้สีผงจากแครอทในผลิตภัณฑ์เยลลี่ พบว่าเยลลี่มีลักษณะดัง Figure 8 โดยการใส่สีผงมากขึ้นมีผลทำให้เยลลี่มีค่าสี a* เพิ่มขึ้น ค่าสี b* ลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่า pH ของเยลลี่ทั้ง 5 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในเยลลี่ที่ใส่สีผงแครอทมีค่ามากกว่าเยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง โดยเมื่อใส่สีผงเพิ่มขึ้น ปริมาณสารสำคัญเพิ่มขึ้น ดัง Table 13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลี่ที่ใส่สีผงมากกว่าที่ไม่ใส่สีผง โดยเยลลี่ที่ใส่สีผง 1.0 1.50 และ 2.0% มีคะแนนความชอบทุกด้านมากกว่าเยลลี่ที่ไม่ใส่สีผง แต่เยลลี่ที่ใส่สีผง 1.0% มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 5.80 5.85 5.20 5.70 และ 5.70 คะแนน ตามลำดับ ดังนั้นสูตรที่ผสมสีผง 1.0% เป็นสูตรที่เหมาะสม



Figure 8 Jelly product in different carrot powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%)

Table 13 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 (°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 (ug / g)	0.11e	0.30d	0.44c	0.62d	0.77a
total phenolic compound (ug gAE/ g)	116.25a	116.41a	116.21a	122.24a	126.47a
antioxidant capacity by DPPH (ugVCEAC/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

5.3 ผลการประยุกต์ใช้สีผงจากใบเตยในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา พบว่าครีมสังขยามีลักษณะดัง Figure 9 โดยการใส่สีผงปริมาณมากขึ้นทำให้ครีมสังขยามี ค่าสี L* ค่าสี a* และ ค่าสี b* ลดลง นั่นคือ มีสีเขียวเข้มขึ้น ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสีผงมากขึ้นตามลำดับ ดัง Table 14 การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับครีมสังขยาที่ใส่สีผงมากกว่าที่ไม่ใส่สีผง เนื่องจากสีผงมีกลิ่นหอมของใบเตย กลิ่นของสีผงจึงช่วยลดกลิ่นไซ้ของครีมสังขยา โดยครีมสังขยาที่ใส่สีผง 1.5 2.0 และ 2.5% มีคะแนนความชอบทุกด้านไม่แตกต่างกัน แต่ครีมสังขยาที่ใส่สีผง 2.0% มีคะแนนความชอบด้านสี 5.55 คะแนน รสชาติ 5.55 คะแนน และความชอบโดยรวม 5.50 คะแนน สูงที่สุด ดังนั้นสูตรการผลิตครีมสังขยาผสมสีผงจากใบเตย 2.0% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด



Figure 9 Custard cream product in different pandan powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)

Table 14 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 (°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 (ug/ g)	1.59e	2.95de	5.85cd	7.70c	11.41b	14.72a
total phenolic compound (ug gAE/g)	84.21c	95.60bc	104.39abc	103.26abc	116.77ab	125.67a
antioxidant capacity by DPPH (ug 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

6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผง เป็นเวลา 12 เดือน

6.1 อายุการเก็บรักษาสีผงจากดอกอัญชัน พบว่าสีผงมีลักษณะดัง Figure 10 โดยตลอดอายุการเก็บรักษา ค่าสี L* มีแนวโน้มลดลง ค่า ΔE โดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ที่การเก็บรักษา 2-6 เดือน มีค่าน้อยกว่า 2.3 แสดงว่าค่าสีของสีผงที่การเก็บรักษา 2-6 เดือน ไม่แตกต่างกับค่าสีของสีผงเริ่มต้น เมื่อเก็บรักษาตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป พบว่า ΔE มีค่ามากกว่า 2.3 แสดงว่าสีของสีผงมีค่าสีแตกต่างกับค่าสีของสีผงเริ่มต้น เนื่องจากหากค่า $\Delta E \geq 2.3$ แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (Sharma, 2003) การเก็บรักษาสีผงนานขึ้นทำให้ความชื้นและค่า aw เพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษา 12 เดือน สีผงมีค่า aw เพิ่มขึ้นเป็น 0.372 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ซึ่งต้องมีค่า aw ต่ำกว่า 0.6 (ปริยาและสุดสาย, 2546) ค่าการละลายและปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่ 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 15)

Table 15 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

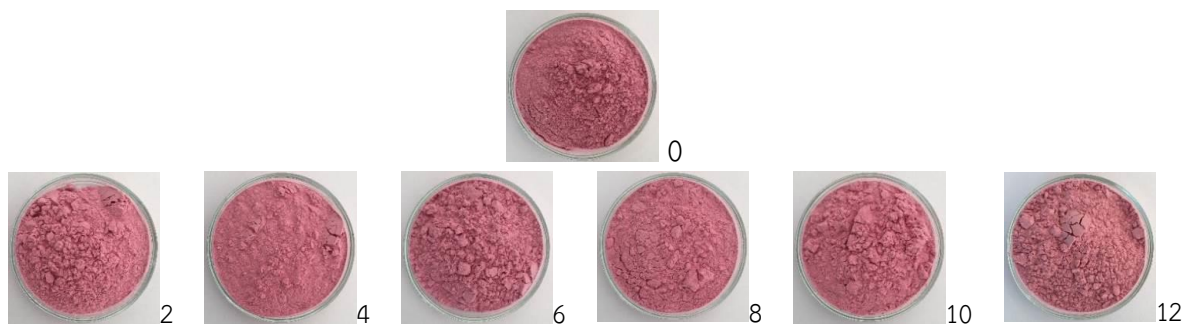


Figure 10 Appearance of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 12 months

6.2 อายุการเก็บรักษาสีผงจากแครอต พบว่าสีผงที่ได้มีลักษณะดัง Figure 11 โดยสีผงที่เก็บ 2-6 เดือน มีค่า ΔE น้อยกว่า 2.3 แสดงว่ามีค่าสีไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น ความชื้นของสีผงที่ 2-6 เดือน และ ค่า aw ของสีผงที่ 2-4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากสีผงเริ่มต้น แต่เมื่อเก็บรักษา 12 เดือน ค่า aw เท่ากับ 0.30 แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง การละลายของสีผงที่ 2-10 เดือน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น นอกจากนี้การเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 16)

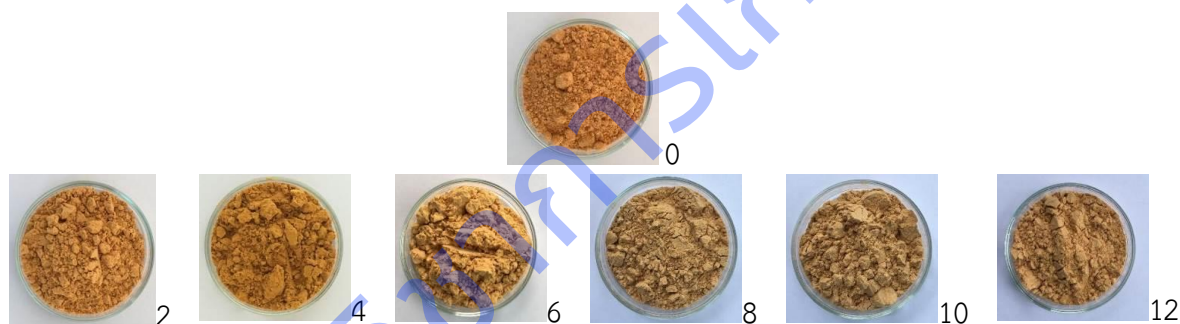


Figure 11 Appearance of carrot powder was kept at ambient temperature for 12 months

Table 16 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	180.30a	168.26ab	162.13bc	152.66bcd	150.72cd	147.43cd	139.88d

(mg gAE/100 g)

antioxidant capacity by DPPH 67.84ab 71.020a 64.08b 57.08c 53.53c 45.46d 42.35d
(mg VCEAC/100 g)

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

6.3 อายุการเก็บรักษาสีผงจากใบเตย พบว่าสีผงที่ได้มีลักษณะดังภาพ Figure 12 โดยค่า ΔE ตลอด 12 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่เกิน 2.30 แสดงว่าค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น ความชื้นของสีผงที่ 2-12 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากสีผงเริ่มต้น ค่า aw ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกัน การละลายของสีผงที่ 2-8 เดือน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้น นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษานานขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 17)

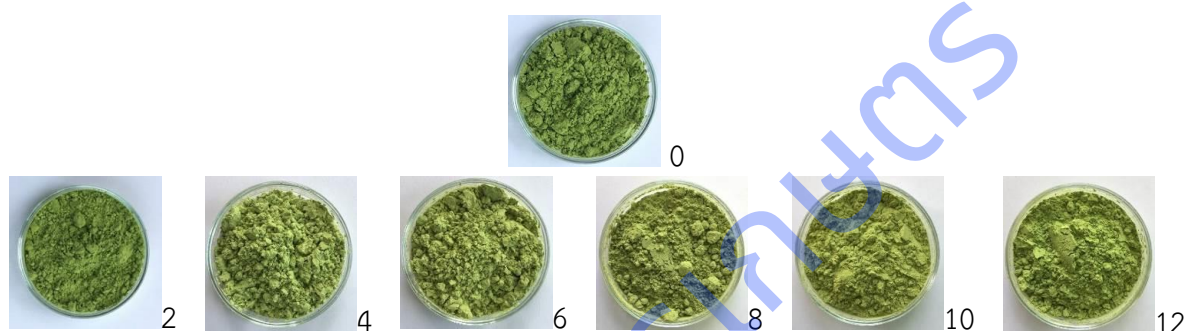


Figure 12 Appearance of pandan powder was kept at ambient temperature for 12 months

Table 17 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

7. การคำนวณต้นทุนการผลิตสีผง ดังนี้ สีผงจากดอกอัญชันปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 680 บาท ดังนี้ ดอกอัญชันแห้ง 1 kg 400 บาท กรดซิตริก 1.5 kg 105 บาท มอลโตเด็ทซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท สีผงจากแคโรทีน

ปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 1,675 บาท ดังนี้ แครอท 60 kg 1,500 บาท มอลโตเด็กซ์ทริน 2.5 kg 175 บาท สีม่วงจากใบเตยปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 1,175 บาท ดังนี้ ใบเตย 40 kg 1,000 บาท มอลโตเด็กซ์ทริน 2.5 kg 175 บาท ซึ่งต้นทุนการผลิตสีม่วงทุกสียังไม่รวมค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การทดลองที่ 1.4 การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากใบย่านางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง โดยหั่นใบย่านางเป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) (Figure 13) จากนั้นสกัด AIS ด้วยน้ำ พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ %yield ของไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเพิ่มขึ้นโดยสภาวะที่เหมาะสมของการสกัด คือ 80 °C 90 นาที อัตราส่วน AIS:น้ำ 1:20 นำสารสกัดไประเหยน้ำออก แล้วนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% จะได้สารสกัดดัง Figure 14 จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 5.45% มีลักษณะเป็นผงสีเทา (Figure 15) มีความชื้น 7.32% (Table 18)

เมื่อเปรียบเทียบการสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางของจิตรราและคณะ (2550) ที่สกัดด้วยน้ำที่ 85 °C 180 นาที อัตราส่วน 1:5 พบว่าได้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 4.51% แสดงให้เห็นว่าการสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางโดยสภาวะจากงานวิจัยนี้ให้ %yield มากกว่า



Figure 13 Alcohol-insoluble solid (AIS) of Yanang leaves extract



Figure 14 Yanang leaves extracted after filtrate from ethanol

Table 18 Yield of hydrocolloids extracts from Yanang leaves with different extraction conditions.

Extraction conditions			
Temperature (°C)	Ratio of alcohol-insoluble solid : water (w/v)	Time (minute)	Yield (%)
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)



Figure 15 Yanang leaves Hydrocolloids

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง พบว่าสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางมีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 55.68% ใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้าที่มีปริมาณกรดยูโรนิกประมาณ 8.7-12.8% และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 60-80% โดยปริมาณกรดยูโรนิกและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและไซแลนทางการค้า แตกต่างกันอย่างเล็กน้อยเนื่องจากแหล่งของวัตถุดิบแตกต่างกัน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC50 และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางความเข้มข้น 1.5% เท่ากับ 12.63 ($\mu\text{g/ml}$) และ 1.42 (mg GAE/100 ml)

3. การศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 1.0 1.5 และ 2.0% ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้ ค่าความข้นหนืด เท่ากับ 9.1d 14.7c 18.6b และ 22.7a cPs ตามลำดับ ค่าความแข็งแรงของเจล เท่ากับ 0.054d 0.085c 0.124b และ 0.187a N ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นทำให้ไฮโดรคอลลอยด์สามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น ปริมาณน้ำอิสระจึงลดลงส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น (จิตราและคณะ, 2550) ส่วนการเติมน้ำตาล sucrose ส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลสามารถจับกับน้ำและทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงจึงส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ดังนี้ เมื่อน้ำตาล sucrose เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 10 20 30 และ 40% w/v ค่าความหนืด เท่ากับ 14.7e 16.1d 17.8c 19.2b และ 21.3a cPs ตามลำดับ ค่าความแข็งแรงของเจล เท่ากับ 0.085e 0.097d 0.132c 0.156b และ 0.179a N ตามลำดับ ส่วนการเติม NaCl ส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลง ซึ่งเกิดจากไอออน Na^+ ไปแย่งจับกับน้ำทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า salting out หรืออาจเกิดจากการที่ไอออน Na^+ เกิดการผลักรบกวนของตัวมันเองซึ่งเป็นผลทำให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลง (Whistler and Bemiller, 1993) ดังนี้ เมื่อ NaCl เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 1.0 3.0 5.0 และ 7.0% w/w ค่าความหนืด เท่ากับ 14.7a 13.4b 12.3c 11.5d และ 10.2e cPs ตามลำดับ ค่าความแข็งแรงของเจล เท่ากับ 0.085a 0.075b 0.063c 0.051d และ 0.044e N ตามลำดับ

4. การศึกษาโครงสร้างของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ด้วยเครื่อง FT-IR เปรียบเทียบกับไซแลนทางการค้า (ไซแลนจากบิซูด) พบว่าโครงสร้างของสารสกัดทั้ง 2 ชนิด มีองค์ประกอบหลักเหมือนกัน คือ น้ำตาลไซโรส โดยพบพีคที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน 5 ตำแหน่ง ได้แก่ หมู่ฟังก์ชัน C-O ที่ความยาวคลื่นช่วง 1039.65 (Table 19) ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะ β (1 \rightarrow 3) linkage และ β (1 \rightarrow 4) linkage ซึ่งพันธะดังกล่าวตรงกับโครงสร้างของไซแลนทางการค้าที่มีโครงสร้างเป็นน้ำตาลไซโรสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β (1 \rightarrow 3) linkage และ β (1 \rightarrow 4) linkage และมีพีคที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันที่เป็นโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ พีคในช่วงความยาวคลื่น 3363.86 cm^{-1} ซึ่งเป็นพันธะ O-H ของหมู่ไฮดรอกซิล ที่บ่งบอกถึงพันธะไกลโคซิดิกซึ่งเป็นพันธะโครงสร้างทางเคมีของโพลีแซคคาไรด์ และยังมีโครงสร้างของหมู่เมทิล (C-H) ช่วง 2891.3 cm^{-1} เป็นองค์ประกอบด้วย แสดงให้เห็นว่าสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางน่าจะเป็นสารไซแลน มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ และมีน้ำตาลไซโรสเป็นองค์ประกอบ

Table 19 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

ผลการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree เปรียบเทียบกับการใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า คือ แชนแทนกัมและกัมอาราบิก พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง แชนแทนกัม และกัมอะราบิก 0.5 1.0 และ 1.5% ในซอสพริก ให้ลักษณะซอสพริกดัง Figure 16 โดยความข้นหนืดของซอสพริกเพิ่มขึ้นและการแยกชั้น (% Serum Loss) ลดลง ซึ่ง %Serum Loss จะบ่งบอกความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความคงตัวต่ำ เมื่อเก็บรักษา 6 เดือน และวิเคราะห์คุณสมบัติทุก 1 เดือน พบว่าซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและสารให้ความคงตัวทางการค้าที่ความเข้มข้นเท่ากันให้ค่าความข้นหนืดจากมากไปน้อยและ %Serum Loss จากน้อยไปมากเรียงตามลำดับ ดังนี้ ซอสที่เติมแชนแทนกัม ซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง และซอสที่เติมกัมอะราบิก โดยซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 1.5% มีค่าความข้นหนืด และ %Serum Loss ใกล้เคียงกับซอสที่เติมแชนแทนกัม 1.0% (Table 20) ดังนั้นสามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางที่ความเข้มข้น 1.5% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกได้ โดยเมื่อเก็บรักษา 6 เดือน พบว่าซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง 1.5% มีความข้นหนืดลดลง 8.21% และค่าการแยกชั้นของซอสเพิ่มขึ้น 9.41% ใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมแชนแทนกัม 1.0% ที่มีค่าความข้นหนืดลดลง 4.87% และมีค่าการแยกชั้นของซอสเพิ่มขึ้น 5.46% ตามลำดับ และซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางความเข้มข้น 1.5% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC₅₀ เท่ากับ 13.57 mg/ml



Figure 16 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±2°C) for 180 days.

ผลการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง แชนแทนกัม และกัมอะราบิก ปริมาณ 0.5 1.0

และ 1.5% ในอาหารเสริมสำหรับเด็กมีลักษณะปรากฏดัง Figure 17 โดยทำให้ค่าความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและ %Serum Loss ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง แชนแทนกัม และกัมอาราบิกที่ระยะเวลาเก็บรักษา 6 เดือน โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทุก 1 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านางและสารให้ความคงตัวทางการค้าที่ความเข้มข้นเท่ากันให้ความข้นหนืดเรียงจากมากไปน้อยและค่า %Serum Loss เรียงจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ ผลิตภัณฑ์ที่เติมแชนแทนกัม ผลิตภัณฑ์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง และผลิตภัณฑ์ที่เติมกัมอะระบิก โดยผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านางปริมาณ 2.0% มีค่าความข้นหนืด และ %Serum Loss ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมแชนแทนกัม 1.5% และเติมกัมอาราบิก 2.5% จึงสามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านางที่ความเข้มข้น 2.0% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กได้ (Table 21) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าอาหารเสริมสำหรับเด็กมีความข้นหนืดลดลง 7.90% %Serum Loss เพิ่มขึ้น 7.64% ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC50 เท่ากับ 24.31 mg/ml

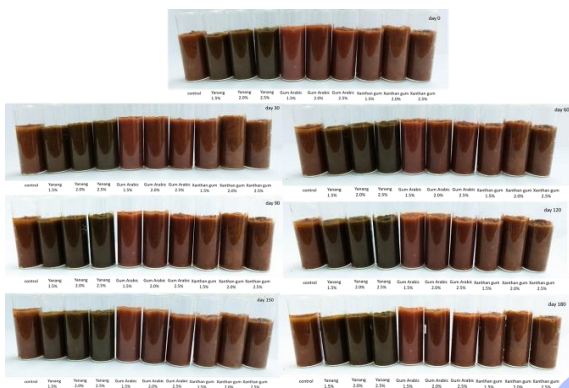


Figure 17 Baby food puree with Yanang leaves hydrocolloid, baby food puree with gum arabic and baby food puree with xanthan gum with different concentration of stabilizer during refrigerated storage ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) for 180 days.

6. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง พบว่ามีต้นทุนการผลิต 7,800.46 บาท/kg (ไม่รวมค่าอุปกรณ์ เครื่องมือ และพลังงานเชื้อเพลิง) โดยมีรายละเอียดต้นทุนของวัตถุดิบและสารเคมี ดังนี้ ไบบ่านาง จำนวน 18.35 kg ราคา 1,101 บาท เอทานอล 95% จำนวน 36.70 ลิตร ราคา 5064.60 บาท น้ำ 297.25 ลิตร ราคา 1,634.86 ซึ่งราคาสูงกว่าไซแลนทางการค้าที่มีราคา 3000 – 3500 บาท/kg

Table 20 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 21 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)

การทดลองที่ 1.5 การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับประรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

1. การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปสับประรดในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลน
 โดยศึกษาสับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย พบว่าสับประรด 1 ผล ประกอบด้วย จุก เปลือกติดเนื้อกับตา แขน และก้านผล เท่ากับ 7.76 35.61 9.56 และ 4.66% ตามลำดับ เมื่อนำส่วนต่างๆ มาคั้นน้ำพร้อมแยกกาก และวิเคราะห์สารพิษ ตกค้างทางการเกษตร พบว่าน้ำคั้นจากทุกส่วนไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษทางการเกษตรในกลุ่มคาร์บาเมต ออร์กาโนฟอสเฟต ออร์กาโนคลอรีน และไพรีทรอยด์ โดยน้ำคั้นมีคุณสมบัติดัง Table 22 คือ มีค่าของแข็งละลายน้ำ อยู่ในช่วง 3.3-6.1 °Brix และค่า pH อยู่ในช่วง 4.39-4.95 ซึ่งน้ำคั้นจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมี ปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงและมีค่า pH ต่ำกว่าส่วนจุกและก้านผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจุกและก้านผลมี ค่าของแข็งละลายน้ำและ pH ไม่แตกต่างกัน ผลการตรวจสอบปริมาณโปรตีน พบว่าในน้ำคั้นจากจุกมีปริมาณสูง กว่าส่วนอื่น เท่ากับ 8.77 mg/g น้ำหนักสด โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา แขน และก้านผล มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 4.30, 3.51 และ 4.23 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกัน น้ำคั้นที่ได้มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน เป็น 139.00 111.36 และ 106.12 CDU/g น้ำหนักสด จากจุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกน ตามลำดับ แต่ไม่พบ ค่ากิจกรรมเอนไซม์ในน้ำคั้นส่วนก้านผล อาจเนื่องมาจากก้านผลเป็นส่วนที่ถูกตัดออกจากลำต้นทำให้ผิวหน้าสัมผัส อากาศภายนอกระหว่างขนส่งและรอจำหน่ายทำให้เอนไซม์ค่อยๆ เสื่อมสภาพไป โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์จากน้ำคั้น ส่วนจุกมีปริมาณมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา เมื่อนำมาคำนวณค่ากิจกรรมจำเพาะที่แสดง ถึงความบริสุทธิ์ของเอนไซม์พบว่าส่วนแกนและเปลือกติดเนื้อกับตามีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงไม่แตกต่างกันคือ 30.51 และ 26.14 CDU/mg โปรตีน ในขณะที่ค่ากิจกรรมจำเพาะของจุกเท่ากับ 16.13 CDU/mg โปรตีน ซึ่ง แตกต่างจากสองส่วนข้างต้นมาก แม้ว่าส่วนจุกจะมีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนสูงที่สุดแต่กลับมีค่ากิจกรรมจำเพาะน้อย แสดงให้เห็นว่าที่ได้จากจุกไม่ค่อยบริสุทธิ์ อีกทั้งยังเป็นชิ้นส่วนที่ไม่นิยมบริโภค จึงต้องตรวจสอบความปลอดภัยต่อ ผู้บริโภคเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกพัฒนากระบวนการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา เนื่องจากมี ค่ากิจกรรมเอนไซม์และค่ากิจกรรมจำเพาะสูง และเป็นชิ้นส่วนที่เป็นผลพลอยจากการแปรรูปในสัดส่วนที่สูงด้วย

Table 22 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/g 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

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในสกัดเอนไซม์บรอมีเลน

2.1 การศึกษาช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีปั่นชิ้นส่วนสับประรด

เอนไซม์เป็นสารชีวโมเลกุลที่ต้องดำเนินการภายใต้อุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเสถียรภาพ จากการศึกษา พบว่าเอนไซม์บรอมีเลนสามารถทำงานได้ตั้งแต่ 10 °C โดยมีค่ากิจกรรมที่ดีในช่วง 40-60 °C แสดงให้เห็นว่า เอนไซม์บรอมีเลนมีเสถียรภาพต่อการทำงานได้ครอบคลุมในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม

ในการตีบั่นชิ้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา 5 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิเย็ดจัด 0-2 °C อุณหภูมิต่ำ 5±2 °C อุณหภูมิห้อง 30±2 °C และอุณหภูมิสูง 35±2 และ 45±2 °C พบว่า น้ำคั้นที่ได้มีปริมาณโปรตีน ค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน และกิจกรรมจำเพาะไม่แตกต่างกัน ดัง Table 23 อาจเนื่องมาจากเอนไซม์บรอมีเลนมีเสถียรภาพเพียงพอต่ออุณหภูมิต่างๆ อีกทั้งใช้ระยะเวลาในการตีบั่นไม่นานทำให้ได้ปริมาณเอนไซม์ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้กรรมวิธีตีบั่นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อลดกระบวนการที่ยุงยากและการใช้พลังโดยไม่จำเป็นในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

Table 23 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 ($p \leq 0.05$) by turkey's test

2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตีบั่นชิ้นส่วนสับประด

เมื่อนำชิ้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตามาตีบั่นกับน้ำกลั่นที่ RT และตามระยะเวลา 0 1 2 3 และ 4 นาที จะได้น้ำคั้นที่มีคุณสมบัติดังแสดงใน Table 24 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้เวลาตีบั่นนานขึ้นจะได้ปริมาณโปรตีนสูงขึ้นจนเวลาในการตีบั่นที่ 2 นาทีขึ้นไปจะได้ปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การตีบั่นเป็น 1 นาที มีค่ากิจกรรมเอนไซม์สูงที่สุดและสูงกว่าการไม่ตีบั่นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้เวลาตีบั่นมากขึ้นค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนจะลดลงตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเมื่อเวลาในการตีบั่นนานขึ้นทำให้โมเลกุลของเอนไซม์ถูกเฉือนโดยใบมีดของเครื่องบดปั่นจึงทำให้เอนไซม์เสียประสิทธิภาพในการทำงาน นอกจากนี้การไม่ตีบั่นและตีบั่น 1 นาที จะมีค่ากิจกรรมจำเพาะที่สูงและลดลงเล็กน้อยตามลำดับ ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อตีบั่นนานตั้งแต่ 2 นาทีขึ้นไป จะทำให้ค่ากิจกรรมจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวได้ปริมาณโปรตีนมากขึ้นแต่ค่ากิจกรรมเอนไซม์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ %yield ของเอนไซม์ที่ได้กับความบริสุทธิ์ที่ลดลงจากค่ากิจกรรมจำเพาะในขั้นตอนตีบั่น ร่วมกับการบีบคั้นแยกกาก จึงเลือกสภาวะการตีบั่นวัตถุดิบด้วยน้ำกลั่นนาน 1 นาที ที่ RT ก่อนนำไปบีบคั้นน้ำเป็นสภาวะที่เหมาะสม โดยไม่นำกากกลับมาทำซ้ำ

จากการศึกษาช่วงของอุณหภูมิและระยะเวลาในการตีบั่นชิ้นส่วนสับประดที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าการสกัดเอาน้ำคั้นด้วยแรงเชิงกลมีอิทธิพลต่อปริมาณเอนไซม์บรอมีเลนและโปรตีนมากกว่าผลของอุณหภูมิ เพราะการทำให้เซลล์เนื้อเยื่อแตกออกจะสามารถปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอารี (2554)

Table 24 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±4.22c0	58.67±7.50a
1 min	2.95±0.27b	166.58±3.69a0	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±7.06c0	41.43±3.75b

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

2.3 การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์บรอมีเลนจากน้ำคั้นชั้นส่วนสับประรดโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล

เมื่อเติมเอทานอลเย็นลงในน้ำคั้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา ทำให้เอนไซม์บรอมีเลนเกิดการจับกลุ่มและเกิดเป็นตะกอนแยกตัวออกจากสารละลายเนื่องจากเอทานอลจะดึงโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถละลายอยู่ในสารละลายผสมนี้ได้ โดยขั้นตอนนี้ต้องทำภายใต้อุณหภูมิต่ำเพื่อลดการสูญเสียของเอนไซม์ (ทงง, 2530) ซึ่งหลังจากเติมเอทานอลลงในน้ำคั้นแล้วนำไปพักไว้ที่ 4°C เพื่อให้เกิดตะกอนสมบูรณ์เป็นเวลา 30 60 120 และ 240 นาที พบว่าสารละลายตะกอนโปรตีนที่ได้มีปริมาณโปรตีนและค่ากิจกรรมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อความแปรปรวนของค่ากิจกรรมจำเพาะให้มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลา 60 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นเวลาที่น้อยสุดที่ให้ค่ากิจกรรมจำเพาะสูง (Table 25)

Table 25 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)
030 min	1.40±0.14	201.68±21.27	134.45±14.18 a
060 min	1.20±0.28	218.97±4.33	156.41±3.09 a
120 min	1.25±0.21	214.82±6.79	153.44±4.85 b
240 min	1.65±0.07	211.72±12.71	121.93±8.03 b

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

3. ศึกษาการทำเอนไซม์ผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเมื่อนำสารสกัดเอนไซม์บรอมีเลนที่เตรียมได้จากสถานะที่เหมาะสมข้างต้น แล้วปั่นเหวี่ยงเอาเฉพาะตะกอนไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะได้โปรตีนที่แห้งและเหนียว บดให้เป็นผงได้ยาก ละลายน้ำได้ไม่ดี จึงปรับปรุงวิธีการโดยนำตะกอนที่ได้จากขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงมาละลายด้วยน้ำกลั่นจนตะกอนแตกตัวและแขวนลอยในน้ำในลักษณะคล้ายน้ำนม แล้วจึงนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้ผงโปรตีนสีเหลืองอ่อน (Figure 18) นอกจากนี้ยังได้ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการตีปั่นชั้นส่วนสับประรดจากวิธีการเดิมที่เติมน้ำกลั่นอัตราส่วน 2:1 v/w เปรียบเทียบกับการตีปั่นโดยไม่เติมน้ำกลั่นภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาเดิม พบว่าได้น้ำคั้นที่ปริมาณผลผลิตเข้มข้นขึ้นประมาณ 20% ได้วิธีการทำเอนไซม์ผงจากส่วนเปลือกสับประรดคือตีปั่นวัตถุดิบที่ RT นาน 1 แล้วนำไปปั่นคั้นน้ำ (ค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนอยู่ที่ 135.72 ± 34.71 CDU/g น้ำหนักสด) ได้ผงสารสกัดเอนไซม์บรอมีเลนที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน $19,832.66 \pm 5,128.13$ 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 $6.6 \pm 0.9\%$ มีความหนาแน่นรวม 0.16 g/ml ปริมาณผลผลิตได้ $0.24 \pm 0.09\%$ โดยน้ำหนักเปลือกสับประรดสด



