



กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

รายงานผลสัมฤทธิ์สำหรับทุนสนับสนุนงานพื้นฐาน (Fundamental Fund)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

หน่วยงาน กรมวิชาการเกษตร

รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ

Research and Development on Products from Natural Substances

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวศิริพร เต็งรัง

Miss Siriporn Tengrang

ปี 2564

## บทสรุปผู้บริหาร

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติกำลังได้รับความนิยม เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสนใจต่อสุขภาพมากขึ้น เพราะสารธรรมชาติมีความปลอดภัยสูงและมีสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่การใช้หรือบริโภคพืชผัก สมุนไพร และผลไม้สด อาจต้องใช้หรือบริโภคเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้ปริมาณสารสำคัญที่เพียงพอต่อความต้องการ และสารสำคัญบางชนิดอยู่ในเปลือกหรือเมล็ดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่สามารถบริโภคได้ โดยสารธรรมชาติจากพืช เรียกว่า พืชวัตถุ เช่น แคปไซซิน แคโรทีนอยด์ เพคติน น้ำมันหอมระเหย รงควัตถุหรือสีธรรมชาติ เอนไซม์ แซนโทน ลิกนิน และนาโนเซลลูโลส เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีประโยชน์แตกต่างกันไปสามารถนำไปใช้ได้ ในอุตสาหกรรมหลายชนิด แต่ข้อจำกัดของสารธรรมชาติ คือ ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง ต้องสกัดออกมา สลายตัวได้ง่าย และหลายตัวมีราคาแพงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

ดังนั้นโครงการนี้จึงมีแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ โดยศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการสกัดที่เหมาะสมเพื่อดึงเอาสารสำคัญจากผลิตผลเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรออกมาให้ได้มากที่สุด ศึกษาเทคโนโลยีหรือวิธีการกักเก็บสารสกัดให้คงไว้ซึ่งคุณภาพ ประโยชน์และคุณสมบัติของสารนั้นๆ และการนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณสมบัติของสาร โดยดำเนินงานวิจัยระหว่างปี 2560-2564 ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ซึ่งความสำเร็จจากการวิจัย คือ สามารถสกัดสารสำคัญจากผลิตผลเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ ดังนี้ แคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก น้ำมันาวง เพคตินและน้ำมันหอมระเหยจากมะนาว สีกลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน สีกลุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอท สีกลุ่มคลอโรฟิลล์จากใบเตย ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง เอนไซม์บรอมีเลนจากเปลือกติดเนื้อกับตาของสับปะรด แซนโทนจากเปลือกมังคุด ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน โดยสารสำคัญที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตผลเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มคุณสมบัติและเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารสกัดหรือสารธรรมชาติไปใช้ ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลกมากยิ่งขึ้น

## บทคัดย่อ

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

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

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

สีผงจากธรรมชาติ ได้จากการสกัดสารสีจากดอกอัญชัน แครอท และใบเตย โดยสกัดสีจากดอกอัญชันด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้สีผงสีชมพู มีปริมาณแอนโทไซยานิน 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100 g ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับทำเยลลี่ คือ 2.5% w/w สีผงจากแครอท ได้จากการสกัดแครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้สีผงสีส้ม มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 8.98 mg/100 g ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับทำเยลลี่ คือ 0.1 w/w สีผงจากใบเตย ได้จากการสกัดใบเตยด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้สีผงสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 103.63 mg/100 g ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับทำครีมสังขยา คือ 2.0% w/w เมื่อเก็บรักษาสีผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 12 เดือนพบว่าค่าความชื้นและค่า aw เพิ่มขึ้น ปริมาณสารสำคัญมีค่าลดลง และคุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง ได้จากการสกัดของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ด้วยน้ำ ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง 5.45% มีสีเทา มีปริมาณกรดยูโรนิก 11.47% มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 55.68% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63  $\mu\text{g/ml}$  และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 1.42 mg GAE/100 ml มี

โครงสร้างใกล้เคียงกับสารโซลแลน สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเรได้ โดยใช้ปริมาณ 1.5% ในซอสพริก และ 2.0% ในอาหารเสริมสำหรับเด็ก ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหนืดและการแยกชั้นใกล้เคียงกับการเติมแซนแทนกัม

เอนไซม์บรอมีเลน สกัดจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ได้แก่ จุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นส่วนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุด มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลน 111.36 CDU/g น้ำหนักสด และมีความบริสุทธิ์ของเอนไซม์สูง สกัดโดยตีปั่นที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที บีบน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นมาสกัดแยกโปรตีนโดยการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง (ดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 4 °C) ได้ผงเอนไซม์บรอมีเลนมีสีเหลืองอ่อน 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 โดยเมื่อสกัดเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงด้วยเอทานอลจะได้แอลฟาแมงโกสติน 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  $329.69 \text{ kgf/cm}^2$  และดึงยึดได้ 387.10% สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน

ลิกนินและนาโนเซลลูโลส สกัดได้จากเปลือกทุเรียน โดยนำมาต้มด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วกรองน้ำดำนำไปสกัดลิกนิน พบว่าได้ลิกนิน 39.5% และได้นาโนเซลลูโลสจากเยื่อ 10% นำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลัง พบว่าฟิล์มเติมลิกนิน 3% (L3) มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด เหมาะสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแห้ง มีค่าแรงดึงขาด  $142.51 \text{ kgf/cm}^2$  และดึงยึดได้ 10.81% ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน  $109.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$  ค่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม  $0.40 \mu\text{m}$  สามารถต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ที่ความยาวคลื่น 400 nm. ขึ้นรูปเป็นถุงขนาด  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์เปรียบเทียบกับถุงทางการค้าเก็บรักษา 3 เดือน พบว่าสามารถเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ได้ดีใกล้เคียงกับถุงทางการค้า โดยค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุถุง L3 และปริมาตรก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าในถุงทางการค้า

สียินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ ใช้สีกลุ่มแอนโทไซยานินโดยสกัดจากดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15 M ได้สีที่มีค่า pH 2.50 มีค่า  $L^*$  25.54 ค่า  $a^*$  6.50 และค่า  $b^*$  -5.83 เปลี่ยนแปลงสีได้ดีในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ และคงตัวได้ดี นำมาเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยเติมในฟิล์มคอมโพสิทระหว่าง PVA และไคโตซาน พบว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ และเมื่อสัมผัสกับไอระเหยของแอมโมเนีย คนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างของฟิล์มได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อปลา 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 produces and agricultural waste materials; capsaicin and carotenoids from chilis, lemon juice, essential oils and pectin from lemons, 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. 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 powder color was stored in the aluminum foil bag for 12 months, it was found that the moisture content and aw values increased, the active substance content decreased and the microbial quality was within the standard.

Hydrocolloids from Yanang leaves were obtained by extracting insoluble solids in alcohol with water. Hydrocolloid content from Yanang leaves were 5.45%, gray color, euronic acid content of 11.47%, total sugar content of 55.68%, antioxidant capacity 12.63  $\mu\text{g/ml}$ , and total phenolic content 1.42 mg GAE/100 ml. The structure is similar to xylan. It can be used as a stabilizer in chili sauces and baby food supplement in puree form, using 1.5% in chili sauce and 2.0% in baby food. The product has a viscosity and stratification similar to the addition of 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  $329.69 \text{ kgf/cm}^2$  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<sup>2</sup>, elongation was 10.81%, oxygen permeation rate 109.1 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day, film surface roughness 0.40 μm and UV and visible light resistance at a wavelength of 400 nm. Prepared a bag of 10x10 cm<sup>2</sup>, 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 colors anthocyanin group pigments were extracted from butterfly pea flowers with 0.15 M of acetic acid. The indicator colors were pH 2.50, L\* 25.54, a\* 6.50 and b\* -5.83. Good color change in Various pH buffer solutions and good stability. Color indicators were then used to prepare a pH-film by adding a composite film between PVA and chitosan. It was found that the film had a significant color change when exposed to buffer solutions at different pH and when exposed to ammonia vapors People can differentiate between films when applied to measure the quality deterioration of fresh fish meat. It was found that the color change in the film was consistent with the increased amount of microorganisms in the fish meat and the increased amount of ammonia gas inside the package

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาตินี้สำเร็จได้ด้วยดี จากความร่วมมือ การสนับสนุน ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาจากข้าราชการ พนักงานราชการ เจ้าหน้าที่ และหน่วยงานภายในกรม วิชาการเกษตร ตลอดจนหน่วยงานภายนอก ที่อนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการปฏิบัติงาน ดังรายนามต่อไปนี้

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย  
ผู้บริหารกรมวิชาการเกษตร

ผอ. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (กวป.)

ผอ. สุปรียา สุขเกษม ผอ.กลุ่มบริหารโครงการวิจัย กวป.

คณะผู้เชี่ยวชาญกรมวิชาการเกษตร

คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร  
กองแผนงานและวิชาการ

นางพุดผา รุ่งระวี ที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตรด้านสถิติและประเมินผล

ดร.จรัญ ดิษฐไชยวงศ์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร

ข้าราชการ พนักงานราชการ และเจ้าหน้าที่ กวป. ทุกท่าน

ซึ่งประโยชน์และการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแต่ทุกท่าน และขอขอบคุณ  
ไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	2
บทคัดย่อ	3
Abstract	5
กิตติกรรมประกาศ	8
สารบัญ	9
สารบัญภาพ	10
สารบัญตาราง	13
บทที่ 1 บทนำ	16
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงาน	20
บทที่ 3 ผลการศึกษา	30
บทที่ 4 สรุปผลและอภิปรายผล	106
เอกสารอ้างอิง	109

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. Capsaicin extracts (crude extract) from Chilis	30
2. Carotenoid extracts (crude extract) from Chilis	32
3. capsaicin (A) and carotenoid (B) powder	33
4. Capsaicin and carotenoid powder contain in clear gelatin capsules	34
5. Lime powder	37
6. Cosmetic products and from lime powder and Nano-emulsions from lime essential oil	38
7. Jelly product in different butterfly pea powder	43
8. Jelly product in different carrot powder	44
9. Custard cream product in different pandan powder	45
10. Appearance of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 12 months	46
11. Appearance of carrot powder was kept at ambient temperature for 12 months	47
12. Appearance of pandan powder was kept at ambient temperature for 12 months	48
13. Alcohol-insoluble solid (AIS) of Yanang leaves extract	49
14. Yanang leaves extracted after filtrate from ethanol	49
15. Yanang leaves Hydrocolloids	50
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 ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) for 180 days	52
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.	52
18. The bromelain powder produced from this research	58
19. Sensory results of pork after marinating with varying amounts of bromelain powder	59
20. Appearance of slices of dried mangosteen peel	60
21. Wave number of FTIR spectra of $\alpha$ -mangostin standard	61

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
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 <i>Staphylococcus aureus</i> .	62
23. PVA films appearance at various mangosteen peel extract various content	62
24. FTIR spectra of PVA film incorporated with dried mangosteen peel powder extract and mangosteen peel extract.	63
25. Inhibition zone of PVA films incorporated with various content of dried mangosteen peel powder extract	65
26. Black liquor obtained from pulping (a) and extracted lignin (b) from agricultural waste materials	65
27. ATR-FTIR spectra of commercial lignin and lignin from durian husk	66
28. Characteristic of pulp from agricultural waste materials	67
29. Nanocellulose powder from durian husk	68
30. Photograph of different compositions of lignin, nanocellulose containing biofilms	69
31. Tensile strength and elongation at break of biofilms	70
32. Total Color Difference ( $\Delta E$ ) of biofilms	71
33. Micromorphology and roughness of biofilms measured by AFM	72
34. Oxygen transmission rate (OTR) of biofilms	73
35. Blocking effect of biofilms (absorption spectra at 300, 400 and 700 nm)	73
36. Photograph of cashew nut packed in the bioplastic (L3 bag)	74
37. Appearance of indicator color from butterfly pea flower	75
38. Appearance of indicator color from red cabbage	75
39. Appearance of indicator color from mulberry	75
40. Color change when pH changed of indicator colors from butterfly pea flower extracted in order of pH 2, 4, 7, 9, 10 and 12	76
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)	79
42. Color change of pH-indicator based film in response to 99% acetic acid vapor at 2 hours at various color indicator content; 0 2 4 6 and 8% (left to right)	84

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
43. Color change of pH-indicator based film in response to ammonia vapor at different concentrations	85
44. Change in appearance of packed seabass fillet with pH indicator label during 8 days storage at 4 °C	86
45. Comparison color transition of pH-Indicator film label to quality of packed seabass fillets during 8 days storage at 4 °C	87

กรมวิชาการเกษตร

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1. Capsaicin and dihydrocapsaicin contents in Chilis	31
2. Total carotenoid content and antioxidant activity of carotenoid extracts	33
3. Yield of capsaicin and carotenoid powder	34
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	35
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	35
6. Physico-chemical properties of lime powder (Paen Pichit) with different maltodextrin DE10 content produced by Spray dryer	37
7. Anthocyanin content of butterfly pea extract	38
8. Anthocyanin content of butterfly pea extract in different concentrations of citric acid solution	39
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%)	40
10. Quality of carrot powder in different drying temperature (160-180 °C) and quality of carrot powder in different maltodextrin content (10-30%)	41
11. Quality of pandan powder in different drying temperature (150-170 °C)	42
12. Quality of jelly in different butterfly pea powder (0.0-2.5%)	43
13. Quality of jelly in different carrot powder (0.0-2.0%)	44
14. Quality of custard cream in different pandan powder (0.0-2.5%)	45
15. Quality of butterfly pea powder was kept at ambient temperature for 12 months	46
16. Quality of carrot powder was kept at ambient temperature for 12 months	47
17. Quality of pandan powder was kept at ambient temperature for 12 months	48
18. Yield of hydrocolloids extracts from Yanang leaves with different extraction conditions.	49
19. Effect of concentration of hydrocolloids extracts from Yanang leaves on viscosity and gel strength	51
20. Effect of concentration of sucrose in 1 % hydrocolloids extracts from Yanang leaves on viscosity and gel strength	53

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
21. Effect of concentration of NaCl in 1 % hydrocolloids extracts from Yanang leaves on viscosity and gel strength	54
22. Properties of pineapple fragments as a by-product of its processing in terms of bromelain extract production	55
23. Properties of the juice from pineapple peels on an effect of extraction temperatures	56
24. Properties of the juice from pineapple peels on an effect of extraction time	57
25. Properties of protein extraction solution on an effect of precipitation time.	57
26. Texture profile of pork after marinating with varying amounts of bromelain powder	59
27. Properties of PVA films incorporated with mangosteen peel extract	62
28. Physical properties of biofilms	71
29. Peroxide value (PV) and oxygen exchange of cashew nut packed in the bioplastic (L3 bag) compared commercial plastic	74
30. Color change of indicator colors at pH 2-12 after storage 6 days at room temperature	78
31. Color change of indicator colors at pH 2-12 after storage 6 days at 4 °C.	78
32. pH Indicator film properties where pH of the film-forming solution is not adjusted	79
33. pH Indicator film properties where pH of the film-forming solution is adjusted to 6 with 1 M. NaOH	80
34. Appearance of pH unadjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at room temperature	81
35. Appearance of pH unadjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at 4 °C	81
36. Appearance of pH adjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at room temperature	82
37. Appearance of pH adjusted pH Indicator film after storage in zip bags and foil bags for 90 days at 4 °C	82