Figure 18 The bromelain powder produced from this research

4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์สำหรับหมักเนื้อสัตว์ โดยนำเอนไซม์บรอมีเลนผงที่ผลิตได้มาใช้ร่วมกับซอสหมักเนื้อ เนื้อหมูสูตรสุกี้-ชาบู โดยกำหนดสูตรพื้นฐาน และแปรปริมาณผงเอนไซม์ฯ ที่ 0.1 0.3 และ 0.5% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ โดยหมักทิ้งไว้เป็น 30 นาที ที่ RT หลังจากทำให้สุกแล้วสังเกตลักษณะชิ้นเนื้อหมูที่พบว่า มีลักษณะเนื้อนุ่มลง เสียรูปทรงมากขึ้น และฉีกขาดมากขึ้น ตามปริมาณของผงเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรซอสหมัก เมื่อนำไปทดสอบค่าเนื้อสัมผัส พบว่าชิ้นเนื้อมีค่าแรงเฉือน ความแข็ง ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยว ลดลงเมื่อปริมาณผงเอนไซม์เพิ่มขึ้นตามลำดับ (Table 26) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์บรอมีเลนที่ผลิตได้มีความสามารถในการย่อยพันธะเปปไทด์ของโปรตีนแล้วทำให้ความสามารถในการรัดตัวของกล้ามเนื้อเสื่อมสภาพลง (Kang and Rice, 1970) เนื้อจึงมีความแข็งแรงน้อยลงและถูกตัดขาดได้ง่ายขึ้น การเติมเอนไซม์ที่ปริมาณ 0.3 และ 0.5% มีค่าแรงเฉือนและความทนต่อการเคี้ยว ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรที่เติม 0.1% แสดงว่าปริมาณเอนไซม์ตั้งแต่ 0.3% ขึ้นไปอาจมากเกินไปสำหรับการประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ทุกสูตรมีความยืดหยุ่น (springness) และ cohesiveness ไม่ต่างกัน ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยวิธี hedonic scale (7 point) จำนวน 30 คน ช่วงอายุ 21-46 พบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏลดลง (6.0-5.2) ตามลำดับ ซึ่งสูตรที่เติมเอนไซม์ 0.5% มีคะแนนความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากสูตรควบคุม คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของสูตรควบคุมและสูตรที่เติมเอนไซม์ 0.1% มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน คือ 5.4 และ 5.2 แต่เมื่อเติมเอนไซม์ 0.3 และ 0.5% ความชอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 4.4-4.7 คะแนนความชอบด้านรสชาติ กลิ่น และความชอบโดยรวมของการเติมผงเอนไซม์ที่ 0.3 และ 0.5% ลดลงจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรที่เติมเอนไซม์ 0.1% มีคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุม แต่มีคะแนนด้านกลิ่นสูงที่สุด (Figure 19) โดยการใส่ผงเอนไซม์ที่มากเกินไปทำให้ชิ้นเนื้อเปื่อยยุ่ย ไม่คงรูป ดังนั้นการประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนผงสำหรับซอสหมักเนื้อ เนื้อหมูสูตรสุกี้-ชาบู ใช้ปริมาณเอนไซม์ผง 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ในใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องก็เพียงพอที่จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มลงได้โดยคงไว้ซึ่งรสชาติของเนื้อสัตว์ ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงสูตรให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จำเพาะ เช่น ผู้สูงอายุ ได้ในอนาคต

Table 26 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

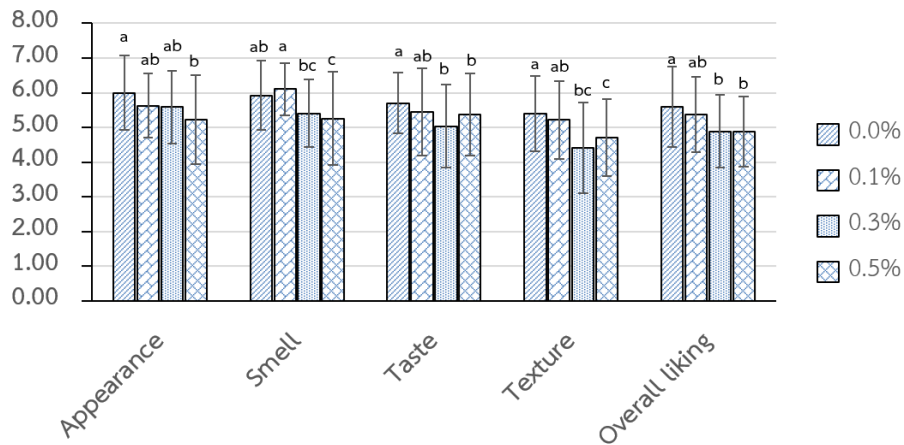


Figure 19 Sensory results of pork after marinating with varying amounts of bromelain powder

5. **ต้นทุนการผลิต** ต้นทุนการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผงจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา 100 g ได้จากการใช้เอทานอล 85.7 ลิตร มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 7,136 บาท โดยไม่รวมค่าวัตถุดิบเนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปได้และยังไม่รวมค่าพลังงาน อย่างไรก็ตามการผลิตในระดับสเกลที่ใหญ่ขึ้นและมีระบบการนำเอทานอลมาหมุนเวียนใช้ซ้ำจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลงได้ อีกทั้งเป็นการหมุนเวียนผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตตามหลัก BCG model

การทดลองที่ 1.6 การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

1. **การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด** โดยเปลือกมังคุดที่นำมาสกัดมาจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกมังคุดจากผลมังคุดสดและเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่ามังคุดสดประกอบด้วยเปลือก 52.17% เมื่ออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 °C จะได้เปลือกมังคุดแห้ง 33.67% โดยน้ำหนักเปลือกสด มีความชื้น 4.36% มีลักษณะดัง Figure 20(a) เมื่ออบให้เป็นผงละเอียดจะได้ผงสีน้ำตาลมีความชื้น 4.82% ดัง Figure 20(b) ส่วนเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีสีเข้ม ผงมีความเนียนละเอียด Figure 20(c) เมื่อนำไปสกัดด้วยสารละลายเอทานอล 95% 48 ชม. พบว่าได้สารสกัดเข้มข้นสีน้ำตาล โดยปริมาณสารสกัดหายจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง แบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า เท่ากับ 21.82 24.04 และ 12.49% ตามลำดับ แสดงว่าตัวทำละลายสามารถสกัดเอาสารสำคัญออกจากตัวอย่างที่เป็นผงได้ดีกว่าตัวอย่างที่เป็นชิ้น เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสมากกว่า ส่วนเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีปริมาณสารสกัดน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าอาจมีการใส่สารตัวเติมอื่นๆ ลงในตัวอย่างเพื่อเพิ่มปริมาณสาร ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงและจำหน่ายได้ในราคาถูก



Figure 20 Appearance of slices of dried mangosteen peel (a) dried mangosteen peel powder (b) and commercial mangosteen peel powder (c)

2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหายาบที่ได้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของสารสกัดเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสติน ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด มีแอลฟา-แมงโกสตินเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีสเปกตรัมหลักหรือมีโครงสร้างหลักเหมือนกับสารมาตรฐาน โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัม พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีสเปกตรัมหลักในตำแหน่งและความเข้มของสเปกตรัมเหมือนกับสารมาตรฐานมากกว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง โดยผลการวิเคราะห์สเปกตรัมพบว่า สอดคล้องกับโครงสร้างของแซนโทนและอนุพันธ์ 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-แมงโกสติน 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 21)

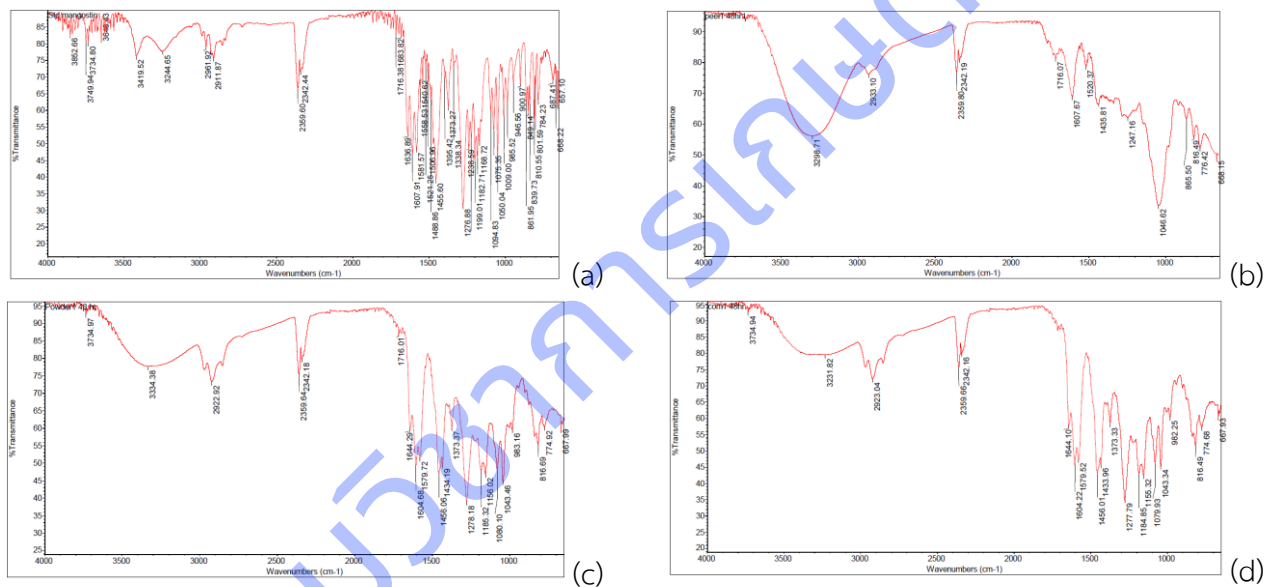


Figure 21 Wave number of FTIR spectra of α -mangostin standard (a) crude extract from slices of dried mangosteen peel (b) crude extract from dried mangosteen peel powder (c) and crude extract from commercial mangosteen peel powder (d)

จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสตินในสารสกัดหยาบที่ได้ด้วยเครื่อง UV-VIS พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีสารแอลฟา-แมงโกสตินใกล้เคียงกัน คือ 55.74 และ 55.70% ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบางมีปริมาณ 47.39% แสดงให้เห็นว่าแม้จะสกัดได้สารสกัดหยาบปริมาณมากแต่สารสกัดที่ได้อาจมีสารสำคัญที่ต้องการในปริมาณน้อยแต่มีสารชนิดอื่นถูกสกัดออกมามากกว่า สอดคล้องกับสเปกตรัมของสารสกัดที่ตำแหน่ง 3298 cm^{-1} และ 1046 cm^{-1} ที่มีความเข้มและความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างของสารชนิดอื่น ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากตัวอย่างแบบชิ้นบางมีพื้นที่ให้ตัวทำละลายเข้าไปสกัดเอาสารสำคัญออกมาได้น้อย

3. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้ง พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด สามารถต้านเชื้อ

แบคทีเรียได้ สอดคล้องกับรายงานของอุดมลักษณ์และคณะ (2549) แต่มีประสิทธิภาพแตกต่างกันดัง Figure 22 โดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อได้ดีที่สุด มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 12.25 มม. สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทิน คือ มีปริมาณสารสูงสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี เนื่องจากมีปริมาณสารออกฤทธิ์ไปทำลายเชื้อได้มากกว่า ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดแบบชิ้นบาง และสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยเท่ากับ 8.56 และ 8.38 มม. โดยการยับยั้งเกิดจากกลไกการทำงานของสารแซนโทนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในสารสกัดจากเปลือกมังคุด ยับยั้งการเกิดกิจกรรมต่างๆ ในผนังเซลล์ ยับยั้งการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ในการสังเคราะห์โปรตีน การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน และการยับยั้งเอนไซม์ โดยแซนโทนจะไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเชื้อ ซาโปนินจะไปเพิ่มแรงตึงผิวให้ผนังเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย ไลโปพอลิติกและเทอพิโนอยด์จะไปทำลายเมมเบรนของเซลล์ และสารพอลิฟีนอลจะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียเสื่อมสภาพ เป็นต้น (Sitti R H S. et al., 2018)

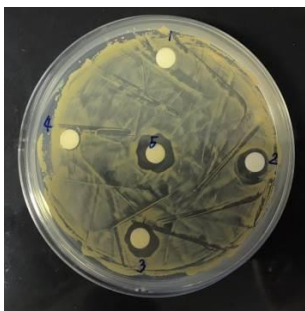


Figure 22 Inhibitory effect of water (1) methanol (2) extract from commercial mangosteen peel powder (3) extract from slices of dried mangosteen peel (4) and extract from dried mangosteen peel powder (5) against *Staphylococcus aureus*

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

4. เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์และทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม โดยวิธีการแต่งเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงลงในฟิล์ม PVA เข้มข้น 4% โดยให้มีปริมาณสารสกัด 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น พบว่าฟิล์มที่มีลักษณะโปร่งแสง มีสีเหลืองเข้มขึ้นตามปริมาณสารสกัดยืดหยุ่นได้ดี ดัง Figure 23 มีค่าความสว่าง (L^*) และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ดัง Table 27

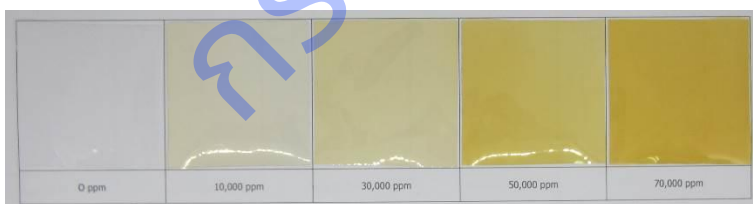


Figure 23 PVA films appearance at various mangosteen peel extract various content: 0, 10,000, 30,000, 50,000 and 70,000 ppm (left to right)

Table 27 Properties of PVA films incorporated with mangosteen peel extract.

Extract Content (ppm)	Thickness (mm)	Film Properties							
		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 ($P < 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสเปกตรัมของฟิล์มที่เติมสารสกัดในช่วง 2500–2000 cm^{-1} มีความเข้มของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารสกัดเพิ่มขึ้น และไม่มีสเปกตรัมในช่วง 1714–1713 cm^{-1} ในสเปกตรัมของสารสกัดแต่มีในสเปกตรัมของฟิล์ม ดัง Figure 24

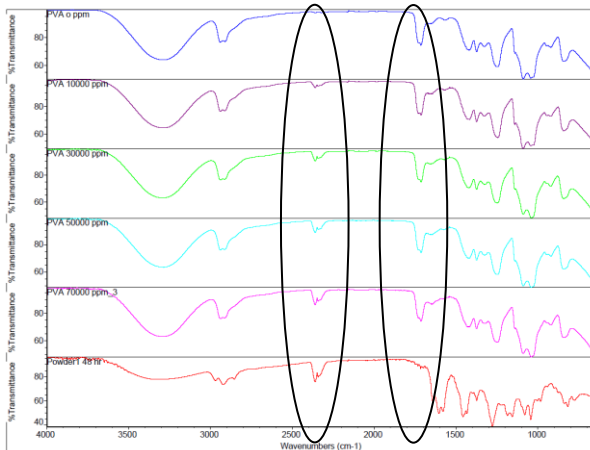


Figure 24 FTIR spectra of PVA film incorporated with dried mangosteen peel powder extract 0, 10000, 30,000, 50,000, 70,000 ppm and mangosteen peel extract

โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัมเปรียบเทียบกับพบว่า ฟิล์ม PVA ที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด มีสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 3286 และ 3266 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของ PVA ซึ่งจะอยู่ในช่วง 3550–3200 ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของสารสกัด ส่วนสเปกตรัมของสารสกัดที่ตำแหน่ง 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-แมงโกสติน และกลุ่มอัลคิลของ PVA (Machmudah et al., 2014 และ Mansur et al., 2008) ที่ตำแหน่ง 2359–2342 เป็นตำแหน่งของ C-O stretching (Netata et al., 2014) ของแซนโทนในสารสกัด ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัด และความเข้มหรือความสูงของสเปกตรัมที่ตำแหน่งนี้เพิ่มขึ้นในฟิล์มที่เติมสารสกัดปริมาณมากขึ้น และที่ตำแหน่ง 1714 cm^{-1} ซึ่งพบในฟิล์มทั้งที่เติมและไม่เติมสารสกัดแต่ไม่พบในสารสกัดเกิดจากการ stretching vibration ของ C=O ของกลุ่มคาร์บอนิลของพอลิไวนิลอะซิเตตที่หลงเหลือจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตตเพื่อเตรียม PVA (Korbag et al., 2016) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดกับ PVA เกิดแรงกระทำระหว่างกัน ทำให้เกิดสเปกตรัมในตำแหน่งของทั้งสารสกัดและ PVA ในฟิล์มทุกกรรมวิธี และฟิล์มแสดงสเปกตรัมที่เข้มขึ้น/สูงขึ้นในตำแหน่งของสารสกัดเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น

เมื่อทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามปริมาณสารสกัดที่เติม ดัง Table 27 โดยฟิล์มทุกกรรมวิธีมีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.11–0.13 มม. มีความชื้นลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น เป็นไปในทิศทางเดียวกับการละลายน้ำที่ลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ PVA เกิดแรงกระทำกับสารสกัดทำให้หมู่ไฮดรอกซิลในฟิล์มลดลง จึงเกิดแรงกระทำกับโมเลกุลของของน้ำได้น้อยลง ดังนั้นจึงดูดความชื้นได้น้อยลงและละลายน้ำลดลง โดยความชื้นของฟิล์มทุกกรรมวิธีอยู่ในช่วง 7.71–10.05% ส่วนการละลายน้ำของฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000–70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อยู่ในช่วง 93.21–94.28% ส่วนฟิล์มไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 96.58 และ 96.15% ซึ่ง

ผลจากการละลายน้ำของฟิล์มทำให้ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ แต่เหมาะกับการบรรจุอาหารแห้ง และจากคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดีจึงทำให้ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ค่า aw เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำต่ำสุดในฟิล์มที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ โดยแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า aw ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า aw ต่ำกว่า 0.7 ซึ่งพบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดทุกกรรมวิธีมีค่า aw ไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 0.409–0.419 ซึ่งแตกต่างกับฟิล์มไม่เติมสารสกัดที่มีค่า aw 0.367 แสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตบนฟิล์มได้

คุณสมบัติเชิงกล เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของของฟิล์มซึ่งหากมีค่าสูงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ดี โดยความแข็งแรงของฟิล์มเกิดขึ้นจากแรงกระทำทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลพอลิเมอร์ กลีเซอรอล และสารสกัด พบว่าค่า TS ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารสกัดมีสารในกลุ่มแซนโทนซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดแรงกระทำกับหมู่ไฮดรอกซิลของ PVA ได้ และเมื่อมีปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้นแรงกระทำก็เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000 50,000 และ 70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 304.59 322.76 และ 329.69 kgf/cm² ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์มได้นอกจากนี้ PVA ยังมีคุณสมบัติดึงยึดได้ดี โดยฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดสามารถดึงยึดได้สูงถึง 316% ของฟิล์ม และลดลงเมื่อเติมสารสกัด 10,000 ppm เท่ากับ 219.98% แต่ไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากสารสกัดเข้าไปขัดขวางการเกิดแรงกระทำกันภายในสายโซ่พอลิเมอร์ และการเกิดแรงกระทำกันระหว่างพอลิเมอร์กับกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และสารสกัดมีปริมาณน้อยเกินไปที่จะช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ แต่เมื่อเติมสารสกัดมากขึ้นเป็น 30,000 ppm พบว่าทำให้ฟิล์มดึงยึดได้สูงถึง 424% แสดงว่าสารสกัดที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดแรงกระทำกับ PVA ได้ดีขึ้น เป็นสารช่วยเสริมแรงให้พอลิเมอร์ได้ โดยเมื่อเติมสารสกัด 50,000 และ 70,000 ppm พบว่า %E มีค่าไม่แตกต่างกับฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000 ppm (Table 27)

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

5. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม โดยนำมาทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* พบว่าไม่เกิด clear zone บริเวณรอบๆ ฟิล์ม เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดไม่ได้แพร่ออกมาจากฟิล์ม อีกทั้ง PVA ละลายน้ำได้ดี เมื่อวางบนอาหารทำให้ฟิล์มละลายออก โดยฟิล์มไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm ไม่สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้ เนื่องจากเชื้อเจริญเติบโตได้ดีในจานเพาะเชื้อจนมองไม่เห็นฟิล์ม ส่วนฟิล์มเติมสารสกัด 30,000 และ 50,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้เล็กน้อย เนื่องจากยังพบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของฟิล์ม ส่วนฟิล์มเติมสารสกัด 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้ดี เนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสเฉลี่ยเท่ากับ 13.25 มม. ดัง Figure 25 ดังนั้นจึงสามารถนำฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm ไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ได้

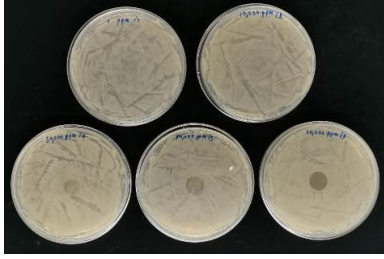


Figure 25 Inhibition zone of PVA films incorporated with various content of dried mangosteen peel powder extract: 0 10,000 30,000 50,000 and 70,000 ppm against *Staphylococcus aureus* (left to right and top to down).

6. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เป็นต้นทุนจากการสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุด 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/cm²

การทดลองที่ 1.7 การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1. การผลิตสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.1 การผลิตลิกนิน นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เปลือกข้าวโพด และเปลือกส้ม มาผลิตเยื่อโดยการต้มด้วย KOH เข้มข้น 18% โดยเยื่อที่ต้มจะมีสีคล้ำลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่าง KOH และองค์ประกอบของพืช ซึ่งสามารถแยกได้เป็นเส้นใยและน้ำดำที่เรียกว่า “black liquor” โดยในน้ำดำมีสารประกอบในรูปเกลือต่างๆ สารประกอบคาร์โบไฮเดรต และลิกนิน (Cardoso et al., 2009)



Figure 26 Black liquor obtained from pulping (a) and extracted lignin (b) from agricultural waste materials

น้ำดำ เป็นของเหลวที่เหลือจากการต้มเยื่อ ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือเป็นของแข็ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์และลิกนิน รวมถึงสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม เป็นต้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ มีสีน้ำตาลทำหน้าที่ยึดเกาะ ยึดเส้นใยให้ติดกัน สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าได้ เช่น ผงถ่านกัมมันต์ สารตัวเติม พอลิเมอร์ ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ เป็นต้น (Aadil et al., 2016a) จากการทดลอง พบว่า น้ำดำที่ได้จากการต้มเยื่อมีสีที่แตกต่างกัน โดยสีของน้ำดำจากเปลือกทุเรียน ต้นกล้วย และเปลือกส้ม มีสีที่เข้มกว่าเปลือกข้าวโพด (Figure 26 (a)) ดังนั้นในน้ำดำที่มีสีเข้มกว่าจะมีปริมาณสารอินทรีย์และลิกนินที่มากกว่า โดยน้ำดำจากการต้มเปลือกทุเรียนมีปริมาณลิกนินสูงสุด 39.5% รองลงมาคือ น้ำดำจากการต้มเปลือกข้าวโพด ต้นกล้วย และ

เปลือกส้ม มีปริมาณลิกนิน 13.5 3.0 และ 2.0% ตามลำดับ มีลักษณะเป็นของแข็ง สีน้ำตาล สีอ่อนกว่าลิกนินทางการค้า เนื่องจากลิกนินที่ได้มาจากพืชต่างชนิดกันความเข้มข้นของสีจึงแตกต่างกัน (Figure 26 (b))

โดยปกติจะพบลิกนินจากพืชทางการเกษตรอยู่ในช่วง 10-40% (Li et al., 2015) แสดงให้เห็นว่าเปลือกทุเรียนมีลิกนินปริมาณสูง และเนื่องจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณการทิ้งสูง จึงเหมาะสมและคุ้มค่าในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตนาโนเซลลูโลสและลิกนิน และประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านบรรจุภัณฑ์

เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของลิกนินเปรียบเทียบกับลิกนินทางการค้า พบว่าสีของลิกนินทางการค้ามีสีเข้มกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน มีค่า L^* 33.62 a^* 4.79 และ b^* -3.32 ลิกนินจากเปลือกทุเรียนมีค่า L^* 35.80 a^* 5.00 และ b^* -1.43 ลิกนินทางการค้ามีความชื้น 7.93% ส่วนลิกนินจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 2.89%

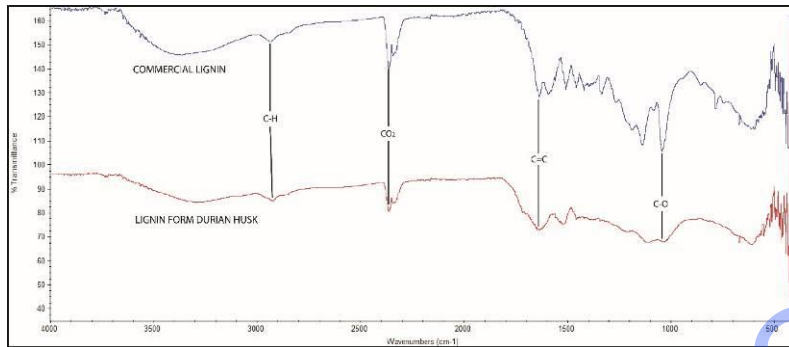


Figure 27 ATR-FTIR spectra of commercial lignin and lignin from durian husk

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของลิกนิน แสดงดัง Figure 27 โดยเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของลิกนินทางการค้าและลิกนินจากเปลือกทุเรียน พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกัน โดยสเปกตรัมของสารอยู่ในช่วง $1300-650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสารที่พบอยู่ในช่วงนี้ ได้แก่ C-O stretching ช่วง 1019 และ 1039 cm^{-1} สำหรับช่วง $4000-1300\text{ cm}^{-1}$ เป็นบริเวณของหมู่ฟังก์ชันจะปรากฏฟังก์ชันสำคัญของหมู่ฟังก์ชัน 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

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่ด้วย 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 (TGA) ของลิกนินและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (DTG) การไหลของความร้อน (Heat flow) และการสูญเสียน้ำหนัก (Tg) โดยทำการทดสอบเผาผลิกนินในช่วงอุณหภูมิ $30 - 200\text{ }^\circ\text{C}$ (อัตราการให้ความร้อน $10\text{ }^\circ\text{C/min}$) ภายใต้ก๊าซ N_2 อัตรา 30 ml/min พบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของลิกนินทางการค้าเกิดขึ้นที่ $65.00\text{ }^\circ\text{C}$ ใช้เวลาน้อยและอุณหภูมิต่ำกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน ซึ่งมีค่าอุณหภูมิ $190.00\text{ }^\circ\text{C}$ แสดงให้เห็นว่าลิกนินทางการค้าสลายตัวได้เร็วกว่าเมื่อได้รับความร้อน สำหรับการไหลของความร้อนสูงสุดของลิกนินทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าเท่ากัน คือ $183.00\text{ }^\circ\text{C}$ และการสูญเสียน้ำหนัก (Tg) บ่งบอกถึงปริมาณอากาศของลิกนินที่เหลือจากการเผา ถ้าพบปริมาณอากาศมาก (Tg สูง) แสดงว่ามีการสูญเสียน้ำหนักน้อย โดยลิกนินทางการค้ามี Tg 87.05% สูงกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียนที่มี Tg 86.01% สำหรับช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวของลิกนินช่วง $30-150\text{ }^\circ\text{C}$ เกิดจากน้ำที่อยู่ในลิกนินระเหยออกไป ส่วน $150-200\text{ }^\circ\text{C}$ เกิดจากการสลายตัวของลิกนินแปรเปลี่ยนเป็นสารประกอบ

อินทรีย์ที่ระเหยง่าย เช่น CO, CO₂ และ CH₄ เป็นต้น จากการวิเคราะห์ด้วย TGA แสดงให้เห็นว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน มีค่า DTg สูงสุดจึงมีสมบัติดีกว่าลิกนินทางการค้า ต้นทุนการผลิตลิกนินเปลือกทุเรียน เท่ากับ 15.52 บาท/g (ลิกนินทางการค้า 30 บาท/g) (ไม่รวมค่าวัตถุดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้รวมทั้งค่าพลังงานและบุคลากร)

1.2 การผลิตนาโนเซลลูโลส คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เปลือกข้าวโพดและเปลือกส้ม ผลิตเยื่อโดยการต้มด้วย KOH 18% พบว่า เปลือกข้าวโพดให้ปริมาณเยื่อสูงสุด 43.18% รองลงมาคือ ต้นกล้วย 24.35% เปลือกส้ม 21.78% และเปลือกทุเรียน 14.06% โดยเยื่อที่สกัดได้มีสีต่างกันออกไปตามองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในพืชแต่ละชนิด (Figure 28) แต่เปลือกทุเรียนมีปริมาณการทิ้งสูงสุดโดยเฉพาะจากการบริโภคในช่วงฤดูการที่มีผลผลิตออกสู่ตลาดซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขยะ (Charoenphun *et al.*, 2020) และยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ได้มากเท่าที่ควร สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุนาโนเซลลูโลสต่อไปได้ ส่วนต้นกล้วยและเปลือกข้าวโพดมีการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ ทำให้ปริมาณของเหลือทิ้งน้อยกว่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563 และ Prapatigul *et al.*, 2021) ส่วนเปลือกส้มพบว่าเยื่อที่ได้มีลักษณะที่แข็งจับตัวกันเป็นก้อน อาจเกิดจากการย่อยด้วยด่างที่ไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นวัสดุนาโนเซลลูโลส