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
38. Photograph of pH indicator films after immersed in buffer solutions at different pH values 10 minutes	84
39. Quality of seabass fish fillet and color response of pH indicator film during 8 days storage at 4 °C	88

กรมวิชาการเกษตร

## บทที่ 1 บทนำ

### 1. วิสัยทัศน์ และพันธกิจของหน่วยงาน

#### วิสัยทัศน์

กรมวิชาการเกษตรเป็นองค์กรที่เป็นเลิศด้านการวิจัยและพัฒนาด้านพืช เครื่องจักรกลการเกษตร และเป็นศูนย์กลางรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรด้านพืชในระดับสากล บนพื้นฐานการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

#### พันธกิจ

1. สร้างและถ่ายทอดองค์ความรู้จากงานวิจัยด้านพืชและเครื่องจักรกลการเกษตร สู่กลุ่มเป้าหมาย
2. กำหนดและกำกับดูแลมาตรฐานระบบการผลิตและผลิตพันธุ์พืชและปัจจัยการผลิต พัฒนาระบบตรวจรับรองสินค้าการเกษตรด้านพืชให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล
3. อนุรักษ์และพัฒนาการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพด้านพืช แมลง และจุลินทรีย์
4. กำกับ ดูแล และพัฒนากฎหมายที่กรมวิชาการเกษตรรับผิดชอบ

### 2. ยุทธศาสตร์ชาติที่สอดคล้องกับแผนปฏิบัติงานด้าน ววน. ของหน่วยงาน

#### ยุทธศาสตร์ที่ 1 ด้านความมั่นคง

เพื่อบริหารจัดการสภาวะแวดล้อมของประเทศให้มีความมั่นคง ปลอดภัย และมีความสงบเรียบร้อยในทุก  
ระดับและทุกมิติ

#### ยุทธศาสตร์ที่ 2 ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน

เน้นการยกระดับศักยภาพในหลากหลายมิติควบคู่กับการขยายโอกาสของประเทศไทยในเวทีโลก

#### ยุทธศาสตร์ที่ 3 ด้านพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพทรัพยากรมนุษย์

คนไทยในอนาคต มีความพร้อมทั้งกาย ใจ สติปัญญา มีทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 มีทักษะสื่อสาร  
ภาษาอังกฤษและภาษาที่ 3 และมีคุณธรรม

#### ยุทธศาสตร์ที่ 4 ด้านการสร้างโอกาสและความเสมอภาคทางสังคม

สร้างความเป็นธรรม และลดความเหลื่อมล้ำในทุกมิติ กระจายศูนย์กลางความเจริญทางเศรษฐกิจและสังคม  
เพิ่มโอกาสให้ทุกภาคส่วนเข้ามาเป็นกำลังของการพัฒนาประเทศในทุกๆระดับ

#### ยุทธศาสตร์ที่ 5 ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำนึงถึงความยั่งยืนของฐานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของ  
ประชาชนให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผ่านมาตรการต่างๆ ที่มุ่งเน้นให้เกิดผลลัพธ์ต่อความยั่งยืน

#### ยุทธศาสตร์ที่ 6 ด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ

การปรับเปลี่ยนภาครัฐ ยึดหลัก “ภาครัฐู้ของประชาชนเพื่อประชาชนและประโยชน์ส่วนรวม”



3. วงเงินงบประมาณกองทุน ววน. ที่ได้รับจัดสรรในปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 และโปรแกรมของแผนงาน/  
โครงการให้สอดคล้องกับโปรแกรมของแผน ววน.

โปรแกรมตามแผน ววน.	งบประมาณ (บาท)
โปรแกรม 7 การวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อตอบโจทย์ท้าทายด้าน ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมและการเกษตร	4,707,603

4. รายละเอียดโครงการ

**ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล**

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

- สารปฐมภูมิ ได้แก่ สารที่พืชผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการส่งเสริมให้พืชเติบโต ได้แก่ เส้นใย แป้ง น้ำตาล ไขมันในพืชต่างๆ ไป ซึ่งมนุษย์นำมาใช้เป็นอาหารเป็นหลัก
- สารทุติยภูมิ ได้แก่ สารกลุ่มที่พืชสังเคราะห์สร้างขึ้นมาใช้งานเฉพาะเพื่อปกป้องตัวเองจากศัตรู เช่น ยางไม้ น้ำมันหอมระเหย สารเคมีต่างๆ เช่น แทนนิน (สารฝาด) และอัลคาลอยด์ (สารขม) เป็นต้น สารกลุ่มนี้เป็นสารที่พืชแต่ละชนิดสร้างขึ้นเป็นพิเศษจึงมีฤทธิ์และสรรพคุณที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากอาหาร เช่น ใช้เป็นยา เป็นสารเสริมสุขภาพ บำบัดรักษา และเป็นเวชสำอาง เป็นต้น
- สารกลุ่มที่ 3 ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น รวมทั้งฮอร์โมนพืช สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางด้านอาหาร ยารักษาโรคและเวชสำอาง เช่น สารกลุ่มสเตอรอล และไอโซฟลาโวน เป็นต้น

จะเห็นว่าสารธรรมชาติจากพืชมีประโยชน์เป็นอย่างมาก สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมหลายกลุ่ม เช่น อาหาร อาหารเสริมสุขภาพ ยารักษาโรค เวชสำอาง สี และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้จึงมีกรอบแนวคิดในการศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการสกัดที่เหมาะสมเพื่อดึงเอาสารสำคัญออกมาจากพืชให้ได้มากที่สุด ศึกษาเทคโนโลยีหรือวิธีการกักเก็บสารสกัดให้คงไว้ซึ่งคุณภาพ ประโยชน์ และคุณสมบัติของสารนั้นๆ การนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณสมบัติของสาร โดยนำไป

ประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มคุณสมบัติและเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ที่นำสารธรรมชาติไปใช้ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

### วัตถุประสงค์ของโครงการ

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

### ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดแคปไซซินจากพริกขี้หนูและการสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกหวาน ศึกษาสมบัติและวิเคราะห์ค่า antioxidant activity ของสารสกัด ทำ microencapsulation ของสารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์ ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการนำไปใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ
- 2) ศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาว การสกัดเพคตินจากกากมะนาว การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเวชสำอาง
- 3) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีเพื่อให้ได้ปริมาณสารสีมากที่สุด ศึกษาปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรินและอนุภูมิภาคในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตสีผง วิเคราะห์องค์ประกอบ คุณสมบัติ และตรวจสอบคุณภาพของสีผง และการนำสีผงไปใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร
- 4) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรคอลลอยด์จากไบบ่านาง ศึกษาคุณสมบัติและวิเคราะห์ค่า antioxidant activity ของสารสกัด รวมทั้งศึกษาการใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารทดแทนสารให้ความคงตัวทางการค้า
- 5) ศึกษาการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด พร้อมทั้งศึกษาการประยุกต์เอนไซม์บรอมีเลนในซอสหมักเนื้อ
- 6) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุด พร้อมทั้งทดสอบฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด การนำไปประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ และการทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์
- 7) ศึกษาวิธีการสกัด/วิธีการเตรียม วิเคราะห์คุณสมบัติและคุณภาพของลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ศึกษาวิธีเตรียมฟิล์มชีวภาพที่ใช้ลิกนินและนาโนเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

- 8) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากพืชเพื่อใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์พร้อมประสิทธิภาพของสี ศึกษาการเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ทดสอบประสิทธิภาพและการเปลี่ยนสีของฟิล์ม และการนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์
- 9) ศึกษาต้นทุนการผลิตสารธรรมชาติเปรียบเทียบกับสารทางการค้า

กรมวิชาการเกษตร

## บทที่ 2 วิธีการดำเนินงาน

### 1.วิธีการดำเนินการวิจัย

#### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับอาหารและเวชสำอาง

##### Development of Natural Products for Food and Cosmeceuticals

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2559 – กันยายน 2554

#### อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ พริกชี้ฟ้าพันธุ์จินดา ซุปเปอร์ฮอต หัวเรือ เพชรดำ จินดา ศก.84และยอดสน พริกชี้ฟ้า พริกหวานสีแดง พริกหวานสีส้ม มะนาวพันธุ์แป้น มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร แครอท ใบเตย และ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากตลาดไทและตลาดสี่มุมเมือง ดอกอัญชันพันธุ์ 7-1-16 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร
2. เครื่องมือ ได้แก่ Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS): Clarus SQ 8 T, ยี่ห้อ PerkinElmer เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC): โมเดล Flexar, ยี่ห้อ PerkinElmer เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer: รุ่น UV-2600, Shinadzu เครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Thermo Scientific: รุ่น Nicolet iS5 (iD5 ATR) และเครื่อง ทำแห้งแบบพ่นฝอย Spray Dryer: รุ่น SD-06 basic, ยี่ห้อ Labplant UK
3. สารเคมี ได้แก่ อะซิโตน (Acetone, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific) เอทานอล (Ethanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific) เอทานอล 95% เกรดอาหาร (L PURE) กรดซิตริก (เกรดอาหาร, บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, AR grade, Merck, Germany) กรดไตรคลอโรอะซิติก (MERK) ไดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (MERK) สารมาตรฐานเอนไซม์บรอมิเลน (Sigma) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS) Casein (MERK) และ L-Tyrosine (HIMEDIA) และมอลโตเด็คซ์ทรีน

#### วิธีการดำเนินการ

กิจกรรมที่ 1 ประกอบด้วย 5 การทดลอง ซึ่งทั้ง 5 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 ชม. ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 3 วัน กรองแยกกาก แล้วนำสารละลายไประเหยแห้ง จากนั้นหา %yield วิเคราะห์ปริมาณแคปไซซินด้วย HPLC

2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริก (ดัดแปลงจาก Guadarrama-Lezama et al., 2012) โดยนำพริกมาตัดชิ้น 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 ใช้ออก 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 โดยทั้ง 2 วิธี สกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 95 °C 60 นาที กรองแล้วนำสารละลายมาตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 1:1 v/v คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 1 คืน กรองแยกตะกอนเพคติน ล้างด้วยเอทานอล 95% 2 ครั้ง และซิโตนเข้มข้น 50% 2 ครั้ง นำเพคตินไปอบให้แห้งที่ 60 °C แล้วบดให้เป็นผง และวิธีที่ 3) นำกากที่คั้นน้ำและสกัดน้ำมันหอมระเหยแล้ว และน้ำต้มจากการสกัดน้ำมันหอมระเหยมาสกัดเพคติน โดยการรีฟลักซ์ด้วยน้ำที่มีสภาพกรดแล้วสกัดด้วยเอทานอล 95%

4. การวิเคราะห์คุณภาพของเพคติน การตรวจสอบค่าเมทอกซีทำโดยนำเพคตินผงที่ได้ 0.5 g เติมเอทานอล 2 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว 100 ml ผสมให้เข้ากัน หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ 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 หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ 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) เตรียมน้ำมะนาวผง 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 และมาร์คพอกหน้า เป็นต้น
8. ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง โดยทดสอบอายุการเก็บรักษา ขนาดอนุภาคและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบการซึมผ่านโดยใช้เมมเบรนสำเร็จรูป เป็นต้น

### การทดลองที่ 1.3 การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

#### 1. การสกัดสารสีจากดอกอัญชัน โดยใช้ดอกอัญชันแห้ง

1.1 สกัดด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วนอัญชัน:น้ำกลั่น 1:20 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 30 40 50 60 70 80 และ 90 °C และระยะเวลาสกัด 30 40 50 และ 60 นาที ปรับปริมาตรเป็น 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 (กิตติมา, 2549)

3. การสกัดสารสีจากใบเตย โดยตัดใบเตยเป็นชิ้นเล็กๆ บดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ได้สารสกัดใบเตยสีเขียว มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 5 °Brix

#### 4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สารสกัดจากข้อ 1-3 ดังนี้

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

4.2 ศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่เหมาะสม โดยผสมสารสกัดกับมอลโตเด็กซ์ทริน 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) ประยุกต์ใช้สีผง



จากแคโรทในผลิตภัณฑ์เยลลี่ โดยปรับจากสูตรเยลลี่สับประรดผสมแคโรท (พรพิมล, 2545) ใช้สีผง 0.0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0% โดยน้ำหนัก และ 3) สีผงจากใบเตยในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา โดยใช้สีผง 6 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 การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากใบย่านางใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร**

**1. การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง** โดยหั่นใบย่านางเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปปั่นผสมกับเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 2 เท่าของน้ำหนักใบย่านาง 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 เท่าของสารสกัด เป็นเวลา 24 ชม. นำตะกอนไปทำแห้งด้วยเครื่อง Freeze Dryer แล้วนำสารสกัดไปบดให้ละเอียด จะได้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง หา % Yield

**2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง** ดังนี้ ปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (2005) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตามวิธีของ Dubois et al. (1956) ปริมาณกรดยูโรนิกตามวิธี Melton and Smith (2001) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี ABTS radical scavenging activity

**3. ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง** ดังนี้ คุณสมบัติด้านความหนืด ความแข็งแรงของเจล โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้อง คือ ความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง โซเดียมคลอไรด์ และความเข้มข้นของน้ำตาล

**4. ศึกษาโครงสร้างของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง** โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

**5. การประยุกต์ใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางในผลิตภัณฑ์อาหาร** 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% เปรียบเทียบกับเติมแซนแทนกัม 1.5 2.0 และ 2.5% และกัมอะราบิก 1.5 2.0 และ 2.5 จากนั้นวัดการแยกชั้นและความชื้นหนืดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุก 30 วัน ที่เวลาการเก็บรักษา 6 เดือน และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

**6. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง**

## การทดลองที่ 1.5 การผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับประรดเพื่อใช้เป็น meat tenderizer

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปสับประรดในการผลิตเอนไซม์บรอมีเลน โดยใช้สับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย ล้างด้วยสารละลายคลอรีน 50 ppm จากนั้นแยกออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ จุก ก้าน เปลือกติดเนื้ออกับตาและแกน สับแต่ละส่วนให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งแต่ละส่วน 1 kg เติมน้ำกลั่นเย็น (4-8 °C) 500 ml ตีปั่น 2 นาที นำไปบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก สกัดซ้ำอีกครั้ง รวมน้ำคั้นแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งน้ำหนักและวัดปริมาตร วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำคั้น ได้แก่ ค่าของแข็งที่ละลายได้ ค่า pH ปริมาณโปรตีนด้วยวิธีเจตาล (AOAC 981.10, 2016) สารพิษตกค้างทางการเกษตร ตรวจสอบกิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนของน้ำคั้น โดยปรับปรุงวิธีจาก Ketnawa (2009) คัดเลือกส่วนของสับประรดที่ให้คุณสมบัติและค่ากิจกรรมเอนไซม์ดีที่สุดในขั้นต่อไป