Figure 28 Characteristic of pulp from agricultural waste materials

ผลการสกัดนาโนเซลลูโลส พบว่า การใช้สารฟอกสีโดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์เข้มข้น 100% ใช้กรด H₂SO₄ เข้มข้น 40% ได้ผงนาโนเซลลูโลสสีขาว เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์เข้มข้น 100% เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเส้นใยได้อย่างสมบูรณ์ (Heggset *et al.*, 2017) แสดงดัง Figure 29



Figure 29 Nanocellulose powder from durian husk

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของนาโนเซลลูโลส พบว่า มีค่า L* 42.36 ค่า a* 2.06 b* 8.96 และความชื้น 7.05% ขนาดของอนุภาคนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พบว่า การใช้ความเข้มข้นของกรด H₂SO₄ 40% จะได้นาโนเซลลูโลสที่มีขนาดอนุภาค 0.05 nm. การใช้ความเข้มข้นของกรดน้อยกว่า 30% กรดไม่สามารถย่อยเส้นใยได้สมบูรณ์ ส่วนการใช้กรดมากกว่า 40% เส้นใยจะหมักยู่เป็นสีดำ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากการใช้กรดในปริมาณที่น้อยการทำปฏิกิริยาของกรดกับเส้นใยเกิดได้ไม่สมบูรณ์ หรือมากจนเกินไปการทำปฏิกิริยาของกรดกับเส้นใย ส่งผลให้โครงสร้างเส้นใยถูกทำลายด้วยกรด (Liu *et al.*, 2016) เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยโดยใช้ TEM กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเส้นใยมีขนาดเล็ก กระจุกตัวกันเป็นกลุ่ม โดยสาเหตุที่เส้นใยมีขนาดเล็กเกิดจากการย่อยด้วยกรด การใช้สารฟอกสี และการใช้แรงเชิงกลในการลดขนาดเส้นใยให้เหมาะกับการผลิตเป็นนาโนเซลลูโลส เมื่อวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพื่อหาความเป็นผลึก

ของสาร พบว่านาโนเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณความเป็นผลึกสูง โดยมีความเป็นผลึกถึง 94.30% ความเป็นผลึกสูงจะ ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของฟิล์มชีวภาพให้ดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่เหมาะสมในการเติมด้วย ผลการวิเคราะห์ ความขรุขระของนาโนเซลลูโลสด้วย AFM พบว่า ความขรุขระของนาโนเซลลูโลสมีค่า 6.278 nm. เส้นใยมีการ กระจุกตัวเป็นกลุ่ม สอดคล้องกับการใช้ TEM กำลังขยาย 50 เท่า ความขรุขระที่ต่ำส่งผลให้สามารถนำไปใช้เป็น สารเติมแต่งผสมสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพได้ ต้นทุนการผลิตนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 141.93 บาท/g ถูกกว่านาโนเซลลูโลสทางการค้าที่มีราคา 1,050 บาท/g

2. การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้นาโนเซลลูโลสและลิกนินเป็นสารเติมแต่ง

2.1 การเตรียมแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่าสตาร์ชที่ได้มีสีขาว หลังจากอบและบดแล้วจะเป็นผง ละเอียดสีขาว มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 106.55 ปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 22% สอดคล้องกับ Rolland-Sabaté et al. (2012) ที่รายงานว่าแป้งสตาร์ชมันสำปะหลังมีอะไมโลสเท่ากับ 21.5%

2.2 การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยทดลองขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ พบว่าได้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีลักษณะ ทางกายแตกต่างกันออกไปตามปริมาณสารเติมแต่งที่ที่แตกต่างกัน ดัง Figure 30 โดยฟิล์มมีสมบัติ ดังนี้

1) สมบัติเชิงกล ได้แก่ TS และ %E พบว่า การเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสในฟิล์มชีวภาพมีค่า TS น้อยกว่าฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม (C) อย่างมีนัยสำคัญ โดยฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม มีค่า TS สูงถึง 229.36 kgF/cm² เกิดจากการที่ลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ส่งผลให้การรวมเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์มสตาร์ชได้ไม่ สมบูรณ์ (Acosta et al., 2015) ส่วนนาโนเซลลูโลสเกิดจากการกระจายตัวของนาโนเซลลูโลสไม่สม่ำเสมอบน แผ่นฟิล์มชีวภาพ ส่งผลให้บริเวณของฟิล์มที่มีการกระจุกตัวของนาโนเซลลูโลสขาดเป็นลำดับแรก เมื่อพิจารณาค่า TS ของฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและ ลิกนิน(NL) พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่ 93.71 kgF/cm² เนื่องจากปริมาณของนาโนเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นทำอันตรกิริยากับวัสดุหลักลดลง ส่งผลให้ความ แข็งแรงของฟิล์มลดลง (Chen et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น มี ค่าสูงสุด 151.51 kgF/cm² ที่ปริมาณลิกนิน2% (L2) และลดลงเมื่อเติมลิกนิน3% (L3) เพราะหมู่ฟังก์ชันในส่วนที่ ชอบน้ำระหว่างสตาร์ชและลิกนินยึดติดได้ดีในระดับหนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินเกินจากนั้น อันตรกิริยาการยึด ติดกันระหว่างสตาร์ชและลิกนินอ่อนแอลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง (Bhat et al., 2013) และฟิล์ม ชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน มีค่า TS สูงสุด 131.98 kgF/cm² ที่ปริมาณนาโนเซลลูโลส2%/ลิกนิน3% (N2L3) การเติมปริมาณนาโนเซลลูโลสมีผลอย่างยิ่งในการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแข็งแรงของฟิล์ม โดยการ เติมนาโนเซลลูโลส1% แปรปริมาณลิกนิน 1 2 และ 3% ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณนาโน เซลลูโลส 2 และ 3% ความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการที่หมู่ฟังก์ชันในส่วนที่ชอบน้ำระหว่างนาโน เซลลูโลสและลิกนินยึดติดได้ดีในปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นได้

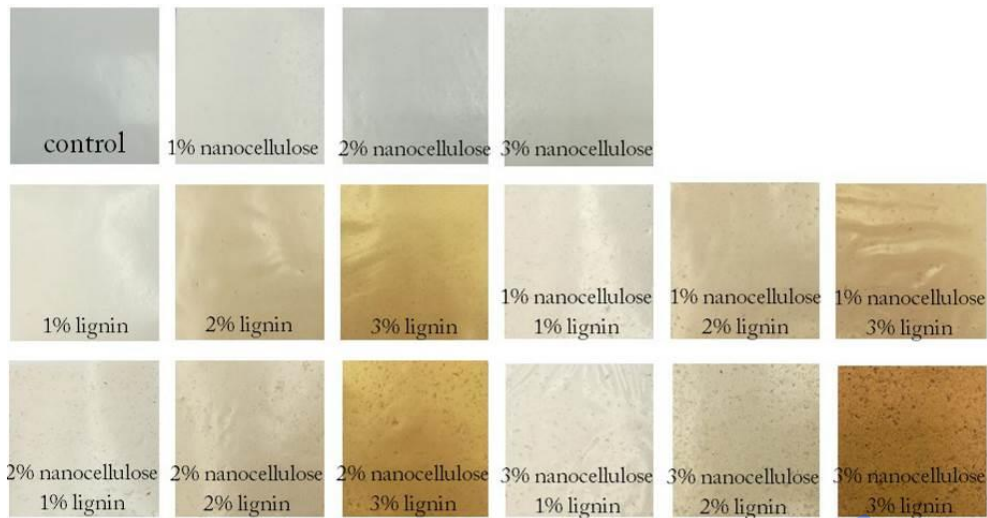


Figure 30 Photograph of different compositions of lignin, nanocellulose containing biofilms

ผลของค่า %E ของแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลแบบร่างแหที่เกิดขึ้นจำกัดการเคลื่อนไหวสายโซ่โมเลกุลสตาร์ชและนาโนเซลลูโลส (Chen et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของอนุภาคลิกนิน เกิดการรวมตัวกันในบางจุดของฟิล์ม (Bhat et al., 2013) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) โดยการเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสในแผ่นฟิล์มชีวภาพมีค่าร้อยละการยืดตัวสูงสุดถึง 25.16% อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม เกิดจากการที่โครงสร้างของสตาร์ชถูกทำลายทำให้อนุภาคของลิกนินและนาโนเซลลูโลสเข้าไปแทรกโครงสร้างของสตาร์ชได้ ส่งผลให้การเหนียวระหว่างพันธะไฮโดรเจนของสตาร์ชจำกัดลง เกิดการรวมตัวเป็นโครงสร้างใหม่ ในขณะที่เดียวกันสายโซ่โมเลกุลของสตาร์ชแบบอสัณฐาน ไม่สามารถหมุนหรือบิดตัวโครงสร้างได้เช่นเดียวกับพันธะไฮโดรเจนของสตาร์ช ทำให้เกิดการเชื่อมต่อของสายโซ่พอลิเมอร์และจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ในระบบ (ลิกนิน-นาโนเซลลูโลส-วัสดุหลัก) (Yang et al., 2020) ส่งผลให้แผ่นฟิล์มแข็ง (stiffness) ความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง (Espinosa et al., 2019) ดัง Figure 31

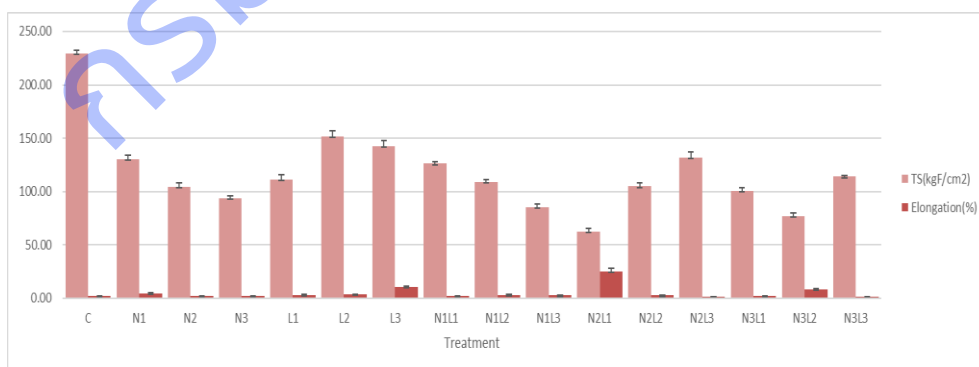


Figure 31 Tensile strength and elongation at break of biofilms

2) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนา พบว่า การเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากการเติมสารลงในแผ่นฟิล์มทำให้ปริมาตรของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น (Nagar et al., 2019) โดยฟิล์มเติมนาโนเซลลูโลส 3%/ลิกนิน 3%(N3L3) มี

ค่าสูงสุด คือ 0.228 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชีวภาพชุดควบคุมแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส และแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน โดยความชื้นของฟิล์มช่วยให้เข้าใจถึงอันตรกิริยาขององค์ประกอบหรือส่วนผสมในการผลิตฟิล์มและผลของน้ำที่มีต่อฟิล์ม พบว่าฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุมและเติมลิกนิน โดยฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส 3%(N3) มีความชื้น 13.01% แตกต่างกับแผ่นฟิล์มชีวภาพทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ โดยนาโนเซลลูโลสจัดอยู่ในสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Tan et al., 2018) การเติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับน้ำส่งผลต่อการเกิดพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น จำกัดการระเหยของน้ำออกจากเม็ดแป้ง เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์จะเข้าไปห่อหุ้มเม็ดแป้งแทน โดยทั่วไปไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติชอบน้ำตามธรรมชาติ ส่งผลต่อการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น (Nagar et al., 2019)

ผลของค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างนาโนเซลลูโลสและนาโนเซลลูโลสได้ดี รวมถึงนาโนเซลลูโลสมีรูปแบบโครงสร้างแบบร่างแห สามารถขัดขวางการแพร่ผ่านของน้ำเข้าสู่วัสดุหลักได้ (Pelissari et al., 2017) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) มีค่าลดลง โดยการเติมลิกนิน2%(L2) และลิกนิน3%(L3) ไม่แตกต่างกัน โดยลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำจึงทำให้บางส่วนไม่ละลายน้ำ รวมถึงความเข้ากันได้ของสารประกอบฟีนอลิกของลิกนินกับส่วนประกอบอะมิโลสของแป้ง และการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลแป้งกับสารประกอบฟีนอลิก (Bhat et al., 2013) และฟิล์มชีวภาพผสมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ไม่แตกต่างกันทุกกรรมวิธี แสดงว่าการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินไม่ทำให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าการละลายน้ำทุกกรรมวิธี พบว่าฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) ที่เติมลิกนิน2%(L2) และ 3%(L3) มีความสามารถในการต้านทานการละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน2%(L2) มีค่าต่ำสุด คือ 3.80% ดัง Table 28

Table 28 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 ($P < 0.05$)

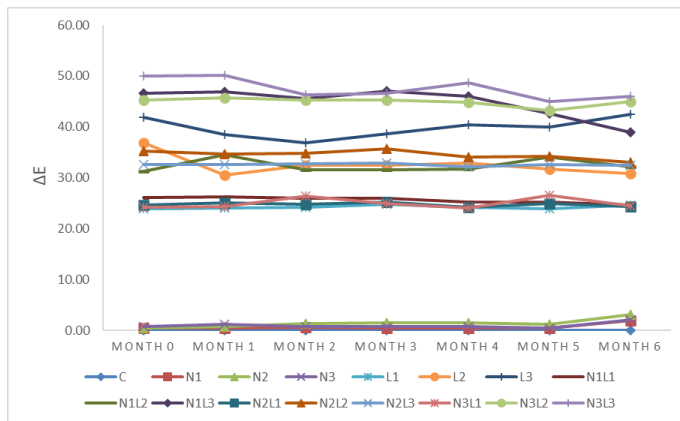


Figure 32 Total Color Difference (ΔE) of biofilms

ผลของค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) พบว่า พิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อพื้นผิวการดูดซับแสงของฟิล์มชีวภาพ (Nagar et al., 2019) ส่วนฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนินมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสและชุดควบคุม(C) โดยฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส 3%/ลิกนิน 3%(N3L3) มีค่า ΔE สูงสุด เนื่องจากลิกนินอยู่ในรูปผงสีน้ำตาลเข้มเมื่อเติมลงในฟิล์มชีวภาพแล้วยังคงเป็นสีน้ำตาล ดังนั้น การเพิ่มปริมาณลิกนินในฟิล์มชีวภาพส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้นด้วย (Shankar et al., 2015) จากการเก็บรักษาฟิล์มชีวภาพเพื่อศึกษาค่า ΔE เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าค่า ΔE เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดัง Figure 32

3) ผลของความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(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 ไมโครเมตร มากกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) 0.42 ไมโครเมตร ซึ่งการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มสมบัติของแผ่นฟิล์มชีวภาพ และเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากความขรุขระของพื้นผิววัสดุมีผลต่อความเข้ากันได้สารที่เติมลงไปในตัววัสดุหลัก จาก Figure 33 แสดงให้เห็นว่าการเติมนาโนเซลลูโลส(N) ลิกนิน(L) และนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ในฟิล์มชีวภาพมีความเข้ากันได้กับวัสดุหลัก การกระจายตัวของนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินสม่ำเสมอไม่เรียบหรือขรุขระด้านใดด้านหนึ่ง

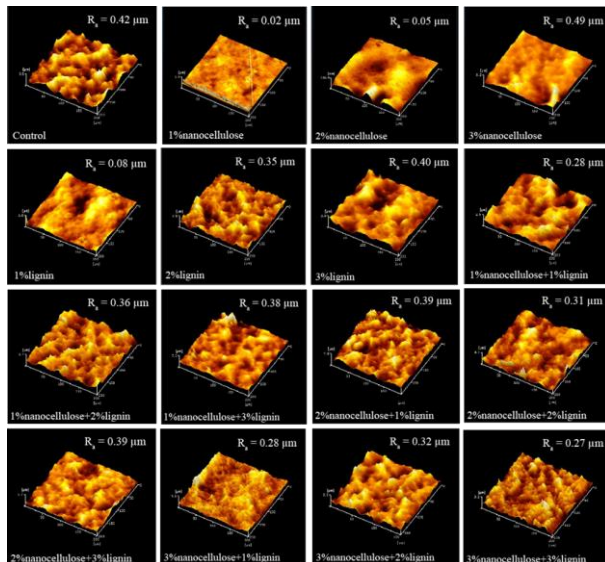


Figure 33 Micromorphology and roughness of biofilms measured by AFM

4) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน: ค่า OTR ของแผ่นฟิล์มชีวภาพ พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการดูดซับโมเลกุลของก๊าซบนพื้นผิวของฟิล์ม การแพร่ผ่านโมเลกุลของก๊าซภายในฟิล์ม และการสลายตัวโมเลกุลของก๊าซภายในฟิล์มผ่านอีกด้านของฟิล์มได้ดีขึ้น (Espinosa et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของลิกนินช่วยลดรูพรุนของฟิล์ม ก๊าซออกซิเจนจึงผ่านได้น้อยลง (Espinosa et al., 2019) และฟิล์มชีวภาพผสมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) ไม่แตกต่างกันทุกกรรมวิธี และพบว่าฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L3) มีค่า $109.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ใกล้เคียงกับฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) $109.5 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ โดยฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน1%(N2L1) มีค่าสูงสุด $195 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) ดังนั้น เลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L3) ที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุด เป็นปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง แสดงดัง Figure 34

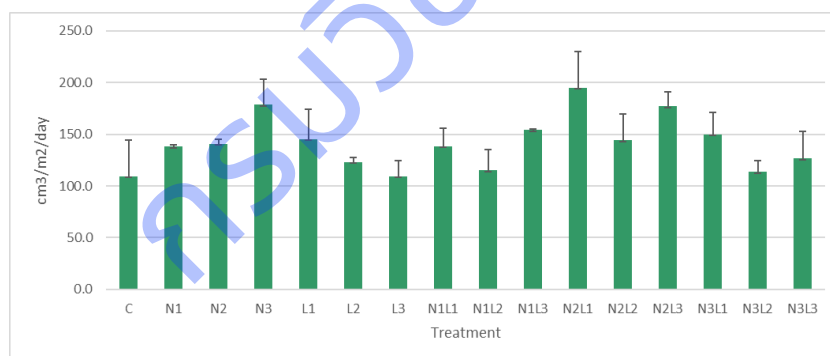


Figure 34 Oxygen transmission rate (OTR) of biofilms

5) การต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้: ผลของค่าการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ของแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยแบ่งช่วงความยาวคลื่นเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 300 400 และ 700 nm. พบว่าการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ได้ดีกว่าการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากลิกนินมีสมบัติในการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ โดยนาโนเซลลูโลสอาจเป็นตัวช่วยเพิ่มสมบัติการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ดียิ่งขึ้น เพราะนาโนเซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง สามารถเกิดการหักเหและสะท้อนของแสงได้ดี สอดคล้องกับ Castillo et al. (2013) ที่กล่าวว่า การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งส่งผลให้เพิ่มความสามารถของการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาเรช ซึ่งทำหน้าที่

เป็นตัวรบกวน สามารถเพิ่มสมบัติต้านทานรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ รวมถึงส่งผลให้ค่าสีของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในการทดลองเลือกความยาวคลื่นที่ 400 nm. มาศึกษา เนื่องจากเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทฟิล์มพลาสติก เน้นการศึกษาด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีผลจากรังสียูวีเอ (UVA) ซึ่งเป็นรังสีที่ส่องผ่านบนพื้นผิวโลกถึง 95% แสดงดัง Figure 35

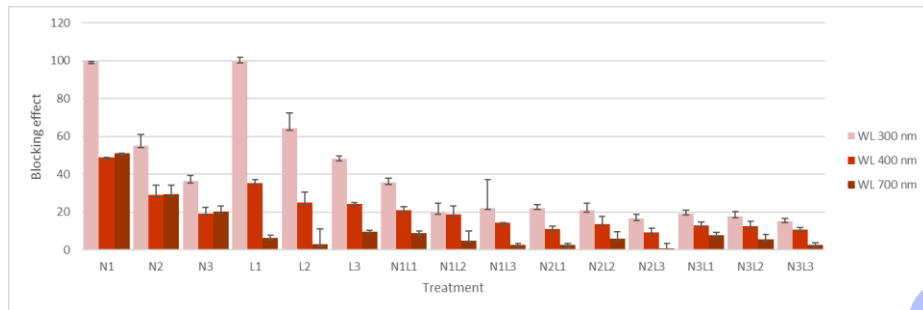


Figure 35 Blocking effect of biofilms (absorption spectra at 300, 400 and 700 nm)

2.3 ต้นทุนการผลิต ฟิล์มขนาด 30x30 cm² เท่ากับ 5.00 บาท ดังนี้ สตาร์ชมันสำปะหลัง 9 g 0.22 บาท กลีเซอรอล 2.7 g 0.59 บาท ลิกนิน 0.27 g 4.19 บาท ดังนั้นต้นทุนขนาด 10x10 cm² มีต้นทุน 1.11 บาท

3. ศึกษาศักยภาพประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยคัดเลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด คือ ฟิล์มชีวภาพเติม ลิกนิน 3% (L3) นำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบถุงขนาด 10x10 cm² บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์ 5 g (Figure 36) ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 และปริมาณของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (39.99 และ 48.24 ml) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 (Table 29) เนื่องจากอนุภาคของลิกนินช่วยลดการปนเปื้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ก๊าซออกซิเจนจึงผ่านได้น้อย (Espinosa et al., 2019) และเมื่อเก็บรักษาไว้ในระยะเวลาที่นานฟิล์มชีวภาพจะปรับสมดุลของแผ่นฟิล์มให้มีความชื้นใกล้เคียง/เทียบเท่าสิ่งแวดล้อมภายนอกส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าไปในชั้นของฟิล์มชีวภาพได้มากขึ้น



Figure 36 Photograph of cashew nut packed in the bioplastic (L3) bag

Table 29 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	1.31	1.58	39.99	48.24
2	1.31	1.58	39.99	48.24
3	1.31	1.58	39.99	48.24

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 ซึ่งสามารถกันน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดีขึ้น (Rojo et al., 2015)

การทดลองที่ 1.8 การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

1. ผลการเตรียมสีอินดิเคเตอร์

1.1 ผลการเตรียมสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน แสดงลักษณะปรากฏดัง Figure 37-39 ดังนี้ สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันที่สกัดด้วยน้ำจะมีสีโทนน้ำเงิน มี pH 4.93 ค่าสี L* 26.22 a* 5.69 และ b* -7.10 เมื่อสกัดด้วยสารละลายกรดซิตริก 0.15 M จะมีสีโทนม่วงเข้ม มี pH 2.50 ค่าสี L* 25.54 a* 6.50 และ b* -5.83 (Figure 37) สอดคล้องกับ Scordino et al. (2004) คือ เมื่อ pH อยู่ในช่วง 4-6 จะมีสีในช่วงไม่มีสี-สีม่วง และช่วง pH 1-6 จะมีสีในช่วง แดง-ม่วง จึงทำให้ค่าสีที่ได้ออกโทนน้ำเงินเนื่องจากมีโครงสร้างของสารหลายชนิดอยู่รวมกัน คือ Flavylium cation (สีแดง) Neutral quinoidal base (สีม่วง) และ Carbinol pseudobase (ไม่มีสี)

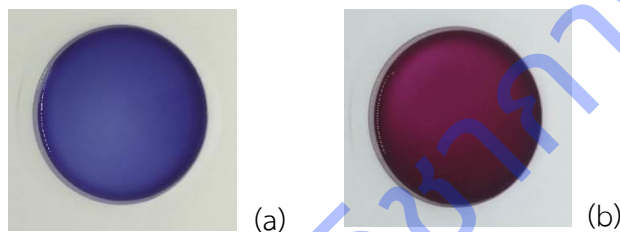


Figure 37 Appearance of indicator color from butterfly pea flower; water extraction (a) and acetic acid 0.15 M extraction (b)

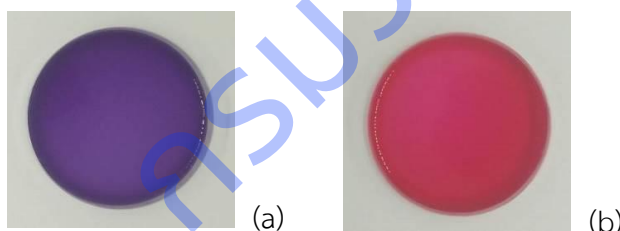


Figure 38 Appearance of indicator color from red cabbage; hydraulic press machine (a) and acidified ethanol extraction (b)

สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นกะหล่ำปลีม่วงจะมีสีโทนม่วงอ่อน มี pH 6.14 ค่าสี L* 25.95 a* 7.13 และ b* -7.49 มีสีโทนชมพูอ่อน เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol มีค่า pH 2.30 ค่าสี L* 26.74 a* 9.35 และ b* -5.10 (Figure 38) เนื่องจากเมื่อ pH อยู่ในช่วง 1-6 แอนโทไซยานินจะมีโครงสร้างอยู่ในรูปของ Flavylium cation (สีแดง) และ Neutral quinoidal base (สีม่วง) ($1 < \text{pH} < 6$) ขึ้นอยู่กับค่า pH

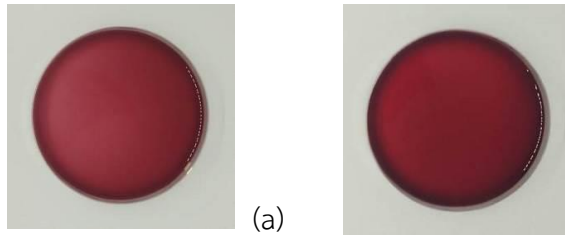


Figure 39 Appearance of indicator color from mulberry; hydraulic press machine (a) and acidified ethanol extraction (b)

สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหม่อน มี pH 3.50 ค่าสี $L^* 25.32$ $a^* 6.51$ และ $b^* -7.64$ และผลหม่อนสกัดด้วย acidified ethanol มี pH 2.83 ค่าสี $L^* 25.54$ $a^* 6.34$ และ $b^* -7.60$ ซึ่งสีใกล้เคียงกัน โดยมีสีโทนแดงเข้มดัง Figure 39 เนื่องจากสีอินดิเคเตอร์มี pH เป็นกรดและมีใกล้เคียงกัน ทำให้มีสีใกล้เคียงกัน เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินอยู่ในรูปของ Flavylium cation ($1 < \text{pH} < 4$) (สีแดง) และ Carbinol pseudobase (ไม่มีสี)

แสดงให้เห็นว่าสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันและกะหล่ำปลีม่วงมีลักษณะปรากฏของสีแตกต่างกันเมื่อเตรียมด้วยสถานะที่ต่างกัน หรือมีค่าสีที่ต่างกันเมื่อค่า pH ของสารละลายแตกต่างกัน ส่วนสีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหม่อนและผลหม่อนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีลักษณะปรากฏของสีใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารละลายมีค่า pH เป็นกรดเช่นเดียวกัน

1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ พบว่าสารสกัดจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน ให้ค่าสีและลักษณะปรากฏของสีแตกต่างกัน โดยสีที่ได้จากการสกัดในสภาวะกรดจะให้สีที่เข้มกว่าการสกัดด้วยน้ำและน้ำคั้น (Figure 36-38) สอดคล้องกับค่าปริมาณรงควัตถุ คือ เมื่อปริมาณรงควัตถุสูงกว่าจะให้สีที่เข้มกว่า โดยรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน เป็นรงควัตถุชนิดเดียวกัน คือ แอนโทไซยานิน พบว่า สีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากการสกัดผลหม่อนด้วย acidified ethanol มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด รองลงมาคือ สีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากการสกัดกะหล่ำปลีม่วงด้วย acidified ethanol และสีอินดิเคเตอร์ที่เตรียมได้จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติก 0.15 M เท่ากับ 914.21 431.34 และ 273.05 mg cyanidin-3-glucoside/100 g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

1.3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีอินดิเคเตอร์เมื่อ pH เปลี่ยน โดยหยดสีอินดิเคเตอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 2 4 7 9 10 และ 12 พบว่า สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยกรดมีการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกันในสารละลายบัฟเฟอร์ pH เท่ากัน โดยเมื่อมองด้วยตาเปล่าสีปรากฏของสีอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วง แดง-ม่วง-ฟ้า-เขียวฟ้า-เขียวเหลือง-เขียวเหลือง ดัง Figure 40

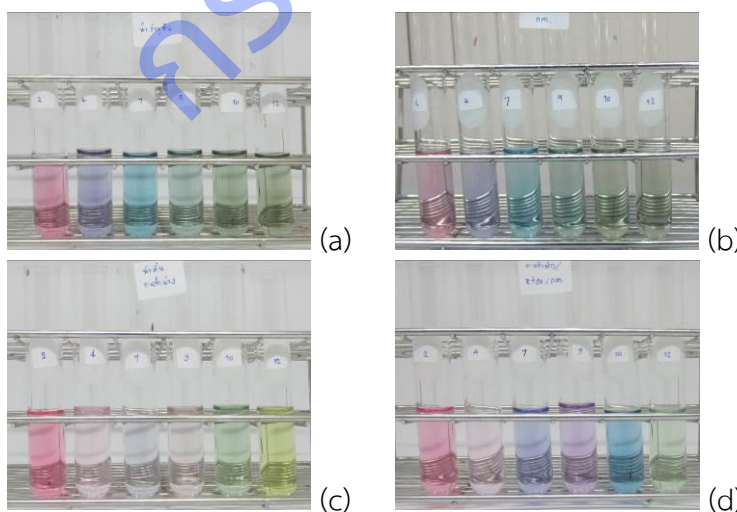
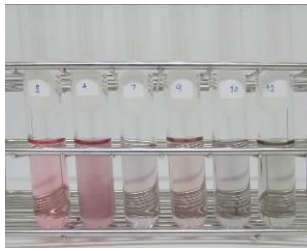
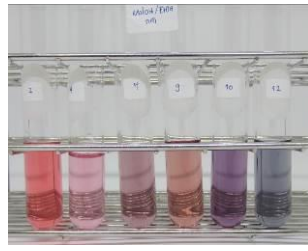


Figure 40 Color change when pH changed of indicator colors from butterfly pea flower extracted with water. (a) Butterfly pea flower extracted with 0.15M citric acid solution. (b) Red cabbage extracted by hydraulic press machine. (c) Red cabbage extracted with acidified ethanol. (d) Mulberry extracted by hydraulic press



(e)



(f)

machine (e) and mulberry extracted with acidified ethanol (f), in order of pH 2, 4, 7, 9, 10 and 12 from left to right.