### 2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในสกัดเอนไซม์บรอมีเลน (ดัดแปลงวิธีของ นิमितพิสุทธิ์, 2530)

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 ซึ่งน้ำหนัก วัดปริมาตร และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำคั้นตามข้อ 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 และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำคั้นตามข้อ 1

2.3 ตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล โดยนำน้ำคั้นที่ได้พักไว้ในขวดปิดสนิทที่ 4 °C 2 ชม. เพื่อให้ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอน รินเอาส่วนใสออก เติมเอทานอลเกรดอาหารเย็นจัด (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 เติมสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.0 อัตราส่วน 1:15 v/v เพื่อละลายตะกอนโปรตีนที่ได้ แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดตามข้อ 1

3. ศึกษาการทำเอนไซม์ผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยซังชิ้นส่วนสับประรด 1 kg ตีปั่น 1 นาที แล้วนำไปบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก นำน้ำคั้นไปวิเคราะห์คุณสมบัติตามข้อ 1 และนำไปสกัดเอนไซม์บรอมีเลนโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชม. ตามข้อ 2.3 แล้วนำโปรตีนไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์สำหรับหมักเนื้อสัตว์ นำเอนไซม์บรอมีเลนผงมาผลิตเป็นซอสหมักเนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู โดยใช้เนื้อหมูสันนอกหั่นให้มีขนาด 1x2 in<sup>2</sup> หนา 0.5 cm. นำมา 500 g เติมน้ำเปล่า 15 g เติมผงเอนไซม์ 0 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อหมูสด คลุกเคล้าให้เข้ากัน เติมเครื่องปรุงรสอื่น ๆ ดังนี้ น้ำมันหอย 21.25 g ซีอิ้วขาว 10 g น้ำตาลทราย 12.5 g เกลือ 0.36 g พริกไทย 0.5 g แป้งข้าวโพด 4 g เบคกิ้งโซดา 1.65 g น้ำเปล่า 15 g และน้ำมันงา 9.5 g คลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง หมักทิ้งไว้ที่ RT 30 นาที นำไปทำให้สุกโดยลวกในน้ำซุ๊ปเดือดนาน 1 นาที พักให้สะเด็ดน้ำ นำชิ้นเนื้อไปทดสอบเนื้อสัมผัสโดย texture analyzer และทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคโดยวิธี hedonic scale (7 point) จำนวน 30 คน



## กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพ

### Natural product development for quality packaging

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร  
กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2559 – กันยายน 2554

#### อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลิตผลและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกมังคุด มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ ดอกอัญชันอบแห้ง ผลหม่อน กะหล่ำปลีม่วง เปลือกข้าวโพด เปลือกส้ม เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย จากตลาดไทยจากตลาดไท และสมุนไพรเปลือกมังคุด (ผง) บริษัท ฮงฮวด จำกัด เนื้อปลากระพงสดแช่เนื้อ จากแมคโคร
2. เครื่องมือ ได้แก่ เครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Thermo Scientific: รุ่น Nicolet iS5 (iD5 ATR) เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer, Shinadzu: รุ่น UV-2600 เครื่อง Universal Testing, Instron: รุ่น 3340
3. สารเคมี ได้แก่ เชื้อ *staphylococcus aureus* ATCC 6538 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol: PVA, commercial grade: Hydrolysis 88.6 Mol%, Viscosity 30.4 MPa.S, บ.รวมเคมี 1986 จำกัด) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Mw 85,000-124,000, 99+% hydrolyzed, Sigma-Aldrich) ลิกนินทางการค้า (Sigma-Aldrich) ไคโตซาน (Chitosan, medium molecular weight, Sigma-Aldrich) โซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์ (12.5% AR grade, Ajax Finechem) เอทานอล (Ethanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific) โซเดียมไตรฟอสเฟต (Soduim tripolyphosphate, technical grade, 85%, Sigma-Aldrich) กลีเซอรอล (glycerol, AR grade, Fisher Scientific) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (85% AR grade, LOBA CHEMIE PVT. LTD) กรดซัลฟูริก (98% AR grade, LOBA CHEMIE PVT. LTD) กรดอะซิติก (Acetic acid 100%, Merck) อะซีโตน (99.5% AR grade, LOBA CHEMIE PVT. LTD) สารมาตรฐานแอลฟาแมงโกสติน (Alpha-Mangostin Standard, 98%, HPLC grade, Sigma-Aldrich) สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer Solution, Merck) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid Titrimax Standard Solution, QRec) สารละลายแอมโมเนีย (Ammonia Solution 25%, AR grade, Qrec) อาหารเลี้ยงเชื้อ (Potato dextrose agar, Plate Count Agar, HIMEDIA และ Pseudomonas Agar Base, OXOID)

#### วิธีการดำเนินการ

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

1. เตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด (ดัดแปลงวิธีของประสงค์และคณะ (2552) และ Kusmayadi et al. (2018)) โดยนำเปลือกมังคุดอบแห้งที่ 60 °C แบบชิ้นบาง แบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า มาแช่ในด้วยเอทานอล

เข้มข้น 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  $1.5 \times 10^8$  cfu/ml โดยเทียบกับ McFarland standard No. 0.5 จากนั้นนำเชื้อ 100  $\mu$ l มา spread plate บนอาหาร MHB นำ paper disc ขนาด  $\varnothing$  6 mm. จุ่มลงในสารละลายของสารสกัด ผึ่งให้แห้ง นำมาวางลงบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว เทียบกับน้ำกลั่นและเมทานอล นำไปบ่มที่ 37 °C 18 ชม. สังเกตบริเวณต้านเชื้อ แล้ววัด  $\varnothing$  วงใสของการยับยั้ง

**4. เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์** โดยนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดชนิดที่ให้ปริมาณสารสกัดหยาบและปริมาณสารสำคัญมากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ดีที่สุด มาเติมในฟิล์ม PVA เข้มข้น 4% w/v ปริมาตร 300 ml เติมกลีเซอรอล 30% กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุด (ดัดแปลงวิธีของ สุพัฒน์และคณะ, 2554) ให้มีปริมาณสารสกัดในเนื้อฟิล์ม 0, 10,000, 30,000, 50,000 และ 70,000 ppm นำสารละลายมาเทลงในเพลทอะคลิลิคขนาด 30x30 cm<sup>2</sup> ทิ้งให้เซตตัวที่ RT อบด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 °C 24 ชม.

**5. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มต้านจุลินทรีย์** ดังนี้ วิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง FTIR เปรียบเทียบกับฟิล์มไม่เติมสารสกัดและสารสกัดจากเปลือกมังคุด วัดความหนา ค่าสี ความชื้น ค่า aw การละลายน้ำตามวิธีของ Tongdeesoontorn et al. (2011) ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวตามมาตรฐาน ASTM D 882-10

**6. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม** เช่นเดียวกับข้อ 3 โดยนำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 4. ขนาด  $\varnothing$  6 มม. มาวางบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว บ่มที่ 37 °C 18 ชม. บันทึกผลโดยสังเกตบริเวณต้านเชื้อแบคทีเรียแล้ววัดขนาด  $\varnothing$  วงใสของการยับยั้ง

## การทดลองที่ 2.2 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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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. เลือกว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 1 ชนิด ที่ให้ปริมาณลิกนินสูงสุดไปทดลองต่อ แล้วศึกษาสมบัติของลิกนินที่ได้เทียบกับลิกนินทางการค้า ดังนี้ ค่าสี ความชื้น หมู่ฟังก์ชันของสารด้วย FTIR ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารด้วย DSC การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเชิงความร้อนของสารด้วย TGA และต้นทุนการผลิต

**1.2 การผลิตนาโนเซลลูโลส** โดยหั่นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้มีขนาด 1-2 นิ้ว อบให้แห้งที่ 80 °C 24 ชม. ต้มเยี่ยวด้วยสารละลาย KOH เข้มข้น 18% 300 ml ที่ 80 °C 4 ชม. ล้างเยี่ยวด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด เก็บส่วนที่เป็นน้ำดำไปเตรียมลิกนิน หาน้ำหนักเยี่ยวที่ได้ เพื่อคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูง แล้วนำเยี่ยว 10 g ไปพอกด้วยสารละลายโซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์เข้มข้น 100% 300 ml ที่ 80 °C 30 นาที ล้างออกด้วยน้ำกลั่น 5 รอบ เติม H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 64% 100 ml ที่ 80 °C 1 ชม. และเติม H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 40% 100 ml ให้ความร้อนที่ 80 °C อีก 1 ชม. ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 24 ชม. จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 เท่าของปริมาณกรด ล้างกรดโดยปั่นเหวี่ยงที่ 6,500 rpm ล้างเยี่ยวด้วยน้ำกลั่นจน pH เท่ากับ 7 โดยใช้ถุงเยี่ยวเลือกผ่าน 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) ทำโดยปอกเปลือกมันสำปะหลังแล้วนำมาแช่ในน้ำส้มสายชู 5% หั่นให้เป็นแผ่นแล้วปับอัดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิ เก็บน้ำแป้งแล้วนำกากที่เหลือมาผสมน้ำอัตราส่วน 1:2 นำไปปับอัดอีกครั้ง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง นำน้ำแป้งมาใส่ถังพลาสติกปรับปริมาตรให้เท่าๆ กัน เติมน้ำให้ได้ 2 ใน 3 ส่วนของถัง ตั้งทิ้งไว้ที่ RT 12 ชม. เทน้ำทิ้ง ให้เหลือแต่ส่วนของแป้ง เติมน้ำอีกครั้ง กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่ RT 6 ชม. เทน้ำทิ้ง ทำซ้ำจนตะกอนแป้งเป็นสีขาว นำไปอบที่ 50 °C 24 ชม. นำแป้งไปปัด และวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสตามวิธีของ Santisopasri et al. (1996)) โดยเทคนิค HPSEC

**2.2 การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ** โดยเติมสารเติมแต่งในฟิล์มสตาร์ช ดังนี้ ไม่เติมสารเติมแต่ง เติมนาโนเซลลูโลส 1 2 และ 3% w/w เติมลิกนิน 1 2 และ 3% w/w เติมนาโนเซลลูโลส 1% และลิกนิน 1% เติมนาโนเซลลูโลส 1% และลิกนิน 2% เติมนาโนเซลลูโลส 1% และลิกนิน 3% เติมนาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน 1% เติมนาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน 2% เติมนาโนเซลลูโลส 2% และลิกนิน 3% เติมนาโนเซลลูโลส 3% ลิกนิน 1% เติมนาโนเซลลูโลส 3% และลิกนิน 2% เติมนาโนเซลลูโลส 3% และลิกนิน 3% w/w ทุกกรรมวิธีเติมกลีเซอรอล 30% w/w กวนที่ 75 °C ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มและอบที่ 60 °C 4 ชม. ทดสอบสมบัติของฟิล์ม ดังนี้ TS, %E, ΔE, OTR, ความหนา ความชื้น การละลายน้ำ ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ การต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ และต้นทุนการผลิต

**3. ศึกษาศักยภาพประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์** โดยคัดเลือกฟิล์มชีวภาพที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากข้อ 2 มา 1 เตรียมเป็นซองขนาด 10x10 cm<sup>2</sup> บรรจุอาหารของละ 5 g ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาที่ RT 3 เดือน เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ทางการค้า จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ภายในซอง ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ พร้อมวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์

## การทดลองที่ 2.3 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 จากนั้นทำให้

เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยตัวทำละลายออก (จารุวรรณและคณะ, 2563) 2) สีจากผลหม่อนและกะหล่ำปลีม่วง: เตรียมสีจากน้ำคั้น และสกัดด้วย acidified ethanol โดยปั่นตัวอย่างแล้วแช่ในเอทานอลเข้มข้น 70% อัตราส่วน 2:1 w/v จากนั้นปรับ pH ด้วย HCl เข้มข้น 1M จน pH เท่ากับ 2 เก็บใส่ขวดสีชาที่ 4 °C 24 ชม. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2000 rpm 10 นาที กรองและทำให้เข้มข้นขึ้นโดยระเหยตัวทำละลายออก (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, 2552)

คัดเลือกสีอินดิเคเตอร์จากผลิตภัณฑ์เกษตรชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจน 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-ด่าง โดยนำสีอินดิเคเตอร์ที่คัดเลือกจากข้อ 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-ด่างของฟิล์ม และบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อสารละลายบัฟเฟอร์ (คุณาธิปและคณะ, 2015 และ Musa et al., 2020) โดยตัดฟิล์มให้มีขนาด 1.5x1. cm<sup>2</sup> แล้วแช่ในขวดบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 2-11 ปริมาตร 3 ml 10 นาที

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

3.3 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอระเหย NH<sub>3</sub> (Wannawisan et al., 2019) โดยนำสารละลาย NH<sub>3</sub> เข้มข้น 0 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 0.1 M 10 ml ใส่ในจานเพาะเชื้อขนาด Ø 9 มม. ปิดด้วยฝาจานที่ติดฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ขนาด 1x1 cm<sup>2</sup> 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 คำนวณค่า 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-ด่างกับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเสื่อมเสียง่าย ใช้เป็นฉลากบ่งชี้ความสดของเนื้อปลา โดยนำเนื้อปลากะพงสดแช่เนื้อ 200 g บรรจุในกล่อง PP ความจุ 500 ml ปิดกล่องด้วยฝา

ที่ติดฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เติมสีอินดิเคเตอร์ 0 2 4 6 และ 8% ขนาด 1.5x1.5 cm<sup>2</sup> ด้านในฝากล่อง เก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 8 วัน สุ่มตัวอย่างทุกวัน วันละ 3 กล่อง นำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อปลา ได้แก่ ลักษณะภายนอกจากการประเมนด้วยตาเปล่า 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  $\Delta E$  เปรียบเทียบกับฟิล์มก่อนทดสอบ

### 3. การปรับแผนงบประมาณระหว่างปี

- ไม่มี    มี ได้รับอนุมัติเมื่อวันที่..... (โปรดแสดงหลักฐานในภาคผนวก)
- เปลี่ยนแปลงงบประมาณ โปรดอธิบายการเปลี่ยนแปลง.....
- เปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์/ผลผลิต โปรดอธิบายการเปลี่ยนแปลง.....