สีจากกะหล่ำปลีม่วงที่สกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าน้ำคั้น โดยสีจากน้ำคั้น มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง แดง-แดงอ่อน-ฟ้าอ่อน-เหลืองอ่อน-เขียว-เหลือง และสีจากการสกัดด้วยกรดมีสีในช่วง แดง-แดงอ่อน-น้ำเงิน-ม่วง-ฟ้า-เขียว สีอินดิเคเตอร์จากผลหมอนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าสีจากน้ำคั้น โดยสีจากน้ำคั้นอยู่ในช่วง แดง-แดงเข้ม-ไม่มีสี-แดงอ่อน-ฟ้าอ่อน-เขียวอ่อน ส่วนสีที่สกัดด้วยกรดอยู่ในช่วง แดง-แดงอ่อน-ม่วงแดง-ส้ม-ม่วง-ม่วงน้ำเงิน โดยสีอินดิเคเตอร์ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่มีสภาวะเป็นกรดให้การเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนกว่าสีที่ได้จากน้ำคั้นและการสกัดด้วยน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ แสดงให้เห็นว่าผลผลิตทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์ได้

1.4 ผลการทดสอบความคงตัวของสีอินดิเคเตอร์ เป็นการทดสอบเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบและวิธีการสกัดที่ให้สีอินดิเคเตอร์มีความคงตัวที่สุด มีลักษณะปรากฏของสีเมื่อมองด้วยตาเปล่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน ที่ RT และที่ 4 °C พบว่าเมื่อเก็บรักษาไป 1 วัน สีอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH สูง และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ต่ำ ทั้งที่ RT และที่ 4 °C และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน พบว่าสีอินดิเคเตอร์ทุกชนิดมีสีเหมือนวันที่ 1 แต่มีสีอ่อนลง ดัง Table 30 และ 31

การเก็บรักษาสีอินดิเคเตอร์ที่ RT สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและกรดอะซิติกมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 12 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 10 และ 12 เมื่อเก็บรักษา 6 วัน สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นกะหล่ำปลีม่วงมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 9 10 และ 12 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol ทั้งในวันที่ 1 และ 6 ของการเก็บรักษา สีอินดิเคเตอร์จากผลหมอนทั้งน้ำคั้นและสกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา (Table ที่ 30)

การเก็บรักษาสีอินดิเคเตอร์ที่ 4 °C สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและกรดอะซิติกมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 12 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 และ 6 วัน สีอินดิเคเตอร์จากกะหล่ำปลีม่วงที่ได้จากน้ำคั้นมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 10 และ 12 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหมอนมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 9 10 และ 12 ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาไปเป็นเวลา 6 วัน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ส่วนผลหมอนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา (Table ที่ 31)

แสดงให้เห็นว่าสีอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติก 0.15 M ให้ความคงตัวของสีที่ดีที่สุด และการเก็บรักษาที่ 4 °C จะช่วยให้สีมีความคงตัวมากกว่าการเก็บที่ RT ดังนั้นจึงคัดเลือกสับอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดไปเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ในขั้นตอนต่อไป

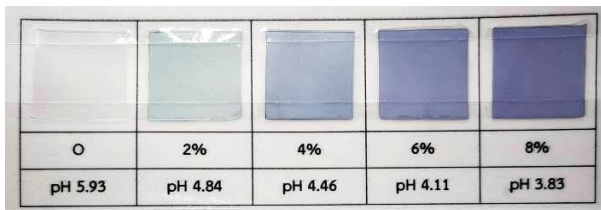
Table 30 Color change of indicator colors at pH 2-12 after storage 6 days at room temperature.

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

Table 31 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						
Butterfly pea flower	water extraction																		
	acetic acid 0.15 M extraction																		
red cabbage	hydraulic press machine																		
	acidified ethanol extraction																		
mulberry	hydraulic press machine																		
	acidified ethanol extraction																		

2. ผลการเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง และคุณสมบัติของฟิล์ม โดยเตรียมฟิล์มผสมระหว่าง PVA และไคโตซาน เต็มกลีเซอรอล 30% เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และเติมสีอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วย สารกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ปริมาณ 0 2 4 6 และ 8% โดยสารละลายฟิล์มที่ไม่ปรับ pH จะมีค่า pH ของ สารละลายฟิล์มก่อนขึ้นรูป 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 พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส โปร่งแสง มีสีน้ำเงินถึงม่วง ยืดหยุ่นได้ดี มีสีแตกต่างกันตามปริมาณสีอินดิเคเตอร์ โดยสีเข้มขึ้นเมื่อ ปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น ดัง Figure 41



(a) Figure 41 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)

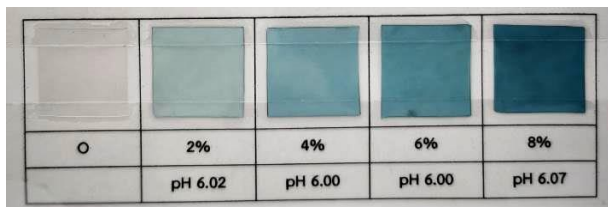


Table 32 pH Indicator film properties where pH of the film-forming solution is not adjusted

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 ($P < 0.05$)

ผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายฟิล์มไม่ปรับ pH มีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.14-0.15 มม. มีความชื้นลดลงเมื่อเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์มีความชื้นสูงสุด เท่ากับ 10.94% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ที่ปริมาณต่างๆ ให้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน 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 32 ซึ่งสอดคล้องลักษณะปรากฏใน Figure 41(a)

ส่วนฟิล์มปรับ pH มีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.14-0.17 mm. มีความชื้นลดลงเมื่อเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์มีความชื้นสูงสุด เท่ากับ 11.09% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มเติมสี

อินดิเคเตอร์ 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 33 สอดคล้องลักษณะปรากฏใน Figure 41(b) ซึ่งทั้งฟิล์มไม่ปรับ pH และปรับ pH มีคุณสมบัติเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการปรับ pH ของสารละลายฟิล์มก่อนขึ้นรูปเป็นแผ่น ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

Table 33 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 และเก็บรักษาที่ RT และ 4 °C 90 วัน พบว่าเมื่อเก็บฟิล์มนานขึ้น ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า ดัง Table 34-37 โดยการเก็บรักษาที่ RT ทั้งฟิล์มไม่ปรับ pH และปรับ pH มีการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนและมากกว่าการเก็บรักษาที่ 4 °C ทั้งในถุงซิปลและถุงฟอล์ย

Table 34 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	4.72/6.77B	6.00/1.30PB	7.30/2.90PB	7.94/4.43PB	1.20/4.47PB	3.91/7.43B	5.70/1.47PB	7.96/2.93PB	8.00/4.20PB
D90										
$\Delta E/H$	1.81/4.53PB	5.00/6.63B	6.89/1.20PB	8.76/2.47PB	10.20/3.70PB	1.30/4.50B	4.66/7.20B	6.28/1.20PB	9.56/2.20PB	9.91/3.77PB

Table 35 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 36 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	3.06/1.90B	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	9.68/4.89BG
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	6.69/9.97G	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 37 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	1.23/3.83B	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

ที่ RT พิล์มไม่ปรับ pH เก็บในถุงซิปลเติมสีอินเคเตอร์ 2% เก็บได้มากกว่า 30 วัน แต่ไม่เกิน 60 วัน พิล์มเติมสี 4% เก็บได้มากกว่า 18 วัน แต่ไม่เกิน 22 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6 และ 8% เก็บได้มากกว่า 8 วัน แต่ไม่เกิน 18 วัน เนื่องจากเมื่อค่า ΔE มากกว่า 3.5 คนทั่วไปสามารถจำแนกความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่า (Mokrzycki and Tatol, 2011) ส่วนฟิล์มที่เก็บในถุงฟอลย์ พบว่ามีอายุการเก็บรักษาใกล้เคียงกัน คือ พิล์มเติมสี 2% เก็บได้มากกว่า 30 วัน แต่ไม่เกิน 60 วัน พิล์มเติมสี 4% เก็บได้มากกว่า 22 วัน แต่ไม่เกิน 26 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6 และ 8% เก็บได้มากกว่า 8 วัน แต่ไม่เกิน 18 วัน โดยฟิล์มยังคงมีเฉดสีเหมือนเดิม คือ PB (Table 34) ส่วนฟิล์มปรับ pH เก็บที่ RT มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเร็วกว่าฟิล์มไม่ปรับ pH ดังนี้ เมื่อเก็บรักษาในถุงซิปลเติมสี 2% เก็บได้มากกว่า 4 วัน แต่ไม่เกิน 8 วัน พิล์มเติมสี 4% เก็บได้มากกว่า 8 วัน แต่ไม่เกิน 18 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6 และ 8% เก็บได้มากกว่า 2 วัน แต่ไม่เกิน 4 วัน ส่วนฟิล์มที่เก็บในถุงฟอลย์ พบว่าเก็บได้นานขึ้น โดยฟิล์มเติมสี 2% เก็บได้มากกว่า 22 วัน แต่ไม่เกิน 26 วัน พิล์มเติมสี 6% เก็บได้มากกว่า 4 วัน แต่ไม่เกิน 8 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 4 และ 8% เก็บได้เท่ากับการเก็บในถุงซิปล โดยเมื่อค่า ΔE มากกว่า 3.5 พิล์มจะเปลี่ยนเฉดสีจาก B เป็น BG (Table 36)

ส่วนฟิล์มที่เก็บที่ 4 °C พบว่าฟิล์มปรับ pH มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนและรวดเร็วกว่าฟิล์มไม่ปรับ pH ดังนี้ พิล์มไม่ปรับ pH ที่เติมสีอินเคเตอร์ 2 4 และ 6% เมื่อเก็บในถุงซิปลสามารถเก็บได้มากกว่า 90 วัน เนื่องจาก ΔE ยังไม่เกิน 3.50 ส่วนฟิล์มที่เติมสี 8% เก็บได้มากกว่า 60 วัน แต่ไม่เกิน 90 วัน ส่วนที่เก็บในถุงฟอลย์ พบว่าฟิล์มเติมสี 2 และ 4% เก็บได้มากกว่า 90 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6% เก็บได้มากกว่า 60 วัน แต่ไม่เกิน 90 วัน พิล์มเติมสี 8% เก็บได้มากกว่า 30 วัน แต่ไม่เกิน 60 วัน ส่วนฟิล์มปรับ pH เติมสี 2% ในถุงซิปล เก็บได้มากกว่า 60 วัน แต่ไม่เกิน 90 วัน และเก็บได้มากกว่า 90 วัน เมื่อเก็บรักษาในถุงฟอลย์ พิล์มเติมสี 4% ทั้งที่เก็บในถุงซิปลและถุงฟอลย์ เก็บได้มากกว่า 22 วัน แต่ไม่เกิน 26 วัน เท่ากัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6 และ 8% ทั้งที่เก็บในถุงซิปลและถุงฟอลย์ เก็บได้มากกว่า 8 วัน แต่ไม่เกิน 18 วัน เท่ากัน (Table 35 และ 37)


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 38 โดยฟิล์มไม่ปรับ pH ให้การเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าฟิล์มปรับ pH เมื่อมองด้วยตาเปล่า และเปลี่ยนสีชัดเจนเมื่ออยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง สูง โดยฟิล์มเติมสีอินเคเตอร์ปริมาณ 4 6 และ 8% ให้การเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่า 2%

Table 38 Photograph of pH indicator films after immersed in buffer solutions at different pH values 10 minutes

Buffer 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)				
	pH of film forming solution					pH of film forming solution				
	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



3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ต่อไอระเหยของกรดอะซิติกเข้มข้น 99% พบว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน โดยฟิล์มไม่ปรับ pH จะเปลี่ยนจากโทนเขียว-ม่วง ไปเป็นโทนสีชมพู ส่วนฟิล์มที่ปรับ pH จะเปลี่ยนจากโทนเขียวไปเป็นโทนชมพูน้ำตาล โดยฟิล์มที่มีปริมาณสีอินดิเคเตอร์มากกว่าจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนกว่า ดัง Figure 42 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดความสุขของผลไม้ได้ เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตรอเบอร์รี่ เนื่องจากเมื่อผลไม้สุกจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้ออกมา เช่น กรดอะซิติก กรดมาลิก และกรดทาทริก เป็นต้น ซึ่งไอระเหยของกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (Kuswandi et al., 2013 and Kuswandi and Murdyaningsih, 2017)



Figure 42 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 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของฟิล์ม โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอ NH₃ โดยการอังไอ NH₃ ที่ความเข้มข้น 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 1.0 M เป็นเวลา 0 0.5 1 และ 2 ชม. ซึ่งจากผลการทดสอบในข้อ 3.1 จึงเลือกฟิล์มชนิดไม่ปรับ pH มาทดสอบต่อ พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการสัมผัสกับไอ NH₃ และความเข้มข้นของ NH₃ โดยเมื่อความเข้มข้นของ NH₃ คงที่ ฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่าเมื่อระยะเวลาในการอัง

ไอร่หะเหยหนานขึ้น และที่เวลาสัมผัสกับไอร่หะเหยเท่กกันฟิล์มที่อ้งไอร่หะเหย NH_3 ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นการเปลี่ยนสีของฟิล์มชัดเจนกว่าเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยฟิล์มที่มีสีอินดิเคเตอร์น้อยกว่าจะเปลี่ยนสีเร็วกว่า ดัง Figure 43 สอดคล้องกับผลการทดสอบการตอบสนองต่อไอร่หะเหย NH_3 ของฟิล์มผสมสารสกัดสีแอนโทไซยานินจากดอกกุหลาบแดง Kang et al. (2020) ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนสีของฟิล์มไปทางต่าง คือ เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นน้ำเงินและเขียวตามลำดับ โดยฟิล์มที่เติมสารสกัดดอกกุหลาบน้อยกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเร็วกว่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทำให้ฟิล์มที่มีปริมาณสารสกัดมากต้องการปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินมากกว่า เช่นเดียวกันเมื่อความเข้มข้นของ NH_3 เพิ่มขึ้น ฟิล์มจึงมีการเปลี่ยนแปลงสีเร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้น ในการศึกษาการตอบสนองต่อไอร่หะเหย NH_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันของฟิล์มอินดิเคเตอร์ผสมสารสกัดเคอร์คิวมินของ Wannawisan et al. (2019) แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของ NH_3 เพิ่มขึ้น สีของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีไปทางต่าง คือ จากสีเหลืองเป็นส้ม

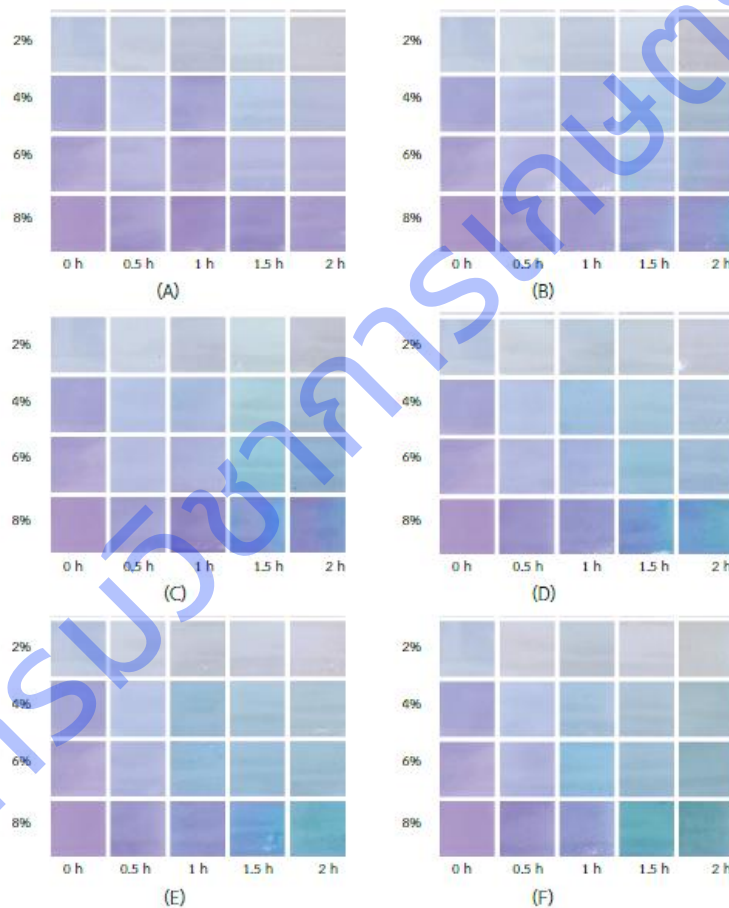


Figure 43 Color change of pH-indicator based film in response to ammonia vapor at different concentrations: (A) 0.01 M (B) 0.02 M (C) 0.04 M (D) 0.06 M (E) 0.08 M and (F) 0.10 M

ดังนั้นจึงนำฟิล์มต่างจวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่ไม่ปรับ pH ของสารละลายฟิล์ม เติมสีอินดิเคเตอร์จากการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดซิตริก 0.15M 0 2 4 6 และ 8% ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกล ค่า WVTR และค่า OTR พบว่าเมื่อสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีค่า TS ลดลง และมีค่า %E เพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตามลำดับ ดังนี้ มีค่า TS 437.15a 401.44ab 387.13ab 381.17ab และ 364.64 kF/cm² และมี %E 544.63a 561.47a 571.67a 572.67a และ 573.53% ค่า WVTR มีค่าลดลง

ตามลำดับ ดังนี้ 2,878 2,701 2,703 2,768 และ 2,571 g/m²/day และค่า OTR มีค่าลดลง ตามลำดับ ดังนี้ 0.738 0.538 0.413 .0520 และ 0.410 cm³/m²/day

4. ผลการประยุกต์ใช้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างกับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยนำฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง มาประยุกต์ใช้ตรวจวัดการเน่าเสียของเนื้อปลาสด เก็บรักษาที่ 4 °C 8 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นแบคทีเรียที่ติดมากับตัวปลาจะย่อยสลายเนื้อเยื่อของปลา ทำให้ปลามีกลิ่นแรงขึ้น เนื้อปลานิ่มขึ้น และมีสีเปลี่ยน โดยฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดัง Figure 44 และ 45 สอดคล้องกับการเน่าเสียของเนื้อปลาสด ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณแบคทีเรีย *Pseudomonas spp.* ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลาสด 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 ส่งผลให้เกิดก๊าซ NH₃ เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง NH₃ เป็นสารในกลุ่มสารประกอบไนโตรเจนระเหยได้ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีการปล่อยสารกลุ่มไนโตรเจนระเหยได้ (TVB-N) ออกมา เช่น NH₃ ไตรเมทิลเอมีน ไดเมทิลเอมีน เป็นต้น (ภาณุวัฒน์, 2561) และเนื่องจากแบคทีเรียสกุล *Pseudomonas spp.* สามารถเปลี่ยน Trimethylamine oxide ไปเป็น ไตรเมทิลเอมีนได้ สอดคล้องกับปริมาณแบคทีเรีย *Pseudomonas spp.* ที่เพิ่มขึ้น และค่า TVB-N ที่เพิ่มขึ้น จาก 8.30 mg/100g ในวันที่ 0 เป็น 21.21 mg/100g ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ดังนั้นไอระเหยของ NH₃ ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างเปลี่ยนสีเป็นสีโทนเขียว และมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Table 39)

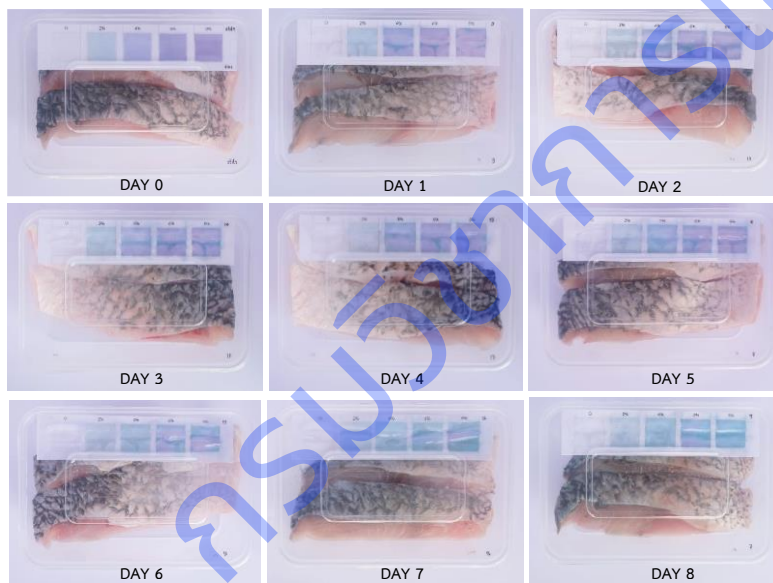


Figure 44 Change in appearance of packed seabass fillet with pH indicator label during 8 days storage at 4 °C.

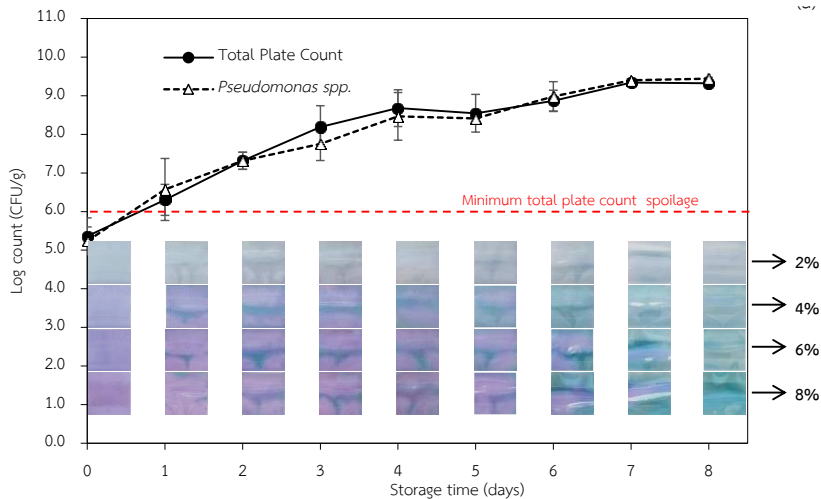






































Figure 45 Comparison color transition of pH-Indicator film label to quality of packed seabass fillets during 8 days storage at 4 °C.

โดยฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เติมสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทุกความเข้มข้น เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษา แต่ฟิล์มที่เติมสี 2% สังเกตเห็นการเปลี่ยนสีไม่ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า เนื่องจากฟิล์มมีสีเดิมเป็นสีโทนเขียว และเมื่อสัมผัสกับไอระเหย NH_3 ที่เป็นด่าง แอนโทไซยานิน จะให้สีโทนสีเขียวเช่นเดียวกับสีฟิล์มสี ส่วนฟิล์มที่เติมสี 4 6 และ 8% เห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยเปลี่ยนจากโทนน้ำเงิน/ม่วง ไปเป็นโทนฟ้า/เขียว ดังแสดงใน Figure 45 และ Table 39 โดยการเปลี่ยนแปลงเกิดบริเวณของฟิล์มที่สัมผัสกับกระดาษก่อนฟิล์มส่วนอื่น อาจเนื่องจากกระดาษดูดซับไอระเหยของก๊าซและดูดซับไอน้ำเอาไว้ ส่งผลให้ฟิล์มสัมผัสกับความชื้นและไอระเหยได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีของฟิล์มกับคุณภาพของเนื้อปลา พบว่าฟิล์มเติมสี 4 และ 6% มีการเปลี่ยนแปลงสีสอดคล้องกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำสดแช่เย็นตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดมากที่สุด คือ มีการเปลี่ยนสีเมื่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่าที่กำหนด 6 log CFU/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) ซึ่งจากการทดลองพบว่าเนื้อปลามีจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.30 log CFU/g ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และฟิล์มเริ่มเกิดแถบสีโทนเขียวตรงกลางของฟิล์ม แสดงให้เห็นว่าฟิล์มทั้ง 2 ชนิดสามารถบ่งชี้การเสื่อมเสียของเนื้อปลาจากจุลินทรีย์ได้ แต่ฟิล์มที่เติมสีอินดิเคเตอร์น้อยกว่าจะไวต่อการเปลี่ยนสีมากกว่า แม้ว่าฟิล์มที่เติมสี 8% จะให้ค่า ΔE มากกว่า แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมฟิล์มยังคงมีสีโทนเดิม ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า

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

Table 39 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

โครงการวิจัยที่ 1 มีข้อสรุปจากผลการวิจัยทั้ง 8 การทดลอง พร้อมด้วยข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

การสกัดสารแคปไซซินจากพริกสามารถสกัดได้ด้วยเอทานอล โดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 95% เท่ากับ 1:5 w/v ได้ปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด โดยพริกพันธุ์หัวเรือมีปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด ส่วนการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริกสามารถสกัดได้ด้วยน้ำมันรำข้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะพร้าว โดยสารสกัดที่ได้จากพริกชี้ฟ้าสกัดด้วยน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกแห้งต่อน้ำมัน เท่ากับ 1:2.5 w/v มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อนำอิมัลชันของสารสกัดแคปไซซินผง สารสกัดแคโรทีนอยด์ผง และสารเคลือบมอลโทเด็กซ์ทริน มา encapsulation ด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย พบว่าที่อัตราส่วน 0.5:10:40 v/v ให้ %yield สูงที่สุด

การเก็บรักษาสารสกัดแคปไซซินผงและสารสกัดแคโรทีนอยด์ผงจากพริกในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และแคปซูลเจลลาตินแบบใส เจลาตินแบบขุ่น และแคปซูลเซลลูโลส ในช่วงเวลา 180 วัน ที่ RT สามารถรักษาความคงตัวของสารแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์ได้ ผลิตภัณฑ์มีความชื้น ค่า aw และสามารถในการละลายเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรก โดยปริมาณสารแคปไซซิน สารแคโรทีนอยด์และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในอะลูมิเนียมฟอยล์และในแคปซูล 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน มีต้นทุนการผลิตสารสกัดแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงขนาด 500 mg เท่ากับ 1.15 บาท/แคปซูล ถูกกว่าสารสกัดแคปไซซินในท้องตลาดที่มีราคาประมาณ 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 โดยมี D-Limonene 52.63% เพคตินที่ได้เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในอาหารและในเครื่องสำอาง โดยใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารก่อเจลและสารคงตัวในผลิตภัณฑ์

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

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้สารสกัดจากมะนาว ได้แก่ น้ำมะนาวพร้อมดื่มในถุงรีทอร์ทเพาซ์ น้ำมันหอมระเหยและเพคตินมาใช้ในเครื่องสำอางโดยผสมไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

3. การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

การผลิตสีผงจากสารสกัดดอกอัญชัน ทำโดยสกัดดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันต่อสารละลายกรดซิตริก 1:50 w/v สกัดที่ 60 °C 30 นาที นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำออกจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 8 °Brix จากนั้นผสมมอลโทเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงเป็นสีชมพู สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.5% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

การผลิตสีผงจากสารสกัดแครอท โดยสกัดแครอทด้วยเครื่องแยกกาก นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำออกให้สารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 25 °Brix จากนั้นผสมมอลโทเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก นำไปทำแห้ง

แบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 170 °C ได้สีผงเป็นสีส้ม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

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

4. การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากไบบานางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร

การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) จากนั้นสกัด AIS ด้วยน้ำ ในสภาวะที่เหมาะสม คือ 80 °C 90 นาที อัตราส่วนของ AIS:น้ำ เท่ากับ 1:20 ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง 5.45% มีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 55.68% ใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้า โดยไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางความเข้มข้น 1.5% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) 12.63 และมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg GAE/100 ml โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางและน้ำตาล sucrose มีผลทำให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ส่วนการเติม NaCl ส่งผลให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลง โครงสร้างของสารสกัดมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำตาลไซโรส ซึ่งใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้า ดังนั้นไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางที่สกัดได้น่าจะเป็นสารไซแลน ต้นทุนการผลิต 7,800.46 บาท/kg การใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ทดแทนสารเพิ่มความข้นหนืดทางการค้า พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ซอสพริก คือ 1.5% และปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ คือ 2.0%

5. การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

ผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดที่สามารถนำมาผลิตเอนไซม์บรอมีเลนได้ ได้แก่ จุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกน เนื่องจากตรวจพบค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนสูง โดยส่วนใหญ่ติดเนื้อกับตาและแกนมีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนมากกว่าส่วนจุก เนื่องจากมีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์สูงนั่นคือมีความบริสุทธิ์มากกว่า แต่เลือกเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนเนื่องจากมีสัดส่วนที่เหลือน้อยกว่าผลพลอยได้ส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผงจากเปลือกติดเนื้อกับตาทำได้โดยตีปั่นวัตถุดิบด้วยเครื่องบดปั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที นำไปปั่นคั้นน้ำพร้อมแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำน้ำคั้นที่ได้มาตกตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกและสกัดเอนไซม์บรอมีเลนโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลอัตราส่วน 26:74 v/v เป็นเวลา 1 ชม. แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที โดยต้องดำเนินการภายใต้ อุณหภูมิ 4 °C ตลอดกระบวนการ ละลายตะกอนโปรตีนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้เอนไซม์บรอมีเลนเป็นผงสีเหลืองอ่อน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิตร้อยละ $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อน้ำหนักสด

การประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนผงเป็นซอสหมักเนื้อเนื้อหมูสุตรสุกี้-ซาบู พบว่าปริมาณเอนไซม์ผงที่เหมาะสมต่อการหมักชิ้นเนื้อหั่นบาง เท่ากับ 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ หมักไม่เกิน 30 นาที จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้น โดยคงไว้ซึ่งรสชาติของเนื้อสัตว์ เมื่อปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้นค่าเนื้อสัมผัส ค่าแรงเคียน ความแข็ง ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเนื้อสัตว์จะเปื่อยมากขึ้น

6. การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

ฟิล์มต้านจุลินทรีย์โดยใช้ PVA เข้มข้น 4% w/v เติมกลีเซอรอล 30% w/w เป็นสารก่อฟิล์ม และใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงเป็นสารต้านจุลินทรีย์ พบว่าฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้ดีที่สุด โดยฟิล์มมีความหนา 0.13 มม. มีค่า L^* 76.6 ค่า b^* 56.3 มีความชื้น 7.71% มีค่า a_w 0.412 สามารถนำไปใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่า TS 329.69 kgf/cm² และ %E 387.10% สูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิด PE ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 “ฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหาร” นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการละลายน้ำได้ 94.28% มีต้นทุนการผลิตเฉพาะต้นทุนจากสารเคมี 17 บาท/in²

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

7. การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

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

ฟิล์มชีวภาพเตรียมจากสตาร์ชมันสำปะหลัง เตรียมสตาร์ชโดยใช้วิธีการตกตะกอนจากน้ำแป้งแล้วล้างน้ำเพื่อแยกไขมันและโปรตีนออกจากเนื้อแป้งทำให้แป้งที่ได้มีสีขาว เมื่อนำไปบดจะได้แป้งเป็นผงละเอียด จากนั้นนำไปผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสที่เตรียมได้ พบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน 3% (L3) มีสมบัติเชิงกลและกายภาพโดยรวมดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ โดยผลการนำฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% (L3) มาผลิตเป็นถุงบรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เทียบกับถุงทางการค้า พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุงชีวภาพเติมลิกนิน (L3) มีค่าต่ำกว่าทางการค้า เดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) และปริมาณของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 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 30x30 cm² เท่ากับ 5.00 บาท/แผ่น และต้นทุนการผลิตถุง L3 ขนาด 10x10 cm² เท่ากับ 1.11 บาท (ไม่รวมค่าวัสดุดิบเป็นผลพลอยได้ ค่าพลังงานและบุคลากร)

8. การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เตรียมได้จากฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA เข้มข้น 5% และโคโตซาน เติมกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น โดยสีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมคือสีจากดอกอัญชันสกัดด้วยกรดอะซิติก เข้มข้น 0.15M 60 °C 30 นาที เนื่องจากให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีชัดเจน คนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างสีของฟิล์มได้เมื่อสัมผัสกับสารละลายหรือไอระเหยที่มีค่า pH ต่างๆ และมีความคงตัวของสีสูง เตรียมสารละลายฟิล์มก่อนการขึ้นรูปโดยไม่ต้องปรับ pH ของสารละลาย สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฟิล์ม คือ เก็บในถุงซิปลิตที่ 4 °C สามารถเก็บรักษาได้ 1 เดือน

ฟิล์มมีคุณสมบัติดังนี้ มีความหนาอยู่ในช่วง 0.14-0.15 มม. มีความชื้นในช่วง 7.71-9.12 การละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 23.55-26.89% มีค่าความสว่างลดลงจาก 87.13 ในฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ เป็น 69.35 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น มีค่า TS อยู่ในช่วง 364.64-437.15 kF/cm² และมี %E อยู่ในช่วง 544.63-273.53% ค่า WVTR อยู่ในช่วง 2,571-2,878 g/m²/day

และค่า OTR อยู่ในช่วง $0.410-0.738 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ และฟิล์มที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่ pH ต่างๆ ไอระเหยของกรดอะซิติกและไอระเหยของ NH_3 ดังนั้นสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ตรวจวัดความสุกของผลไม้ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้เมื่อสุก เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตอเบอรี่ และอาหารที่ปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียเมื่อเกิดการเน่าเสีย เช่น อาหารทะเล

เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารผ่านการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม โดยทดสอบกับเนื้อปลาสดพบว่าปริมาณสีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ 4 และ 6% เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลา และปริมาณก๊าซ NH_3 ที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินมาประยุกต์ใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์สำหรับผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างได้

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 2
วิจัยและพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ
Research and Further Development on Natural-Extract Products

อภนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์ จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม ศิวัช พลายเสน สุปรียา สุขเกษม
ศุภมาศ กลิ่นขจร ศิริพร เต็งรัง วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร โกเมศ สัตยาวุธ และสุรีย์รัตน์ รักเหลือ

Akanit Pisalwadcharin Charuwan Rattanasakultham Siwat Plaisen Supreeya Sukhasem Supamas
Klinkajorn Siriporn Tengrang Wimonwan Wattanawichit Komate Satyawut and Sureerat Rukluarh

คำสำคัญ (Key words)

เอนไซม์บรอมีเลน ผลิตภัณฑ์กรานูลฟองฟู ช่วยย่อย พริก สีธรรมชาติ แอนโทไซยานิน ดอกอัญชัน
Bromelain, effervescent granules, digestive, Chillis, Natural Dye, Xanthone, Anthocyanin, Butterfly
pea flower

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติโดยใช้วัตถุดิบธรรมชาติ
สำหรับนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเวชสำอาง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนใน
รูปแบบกรานูลฟองฟู ผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน และผลิตภัณฑ์สีผงจากดอกอัญชัน

การผลิตเครื่องดื่มช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟู ทำการสกัดเอนไซม์บรอมีเลน
โดยตีปั่นสับปะรดและคั้นน้ำ จากนั้นนำมาตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลในสภาวะเย็นและทำแห้งด้วยวิธีทำแห้ง
แบบแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาอัตราส่วนของกรดอินทรีย์กับโซเดียมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมในการก่อให้เกิด
สภาวะฟองฟู ศึกษาปริมาณเอนไซม์บรอมีเลนผง ร้อยละปริมาณของสารก่อสภาวะฟองฟูในสูตรผลิตภัณฑ์ และ
ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ได้สูตรผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบโดดเด่น คือ กรดซิตริก 0.80 g กรด
ทาร์ทาริก 0.40 g โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g เอนไซม์บรอมีเลนผง 0.20 g พีวีพี 0.15 g สารลดการก่อโฟม
0.036 g ซุคลาโรส 0.007 g โซลิทอล 0.80 g และสารให้กลิ่นสับปะรด 0.12 จากนั้นเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ด้วย
วิธีการทำกรานูลแห้ง ได้ผลิตภัณฑ์กรานูลฟองฟูที่มีสมบัติการไหลของผงยาในระดับดี และยังคงค่ากิจกรรม
เอนไซม์บรอมีเลนไว้ได้ที่ 87.9% ละลายน้ำได้ดี โดยใช้เวลาในการเกิดสภาวะฟองฟู 94 วินาที

การผลิตผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินจากสารแคปไซซินที่สกัดได้จากพริกพันธุ์ซูเปอร์ฮอต โดยสภาวะที่
ใช้ในการสกัดสารแคปไซซิน คือ สกัดโดยใช้อัตราส่วนของเอทานอล : พริก เท่ากับ 1:5 w/v ได้สารสกัดหยาบแคป
ไซซินที่มีปริมาณสารแคปไซซิน 2,374.35 µg/g จากนั้นทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินที่มีปริมาณสาร
สกัดแคปไซซิน 1.0 1.5 และ 2.0% พบว่าผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินที่เติมสารสกัดแคปไซซิน 1.5% มีปริมาณ
สารแคปไซซินเหมาะสมที่สุด คือ 0.0123 (%) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง) ปริมาณฟีนอลิกรวม 2.83 mg gallic
acid/g และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (SC₅₀) เท่ากับ 10.11 mg/ml จากนั้นทำการทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนัง
ของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินในอาสาสมัครจำนวน 15 คน พบว่าอาสาสมัครจำนวน 11 คน ไม่พบการระคาย
เคืองที่ผิวหนังบริเวณที่ทาผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน ขณะที่อาสาสมัครจำนวน 4 คน มีอาการแดงและบวม
เล็กน้อยบริเวณที่ทาผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินแต่อาการจะหายไปภายใน 24 ชม.

การผลิตสีผงจากดอกอัญชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท ทำการสกัดดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันแห้งต่อสารละลายกรดซิตริกเป็น 1:50 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 30 นาที นำสารสกัดที่ได้ระเหยน้ำออกเพื่อให้สารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 8 °Brix ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมสารก่อโฟม methocel ปริมาณ 2.5% ตีให้เกิดโฟมเป็นเวลา 15 นาที ใส่ถุงบีบให้เป็นเส้นขนาดกว้าง 0.5-0.7 cm. ยาว 34-36 cm ลงบนถาด นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 ชม. ได้สีผงเป็นสีชมพู มีความชื้น 4.50% ค่า aw เท่ากับ 0.239 ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 42.11 15.90 และ -1.45 ตามลำดับ ค่าการละลาย 86.92% ปริมาณแอนโทไซยานิน 19.37 mg cyanidin-3-glucoside/100g สีผงที่ได้นำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ซอร์เบต ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.5% โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาสีผงเป็นเวลา 4 เดือนในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าสีผงมีความชื้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น ในขณะที่ปริมาณสารแอนโทไซยานินมีค่าลดลง

Abstract

The objectives of this research were to study the production of natural products from the natural materials, for its application in food and cosmetic products. Three natural products were the digestive aid supplement drink with bromelain enzyme in the effervescent granules' recipe, the capsaicin massage gel and the powder color from butterfly pea flowers.

Production of the digestive aid supplement drink with bromelain enzyme in the effervescent granules' recipe. The enzyme bromelain powder was produced by crushing and squeezing pineapple fruit to get the juice then the bromelain extraction was driven by precipitation of the proteins with cold ethanol and was drying by freeze-drying technical to produce the effervescent granules product. The suitability of the organic acid and sodium bicarbonate ratio that source of the effervescent effect, amount of bromelain powder, the proportion of effervescent agents, amount of sweeteners were studied. The favorite formulation by consumer testing contained citric acid 0.80 g tartaric acid 0.40 g sodium bicarbonate 0.90 g with the bromelain powder of 0.20 g, sucralose, and xylitol was used as sweeteners at 0.007 g and 0.8 g respectively. Polyvinylpyrrolidone 0.15 g, anti-foam agent 0.036 g, and flavoring agent 0.12 g were used as the additive's agent in this product also. The granule product can be prepared by the dry granulation method which the good flowability properties were obtained and the bromelain activity was maintained at 87.9%. The product was good water-soluble and takes 94 seconds for effervescent time.

Production of the capsaicin massage gel product from capsaicin crude extract. Capsaicin crude extract obtained from extraction condition using ethanol:Chilis (Superhot) ratio of 1:5 (w/v) gave capsaicin content of 2,374.35 (µg/g). Subsequently it was developed into three massage gels were formulated with 1.0, 1.5 and 2.0 % of capsaicin crude extract. The results showed that the massage gels with 1.5 % of capsaicin crude extract gave the best results. The capsaicin massage gel with 1.5 % of capsaicin crude extract had capsaicin content of 0.0123 (% weight of sample), total phenolic content of 2.83 (mg gallic acid/g) and antioxidant activity (SC₅₀) was 10.11 (mg/ml). Then, skin irritation test of the capsaicin massage gel was carried out

on 15 volunteers. The results showed that there was no irritation in 11 volunteers and 4 volunteers had slight redness and swelling on the area where applied capsaicin massage gel, which the symptoms disappeared within 24 hours.

Production of the powder color from butterfly pea flowers by foam-mat drying method. Extraction of butterfly pea flowers used 0.15 molar citric acid solution, the ratio of dried butterfly pea flowers to citric acid solution was 1:50 (weight by volume). The optimal condition of extraction was at 60 ° C for 30 minutes. An extract was evaporated water, the total soluble solid content of extract was 8 ° Brix and mixed with 20% maltodextrin by weight. Then, 2.5% methocel was mixed by weight, to beat until foam was forming for 15 minutes and placed a plastic bag into strips 0.5-0.7 cm wide, 34-36 cm long onto the tray. It was dried by using oven dryer at 70 ° C for 3 hours. Powder color extracted from butterfly pea flowers had pinkish, that moisture content was 4.50%, water activity value was 0.239, color values L* a* and b* were 42.11, 15.90 and -1.45, respectively. The sample expressed as the solubility 86.92%, total anthocyanin content 19.37 mg and equivalent of cyanidin-3-glucoside / 100g. Powder color has been applied for sorbet products. The optimal formula to produce sorbet product was powder color from butterfly pea flowers 2.5%. Afterward, the powder color was kept at ambient temperature for 4 months in an aluminum foil bag. It was found that moisture content changed slightly but not different from the initial quality, while the amount of total anthocyanin was decreased.

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคตื่นตัวและหันมาใส่ใจกับการดูแลสุขภาพของตนเองมากขึ้น แนวโน้มการผลิตและการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพจึงเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เพื่อการดูแลสุขภาพที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากธรรมชาติที่สามารถดูแลสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และปราศจากผลข้างเคียง เช่น

เอนไซม์บรอมีเลนสามารถผลิตได้จากสับปะรด จัดเป็นเอนไซม์ชนิด crytein protease ที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยเปปไทด์และเอสเทอร์ของกรดอะมิโน (Murachi and Neurath, 1960) จึงสามารถย่อยโปรตีนซึ่งเป็นกลุ่มของโพลีเปปไทด์สายยาวให้สั้นลงได้ ด้วยเหตุนี้เอนไซม์บรอมีเลนจึงเป็นสารธรรมชาติที่จะช่วยส่งเสริมการย่อยระบบย่อยอาหารของเราได้ โดยเอนไซม์บรอมีเลนมีความเสถียรและคงกิจกรรมของการย่อยโปรตีนได้ในช่วง pH ที่กว้าง ทำให้สามารถคงกิจกรรมของการย่อยโปรตีนได้ทั้งในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กของมนุษย์ (Balakrishnan et al., 1981) นอกจากนี้เอนไซม์บรอมีเลนยังจัดเป็นสารเติมแต่งอาหารที่สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย (Generally Recognized As Safe) โดยองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration, 2019; Hikisz 2021) และมีความเป็นพิษในระดับต่ำมาก โดยบรอมีเลนมีค่า LD50 สูงกว่า 10 g/kg (Taussig et al., 1975) อย่างไรก็ตามในพลาสมาจะมีสารที่ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์บรอมีเลน ทำให้การได้รับเอนไซม์บรอมีเลนด้วยการบริโภคจะคงกิจกรรมของการย่อยโปรตีนได้ดีที่สุด (Hale, 2002) โดยมักจะพบเห็นเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบอาหารเสริมบรรจุแคปซูลที่วางจำหน่ายทั่วไป ซึ่งทำให้เราจะต้องบริโภคแคปซูลเข้าไปด้วยซึ่งอาจเป็นปัญหากับผู้ที่มีภาวะกลืนได้ยาก งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาผลิตเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบเครื่องดื่มที่มีการประยุกต์ใช้รูปแบบนำส่งสารออกฤทธิ์ด้วยวิธีที่ทำให้เกิดฟองฟู (effervescent effect) ซึ่งจะช่วยเพิ่มชีวประสิทธิผลของตัวยาหรือสารออกฤทธิ์สำคัญได้ดี จากการละลายในแรงดันออสโมติกและนำส่งยาเพื่อให้ลอยตัวในกระเพาะอาหารได้ เป็นต้น อีกทั้งเป็นรูปแบบที่มีการนำไปใช้เพื่อเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร วิตามิน หรือแร่ธาตุ ซึ่งวิธีการนำส่งสารชนิดฟองฟูมีข้อดีที่ทำให้มีรสชาติดี กลบกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ของตัวยาได้ และดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคเนื่องจากเกิดฟองหลังผสมน้ำ เหมาะกับผู้ที่ไม่สามารถรับประทานยาเม็ดหรือแคปซูลได้ (Gothoskar and Kshirsagar, 2004)

ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาการนำเอนไซม์บรอมีเลนจากสับปะรดมาผลิตเครื่องดื่มช่วยย่อยในรูปแบบกรานูลฟองฟู เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน ปลอดภัย และเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค

แคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) เป็นสารประกอบสำคัญของพริก ที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน ซึ่งประกอบด้วยแคปไซซิน 61% ไดไฮโดรแคปไซซิน 22% นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน 1% ไฮโมแคปไซซิน 1% และไฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน 1% (Cisneros-Pineda et al., 2007) โครงสร้างทางเคมีของแคปไซซิน คือ 8-methyl-n-vanillyl-6-noneamide มีสูตรโมเลกุลดังนี้ $C_{18}H_{27}NO_3$ พบมากในบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาวที่เรียกว่า “รกพริก” ในส่วนของเนื้อ เปลือก และเมล็ดพริกจะมีแคปไซซินอยู่น้อยมาก (Reyes et al., 2011) โดยพบว่า capsaicin มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา บรรเทาปวด ลดการอักเสบ มีรายงานการวิจัยว่ามีการใช้ capsaicin ในรูปแบบครีมและแผ่นแปะเฉพาะที่เพื่อรักษาอาการปวดเรื้อรัง เช่น โรคประสาท post-herpetic ปวดกล้ามเนื้อและกระดูก โรคเส้นประสาทอักเสบจากเบาหวาน โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ และข้อเข่าเสื่อม นอกจากนี้ยังใช้เพื่อรักษาอาการปวดจากผื่น โรคสะเก็ดเงิน เป็นต้น (Reyes et. al., 2011) โดย Zimmer et. al. (2012) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแคปไซซินจากพริกที่สกัดโดยเอทานอล พบว่าสารสกัดแคปไซซินจากพริกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านการอักเสบ โดยสารสกัดแคปไซซินจากพริกที่สกัดได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 180.08 mg GAE/g และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระแสดงเป็นค่า EC₅₀ โดยวิธี DPPH เท่ากับ 267.58 µg/ml และยังมีฤทธิ์เป็นสารต้านการอักเสบที่มีประสิทธิภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านเภสัชวิทยา Thayne et. al. (2003) ศึกษาการใช้สารแคปไซซินเพื่อกระตุ้นการ

ขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังพบว่าสารแคปไซซินสามารถกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดได้ โดยสารแคปไซซิน จะกระตุ้นเส้นประสาทที่ผิวหนัง ทำให้หลอดเลือดบริเวณผิวหนังขยายตัว และเลือดไปเลี้ยงผิวหนังได้ดีขึ้น นอกจากนี้ Ghita et. al. (2017) ได้ศึกษาการใช้สารแคปไซซินทาบริเวณผิวหนังของกลุ่มผู้ทดสอบจำนวน 27 คน และตรวจสอบการไหลเวียนของเลือดภายในเส้นเลือดฝอยบริเวณผิวหนังในช่วงเวลาตั้งแต่ 0-40 นาที พบว่าการไหลเวียนของเลือดภายในเส้นเลือดฝอยบริเวณผิวหนังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากทาสารแคปไซซินที่ผิวหนัง ผ่านไป 25 นาที โดยคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้แคปไซซินเป็นยาเฉพาะที่ได้โดยไม่ต้องมีใบสั่งแพทย์ โดยทางการค้ามีครีมแคปไซซินจำหน่ายที่ความเข้มข้น 0.0123 0.025% และ 0.075 % ดังนั้นการนำสารสกัดแคปไซซินจากพริกซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เวชสำอางรูปแบบ เจล จะเป็นการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการนำผลงานวิจัยมาใช้ ประโยชน์ได้มากขึ้น

สีธรรมชาติ เป็นสีที่ได้จากพืชซึ่งความหลากหลายของสีขึ้นอยู่กับรงควัตถุในพืชนั้นๆ รงควัตถุจัดเป็น สารประกอบพีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันมีประโยชน์ในการช่วยป้องกันและลดการเกิดโรคเรื้อรัง ต่างๆ เช่น ดอกอัญชัน เป็นสมุนไพร มีสีน้ำเงินเข้มหรือน้ำเงินอมม่วง สารสีจากดอกอัญชันคือสารแอนโทไซยานิน จัดเป็นสารประกอบพีนอลิกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็น แก้ อาการตาฟาง ตามัว ตาเสื่อมจากโรคเบาหวาน โรคต้อหิน โรคต้อกระจก ดอกอัญชันยังช่วยยับยั้งการรวมตัวของ เกล็ดเลือด ช่วยขับปัสสาวะ และยังช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ นอกจากนี้แอนโทไซยานินยังมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ของไขมัน ชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, ม.ป.ป.ก) การใช้ประโยชน์ของดอกอัญชัน เช่น ใช้สีจากกลีบดอกเป็นส่วนผสมในอาหาร และเครื่องดื่ม ใช้เป็น ส่วนผสมในเครื่องสำอาง เช่น ใช้ทำยาสระผมแก้ผมร่วง ดอกอัญชันกำลังเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับฮ่องกง โดยเรียก ดอกอัญชันว่า Blue Magic Water นำมาปรุงอาหารผสมกับข้าวเหนียวให้มีสีน้ำเงิน ทำเป็นเครื่องดื่ม เช่น ชาดอก อัญชัน หรือผสมกับมะนาวแล้วได้เป็นสีม่วง และนำมาผสมกับเค้กชนิดต่างๆ ดังนั้นดอกอัญชันและผลิตภัณฑ์จาก ดอกอัญชันจึงเป็นสินค้าจากประเทศไทยที่สามารถทำการขยายตลาดในต่างประเทศได้ (สำนักงานส่งเสริมการค้า ในต่างประเทศฮ่องกง, 2560)

การทำแห้งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร เนื่องจากเป็นวิธีที่ ช่วยลดปริมาณความชื้นส่งผลให้ค่าออกเตอร่ากทิวิตีมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิด การเน่าเสีย นอกจากนี้การทำแห้งยังเป็นการลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อสะดวกและประหยัดต้นทุน ในการขนส่ง (Ratti, 2009) การทำแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) เป็นการทำให้แห้งแบบใช้ความเย็น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) เป็นการทำให้แห้งแบบใช้ความร้อนสูง โดย 2 วิธีนี้มี ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง การทำแห้งโดยวิธีโฟมเมท (Foam-mat drying) เป็นการทำให้แห้งแบบที่ใช้ความร้อนไม่ สูงมากและมีวิธีการที่ง่ายไม่ซับซ้อนที่สำคัญมีต้นทุนการผลิตไม่สูง

การทำแห้งแบบโฟมเมท (Foam-mat drying) เป็นการเติมอากาศหรือก๊าซให้กับของเหลวเข้มข้นเพื่อ ก่อให้เกิดโฟมที่มีความคงตัวก่อนนำไปทำแห้ง (Morgan et al., 1961) กระบวนการทำให้เกิดโฟมทำได้โดยนำ อาหารเหลวมาทำให้เข้มข้น อาจเติมสารช่วยให้เกิดฟองลงไปแล้วตีหรืออัดอากาศหรือก๊าซจนของเหลวเกิด ลักษณะเป็นฟองโปร่ง จากนั้นจึงนำฟองมาเกลี่ยเป็นแผ่นบนถาดแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนหรืออากาศร้อน เมื่อ อาหารแห้งจะมีลักษณะโปร่ง เปราะ สามารถทำให้แตกเป็นแผ่นเล็กๆ หรือบดละเอียดได้ง่าย โครงสร้างของอาหาร เล็กๆ นี้ จะมีรูพรุนอยู่ทั่วไป จึงนำมาคั้นรูปได้ง่าย ข้อดีของการทำให้เป็นโฟมจะช่วยเพิ่มอัตราการทำให้แห้งของ อาหาร เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของโฟม ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมาก ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น อาหารจึงสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาสั้น ช่วยลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร โดยเฉพาะด้านกลิ่น รสของ

อาหาร (กิตติพงษ์, 2536) โดยมีผู้ศึกษานำเทคนิคการทำแห้งแบบโพรหมแมทไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด เช่น การผลิตน้ำกระเทียมดองชนิดผงโดยการทำแห้งแบบโพรหมแมท โดยใช้สารละลาย Methocel™ ที่ระดับความเข้มข้น 0.9% โดยน้ำหนัก ร่วมกับมอลโตเด็คซ์ทรีน 10 g ให้ค่าความคงตัวที่เหมาะสมและสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งคืออุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 6 ชม. (คุ้มเกล้า และพินิตา, 2551) การผลิตสีแดงผงจากกระเจี๊ยบแดงโดยใช้โปรตีนไข่ขาว 15% โดยน้ำหนัก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 6 ชม. (Tan and Sulaiman, 2019) การผลิตน้ำข้าวข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมดื่มสำเร็จรูป ใช้โปรตีนไข่ขาวปริมาณ 2.5% และใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 65 °C 90 นาที (ไชยกร และคณะ, 2562) การผลิตอาหารเสริมสุขภาพจากข้าวโพดฝักสดโดยนำข้าวโพดสีม่วงผสมกับมอลโตเด็คซ์ทรีน 20% ปริมาณ 200 g เติมสารละลาย Glycerol monostearate : methocel K4M (อัตราส่วน 1:1) ความเข้มข้น 2% ปริมาณ 75 g ทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C 90 นาที (วิมลวรรณ และคณะ, 2558)

โดยนิยมนำสีผงใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ซึ่งไอศกรีม เป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดหนึ่งผ่านการแช่เยือกแข็ง โดยชนิดของไอศกรีมตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2556 แบ่งไอศกรีมเป็น 5 ชนิด ได้แก่ ไอศกรีมนม ไอศกรีมดัดแปลง ไอศกรีมผสม ไอศกรีมชนิดเหลวหรือแห้งหรือผง และไอศกรีมหวานเย็น นอกจากนี้การแบ่งชนิดของไอศกรีม อาจจำแนกลักษณะไอศกรีมตามส่วนผสมและปริมาณไขมัน (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป.ช) เช่น มิลค์ไอซ์ เซอร์เบต ซอร์เบต เจลาโต ไอศกรีมโยเกิร์ต โดยเซอร์เบตเป็นไอศกรีมที่มีส่วนผสมของผลไม้หรือน้ำผลไม้ มีลักษณะนุ่มเป็นเกล็ดน้ำแข็ง รสหวาน ปริมาณของน้ำตาลจะต้องพอเหมาะที่จะแข็งตัวได้ดี ถ้าหวานเกินไปเมื่อเป็นไอศกรีมจะฉะเป็นน้ำเชื่อมและแยกตัวเมื่อทิ้งไว้ ถ้าน้ำตาลน้อยไปจะเกิดเกล็ดน้ำแข็งใหญ่ (สมจิต, 2540) ซึ่งสามารถนำสีผงจากดอกอัญชันมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ได้ โดยไอศกรีม

จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ เช่น วิธีการสกัดสารสำคัญและการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเวชสำอาง จะทำให้ได้เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลเกษตร ส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบจากผลิตผลเกษตรในประเทศให้เป็นประโยชน์ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร อุตสาหกรรมเกษตร และประเทศชาติต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2553 – กันยายน 2564

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และพริกชี้ฟ้าพันธุ์ชูเปเปอร์ฮอตจากตลาดไทและตลาดสี่มุมเมือง ดอกอัญชันพันธุ์ 7-1-16
2. เครื่องมือ ได้แก่ Centrifuge, HPLC, UV-VIS, Freeze dryer, Evaporator, เครื่องบด/ปั่น เครื่องคั้นน้ำผลไม้ อ่างน้ำคูลิ่ง เครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก เครื่องอัดระบบแรงดันลม โกร่งเซรามิก เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ ตู้อบลมร้อน เครื่องกวนสาร เครื่องวัดสี เครื่องวัดค่า aw อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
3. วัสดุและสารเคมี ได้แก่ Glycerol monostearate (GMS), Methocel, Silicon dioxide, KCl, เอทานอลเกรดอาหาร กรดซิตริกแอนไฮดรัสเกรดอาหาร กรดทาร์ทาริกเกรดอาหาร โซเดียมไบคาร์บอเนต กรดอาหาร ซูคราโลส ซิลิทิล สารมาตรฐานแอนไซม์บรอมิเลน โพลีไวนิลไพโรลิโดน กลิ่นผสมอาหารชนิดผงกลิ่นสับปะรด มอลโตเด็คซ์ทรีน ไข่ขาวผง กรดซิตริก โซเดียมอะซิเตท น้ำตาล กรดไฮโดรคลอริก

วิธีการดำเนินการ

โครงการวิจัยที่ 2 ประกอบด้วย 3 การทดลอง ซึ่งทั้ง 3 การทดลอง มีวิธีการดำเนินงานแตกต่างกัน ดังนี้
การทดลองที่ 2.1 การผลิตผลิตภัณฑ์ช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟู

1. การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผงโดยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

1.1 เตรียมสับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยล้างด้วยคลอรีนเข้มข้น 50 ppm แล้วตัดแยกเอาส่วนจุกและก้านออก หั่นสับประรดรวมทั้งเปลือก เนื้อและแกนเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วชั่งชิ้นสับประรดครั้งละ 1 kg นำไปปั่นด้วยเครื่องบดปั่น 1 นาที แล้วบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ กรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นพักไว้ในขวดที่ปิดสนิทที่ 4 °C (ตู้เย็น) 2 ชม. ให้ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอน แล้วรินเอาน้ำคั้นส่วนใสมาใช้สกัดเอนไซม์บรอมีเลน โดยตกตะกอนด้วยเอทานอลเกรดอาหารเข้มข้น 95% ที่แช่เย็นจัด อัตราส่วน 26:74 โดยปริมาตร จากนั้นพักให้ตกตะกอนสมบูรณ์ที่ 4 °C 1 ชม. ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 15 นาที 4 °C แล้วรินสารละลายส่วนใสออก เก็บตะกอนโปรตีนที่ได้มาละลายด้วยน้ำกลั่นและนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

1.2 ตรวจสอบคุณสมบัติของเอนไซม์บรอมีเลนผง ได้แก่ ค่าความชื้น ค่า aw %yield ค่าสี และกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน (ปรับปรุงวิธีจาก Ketnawa, 2009) โดยเตรียมสารละลายผงเอนไซม์บรอมีเลน 10 mg/ml ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH7 แล้วผสมสารละลายตัวอย่าง 50 µL กับสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH7 400 µL และสารละลาย 1% Casein 100 µL ในหลอดพลาสติกขนาด 2 mL เขย่าแล้วบ่มที่ 37 °C 10 นาทีในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเติมสารละลาย 5.8% (w/v) กรดไตรคลอโรอะซิติก 1,000 µL แล้วเขย่าและปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 10 นาที ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก ดูดสารละลายส่วนใสไปวัดการดูดกลืนแสงในช่วง 250-350 nm โดยพิจารณาค่า λ_{max} ที่ 275

2. ศึกษาอัตราส่วนผสมสำหรับการการผลิตเครื่องดื่มในรูปแบบกรานูลฟองฟู

2.1 ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของส่วนผสมพื้นฐานสำหรับก่อก๊าซฟองฟู (Effervescent base) โดยศึกษาอัตราส่วนผสมของกรดอินทรีย์และโซเดียมไบคาร์บอเนตที่จะให้เป็นสูตรพื้นฐานสำหรับก่อก๊าซฟองฟู โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD แบบ 2 ปัจจัย 15 กรรมวิธี ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 กรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดซิตริก:กรดทาร์ทาริก 1:0 2:1 1:1 1:2 และ 0:1 w/w

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณกรดอินทรีย์รวม ที่ 0.61 0.77 และ 1.03 g ต่อโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.77 g

โดยแต่ละกรรมวิธีจะมีเอนไซม์บรอมีเลนมาตรฐาน 0.1 g เป็นส่วนผสม

2.2 ศึกษาอัตราส่วนเอนไซม์บรอมีเลนผงที่เหมาะสมของในสูตรผลิตภัณฑ์ โดยคัดเลือกอัตราส่วน Effervescent base จากข้อ 2.1 จำนวน 2 สูตร แล้วผสมกับผงเอนไซม์บรอมีเลนโดยแปรปริมาณที่ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 g แล้วเติมพีวีพี 0.15 g และสารลดโฟม 0.036 g ปรับปรุงปริมาณส่วนผสมเป็น 3 g ด้วยมอลโตเด็คซ์ตริน ออกแบบการทดลองแบบ CRD จำนวน 8 กรรมวิธี 4 ชั้น

2.3 ศึกษาปริมาณส่วนผสมพื้นฐานสารก่อก๊าซฟองฟูในสูตรผลิตภัณฑ์ โดยใช้อัตราส่วน Effervescent base จากข้อ 2.1 จำนวน 2 สูตร และปริมาณผงเอนไซม์บรอมีเลนที่ได้จากข้อ 2.2 แล้วแปรปริมาณ Effervescent base ที่ 50 60 70 และ 80% ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด เติมพีวีพี 0.15 g และสารลดโฟม 0.036 g ปรับปรุงปริมาณส่วนผสมเป็น 3 g ด้วยมอลโตเด็คซ์ตริน วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 ชั้น 8 กรรมวิธี

2.4 เตรียมส่วนผสมผลิตภัณฑ์และการทดสอบคุณสมบัติ โดยเตรียมส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ในข้อ 2.1-2.3 ทำโดยชั่งส่วนผสมต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วผสมในกระป๋องพลาสติกปากกว้างที่ปิดสนิท แบบวนไปมาเป็นลักษณะเลขแปด 5 นาที และผสมแบบเจือจางทีละส่วน ซึ่งเตรียมในห้องปฏิบัติการที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่เกิน 50% และอุณหภูมิห้อง 25 ± 1 °C จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติ ดังนี้

- ลักษณะการเกิดสภาวะแบบฟองฟู โดยเทส่วนผสมในบีกเกอร์ขนาด 250 mL เติมน้ำ 100 mL จับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน โดยบันทึกระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเห็นน้ำจั่นกระทั่งฟองยุบตัว (efferverscent time) และเห็นสีของสารละลายชัดเจน

- ลักษณะการละลาย โดยการสังเกตแล้วให้คะแนนลักษณะการละลาย (solubility score) ที่ปรากฏหลังสิ้นสุดปฏิกิริยาปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน ตามวิธีของคุณ Aslani (2013) ดังนี้

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 5 = ละลายได้ดีมาก ไม่มีตะกอนเหลืออยู่ | 4 = ละลายได้ดี มีตะกอนเหลืออยู่เล็กน้อย |
| 3 = ละลายได้ มีตะกอนเหลืออยู่ปานกลาง | 2 = ละลายได้เล็กน้อย มีตะกอนเหลืออยู่อยู่มาก |
| 1 = ไม่ละลาย | |

- ค่า pH ของสารละลายที่ได้

3. ทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค โดยคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค โดยวิธี 7-point hedonic scale กับผู้บริโภคจำนวน 30 คน

4. ศึกษาการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แบบกรานูล

4.1 เลือกใช้สูตรที่มีคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคดีที่สุด มาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์แบบกรานูลต้นแบบ โดยชั่งส่วนผสมต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วผสมในกระป๋องพลาสติกตามวิธีการในข้อ 2.5 จากนั้นเทผสมลงในโถร่งเซรามิกแล้วบดให้ละเอียด แล้วนำอัดเป็นแผ่น slug โดยใช้โมดัลอัดแป่งกับเครื่องอัดระบบลมเป็นเวลา 2 นาที จำนวน 2 ครั้ง นำแผ่น slug ที่ได้มาบดให้ละเอียดอีกครั้ง และร่อนผ่านตะแกรง เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในถุงอะลูมิเนียมพอยล์และปิดผนึกสุญญากาศ

4.2 ทดสอบคุณสมบัติการไหลของผงยา (Flow property) โดยประยุกต์วิธีของ เชาวลิต (2557) และ ทัทศนา (2564) ทำได้โดยหาค่า ดังนี้

- ความหนาแน่นรวม (bulk density; ρ_{bulk}) โดยการเติมผงผลิตภัณฑ์ที่ชั่งน้ำหนักแน่นอนแล้ว (mass; m) ลงในกระบอกตวงขนาด 10 mL โดยที่ระวังไม่ให้ผงฯ เกิดการอัดแน่น แล้วอ่านค่าปริมาตรของผงฯ ที่บรรจุในกระบอกตวง (bulk volume; V_0) และคำนวณตามสูตร $\rho_{\text{bulk}} = m/V_0$ (g/cm³)

- ความหนาแน่น tapped (tapped density; ρ_{tapped}) โดยเคาะกระบอกตวงที่บรรจุผงฯ จากขั้นตอนการหาความหนาแน่นรวม แล้วยกและปล่อยกระบอกตวงที่ความสูงเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง อ่านค่าปริมาตรของผงฯ ที่บรรจุแล้ว ทำซ้ำอีกรอบละ 5 ครั้ง จนอ่านได้ปริมาตรสุดท้ายค่อนข้างคงที่ (final volume; V_f) และคำนวณตามสูตร $\rho_{\text{tapped}} = m/V_f$ (g/cm³)

- Compressibility index จากสูตร $\text{compressibility index} = ((\rho_{\text{tapped}} - \rho_{\text{bulk}})/\rho_{\text{tapped}}) \times 100$ แล้วประเมินหาสมบัติการไหลตามระดับสเกล ดังนี้

สมบัติการไหล (Flow property)	Compressibility index
Excellent	≤10
Good	11-15
Fair	16-20
Passable	21-25
Poor	26-31
Very poor	32-37
Very, Very poor	>38

ทดสอบกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน โดยละลายผงผลิตภัณฑ์ 6.83 g ในน้ำ 100 mL แล้วนำไปทำกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนตามในข้อ 1.2 และลักษณะการเกิดสภาวะแบบฟองฟูกับลักษณะการละลายการละลายตามวิธีในข้อ 2.5

การทดลองที่ 2.2 การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลนวด

1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก โดยสกัดพริกขี้หนูพันธุ์ซูปเปอร์ฮอตด้วยเอทานอลเข้มข้น 95 % อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 w/v ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 ชม. (ดัดแปลงจาก Gudeva et. al. 2013) จากนั้นนำสารสกัดจากพริกที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ดังนี้ ปริมาณสารที่ได้จากการสกัด (%yield) ปริมาณสารแคปไซซิน โดยวิธี HPLC (Zimmer et. al. 2012) สารฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (Zimmer et. al. 2012) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) โดยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay (Zimmer et. al. 2012)

2. การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลนวด โดยเตรียมผลิตภัณฑ์ตามสูตรมาตรฐาน แล้วเติมสารสกัดแคปไซซินปริมาณ 1.0 1.5 และ 2.0% โดยน้ำหนัก โดยสูตรมาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน คือ คาร์โบพอล 5.0% ไตรเอทานอลามีน 3.5% กลีเซอริน 6.0% สารสกัดแคปไซซิน 1.0 1.5 และ 2.0% โดยน้ำหนัก เติมน้ำสะอาดให้ส่วนผสมมีปริมาณครบ 100% แล้ววิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน ดังนี้ ปริมาณสารแคปไซซิน โดยวิธี HPLC (Zimmer et. al. 2012) สารฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (Zimmer et. al. 2012) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay (Zimmer et. al. 2012) วิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน โดยวัดค่า pH และความข้นหนืด ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน โดยวิธี Freeze and thaw cycle

3. การทดสอบความเป็นพิษ (cytotoxicity) ของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนังมนุษย์ โดยสารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ คือ Sodium lauryl sulfate และทดสอบความเป็นพิษของเซลล์ผิวหนังมนุษย์ด้วยวิธีการย้อมสี sulforhodamine

4. การทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนัง โดยทดสอบในอาสาสมัครของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน สารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ คือ sodium lauryl sulfate โดยกำหนดพื้นที่ผิวหนังบริเวณผิวหนังด้านในของอาสาสมัครจำนวน 15 คน (ชาย 6 คน หญิง 9 คน) อายุระหว่าง 21-58 ปี วัดค่า erythema index ด้วยหัววัด Mexameter บนผิวหนังอาสาสมัครที่เวลาเริ่มต้น (0 ชม.) จากนั้นทาเจลนวดแคปไซซินปริมาณ 0.2 g เปรียบเทียบกับการทาสารมาตรฐานบนผิวในพื้นที่ 2x2 cm² แล้วติดสำลีแผ่นบนผิวหนังบริเวณที่กำหนดเป็นเวลา 4 24 48 และ 72 ชม. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า erythema index ของผิวบริเวณที่ทาเจลนวดแคปไซซินกับผิวที่ทาสารมาตรฐาน และผิวบริเวณที่ไม่ได้ทาสารใดๆ โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยความแดง (erythema index) ที่เปลี่ยนแปลง

5. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน

การทดลองที่ 2.3 การผลิตสีผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท

1. ศึกษาชนิดสารก่อโฟมที่เหมาะสม วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ มี 3 กรรมวิธี ได้แก่ Methocel A4M ไข่ขาวผง (egg albumin) และ Glyceryl monostearate (GMS) โดยเริ่มจากการสกัดสารสีจากดอกอัญชันแห้งด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ที่ 60 °C 30 นาที อัตราส่วนดอกอัญชันแห้งต่อตัวทำละลาย 1:50 w/v นำสารสกัดที่ได้ระเหยน้ำออกจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 8 °Brix ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก เติมน้ำ 2.5% ตีให้เกิดโฟม 15 นาที จากนั้นใส่ถุงบีบเป็นเส้นกว้าง 0.5-0.7 cm ยาว 34.36 cm ลงบนถาด นำไปอบที่ 70 °C นาน 3 ชม. และตรวจสอบคุณภาพของโฟม ได้แก่ ความคงตัว ความ

หนาแน่น การขึ้นฟู และตรวจสอบคุณภาพของสีผง ได้แก่ ค่าสี ความชื้น การละลาย ร้อยละผลผลิต ค่า aw ปริมาณแอนโทไซยานิน

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 5 ซ้ำ มี 4 กรรมวิธี ได้แก่ อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 2 และ 3 ชม. อุณหภูมิ 70 °C ระยะเวลา 2 และ 3 ชม. โดยเตรียมตัวอย่างตามชนิดของสารก่อโฟมที่เหมาะสมจากข้อ 1 นำตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาตามกรรมวิธี ตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น การละลาย ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และปริมาณแอนโทไซยานิน

3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผง วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ได้แก่ อายุการเก็บรักษา 0 1 2 3 และ 4 เดือน โดยเตรียมตัวอย่างสีผงบรรจุใส่ถุงอะลูมิเนียมพอยล์ เก็บรักษาที่ RT สุ่มเก็บตัวอย่างตรวจสอบคุณภาพ ทุก 1 เดือน ได้แก่ ค่าสี ความชื้น การละลาย ค่า aw ปริมาณแอนโทไซยานิน และคุณภาพด้านจุลินทรีย์

4. ศึกษาการประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์ซอร์เบตและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

4.1 ศึกษาการประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์ซอร์เบต เตรียมตัวอย่างซอร์เบตโดยใช้สูตรจากการผลิตน้ำอัดลมพร้อมดื่มมีส่วนผสมคือ น้ำ 81.5% น้ำตาล 16% และสีผง 2.5% จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคให้ข้อเสนอแนะว่ามีรสชาติเปรี้ยวมาก ควรเพิ่มรสหวาน จึงปรับสูตร โดยแปรระดับปริมาณน้ำตาล 5 ระดับ วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ มี 5 กรรมวิธี ดังนี้ ปริมาณน้ำตาล 16 17 18 19 และ 20% ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี hedonic scale (7 point) กำหนดคะแนน 1 = ไม่ชอบมาก 2 = ไม่ชอบปานกลาง 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย 4 = เฉยๆ 5 = ชอบเล็กน้อย 6 = ชอบปานกลาง และ 7 = ชอบมาก ใช้ผู้ทดสอบ 20 คน เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม

4.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ซอร์เบต โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ มี 5 กรรมวิธี ได้แก่ อายุการเก็บรักษา 0 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ โดยเตรียมผลิตภัณฑ์ซอร์เบตตามสูตรที่เหมาะสมบรรจุตัวอย่างซอร์เบตลงในถ้วยพลาสติกขนาด 3 ออนซ์ เก็บที่อุณหภูมิ -20 °C สุ่มเก็บตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ เพื่อตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 2.1 การผลิตผลิตภัณฑ์ช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟู

1. การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผง

เอนไซม์บรอมีเลนผงที่ผลิตได้จากการตีปั่นและคั้นน้ำจากผลสับปะรด นำมาสกัดเอนไซม์โดยตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลเย็น แล้วนำตะกอนโปรตีนที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มี %yield 0.37% ต่อน้ำหนักสดเป็นผงโปรตีนที่มีสีเหลืองอ่อน มีค่าสี $L^* a^* b^*$ และ H เท่ากับ 42.4 0.5 5.1 และ 3.0Y ตามลำดับ ค่า aw และความชื้น 0.15 และ $4.6 \pm 0.3\%$ มีกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน $32,253.35 \pm 809.29$ CDU/g

2. การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มในรูปแบบกรานูลฟองฟู

เนื่องจากองค์ประกอบของการตั้งตำรับเวชภัณฑ์ชนิดฟองฟูจะประกอบด้วยสารสำคัญในการออกฤทธิ์ นั่นคือ เอนไซม์บรอมีเลนผงที่มีคุณสมบัติย่อยโปรตีนในระบบทางเดินอาหารได้ โดยมีส่วนผสมพื้นฐานสำหรับก่อให้เกิดสภาวะฟองฟู ได้แก่ สารกลุ่มคาร์บอเนตและกรดอินทรีย์ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะเป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์ และสารช่วยอื่นๆ เช่น สารยึดเกาะ สารแต่งกลิ่นรส และสารเพิ่มปริมาณ จึงได้ศึกษาดังนี้

2.1 การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของส่วนผสมพื้นฐานสำหรับก่อสภาวะฟองฟู (Effervescent Base) ผลการศึกษาชนิดของกรดอินทรีย์พบว่ากรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซิตริก (Giyatmi, 2019) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสะเทินให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (พรศักดิ์, 2547) ละลายน้ำได้ดีมาก ไม่ดูดความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ในรูปของ Monohydrate และกรดผสมระหว่างกรดซิตริกกับกรดทาร์ทาริก (Jassim,

2018; SURINI, 2017; Naji-Tabasi, 2021) ซึ่งละลายน้ำได้ดีเช่นกัน ไม่ดูความขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความชื้นสัมพันธ์ต่ำกว่า 65% โดยกรดทาร์ทาริกมีความเป็นกรดน้อยกว่าและให้มีรสชาติเปรี้ยวที่แตกต่างจากกรดซิตริก อีกทั้งยังช่วยให้ตำหรับไม่เหนียวมากจนเกินไป โดยได้กำหนดใช้กรดซิตริกผสมกับกรดทาร์ทาริกที่อัตราส่วน 1:0 2:1 1:1 1:2 และ 0:1 กับโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.77 g แล้วแปรปริมาณกรดอินทรีย์ดังกล่าว 3 ระดับ ได้แก่ 0.61 0.77 และ 1.03 g จะได้อัตราส่วนผสมซิตริก:ทาร์ทาริก:โซเดียมไบคาร์บอเนต หรือ C:T:Na ดัง Table 40 ซึ่งแต่ละอัตราส่วนมีเอนไซม์บรมิเลนเป็นส่วนผสม 0.1 g เมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวไปเติมกลั่น 100 mL จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันจากการสะเทินโซเดียมไบคาร์บอเนตด้วยกรดอินทรีย์ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือซิเตรดเกลือทาร์ทเรต โมเลกุลน้ำและฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลักษณะที่เป็นฟองฟูหนาแน่น กระจายตัวแล้วลอยออกจากสารละลายทันที และมีลักษณะเป็นฟองโฟมลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลาย หลังจากนั้นฟองจะค่อยๆ ยุบตัวจนเหลือเป็นสารละลายใส ดังแสดงใน Figure 46a โดยเมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการเกิดสภาวะฟองฟู (Table 40) พบว่ากรดอินทรีย์ 1.03 g ที่อัตราส่วนกรดซิตริก:กรดทาร์ทาริก (C:T) เป็น 1:0 ให้ระยะเวลาการเกิดสภาวะฟองฟูเร็วที่สุดแต่กรดอินทรีย์ 0.77 g ที่อัตราส่วน C:T เป็น 1:0 และกรดอินทรีย์ 0.61 g อัตราส่วน C:T เป็น 2:1 ช้ากว่าอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่อัตราส่วนอื่นๆ ให้ระยะเวลาการเกิดสภาวะฟองฟูไม่แตกต่างจากสามอัตราส่วนดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ และทุกอัตราส่วนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งหมด คือต้องน้อยกว่า 5 นาที (Giyatmi, 2019)

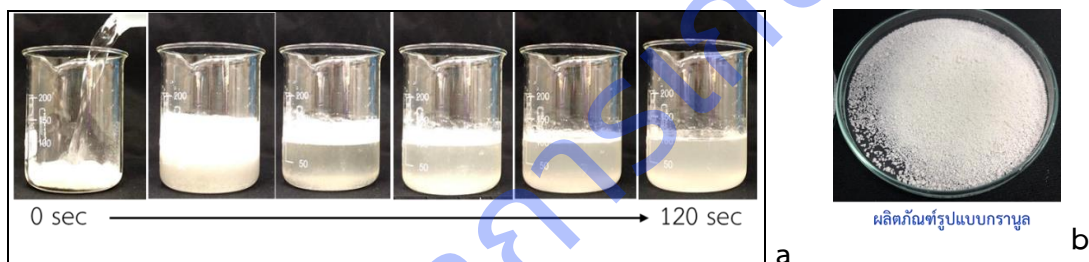


Figure 46 Appearance of a) an effervescent effect b) effervescent granule powder

ค่า pH ของสารละลายที่ได้จะลดลงตามลำดับเมื่อปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่มากเกินไปจะทำให้สารละลายมีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย-เปรี้ยวมาก เมื่อปริมาณกรดอินทรีย์เท่ากับ 0.77 และ 1.03 g ลักษณะปรากฏของสารละลายหลายอัตราส่วนละลายได้ค่อนข้างดีมีค่า solubility score 4-5 โดยมีตะกอนเกลือเกิดขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่ใช้กรดอินทรีย์ 1.03 g โดยมีอัตราส่วนของกรดซิตริก:กรดทาร์ทาริก เท่ากับ 1:0 เป็นสภาวะเหมาะสมที่หนึ่ง และอัตราส่วนของกรดซิตริก:กรดทาร์ทาริกเป็น 2:1 เป็นสภาวะเหมาะสมที่ 2 เนื่องจากมีระยะเวลาในการเกิดสภาวะฟองฟูใกล้เคียงกัน อีกทั้งมีรสชาติเปรี้ยวดีกว่ากรดซิตริกเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้กรดทาร์ทาริกมีราคาสูงจึงเลือกใช้ปริมาณที่ไม่มากเกินไป

Table 40 Results of the effervescent effect by varied the weight of organic acid and the citric acid-tartaric acid ratio with 0.77 g of sodium bicarbonate

Weight of total acid (g)	Acid ratio (Citric acid : Tartaric acid)	Effervescent time (sec)	pH	Solubility score
0.61	1:0	195.0±17.7ab	5.7	5
	2:1	210.3±12.6b	6.2	5
	1:1	187.7±11.7ab	6.4	5
	1:2	195.3±15.6ab	6.0	5

0.77	0:1	201.3±21.2ab	6.2	4
	1:0	205.7±22.2b	5.3	5
	2:1	198.3±16.2ab	5.4	4
	1:1	189.3±15.3ab	5.8	4
	1:2	198.7±11.9ab	5.3	5
1.03	0:1	173.3±26.3ab	5.0	3
	1:0	166.0±37.2a	4.8	5
	2:1	187.7±4.2ab	4.5	5
	1:1	195.7±23.7ab	4.6	4
	1:2	189.3±16.2ab	4.4	4
	0:1	195.7±13.9ab	4.2	4

In a column, means followed by different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันทำให้เกิดฟองฟูของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้เอนไซม์บรอมีเลนซึ่งเป็นไฮโดรโฟบิกโปรตีนก่อตัวเป็นฟองโฟม (Ackermann, 2003) ซึ่งเมื่อปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันค่อยๆ ลดลง ฟองโฟมก็จะค่อยยุบตัวลง แต่พบว่ายังมีฟองโฟมบางส่วนซึ่งสลายตัวไม่หมดลอยอยู่บนผิวของสารละลายและเกาะข้างภาชนะ ที่ส่งผลให้ผู้บริโภครู้สึกไม่น่ารับประทาน จึงได้มีการเติมสารลดการก่อโฟมกรดอาหารปริมาณ 1.2% (0.036 g) (ใช้ได้) ในปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 418), 2563) ลงในสูตรการทดลองขั้นต่อไป

2.2 การศึกษาอัตราส่วนเอนไซม์บรอมีเลนผงที่เหมาะสมในสูตรผลิตภัณฑ์ โดยแปรปริมาณเอนไซม์ที่ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 g ในส่วนผสมของสารก่อสภาวะฟองฟู (Effervescent Base) ซึ่งประกอบด้วยกรดอินทรีย์ 1.03 g โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.77 g อัตราส่วนกรดซิตริกกับกรดทาร์ทาริก (C:T) เป็น 1:0 และ 2:1 พีวีพี (PVP-K30) 5% และสารลดโฟม 1.2% โดยน้ำหนัก ปรับปริมาตรเป็น 3 g ด้วยมอลโตเด็คซ์ตริน รวม 8 สูตร (Table 41) พบว่าหลังจากเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันจะได้สารละลายสีเหลืองเข้มขึ้นตามปริมาณเอนไซม์ที่มากขึ้น และมีระยะเวลาในการเกิดสภาวะฟองฟูมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกันกับทั้งสอง Effervescent Base เนื่องจากปริมาณโปรตีนยิ่งมากจะทำให้เกิดฟองโฟมหนา ยุบตัวได้ช้าลง โดยสูตรที่มีเอนไซม์บรอมีเลนผงปริมาณ 0.3 และ 0.4 g พบคราบและกลุ่มก้อนของเอนไซม์ที่ละลายได้ไม่หมดที่ระดับ 3-4 (Figure 47)

Table 41 Results of the effervescent effect by varied bromelain powder 0.1-0.4 g with 60% of the effervescent based (1.03 g of total acid and 0.77 g of sodium bicarbonate)

Acid ratio (Citric acid : Tartaric acid)	Bromelain powder (g)	Effervescent time (sec)	pH	Solubility score
1:0	0.1	74.0±9.3 a	4.8	5
	0.2	115.0±10.2 bc	4.9	4
	0.3	98.8±25.3 b	4.9	4
	0.4	153.8±11.2 d	4.9	3
2:1	0.1	74.0±7.2 a	4.5	5

	0.2	125.5±7.2 c	4.5	5
	0.3	221.3±10.3 e	4.5	4
	0.4	250.0±16.4 f	4.6	3

In a column, means followed by different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT



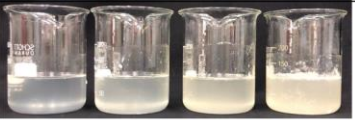
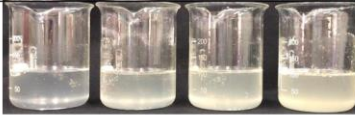
State	Citric acid : Tartaric acid 2:1 (w/w)				Citric acid : Tartaric acid 1:0 (w/w)			
Carbonation effect								
After carbonation effect								
Bromelain powder (g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4

Figure 47 Appearance of of the effervescent effect by varied 50-80% of the effervescent based with the acid -sodium bicarbonate ratio as 1.03:0.77

ในขณะที่สูตรที่มีเอนไซม์ 0.1 และ 0.2 g จะละลายได้ดีกว่าที่ระดับ 4-5 ซึ่งที่ 0.1 g มีระยะเวลาการเกิดสภาวะฟองฟูสั้นที่สุดและละลายได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามสูตรผลิตภัณฑ์จะต้องมีปริมาณเอนไซม์บรอมีเลนผงที่มากที่สุดที่จะสามารถละลายได้หมดภายใต้สภาวะดังข้างต้น จึงเลือกใช้เอนไซม์บรอมีเลนผง 0.2 g เป็นปริมาณที่เหมาะสม

2.3 การศึกษาปริมาณส่วนผสมพื้นฐานสารก่อสภาวะฟองฟูในสูตรผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณส่วนผสมของ Effervescent based มีผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น รวมทั้งลักษณะการละลายและรสชาติ จึงได้แปรปริมาณ Effervescent based ที่เหมาะสมในสูตรผลิตภัณฑ์ 50-80% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์รวม โดยกำหนดอัตราส่วนของกรดอินทรีย์:โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็น 1.03:0.77 และอัตราส่วนกรดซิตริก:กรดทาร์ทาริก (C:T) เป็น 1:0 และ 2:1 ตามผลการทดลองข้อ 2.1 ปริมาณเอนไซม์และสารอื่นๆ ตามผลการทดลองข้อ 2.2 จากนั้นปรับน้ำหนักเป็น 3 g ด้วยมอลโตเด็คซ์ทริน รวมจำนวน 8 สูตร (Table 42) พบว่าปริมาณ Effervescent base ที่เพิ่มขึ้นจะให้ลักษณะการเกิดสภาวะฟองฟูที่รุนแรงและหนาแน่นมากขึ้นตามลำดับ (Figure 48) แต่ระยะเวลาในการเกิดสภาวะฟองฟูจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณ Effervescent based เป็น 70 และ 80 % อีกทั้งช่วยให้การละลายของส่วนผสมต่างๆ ดีขึ้น (ระดับ 4)

Table 42 Results of the effervescent effect by varied 50-80% of the effervescent based with the acid -sodium bicarbonate ratio as 1.03:0.77

Acid ratio (Citric acid : Tartaric acid)	Total effervescent based %(w/w)	Effervescent time (sec)	pH	Solubility score
1:0	50	131.5±9.04 bc	4.83	3
	60	129.5±11.12 bc	4.82	4
	70	126.0±7.39 bc	4.63	4
	80	96.3±5.12 a	4.55	4
2:1	50	141.8±10.72 c	4.26	3

	60	119.3±13.38 b	4.37	4
	70	97.3±23.20 a	4.47	4
	80	85.3±16.82 a	4.53	4

In a column, means followed by different letter are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT



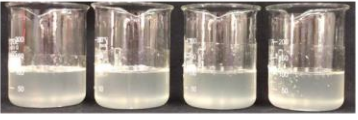

State	Citric acid : Tartaric acid 2:1 (w/w)				Citric acid : Tartaric acid 1:0 (w/w)			
Carbonation effect								
After carbonation effect								
Effervescent base	50%	60%	70%	80%	50%	60%	70%	80%

Figure 48 Appearance of an effervescent effect on the amount of effervescent base

แต่ปริมาณ Effervercent base ที่ 50% ไม่เพียงพอที่จะทำให้ส่วนผสมต่างๆ ละลายได้หมด (ระดับ 3) และเนื่องจาก Effervercent base 80% ให้สภาวะการเกิดฟองฟูที่หนาแน่นเกินไป อาจส่งผลให้ล้นออกจากภาชนะได้เมื่อนำไปใช้ ดังนั้นจึงเลือกปริมาณส่วนผสมสารก่อสภาวะฟองฟูที่ 70% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ เป็นปริมาณที่เหมาะสมเมื่อส่วนผสมรวมทั้งหมดเท่ากับ 3 g ซึ่งสูตรของส่วนผสมสารก่อสภาวะฟองฟูที่มีอัตราส่วนของ C:T 1:0 ประกอบด้วยกรดซิตริก 1.20 g และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g และสูตรที่มีอัตราส่วน C:T 2:1 ประกอบด้วยกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.80 0.4 และ 0.9 g ตามลำดับ