กรมวิชาการเกษตร

## บทที่ 3 ผลการศึกษา

### 3.1 ผลการดำเนินงานของโครงการ

ผลการวิจัยในโครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าในพืชและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติจำเพาะ สามารถสกัดเอาสารสำคัญไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เวชสำอาง และบรรจุภัณฑ์ โดยวิธีการสกัด สารสกัดที่ได้จากโครงการ และการนำไปประยุกต์ใช้ มีดังนี้

#### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับอาหารและเวชสำอาง

##### การทดลองที่ 1.1 การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

##### 1. การสกัดสารแคปไซซินจากพริก

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



Figure 1 Capsaicin extracts (crude extract) from Chilis

โดยพบว่า การสกัดพริกที่อัตราส่วนของพริกแห้งต่อเอทานอล 1:10 w/v ให้ปริมาณสารสกัดพริกสูงที่สุด รองลงมาคือการสกัดโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 1:7.5 และ 1:5 w/v ตามลำดับ โดยพริกพันธุ์เพชรดำ ให้ปริมาณสารสกัดสูงที่สุด รองลงมาคือพริกพันธุ์ยอดสน หัวเรือ จินดา จินดา ศก.84 และซุปเปอร์ฮอต เท่ากับ 23.60 21.06 20.32 19.05 19.00 และ 17.40 g ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบสารแคปไซซินในสารสกัดพริกโดยการวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่าการสกัดโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 w/v ได้ปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด รองลงมาคือ 1:7.5 และ 1:10 w/v เมื่อเปรียบเทียบพันธุ์พริกที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอลเท่ากัน พบว่าพริกพันธุ์หัวเรือมีปริมาณสารแคปไซซินและไดไฮโดรแคปไซซินสูงที่สุด รองลงมาคือพริกพันธุ์ยอดสน ซุปเปอร์ฮอต จินดา เพชรดำ และ จินดา ศก.84 ตามลำดับ (Table 1)



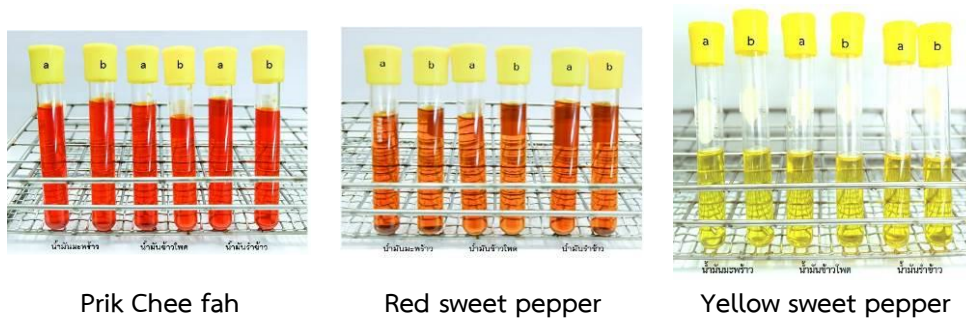
**Table 1** Capsaicin and dihydrocapsaicin contents in Chilis

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 ( $p < 0.05$ )

## 2. การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากพริก

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



**Figure 2**  
Carotenoid  
extracts (crude  
extract) from  
Chilis

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพริก ทั้ง 3 ชนิด ที่สกัดโดยน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าว อัตราส่วนพริกต่อน้ำมันเท่ากับ 1:2 และ 1:2.5 w/v พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณ แคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) โดยการสกัดพริก ด้วยน้ำมันรำข้าวได้สารสกัดที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดพริกที่ได้จากน้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะพร้าวตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณแคโรทีนอยด์ ทั้งหมดในน้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันรำข้าว กับ สารสกัดพริกในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารสกัด พริกในน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่าน้ำมันพืชสามารถ สกัดแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในพริกออกมาได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Guadarrama-Lezama et al. (2012) ที่รายงานว่า การใช้ไขมันพืชที่มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าช่วยสกัดแคโรทีนอยด์ออกจากพริกได้มากกว่า น้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวต่ำกว่า โดยน้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และน้ำมันข้าวโพดที่ใช้สกัด แคโรทีนอยด์ในงานวิจัยนี้มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวเท่ากับ 65 15 และ 13% ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลอง พบว่าสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจาก น้ำมันมะพร้าวอาจเนื่องจากปริมาณแคโรทีนอยด์โดยธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าวและน้ำมันข้าวโพดที่ใช้สกัดมี ปริมาณ 60.21 และ 48.51 mg/L ซึ่งสูงกว่าในน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณ 40.25 mg/L ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้สูงกว่า ซึ่งสารสกัดจากพริกชี้ฟ้ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดจากพริกหวานพันธุ์สีแดง และพริกหวานพันธุ์สีเหลือง ตามลำดับ โดยสาร แคโรทีนอยด์ที่พบในสารสกัดพริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าว 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 ( $\mu$ 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
<b>CV (%)</b>	<b>20.56</b>	<b>18.65</b>
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
<b>CV (%)</b>	<b>23.76</b>	<b>26.81</b>

### 3. การทำ encapsulation สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์

จากผลการสกัดแคปไซซินพบว่าพริกพันธุ์หัวเรือที่สกัดโดยใช้พริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 w/v มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด และผลการสกัดแคโรทีนอยด์พบว่าพริกชี้ฟ้าที่สกัดโดยน้ำมันรำข้าวที่อัตราส่วนพริกต่อน้ำมัน 1:2.5 w/v มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด จึงเลือกสารสกัดแคปไซซินจากพริกพันธุ์หัวเรือและสารสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกชี้ฟ้าที่สกัดโดยสภาวะดังกล่าวมาทำ encapsulation โดยใช้สารเคลือบ 2 ชนิด คือ มอลโตเด็คซ์ทรีนเข้มข้น 35% และกัมอะราบิกเข้มข้น 35% อิมัลชันของสารสกัดที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีส้ม เมื่อนำอิมัลชันมาทำ encapsulation ด้วยเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยที่อุณหภูมิขาเข้า 170 °C อุณหภูมิขาออก 90 °C จะได้สารสกัดแคปไซซินและสารสกัดแคโรทีนอยด์เป็นผงสีส้ม (Figure 3) อัตราส่วนสารสกัดแคปไซซิน สารแคโรทีนอยด์และสารเคลือบมอลโตเด็คซ์ทรีน 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/กรัม 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% ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตรและมะนาวพันธุ์แป้นมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ 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:มอลโตเด็กซ์ทรีน DE10 เท่ากับ 50:50 ฉีดพ่นที่อุณหภูมิเข้า 150 °C ได้มะนาวผง 45.91% มีความหอมและรสเปรี้ยวเหมือนมะนาวสด มีปริมาณกรดทั้งหมด 20.58 มิลลิกรัม/100 กรัมมะนาวผง มีความชื้น 3.12% (Table 6) คุณค่าทางโภชนาการของมะนาวผง 100 g คือ ให้พลังงาน 407.61 กิโลแคลอรี มีคาร์โบไฮเดรต 88.95 g โปรตีน 0.44 g แคลเซียม 61.38

mg โซเดียม 24.78 mg และวิตามิน 40.54 mg ซึ่งสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ โดยนำไปบรรจุในซอง อลูมิเนียมฟอยล์พร้อมใช้ 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
	a*	1.72	1.73
	b*	13.51	12.97



**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 Ammodium lauryl sulfate, ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส Lauryl glucoside (nonionic surfactant), Cocamidopropyl betain, Propylene-glycol, glydant, triethanolamine และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

- เซรั่มวิตามินซีบำรุงผิว ประกอบด้วย น้ำกลั่นบริสุทธิ์ กลีเซอริน cetaryl alcohol, phynoxyethanol และ ไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15% (Figure 6)

- เจลวิตามินซี ประกอบด้วย น้ำกลั่นบริสุทธิ์ แชนแทนกัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ propylene-glycol, methylparaben ไดโซเดียม-EDTA และไมโครแคปซูลวิตามินซี 5-15%

โดยวิตามินซีในน้ำมะนาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหอมระเหยให้ความหอม ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีคุณสมบัติทำให้ผิวพรรณชุ่มชื้น กระจ่างใส และสดชื่น