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค

ทำสอบโดยใช้สูตรส่วนผสมสารก่อสภาวะฟองฟูที่มีอัตราส่วน C:T เท่ากับ 1:0 (กรดซิตริก 1.20 g และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g) และสูตรที่มีอัตราส่วน C:T เท่ากับ 2:1 (กรดซิตริก 0.80 g กรดทาร์ทาริก 0.4 g และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.9 g) โดยทั้งสองสูตรมีเอนไซม์บรอมีเลนผง 0.2 g พีวีพี 0.15 g และสารลดการก่อโฟม 0.036 g แล้วเติมซูคราโลสเป็นสารให้ความหวาน (มีความหวานกว่าน้ำตาลซูโครส 600 เท่า) ปริมาณ 0.007 g ซึ่งเป็นปริมาณมากที่สุดที่ไม่เกินข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 418) ปี 2563 (ไม่เกิน 2400 mg/Kg ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร) พบว่ายังให้ความหวานไม่เพียงพอต่อการยอมรับของผู้บริโภค จึงเติมไซลิทอลซึ่งเป็นสารให้ความหวานอีกชนิดหนึ่งอีก 0.8 g ทำให้มีความหวานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเติมสารให้กลิ่นรสประเภทการค้ำเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ดีขึ้น จึงได้สูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมจำนวน 2 สูตร (Table 43) มีปริมาณ 3.41 g ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

Table 43 The suitable formula for effervescent granules production

Component	Recipe 1		Recipe 2	
	Ratio (%)	Quantity per serving 3.41g (g)	Ratio (%)	Quantity per serving 3.41g (g)
Citric	23.4	0.800	35.2	1.200
Tartaric	11.7	0.400	11.7	0.400
Sodium bicarbonate	26.4	0.900	26.4	0.900

Enzyme	5.9	0.200	5.9	0.200
PVP	4.4	0.150	4.4	0.150
Antifoam	1.1	0.036	1.1	0.036
Sucralose	0.2	0.007	0.2	0.007
Xylital	23.4	0.800	23.4	0.800
Flavor	3.5	0.120	3.5	0.120

จากนั้นนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค 30 คน ด้วยวิธี hedonic scale (7 ระดับ) ที่ช่วงอายุ 21-54 โดยเติมลงในน้ำ 100 ml แล้วให้ผู้บริโภคสังเกตลักษณะปรากฏของเครื่องดื่มแบบฟองฟู และทดสอบชิมรสชาติหลังพองในสารละลายยุบตัว พบว่าสูตรที่ 1 มีคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะที่ปรากฏ สี รสชาติ กลิ่น และความชอบโดยรวม เป็น 5.8 5.48 5.67 5.89 และ 5.93 ตามลำดับ และสูตรที่ 2 มีคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะที่ปรากฏ สี รสชาติ กลิ่น และความชอบโดยรวม เป็น 5.04 5.19 5.78 5.33 และ 5.74 ตามลำดับ โดยคะแนนด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมทั้งสองสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สูตรที่ 1 มีคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะที่ปรากฏ และกลิ่นรส (flavor) ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าคะแนนความชอบโดยรวมไม่ต่างกันแต่สูตรที่มีส่วนผสมของกรดทาร์ทาริกอาจส่งเสริมให้มีกลิ่นรสที่ดีกว่า

4. การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แบบกรานูล

เนื่องจากสูตรที่ 1 ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนใน Table 43 มีคะแนนความชอบมากกว่าสูตรที่ 2 จึงได้เลือกเตรียมผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในรูปกรานูลฟองฟู โดยเลือกใช้วิธีการเตรียมกรานูลแห้ง (dry granulation) และประยุกต์ใช้วิธีการอัดด้วยเครื่องอัดระบบแรงดันลมแทนการตอกเม็ดหรืออัด slug ด้วยคอมแพคเตอร์ (Rakte, 2014) เมื่อนำผลิตภัณฑ์แบบผงกรานูล (Figure 46b) และแบบผงผสมที่ไม่ผ่านกระบวนการทำกรานูลไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ จะได้ผลดังแสดงใน Table 44 โดยผงกรานูลที่ผลิตได้มี Compressibility Index เป็น 11.14 ± 1.40 ซึ่งอยู่ในช่วงสมบัติการไหลของผงยาที่ดี (Good = 11-15) ส่วนผงผสมมี Compressibility Index เป็น 21.25 ± 3.31 อยู่ในช่วงสมบัติการไหลของผงยาแบบพอใช้ได้ (Passable = 21-25) แสดงให้เห็นว่าสูตรผลิตภัณฑ์นี้สามารถผลิตให้อยู่ในรูปแบบกรานูลฟองฟูได้จริงภายใต้กระบวนการทำกรานูลแห้งดังกล่าว โดยมีระยะเวลาในการเกิดสภาวะฟองฟูไม่แตกต่างไปจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญและยังคงกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนไว้ได้ถึง 87.9% (คำนวณจากร้อยละของค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนผงกรานูลต่อผงผสม) ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟูยังคงก่อให้เกิดกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนได้ดี เป็นผลให้สามารถคงกิจกรรมการย่อยในระบบทางเดินอาหารได้เช่นกัน (Hale, 2004)

Table 44 Properties of effervescent product form.

Product Form	Bulk density g/cm^3	Tapped density g/cm^3	Compressibility Index	Flow characters	Bromelain activity (CDU/mg)	Effervescent time (sec)
Mixing powder	0.61 ± 0.01	0.77 ± 0.03	21.25 ± 3.31	Passable	$21.91 \pm 1.58a$	102.75 ± 10.53
Granule powder	0.43 ± 0.00	0.48 ± 0.01	11.14 ± 1.40	Good	$19.06 \pm 0.26b$	94.00 ± 5.48

Means within same column followed by different letter are significantly different ($p < 0.05$) by t-test

4. ต้นทุนการผลิต

- ต้นทุนการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนผง เท่ากับ 75.21 บาท/g โดยไม่คิดค่าพลังงาน
- ต้นทุนการผลิตจากสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด เท่ากับ 15.96 บาท/โดส

การทดลองที่ 2.2 การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลนวด

1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก

การสกัดสารแคปไซซินจากพริกทำได้โดยอบพริกสดที่อุณหภูมิ 70 °C 24 ชม. จากนั้นสกัดพริกด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 1:5 จะได้สารสกัดแคปไซซินในรูปของเหลวชั้นหนืดที่เรียกว่าโอเรโอเรซิน (oleoresin) (Figure 49) มี %yield 13.85 % มีปริมาณสารแคปไซซิน 2213.54 mg/g สารฟีนอลิกทั้งหมด 1964.56 (mg gallic acid/g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH %) SC_{50} 41.29



Figure 49 Capsaicin extracts (crude extract) from Chilis

เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดแคปไซซินของ Gudeva *et. al.* (2013) ที่สกัดแคปไซซินจากพริกโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล 96% (v/v) พบว่าสารสกัดที่ได้มีความเข้มข้นของสารแคปไซซิน 12.712 mg/ml ซึ่งน้อยกว่าสารสกัดแคปไซซินที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เนื่องจากพริกที่ใช้ในการสกัด ซึ่งพริกแต่ละชนิดจะมีปริมาณสารแคปไซซินแตกต่างกัน

2. การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลนวด

ศึกษาการผลิตเจลนวดแคปไซซินจำนวน 3 สูตรโดยเติมสารสกัดแคปไซซินจากพริกปริมาณแตกต่างกัน ได้แก่ 1.0 1.5 และ 2.0 % ในสูตรเบสเจล ซึ่งมีส่วนผสม ดังนี้ คาร์โบพอล 5% ไตรเอทานอลามีน 3.5% กลีเซอริน 6% และน้ำสะอาด ได้ผลิตภัณฑ์เจลนวดที่มีลักษณะเป็นเจลใสสีส้ม (Figure 50) เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารแคปไซซินในเจลนวดทั้งสามสูตร พบว่าสูตรที่นำไปศึกษาต่อ คือ เจลนวดแคปไซซินที่เติมสารสกัดแคปไซซินปริมาณ 1.5% เนื่องจากมีปริมาณสารแคปไซซิน 0.123% ต่อน้ำหนักตัวอย่าง ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีปริมาณสารแคปไซซิน 0.0125% ส่วนเจลนวดสูตรที่เติมสารสกัดแคปไซซิน 1.0 และ 2.0% มีปริมาณแคปไซซิน 0.0086 และ 0.0182% ต่อน้ำหนักตัวอย่าง

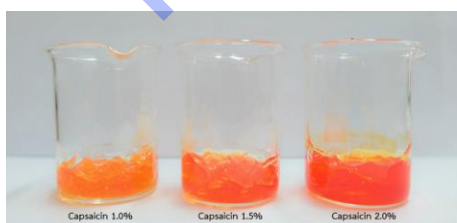


Figure 50 Capsaicin massage gel with capsaicin extracts 1.0 %, 1.5 % and 2.0 %

โดยผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินที่เติมสารสกัดแคปไซซินปริมาณ 1.5% มีสารฟีนอลิกทั้งหมด 2.83 (mg gallic acid/g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH %) SC_{50} เท่ากับ 0.11 ± 4.34 mg/ml คิดเป็น 0.001 เท่าของวิตามินซี ซึ่งมีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.01 ± 0.00 มีค่า pH 6.9 และมีความข้นหนืดเท่ากับ 248 g เมื่อทำการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เจลนวดโดยวิธี Freeze and thaw cycle พบว่าผลิตภัณฑ์มีความคงตัวไม่เกิดการแยกชั้น

3. การทดสอบความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน

การทดสอบความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนังมนุษย์ (Table 45) พบว่าผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซินความเข้มข้น 0.001-1 mg/ml ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนังของมนุษย์ โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตอยู่ระหว่าง 95.07-101.13% ในขณะที่ความเข้มข้น 10 mg/ml เป็นพิษต่อเซลล์ โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตอยู่ระหว่าง 55.30±0.57% ส่วน Sodium lauryl sulfate เป็นพิษต่อเซลล์ที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 1 mg/ml โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเท่ากับ 21.15±0.80 และ 19.61±1.32%

Table 45 Cytotoxicity test on dermal fibroblast of capsaicin massage gel

Sample	Cell viability (%)						
	Concentration (mg/ml)	0.0001	0.001	0.01	0.1	1.0	10
Capsaicin massage gel		ND	101.13±1.32	99.59±3.74	99.93±3.98	95.07±5.72	55.3±0.57
Sodium lauryl sulfate		103.99±1.57	101.79±2.75	97.05±2.45	21.15±0.80	19.61±1.32	ND

4. การทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัครของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน

ผลการทดสอบการก่อการระคายเคืองของผลิตภัณฑ์เจลนวดแคปไซซิน (Figure 51) พบว่าอาสาสมัครจำนวน 11 คน (74%) ไม่พบการระคายเคืองที่ผิวหนังบริเวณที่ทาเจลนวดแคปไซซิน ขณะที่ผิวหนังของอาสาสมัครจำนวน 4 คน (26%) ที่ทาเจลนวดแคปไซซินเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชม. มีอาการบวมและแดงเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า แต่อาการเหล่านี้หายไปเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชม. (Figure 52) ส่วนผิวหนังบริเวณที่ทา 20% sodium lauryl sulfate มีความแดงและเกิดรอยเหี่ยวย่น ในขณะที่ผิวหนังบริเวณที่ไม่ได้ทาสารใดไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาทดสอบ (ชม.ที่ 4, 24, 48 และ 72)



Figure 51 Skin irritation test of capsaicin massage gel on skin of volunteers.



Figure 52 Skin characteristic of 1 volunteer after applied capsaicin massage gel for 2 hours

เมื่อวัดความแดงของผิวด้วยหัววัด Mexameter ของผิวหนังอาสาสมัคร (Table 46) พบว่าค่าเฉลี่ยความแดงของผิวอาสาสมัครหลังทาเจลนวดแคปไซซินตลอดระยะเวลาทดสอบ (ชม.ที่ 4, 24, 48 และ 72) ไม่แตกต่างกับก่อนทาตัวอย่างทดสอบ ในขณะที่ผิวอาสาสมัครที่ทา 20% sodium lauryl sulfate มีค่าเฉลี่ยความแดง

เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังทานาน 4 ชม. เมื่อเทียบกับก่อนทาตัวอย่าง ดังนั้นเจลขนาดแคปไซซินไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัครส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามเจลขนาดแคปไซซินอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองในอาสาสมัครบางคน เช่น บวม แดงและคัน ได้

Table 46 Erythema index of 15 volunteers after applied capsaicin massage gel, 20% Sodiumlauryl sulfate and control (no sample) for 4, 24, 48 and 72 hours

sample	Erythema index				
	0 hour	4 hours	24 hours	48 hours	72 hours
Capsaicin massage gel	164.21±39.05	227.88±47.36	169.08±30.72	162.21±27.85	164.63±33.07
20% Sodium lauryl sulfate	163.75±32.45	239.13±37.33	172.50±40.89	172.42±24.53	167.75±26.70
control	167.17±45.18	165.75±40.21	168.50±56.78	164.25±52.22	165.29±47.93

5. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เจลขนาดแคปไซซิน (ไม่รวมค่าอุปกรณ์ เครื่องมือ และพลังงาน)

ต้นทุนการผลิตสารสกัดแคปไซซิน ปริมาณ เท่ากับ 8.75 บาท/1.5 g

ต้นทุนการผลิตเจลขนาดแคปไซซิน เท่ากับ 18.88 บาท/100 g ถูกกว่าผลิตภัณฑ์เจลสารสกัดพริกทางการค้า ที่มีราคาประมาณ 150 บาท/100 g

การทดลองที่ 2.3 การผลิตสีผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท

1. การศึกษาชนิดสารก่อโฟมที่เหมาะสมในการผลิตสีผง

การตรวจคุณภาพของโฟมสีดอกอัญชันโดยใช้สารก่อโฟมที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้ผลดัง (Table 47) พบว่า โฟมจากสารก่อโฟม methocel มีความคงตัว (ปริมาณของเหลวที่แยกตัวออกจากโฟมเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชม.) ดีที่สุด คือมีค่าความคงตัวต่ำที่สุด 1.70 ml แสดงว่าโฟมจาก methocel มีความคงตัวมากกว่าโฟมจากโซเดียมซัลเฟตและโฟมจาก GMS นั่นคือ methocel สามารถช่วยกักเก็บอากาศไว้ได้นานทำให้โฟมไม่ยุบตัวเร็ว (Figure 53) โฟมจากโซเดียมซัลเฟตมีความหนาแน่นน้อยที่สุดและมีการขึ้นฟูมากที่สุด แต่มีความคงตัวน้อยกว่าโฟมจาก methocel แสดงว่าโฟมจากโซเดียมซัลเฟตสามารถกักเก็บอากาศไว้ได้มากที่สุดแต่จะยุบตัวเร็วกว่าโฟมจาก methocel สำหรับโฟมจาก GMS มีค่าความคงตัวสูง (13.34 ml) และมีการขึ้นฟูต่ำกว่าโฟมจาก methocel และโฟมจากโซเดียมซัลเฟต แสดงว่าโฟมจาก GMS สามารถกักเก็บอากาศได้น้อยและไม่นาน ทำให้โฟมไม่คงตัวและยุบตัวเร็ว โดยค่าความหนาแน่นและปริมาณการแยกตัวของของเหลวของโฟม (ค่าความคงตัว) มีความสัมพันธ์กัน คือโฟมที่มีความหนาแน่นน้อยมีปริมาณการแยกตัวของของเหลวต่ำ แสดงว่าโฟมนั้นมีความคงตัวสูง ดังนั้นจากข้อมูลคุณภาพของโฟมสีดอกอัญชัน โฟมจาก methocel เป็นโฟมที่มีความคงตัวดีที่สุด เนื่องจาก methocel เป็นกัมมีคุณสมบัติเป็นเจลทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว ช่วยในการยึดเกาะและทำให้มีล้นชั้นคงตัว เป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้เกิดโฟมและความคงตัวในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำแห้งแบบโฟมเมท (Sharma and Gujral, 2011) เมื่อนำโฟมจากสารก่อโฟม 3 ชนิด อบที่ 70 °C 3 ชม.พบว่า โฟมจาก methocel มีความคงตัวดี ไม่ยุบ โฟมแห้งภายในเวลา 3 ชม. โฟมจากโซเดียมซัลเฟตแห้งภายใน 3 ชม. แต่เกิดการยุบตัวระหว่างอบแห้งในขณะที่โฟมจาก GMS เกิดการยุบตัวเป็นน้ำ และต้องใช้เวลาอบนานกว่า 3 ชม. (Figure 53) และการเก็บตัวอย่างโฟมสีดอกอัญชันจากสารก่อโฟม GMS ทำได้ยากกว่าโฟมสีจากสารก่อโฟม methocel และโซเดียมซัลเฟต จากการตรวจคุณภาพของสีผง พบว่าสี

ผงจากสารก่อโฟม GMS มีสีเข้มที่สุด โดยมีค่าสี L* ต่ำกว่าสีผงจากสารก่อโฟมไข่ขาวผงและ methocel ความชื้นของสีผงจากสารก่อโฟม GMS มีค่าสูงสุดแต่ไม่เกิน 5.0% ซึ่งโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ผง เช่น นมผง (กระทรวงสาธารณสุข, 2556) กาแฟสำเร็จรูป (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) กำหนดให้มีความชื้นไม่เกิน 5.0% การละลายของสีผงจากสารก่อโฟม GMS มีค่ามากที่สุด แสดงว่าสีผงจากสารก่อโฟม GMS ละลายน้ำได้ดี สีผงจากสารก่อโฟม 3 ชนิด มีค่าผลผลิตใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 15.33-16.41% สีผงจากสารก่อโฟม methocel ปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสีผงจากสารก่อโฟมไข่ขาวและ GMS

Table 47 Quality of butterfly pea foam and butterfly pea powder at different foaming agent

Quality	Type of foaming agent		
	methocel	egg albumin	GMS
Butterfly pea foam			
foam stability (ml)	1.70	4.35	13.34
foam density (g/ml)	0.16	0.11	0.23
foam overrun (%)	561.06	844.43	365.80
Butterfly pea powder			
color L*	43.28	40.04	39.42
a*	15.02	12.88	13.13
b*	-1.07	-1.57	-0.52
moisture content (%)	3.83	3.71	4.50
water activity	0.20	0.17	0.21
water solubility (%)	80.16	79.27	91.96
yield (%)	15.89	15.33	16.41
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g)	18.22 a	17.69 a	16.90 a

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



Figure 53 Appearance of butterfly pea foam and powder at different foaming agent

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งโพลีดอกอัญชัน

การตรวจคุณภาพของสีผงที่ทำแห้งด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน ได้ผลดัง Table 48 พบว่า สีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 °C 3 ชม. มีความชื้นน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ทำแห้งที่ 70 °C 2 ชม. และ 60 °C 3 ชม. สีผงที่ทำแห้งด้วยสภาวะทั้ง 4 สภาวะ มีค่าสีใกล้เคียงกัน ค่าสี L* อยู่ในช่วง 43.24 ถึง 44.18 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 15.36 ถึง 15.47 และค่าสี b* อยู่ในช่วง -1.54 ถึง -1.42 สีผงที่ทำแห้งที่ 70 °C 3 ชม. มีค่าการละลายมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 °C 2 ชม. และสีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 2 และ 3 ชม.

Table 48 Quality of butterfly pea powder in different drying condition

Qualities	Drying temperature (°C)			
	60 °C 2 h	60 °C 3h	70 °C 2 h	70 °C 3h
moisture (%)	6.09b	5.60ab	5.16ab	4.50a
water activity	0.245	0.234	0.227	0.227
color value L*	43.24	43.78	44.18	44.14
a*	15.47	15.42	15.36	15.36
b*	-1.53	-1.54	-1.47	-1.42
water soluble (%)	84.16a	80.71a	84.53a	85.95a
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g)	16.18a	16.28a	14.40a	14.33a

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

สีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C 3 ชม. มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C 2 ชม. และ 70 °C ระยะเวลา 2 และ 3 ชม. จากข้อมูลคุณภาพของสีผงจึงเลือกอุณหภูมิ 70 °C เวลา 3 ชม. เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งสีผงแบบโพลีเมท เนื่องจากสีผงจากการทำแห้งที่สภาวะนี้มีความชื้นต่ำกว่า 5%

3. การศึกษาอายุการเก็บรักษาสีผงจากดอกอัญชัน

สีผงจากดอกอัญชันที่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน มีลักษณะเป็นผงสีชมพู (Figure 54) การตรวจคุณภาพของสีผงระหว่างการเก็บรักษา ได้ผลดัง Table 49

Table 49 Quality of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 4 months

Qualities	Shelf life (month)					Reference standard*
	0	1	2	3	4	
color value L*	42.11	42.19	42.53	42.18	42.55	
a*	15.90	15.72	15.39	15.88	15.84	
b*	-1.45	-1.48	-1.66	-1.51	-2.16	
ΔE	0.00	0.20	0.69	0.10	0.84	
moisture content (%)	4.50 a	4.63 a	4.68 a	4.69 a	4.72 a	
water activity	0.239	0.240	0.245	0.263	0.268	
water solubility (%)	86.92 a	86.49 a	85.64 a	84.56 a	84.11 a	
anthocyanin content	19.37 a	18.21 ab	16.49 bc	15.09 c	14.28 c	

(mg cyanidin-3-glucoside/100 g)

arsenic (mg/kg)	ND	-	-	-	-	<2.0
lead (mg/kg)	0.05	-	-	-	-	<1.0
mercury (mg/kg)	0.01	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> spp. (per 25 g)	ND	-	ND	-	ND	ND
<i>Clostridium perfringen</i> (per 0.01 g)	ND	-	ND	-	ND	ND
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	<3.0	-	<3.0	-	<3.0	<3.0
<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	<10	-	<10	-	<10	<100

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

ND = Not Detected

* Quality and standards on color extraction from plant or animal



Figure 54 Appearance of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 4 months

พบว่า เมื่อเก็บรักษาสีผง 4 เดือน สีผงไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านสี โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของสี โดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (ΔE) ถ้า ΔE มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 2.3 ถือว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (Sharma, 2003) สีผงที่อายุการเก็บรักษา 1 2 3 และ 4 เดือน มีค่า ΔE น้อยกว่า 2.3 แสดงว่ามีค่าสีไม่แตกต่างจากเริ่มต้น (0 เดือน) เมื่อเก็บรักษาสีผงเป็นเวลานานขึ้น ค่าความชื้นของสีผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกับความชื้นของสีผงเริ่มต้น ค่า a_w ของสีผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความชื้น สีผงที่เก็บรักษา 4 เดือน มีค่าการละลายลดลงแต่ไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น ปริมาณแอนโทไซยานินของสีผงมีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อเก็บรักษาสีผง 2 เดือน สีผงมีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงแตกต่างกับสีผงเริ่มต้น ปริมาณสารปนเปื้อนและคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงตลอดอายุการเก็บรักษา 4 เดือน อยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานสำหรับสารสกัดให้สีจากส่วนของพืชหรือสัตว์ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, ม.ป.ป.)

4. การประยุกต์ใช้สีผงจากดอกอัญชันในผลิตภัณฑ์ซอร์เบต

4.1 การประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์อาหาร เตรียมผลิตภัณฑ์ซอร์เบตโดยใช้สูตรจากการผลิตน้ำอัญชันพร้อมดื่มมีส่วนผสมประกอบด้วย น้ำ 81.5% น้ำตาล 16% และสีผง 2.5% จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคให้ข้อเสนอแนะว่ามีรสขชาติเปรี้ยวนำ ควรเพิ่มรสหวาน จึงทำการปรับสูตรโดยการเพิ่มปริมาณน้ำตาลอยู่ในช่วง 17-20% w/w หลังจากการปรับสูตรและตรวจสอบคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่ได้มีสีชมพูอมม่วง (Figure 55) ได้ผลดัง Table 50 พบว่า เมื่อใส่น้ำตาลปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น

Table 50 Quality of butterfly pea sorbet at different amounts of sugar (16-20%)

Qualities	Amounts of Sugar (%)				
	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
total soluble solid (°B)	18.17 a	19.27 b	20.40 c	22.30 d	23.23 e
pH	2.71	2.75	2.67	2.67	2.63
color value L*	26.82	26.87	26.46	25.58	26.08

a*	10.84	9.87	10.56	10.92	8.61
b*	-5.10	-4.89	-5.02	-5.23	-4.52
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g)	0.47 a	0.50 a	0.50 a	0.49 a	0.49 a

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

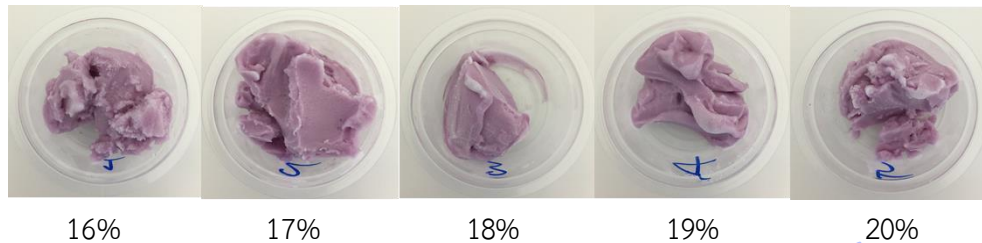


Figure 55 Appearance of butterfly pea sorbet in difference amounts of sugar (16-20%)

ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 2.63 ถึง 2.75 ค่าสีของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าสี L* อยู่ในช่วง 25.58 ถึง 26.87 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 8.61 ถึง 10.92 และ ค่าสี b* อยู่ในช่วง -5.23 ถึง -4.52 ปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.47 ถึง 0.50

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซอร์เบต (Table 51) พบว่า ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตทั้ง 5 สูตร (ปริมาณน้ำตาล 16 17 18 19 และ 20%) มีคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่ใส่น้ำตาล 19% มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ มากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่ใส่น้ำตาล 20% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่ใส่น้ำตาล 20% มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่ใส่น้ำตาล 19% จากข้อมูลด้านคุณภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซอร์เบต จึงเลือกผลิตภัณฑ์ซอร์เบตสูตรที่ใส่น้ำตาล 19% สำหรับศึกษาอายุการเก็บรักษา

Table 51 Sensory evaluation of butterfly pea sorbet at different amounts of sugar (16-20%)

Amounts of Sugar (%)	Sensory evaluation					
	appearance	color	flavor	taste	texture	overall
16%	5.84 b	6.12 a	4.80 ab	4.36 b	4.96 c	4.72 b
17%	5.80 b	6.16 a	4.52 b	5.24 a	5.64 b	5.36 a
18%	5.84 b	6.16 a	4.88 ab	5.24 a	5.76 b	5.48 a
19%	6.20 a	6.16 a	5.04 a	5.44 a	5.92 ab	5.64 a
20%	6.04 ab	6.12 a	4.92 ab	5.40 a	6.24 a	5.84 a

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

4.2 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตระยะเวลา 4 สัปดาห์ (Figure 56) โดยเก็บที่อุณหภูมิ -20 °C ได้ผลดัง Table 52 พบว่า ค่าสีของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาจากค่า ΔE ของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่อายุการเก็บรักษา 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ มีค่า ΔE น้อยกว่า 2.3 แสดงว่าสีของผลิตภัณฑ์ซอร์เบต ไม่แตกต่างกับเริ่มต้น (0 สัปดาห์) ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่อายุการเก็บรักษา 0 ถึง 4 สัปดาห์มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 2.63 ถึง 2.84 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 23.96 ถึง 24.61 ปริมาณแอนโทไซยานินของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตไม่เปลี่ยนแปลงมีค่าอยู่ในช่วง 0.54 ถึง 0.55 mg cyanidin-3-glucoside/100g คุณภาพด้านจุลินทรีย์ตลอดอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

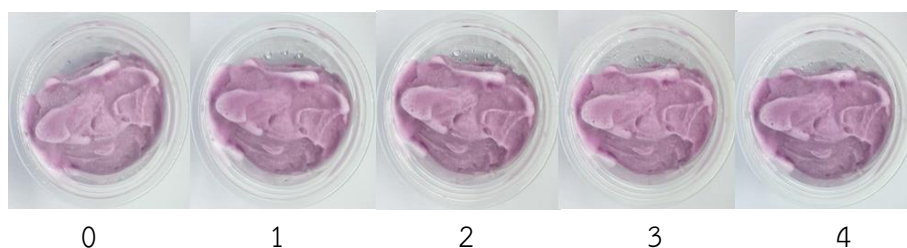


Figure 56 Appearance of butterfly pea sorbet was kept at -20 °C for 4 weeks

Table 52 Quality of butterfly pea sorbet was kept at -20 °C for 4 weeks

Qualities	Shelf life (week)					Reference standard
	0	1	2	3	4	
color value L*	25.35	24.76	25.00	24.89	25.05	
a*	5.93	6.28	6.27	6.08	5.80	
b*	-4.15	-4.08	-4.09	-4.00	-3.99	
ΔE	0.00	0.69	0.49	0.51	0.36	
pH	2.63	2.71	2.75	2.73	2.84	
total soluble solid (°B)	24.61	23.96	24.08	24.59	24.19	
anthocyanin content (mg cyanidin-3-glucoside/100 g)	0.55 a	0.55 a	0.55 a	0.54 a	0.55 a	
Total Plate Count (CFU/g)	<10	25	<10	80	65	-
<i>Bacillus cereus</i> (CFU/g)	<10	<10	<10	<10	<10	<100**
<i>Escherichia coli</i> (per 0.01g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND*
<i>Listeria monocytogenes</i> (per 25g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND**
<i>Staphylococcus aureus</i> (per 0.1g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND**
<i>Salmonella</i> spp. (per 25g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND**

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

ND = Not Detected

* Notification of the Ministry of Public Health (No.354) B.E.2556

** Notification of the Ministry of Public Health (No.364) B.E.2556

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่อายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ (Table 53) พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตมีคะแนนความชอบทุกด้าน ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น โดยมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 5.90-6.10 ด้านสีอยู่ในช่วง 5.90-6.20 ด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 5.00-5.30 รสชาติอยู่ในช่วง 5.75-6.00 เนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.80-5.95 และด้านความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.80-6.10 โดยทุกด้านมีคะแนนไม่ต่ำกว่า 5.00 ซึ่งเป็นระดับชอบเล็กน้อย และผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ซอร์เบต (Table 54) พบว่า ผลิตภัณฑ์ซอร์เบต 100g พลังงาน 88.64 kcal ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตไม่มีไขมันและคลอเลสเตอรอล เมื่อกำหนดคุณค่าทางโภชนาการต่อ 1 หน่วยบริโภค 80 g จะได้รับพลังงานทั้งหมด 70 kcal

Table 53 Sensory evaluation of butterfly pea sorbet was kept at -20 °C for 4 weeks

Shelf life (week)	Sensory evaluation					
	appearance	color	flavor	taste	texture	overall
0	6.15 a	6.20 a	5.15 a	5.80 a	5.95 a	5.80 a
1	5.90 a	5.90 a	5.00 a	5.75 a	5.90 a	5.80 a
2	6.10 a	6.00 a	5.30 a	6.00 a	5.90 a	6.00 a
3	6.05 a	6.15 a	5.20 a	5.90 a	5.80 a	6.10 a
4	6.10 a	6.00 a	5.25 a	6.00 a	5.80 a	6.10 a

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

Table 54 Nutrition information of butterfly pea sorbet per 100 g sample

Items	Unit	Result
Total Energy	kcal/100g	88.64
Energy from fat	kcal/100g	0.00
Total Fat	g/100g	0.00
Total saturated fatty acid	g/100g	Not Detected
Cholesterol	mg/100g	Not Detected
Protein (N x 6.25)	g/100g	0.27
Total Carbohydrate	g/100g	21.71
Total Dietary Fiber	g/100g	0.18
Moisture	g/100g	77.78
Ash	g/100g	0.06
Total sugar	g/100g	20.0
Sodium	mg/100g	6.41
Calcium	mg/100g	6.47
Iron	mg/100g	0.24
Total Vitamin A	ug/100g	Not Detected
Vitamin B1	mg/100g	Not Detected
Vitamin B2	mg/100g	<0.04

สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 2 มีข้อสรุปจากผลการวิจัยทั้ง 3 การทดลอง ดังนี้

1. การผลิตผลิตภัณฑ์ช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟู

การผสมกรดอินทรีย์และโซเดียมไบคาร์บอเนตในสูตรจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาบอนเนชันเมื่อเจอน้ำ โดยจะก่อให้เกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นสภาวะแบบฟองฟูและจะค่อยๆ ลดลงจนเป็นสารละลายไม่มีตะกอนหรือมีตะกอนเล็กน้อย ซึ่งอัตราส่วนกรดอินทรีย์กับโซเดียมไบคาร์บอเนตของส่วนผสมพื้นฐานสำหรับก่อสภาวะ

ฟองฟู (effervercent base) คือ 1.03:0.77 มีอัตราส่วนกรดซิตริก:กรดทาร์ทาริก (C:T) เท่ากับ 1:0 และ 2:1 เป็นสถานะเริ่มต้นที่เหมาะสม ปริมาณเอนไซม์บรอมีเลนผงที่เหมาะสมคือ 0.2 g เนื่องจากเป็นปริมาณมากพอที่เติมลงไป ในสูตรแล้วสามารถละลายหมดเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ผลการศึกษาปริมาณ effervercent based พบว่าที่ 70% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (3 g) ที่อัตราส่วน C:T 1:0 (กรดซิตริก 1.20 g) และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g และสูตรที่มีอัตราส่วน C:T 2:1 (กรดซิตริก 0.80 g กรดทาร์ทาริก 0.40 g) และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.9 g เป็นปริมาณที่เหมาะสม โดยก่อให้เกิดสถานะฟองฟูที่รุนแรงและสิ้นสุดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ช่วยให้สารต่างๆ ละลายได้ดี ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยใช้สารให้ความหวานซูคราโลสร่วมกับโซลิตอลและใส่สารให้กลิ่นรสเปรี้ยว จะได้สูตรที่มีคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคสูง คือ กรดซิตริก 0.80 g กรดทาร์ทาริก 0.40 g โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g เอนไซม์บรอมีเลนผง 0.20 g พีวีพี 0.15 g สารลดการก่อโฟม 0.036 g ซูคราโลส 0.007 g โซลิตอล 0.800 g และสารให้กลิ่นรสเปรี้ยว 0.120 g ซึ่งมีน้ำหนักรวม 3.41 g ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค สามารถผลิตเป็นกรานูลด้วยวิธีการทำกรานูลแห้งโดยการอัดผงผสมให้เป็นแผ่นแข็งและบดให้ได้ผลิตภัณฑ์กรานูล ซึ่งมีสมบัติการไหลของผงยาในระดับดี (Compressibility Index 11.14 ± 1.40) และยังคงค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนไว้ได้ 87.9% สามารถละลายในน้ำ 100 mL ได้ดี เกิดสถานะฟองฟูและสิ้นสุดได้รวดเร็วในเวลา 94 sec และให้รสชาติหวานอมเปรี้ยว และมีกลิ่นรสเปรี้ยว

2. การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลลวด

การสกัดสารแคปไซซินจากพริกพันธุ์ซูปเปอร์ฮอตด้วยเอทานอล 95% ที่อัตราส่วน 1:5 จะได้สารสกัดแคปไซซินที่มีปริมาณผลผลิต 13.85% มีปริมาณสารแคปไซซิน 2,213.54 mg/g สารฟีนอลิกทั้งหมด 1,964.56 (mg gallic acid/g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH %) SC_{50} เท่ากับ 41.29 เมื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจลลวดแคปไซซิน โดยเติมสารสกัดแคปไซซินปริมาณ 1.5 % พบว่าผลิตภัณฑ์เจลลวดแคปไซซินมีปริมาณสารแคปไซซิน 0.0123 (% ต่อน้ำหนักตัวอย่าง) สารฟีนอลิกทั้งหมด 2.83 (mg gallic acid/g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH %) SC_{50} เท่ากับ 0.11 ± 4.34 mg/ml คิดเป็น 0.001 เท่าของวิตามินซี การทดสอบความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์เจลลวดแคปไซซินต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนังมนุษย์ พบว่าผลิตภัณฑ์เจลลวดแคปไซซิน ความเข้มข้น 0.001-1 mg/ml ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนังของมนุษย์ ในขณะที่ความเข้มข้น 10 mg/ml เป็นพิษต่อเซลล์ การทดสอบการก่อการระคายเคืองของผลิตภัณฑ์เจลลวดแคปไซซินพบว่าเจลลวดแคปไซซินไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัครส่วนใหญ่

3. การผลิตสีผงจากดอกอัญชันโดยวิธีการทำแห้งแบบโม่แม่

ขั้นตอนการผลิตคือ ทำการสกัดดอกอัญชันแห้งด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วนดอกอัญชันแห้งต่อสารละลายกรดซิตริกเป็น 1:50 (w/v) ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 30 นาที นำสารสกัดที่ได้ระเหยน้ำออกเพื่อให้สารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 8 °B ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมสารก่อโฟมปริมาณ 2.5% ตีให้เกิดโฟมเป็นเวลา 15 นาที ใส่ถุงบีบให้เป็นเส้นขนาดกว้าง 0.5-0.7 cm. ยาว 34-36 cm. ลงบนถาด นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 ชม. ได้สีผงเป็นสีชมพู และมีรสเปรี้ยว การเก็บรักษาสีผงระยะเวลา 4 เดือน มีคุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์ซอร์เบตมีสูตรที่เหมาะสมคือ น้ำ 78.5% น้ำตาล 19% และสีผง 2.5% ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานิน 19.37 mg cyanindin-3-glucoside/100 g และเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ซอร์เบตที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ซอร์เบตมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยในแผนงานย่อย “วิจัยและพัฒนาสารสกัดจากสารธรรมชาติ” 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 เมื่อนำไปทำผงและบรรจุในแคปซูลเจลาตินแบบใส เจลาตินแบบขุ่น และแคปซูลเซลลูโลส ปริมาณ 500 mg/แคปซูล เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพ สามารถเก็บได้ 180 วัน ต้นทุนการผลิตสาร 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 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้สารสกัดจากมะนาว ได้แก่ น้ำมะนาวพร้อมดื่มในถุงรีทอร์ทแพคเกจ การนำไมโครแคปซูลวิตามินซี น้ำมันหอมระเหยและเพคตินมาใช้ในเครื่องสำอาง เช่น มาร์คพอกหน้า ครีมโฟมล้างหน้า เจลล้างหน้า และเซรั่ม ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวและทำให้ผิวกระจ่างใส

3. สีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

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

สีผงจากแครอท ได้จากการสกัดแครอทด้วยเครื่องแยกกาก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 170 °C ได้สีผงเป็นสีส้ม มีสารสำคัญ คือ แคโรทีนอยด์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

สีผงจากใบเตย ได้จากการสกัดใบเตยด้วยเครื่องแยกกาก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงเป็นสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย 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 นาที ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานาง 5.45% มีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 55.68% ใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้า โดยไฮโดรคอลลอยด์จากไบบานางความเข้มข้น 1.5% มี

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63 และมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg GAE/100 ml ต้นทุนการผลิต เท่ากับ 7,800.46 บาท/kg สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ทดแทนสารเพิ่มความข้นหนืดทางการค้า โดยปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ซอสพริก คือ 1.5% และปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ คือ 2.0%

5. เอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

ผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดที่สามารถนำมาผลิตเอนไซม์บรอมีเลนได้ ได้แก่ จุกสับปะรดเปลือกติดเนื้อกับตาและแกน โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนมากกว่าส่วนจุก แต่ใช้เปลือกติดเนื้อกับตาเป็นวัตถุดิบหลักเนื่องจากมีสัดส่วนที่เหลืองสูงกว่าส่วนอื่นๆ ผลิตเอนไซม์โดยตีปั่นวัตถุดิบที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที นำไปปั่นคั้นน้ำ นำน้ำคั้นมาตกตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก และสกัดเอนไซม์โดยวิธีตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลอัตราส่วน 26:74 v/v นาน 1 ชม. ปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 15 นาที (ต้องทำภายใต้อุณหภูมิ 4 °C) นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้เอนไซม์บรอมีเลนเป็นผงสีเหลืองอ่อน ที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ $19,832.66 \pm 5128.13$ CDU/g มีปริมาณผลผลิต $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อน้ำหนักสด

ประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนผงเป็นซอสหมักเนื้อเนื้อหมูสุตรสุกี้-ชาบู โดยปริมาณเอนไซม์ผงที่เหมาะสมต่อการหมักชิ้นเนื้อหั่นบาง เท่ากับ 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ หมักไม่เกิน 30 นาที จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้น

6. ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์โดยใช้ PVA เป็นสารก่อกฟิล์ม และใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงเป็นสารต้านจุลินทรีย์พบว่าฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้ดีที่สุด สามารถนำไปใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm² และดึงยืดได้ 387.10% สูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำ 94.28% มีต้นทุนการผลิต 17 บาท/ตารางฟุต

7. ฟิล์มชีวภาพที่ผสมสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีลิกนินสูงถึง 39.5% และสามารถผลิตนาโนเซลลูโลสได้ 10% สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลังได้ โดยฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน 3% มีสมบัติเชิงกลและกายภาพเหมาะสมสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง 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

ต้นทุนการผลิตลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 15.52 บาท/g และ 141.93 บาท/g ต้นทุนการผลิตฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน 3% ขนาด 30x30 cm² เท่ากับ 5.00 บาท/แผ่น

8. ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เตรียมได้จากฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA และไคโตซาน เติมนิโคตินเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น โดยสีย้อมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมคือสีจากดอกอัญชันสกัดด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15M เตรียมสารละลายฟิล์มก่อนการขึ้นรูปโดยไม่ต้องปรับ pH สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาฟิล์ม คือ เก็บในถุงซิปลึ้นที่อุณหภูมิ 4 °C สามารถเก็บรักษาได้ 1 เดือน ฟิล์มมีค่าความสว่างลดลงจาก 87.13 ในฟิล์มไม่เติมนิโคตินเป็น 69.35 ในฟิล์มเติมนิโคติน 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่าง

ชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่ pH ต่างๆ ไอระเหยของกรดอะซิติกและไอระเหยของแอมโมเนีย สามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ตรวจวัดความสูงของผลไม้ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้เมื่อสุก เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตอเบอรี่ และอาหารที่ปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียเมื่อเกิดการเน่าเสีย เช่น อาหารทะเล

เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพเนื้อพลาสติก พบว่าปริมาณสีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมคือ 4 และ 6% เนื่องจากฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อปลา และปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์

9. การผลิตผลิตภัณฑ์ช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมีเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟู

ชนิดและอัตราส่วนของส่วนผสมพื้นฐานสำหรับก่อก๊าซฟองฟู (effervercent base) ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนกรดอินทรีย์กับโซเดียมไบคาร์บอเนตเท่ากับ 1.03:0.77 อัตราส่วนกรดซิตริก:กรดทาร์ทาริก (C:T) เท่ากับ 1:0 และ 2:1 ปริมาณเอนไซม์บรอมีเลนผงที่เหมาะสมคือ 0.2 g ปริมาณ effervercent based ที่เหมาะสม คือ 70% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (3 g) ที่ปริมาณกรดซิตริก 1.20 g และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g และสูตรที่มีปริมาณกรดซิตริก 0.80 g กรดทาร์ทาริก 0.40 g และโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.9 g โดยก่อให้เกิดสภาพฟองฟูที่รุนแรงและสิ้นสุดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว และละลายได้ดี สูตรที่มีคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคสูงเมื่อใช้สารให้ความหวานซูคราโลสร่วมกับไซลิทอลและสารให้กลิ่นสับปะรด คือ กรดซิตริก 0.80 g กรดทาร์ทาริก 0.40 g โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.90 g เอนไซม์บรอมีเลนผง 0.20 g พีวีพี 0.15 g สารลดการก่อโฟม 0.036 g ซูคราโลส 0.007 g ไซลิทอล 0.800 g และสารให้กลิ่นสับปะรด 0.120 g ซึ่งมีน้ำหนักรวม 3.41 g ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค สามารถผลิตเป็นกรานูลโดยการอัดผงผสมให้เป็นแผ่นแข็งและบดให้ได้ผลิตภัณฑ์กรานูล ซึ่งมีสมบัติการไหลของผงยาในระดับดี (Compressibility Index 11.14 ± 1.40) และมีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 87.9% ละลายในน้ำ 100 mL ได้ดี เกิดสภาพฟองฟูและสิ้นสุดได้รวดเร็วในเวลา 94 วินาที

10. การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลลวด

การสกัดสารแคปไซซินจากพริกพันธุ์ซูเปอร์ฮอตด้วยเอทานอล 95% ที่อัตราส่วน 1:5 จะได้สารสกัดแคปไซซินปริมาณ 13.85% มีปริมาณสารแคปไซซิน 2,213.54 mg/g สารฟีนอลิกทั้งหมด 1,964.56 (mg gallic acid/g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH %) SC_{50} เท่ากับ 41.29 ปริมาณแคปไซซินที่เหมาะสมสำหรับผลิตเจลลวดแคปไซซิน เท่ากับ 1.5% โดยผลิตภัณฑ์เจลลวดมีปริมาณสารแคปไซซิน 0.0123 (% ต่อน้ำหนักตัวอย่าง) สารฟีนอลิกทั้งหมด 2.83 (mg gallic acid/g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ SC_{50} เท่ากับ 0.11 ± 4.34 mg/ml คิดเป็น 0.001 เท่าของวิตามินซี โดยผลิตภัณฑ์เจลลวดความเข้มข้น 0.001-1 mg/ml ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ผิวหนังของมนุษย์ แต่ที่ความเข้มข้น 10 mg/ml เป็นพิษต่อเซลล์ และไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัครส่วนใหญ่

11. การผลิตสีผงจากดอกอัญชันโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท

สีผงจากดอกอัญชันแห้ง ได้จากการสกัดดอกอัญชันแห้งด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M อัตราส่วน 1:50 (w/v) สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C 30 นาที ทำให้สารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 8 °Brix ผสมมอลโตเด็คซ์ทริน 20% โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาล 2.5% ตีให้เกิดโฟม 15 นาที ใส่ถุงบีบให้เป็นเส้นลงบนถาดนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 70 °C นาน 3 ชม. ได้สีผงเป็นสีชมพูและมีรสเปรี้ยว สามารถเก็บรักษาได้นาน 4 เดือน โดยที่คุณภาพด้านจุลินทรีย์ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ประยุกต์ใช้สีผงในผลิตภัณฑ์ซอร์เบตมีสูตรที่เหมาะสมคือ น้ำ 78.5% น้ำตาล 19% และสีผง 2.5% ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานิน 19.37 mg cyanidin-3-glucoside/100 g เก็บรักษาได้ 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ -20 °C โดยคุณภาพด้านจุลินทรีย์ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ข้อเสนอแนะ สำหรับแผนงานย่อยนี้ คือ ต้องทดลองสกัดสารสำคัญทุกชนิดในระดับขยายขนาดหรือปริมาณมากขึ้น พร้อมทั้งศึกษาปริมาณสารที่ได้ คุณสมบัติของสารสำคัญ และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งต้นทุนการผลิต เพื่อรองรับและสามารถให้ข้อเสนอแนะกับผู้ที่สนใจนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป. คำแนะนำที่ 120 เรื่องสีผสมอาหารจากธรรมชาติ. กลุ่มงานเคหกิจเกษตร กองพัฒนาการบริหารงานเกษตร. 22 หน้า.
- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 197) พ.ศ. 2543. เรื่องกาแฟ.
- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 350) พ.ศ. 2556. เรื่องนมโค. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 130, ตอนพิเศษ 87 ง (ลงวันที่ 24 กรกฎาคม 2556).
- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 354) พ.ศ. 2556. เรื่องไอศกรีม. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 130, ตอนพิเศษ 87 ง (ลงวันที่ 24 กรกฎาคม 2556).
- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 364) พ.ศ. 2556. เรื่องมาตรฐานอาหารด้าน จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 130, ตอนพิเศษ 148 ง (ลงวันที่ 31 ตุลาคม 2556).
- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2536. กระบวนการแปรรูปอาหาร. สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
- กิติมา เหมวงษา. 2549. การพัฒนาการผลิตผงสีจากแครอทและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 168 หน้า.
- คุณาธิป ศิริมงคล อังคณา ไบบาล และสมใจ ขจรชีพนันธุ์งาม. 2015. แอคทีฟโคโทซาน/พีวีเอ फिल्मผสมแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วงเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ฟิล์ม. Chemical Engineering Project. 6 หน้า.
- คุ่มเกล้า ตุลาติลก และพินดา รัตนปิติกรณ. 2551. น้ำกระเทียมดองชนิดผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท. งานทิพย์ 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
- จิตตะวัน กุโบลา และคณะ. 2561. การผลิตเนื้อลูกตาลสุกผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมทและการประยุกต์ใช้ในขนม ไทย. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 17(1): 17-26.
- จิตรา สิงห์ทอง สุเวทย์ 닝สานนท์ และ Steve W. Cui. 2550. การศึกษาการสกัดองค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไบยานาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- ชวนพิศ อรุณรังสีกุล .2547. พริก : พืชนำพิศวง. จ.นครปฐม งานเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
- ไชยภร เก็บเงิน, ลลิตา ศิริพัฒนานนท์ และ อินทิรา ลิจันทร์พร. 2562. ผลของสารก่อโพลีเมอร์ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำชาข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมดื่มสำเร็จรูป, น. 673-682. ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20.
- ทอง ภัครัชพันธุ์ และ อรวินท์ วงศ์มีเกียรติ. 2530. กระบวนการตกตะกอนและความคงตัวของบรอมีเลน. ว.เกษตรศาสตร์(วิทย.) 21: 289-294.
- ทัศนาศ พิทักษ์สุธีพงศ์. 2564. การทดสอบหาค่า Bulk density และ Tapped density ของแกรนูล. สืบค้นจาก: <https://www.youtube.com/watch?v=lw1xoPiOivQ> [ธันวาคม 2564].

- บุษกร ทองใบ ญัฐกานต์ ไหวดี และกันตพัฒน์ อุตราช. 2554. ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบสารสกัดเปลือกมังคุด ในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนขึ้นปลา. ว.วิทย.กษ. 42:1(พิเศษ). 599-602.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 418) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. ๒๕๒๒ เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ เงื่อนไข วิธีการใช้ และอัตราส่วนของวัตถุเจือปนอาหาร (ฉบับที่ 2).
- ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ และสุดสาย ตริวานิช. 2546. จุลินทรีย์ในอาหาร, น.48-74. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป.ก ดอกอัญชัน. สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2975/butterfly-pea> [11 กรกฎาคม 2562].
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป.ข ไอศกรีม. สืบค้นจาก: ภาณูวัฒน์ สรรพกุล. 2561. การบรรจุแบบแอกทีฟและอินเทลลิเจนต์: การปลดปล่อยและการวินิจฉัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- มาลี วราหกิจ. 2521. การใช้ประโยชน์ของเศษเหลือจากขบวนการแปรรูปสับปะรด. ข่าวสารเกษตรศาสตร์ 23(6):44.
- วรภัทร ลัคคนทีวงศ์ อรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ และอรุณชัย ศิริทรัพย์. 2548. การพัฒนาแถบสีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาผัก ผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภคในเชิงพาณิชย์. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. 26-29 เมษายน 2548 ณ โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช พัทยา จังหวัดชลบุรี. หน้า 239. (276 หน้า).
- วรรณิ มาวิมล (2545) วิทยานิพนธ์ เรื่องการพัฒนาระบบวิธีการผลิตมะนาวผงและการประเมินอายุการเก็บรักษา ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 36 ฉบับที่ 3(พิเศษ): 515-518.
- วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร, สุปรียา สุขเกษม, วิไลศรี ลิ้มปยอม, อกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์ และ ประยูร เอ็นมาก. 2558. การประเมินสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการผลิต อาหารเสริมสุขภาพจากข้าวโพดฝักสด, น. 577-593. ใน รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2558 กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- สนทยา โสสนุย. 2540. พริก capsicums และประโยชน์ของสาร capsaicin, โปรแกรมวิชา ชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- สมฤทัย จิตภักดีดินทร์และคณะ (2549) การพัฒนาการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวให้มีความบริสุทธิ์และ ปริมาณมากในเชิงพาณิชย์.
- สัมพันธ์ คัมภีรานนท์. 2546. พริกเรื่องเผ็ดร้อนที่น่ารู้. ฉบับที่ 191. หน้า 45-54.
- สำนักงานค้าสินค้า กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2564. สินค้าทุเรียนและผลิตภัณฑ์. รายงานสถานการณ์การผลิตทุเรียนของไทย และการบริโภคภายในประเทศ. 14 หน้า
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ม.ป.ป. ข้อกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานสำหรับสารสกัดให้สีจากส่วนของ พืชหรือสัตว์. สืบค้นจาก: <http://www.fda.moph.go.th/sites/food/FoodAdditives/Extract-from-the-Plant-or-Animal.pdf> [11 มกราคม 2562].
- สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศฮ่องกง. ม.ป.ป. รายงานการตลาด: โอกาสของสินค้าสมุนไพรในฮ่องกง. สืบค้นจาก: https://www.ditp.go.th/contents_attach/160350/160350.pdf [11 พฤศจิกายน 2562].
- สุพัฒน์ คำไทย กิตติกุล อุงคนตวิวัต และวีรบูรณ์ คัดแก่ง. 2554. การเติมสารสกัดจากผงเปลือกมังคุดในฟิล์ม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรกโนส. ว.วิทย.กษ. 42:1 (พิเศษ): 583-583.

- อรุษา เขาวนลิขิต ศีโรรัตน์ อภิขยารักษ์ สรารัตน์ คงทอง และสุชนา ชูประทุม. 2552. ผลกระทบของ pH และ อุณหภูมิ ต่อสีและความคงตัวของสารสกัดจากกระเจี๊ยบและอัญชัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40(3) (พิเศษ). หน้า 5-8.
- อารี ฤทธิบุรณ์. 2554. การผลิตเอนไซม์โบรมิเลนจากลำต้นของสัปะรดและการนำไปใช้ประโยชน์ในการทำผงหมักเนื้อนุ่ม. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อุดมลักษณ์ สุขอัสตะ อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ ประภัสสร รักถาวร สิริพร ศิริวรรณ และพจมาน พิศเพียงจันทร์. 2549. การสกัดและการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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.
- Ackermann, D. & Stedman, Matthew & Ko, Samuel & Prokop, Ales & Park, Don-Hee & Tanner, Robert. 2003. Effect of invertase on the batch foam Fractionation of bromelain. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 8. 167-172.
- 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. Pompen, 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.
- Aslani A and Jahangiri H. 2013. Formulation, characterization and physicochemical evaluation of ranitidine effervescent tablets. *Adv Pharm Bull.* 3(2):315-22.
- 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.
- Balakrishnan, V., Hareendran, A. and Nair C. 1981. Double-blind cross-over trial of an enzyme preparation in pancreatic steatorrhoea *J. Assoc. Phys.* 29:207-209.

- 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.
- 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.
- Cisneros-Pineda O., Torres- Tapia L.W., Gutiérrez- Pacheco L.C., Contreras- Martin F., Gonzalez- Estrada T., Peraza-Sánchez S.R. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* 104: 1755–1760.
- 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

- Ghita M. A., Caruntu C., Rosca A.E., Caruntu A., Moraru L., Constantin C., Neagu M., Boda D. 2017. Real-Time Investigation of Skin Blood Flow Changes Induced by Topical Capsaicin. *Acta Dermatovenerol Croat* 2017; 25(3) :223-227.
- 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.
- Giyatmi and Lingga, D. 2019. The effect of citric acid and sodium bicarbonate concentration on the quality of effervescent of red ginger extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 383. 012022. 10.1088.
- Gothoskar, A. & Kshirsagar, Sanjay. 2004. A Review of Patents On Effervescent Granules. *Pharmaceutical Reviews*.
- 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
- Hale, L.P. 2004. Proteolytic activity and immunogenicity of oral bromelain within the gastrointestinal tract of mice. *Int Immunopharmacol.* 4(2):255-64.
- Heggset, E. B., Gary, C. C. and K. Syverud. 2017. Temperature stability of nanocellulose dispersions. *Carbohydrate Polymers* 157: 114–121.
- Hikisz, P. and Bernasinska-Slomczewska J. 2021. Beneficial Properties of Bromelain. *Nutrients*. 13(12):4313.
- Jassim, Z.A., Rajab, N.A. and Mohammed, N.H. 2018. Study the effect of wet granulation and fusion methods on preparation, characterization, and release of lornoxicam sachet effervescent granules. *Drug Invention Today* (10)9:1612.
- 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., Jayu. Abdullah, A. and Heng, L.Y. 2013. Real time on-packaging freshness indicators for guavas packaging. *Food Measure*. 7:29-39.
- 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.
- 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.
- Morgan, Jr., A. I., Graham, R. P., Ginnette, L. F. and Williams, G. S. 1961. Recent developments in foam-mat drying. *Food Technology*. 15(4): 37-39.

- Murachi, T. and Neurath, H. 1960. Fraction and specify studied on stem bromelain. *J. Biol Chem.* 235: 99-107.
- 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.
- 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.
- 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.*
- 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.
- Prapatigul, P., Wallratat, I. and S. Sreshthaputra. 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.
- Rakte, A.S., and Nanjwade, B.K. 2014. DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ENZYMES. *WORLD JOURNAL OF PHARMACY AND PHARMACEUTICAL SCIENCES.* 3(8):1600-1620.
- 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.

- Ratti, C. 2009. *Advances in Food Dehydration*. CRC Press, New York.
- Reyes- Escogido, M. L., Gonzalez- Mondragon, E. G., Vazquez- Tzompantzi, E. 2011. Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules* 16: 1253-1270.
- Rojo, 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 Physiochemical 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 Naczki, M. 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.
- 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.
- Sharma, P. and H.S. Gujral. 2011. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. *Food Research International.* 44: 235-240.
- 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.
- Surini, S., Wardani, M. R. W., & Sagita, E. 2017. EVALUATING OF EFFERVESCENT TABLETS CONTAINING GRAPE SEED (*VITIS VINIFERA* L.) EXTRACT AS A NUTRACEUTICAL. *International Journal of Applied Pharmaceutics.* 9:150-153.
- 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.
- Tan, S.L. and R. Sulaiman. 2019. Color and rehydration characteristics of natural red colorant of foam mat dried Hibiscus sabdariffa L. powder. *International Journal of Fruit Science*. [online: <https://www.tandfonline.com/loi/wsfr20>.]

- Taussig, S.J., Yokoyama, M.M. and Chinen A. 1975. Bromelain: a proteolytic enzyme and its clinical application: a review. *Hiroshima Journal of Medical Sciences*. 24(2-3):185–193.
- 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
- Thayne, A. Munce and Larry Kenney, W. 2003. Age-Specific Skin Blood Flow Responses to Acute Capsaicin. *Journal of Gerontology: BIOLOGICAL SCIENCES*. Vol. 58A, No. 4, 304–310.
- Tipduangta, P. and Sirithunyulug, 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.
- 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.

- 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.
- Zimmer, A. R., Leonardi Bianca., Mirona D., Schapovala E., Oliveirac J. R., Gosmanna G. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: From traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology* 139: 228–233.

คณะวิทยาศาสตร์