(a)



(b)

**Figure 6** Cosmetic products and from lime powder (a) and Nano-emulsions from lime essential oil (b)

5.3 ผลการเตรียมผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชัน โดยใช้ น้ำมันหอมระเหย 1000 mg ผสมกับ Tween60 ปริมาณ 6 8 และ 10 g ทำให้มีน้ำหนัก 15 g ด้วยเอทานอล 95% ผสมกันโดยใช้ Hand homogenizer 15 นาที ระเหยเอทานอลออกโดยใช้เครื่องระเหยสารสุญญากาศ 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)				AVG
	30	40	50	60	
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) ที่รายงานว่าการสกัดสารสีจากดอกอัญชันด้วยสารละลายกรด 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** เมื่อบีบใบเตยให้ละเอียดและแยกกากด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ 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 9) 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 (%)	5.74 b	5.30 b	4.80 a	8.61 c	4.46 b	3.25 a
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 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดแครอท 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 มีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด 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 (%)	3.19 a	3.04 a	2.98 a	5.24 b	3.13 a	2.80 a
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 ปริมาณ

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่า pH และค่าการละลายใกล้เคียงกัน โดยสีผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอุณหภูมิร้อนเข้า 160 °C มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 150 และ 170 °C ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ อุณหภูมิร้อนเข้า 160 °C ส่วนการศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่พบว่าสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 30% มีความชื้นน้อยที่สุด (Table 11) โดยสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 10% มีสีเข้มกว่าสีผงที่ผสม 20 และ 30% แต่มีค่าการละลายน้อยกว่า ซึ่งสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 10% มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสีผงที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทริน 20% ดังนั้นปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 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 (%)	3.41 b	3.24 ab	3.10 a	5.19 c	2.93 b	1.65 a
water activity	0.27	0.27	0.25	0.32	0.24	0.20
yield (%)	12.56	11.70	12.03	8.90	13.73	16.47
color value L*	43.27	43.46	43.61	41.69	44.16	47.25
a*	-1.53	-1.00	-1.02	0.37	-0.82	-2.03
b*	7.90	7.89	8.15	6.70	8.68	10.87
C*	8.05	7.97	8.23	6.71	8.72	11.06
h*	100.68	97.35	97.06	86.70	95.48	100.60
total soluble solid (°Brix)	9.49	9.59	9.28	9.12	9.83	10.01
pH	4.53	4.55	4.48	4.26	4.32	4.37
water solubility (%)	82.57	81.31	83.52	68.13	82.87	89.46
total chlorophyll (ug/g dry weight basis)	150.25a	152.46a	137.65a	185.95a	154.21ab	128.90b

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

จากการทดลองผลิตสีผงจากสารสกัดดอกอัญชัน แครอท และใบเตย ตามสภาวะที่เหมาะสม สีผงที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมีและสารปนเปื้อนดังนี้ สีผงจากดอกอัญชันมีเถ้า ความชื้น 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

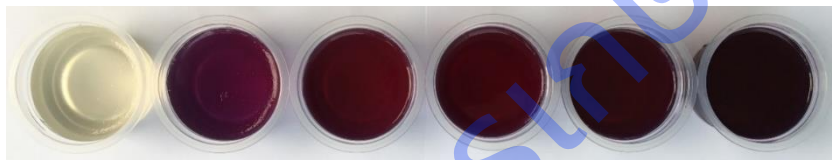


Figure 7 Jelly product in different butterfly pea powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)

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

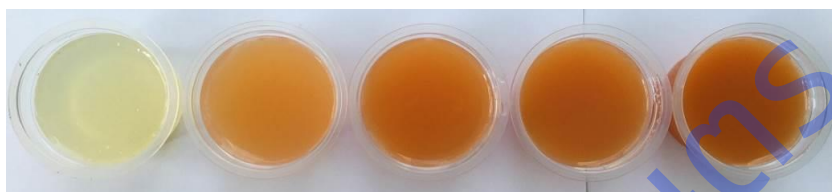


Figure 8 Jelly product in different carrot powder 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%)

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 ( $^{\circ}$ Brix)	23.32	25.27	25.67	26.05	24.87
pH	3.35	3.43	3.5	3.55	3.61
color value $L^*$	27.76a	28.30b	28.96c	29.34cd	29.60d
$a^*$	4.57a	4.65ab	4.94bc	5.20c	5.64d
$b^*$	-6.37a	-4.49b	-2.89c	-2.06d	-1.29e
$C^*$	7.84a	6.43b	5.72c	5.59c	5.80c
$h^*$	305.64a	316.33b	329.72c	338.33d	347.33e
total carotenoid ( $\mu\text{g} / \text{g}$ )	0.11e	0.30d	0.44c	0.62d	0.77a
total phenolic compound ( $\mu\text{g GAE} / \text{g}$ )	116.25a	116.41a	116.21a	122.24a	126.47a
antioxidant capacity by DPPH ( $\mu\text{g VCEAC} / \text{g}$ )	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 กลิ่นของสีผงจึงช่วยลดกลิ่น

ไข่ของครีมสังขยา 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

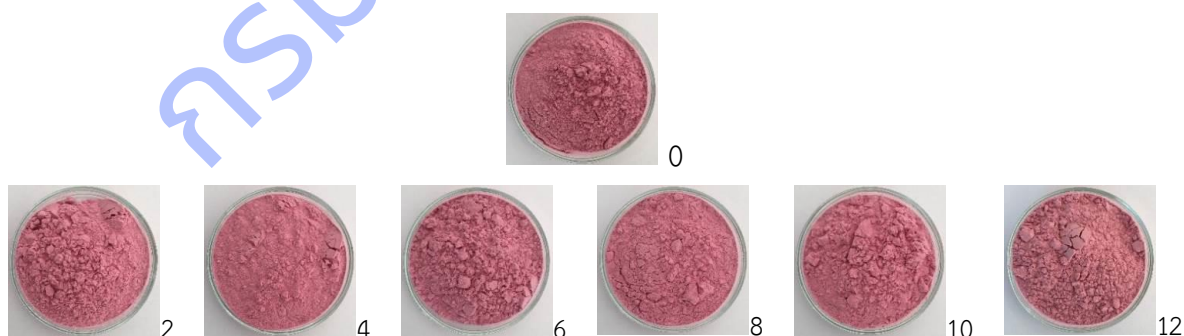
6.1 อายุการเก็บรักษาสีผงจากดอกอัญชัน พบว่าสีผงมีลักษณะดัง Figure 10 โดยตลอดอายุการเก็บรักษา ค่าสี L\* มีแนวโน้มลดลง ค่า  $\Delta E$  โดยรวมระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน ที่การเก็บรักษา 2-6เดือน มีค่าน้อยกว่า 2.3 แสดงว่าค่าสีของสีผงที่การเก็บรักษา 2-6 เดือน ไม่แตกต่างกับค่าสีของสีผงเริ่มต้น เมื่อเก็บรักษาตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป พบว่า  $\Delta E$  มีค่ามากกว่า 2.3 แสดงว่าสีของสีผงมีค่าสีแตกต่างกับค่าสีของสีผงเริ่มต้น เนื่องจากหากค่า  $\Delta E \geq 2.3$  แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (Sharma, 2003) การเก็บรักษาสีผงนานขึ้นทำ

ให้ความชื้นและค่า aw เพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษา 12 เดือน สีมังมีค่า aw เพิ่มขึ้นเป็น 0.372 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ซึ่งต้องมีค่า aw ต่ำกว่า 0.6 (ปรียาและสุดสาย, 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
$\Delta E$	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  $\Delta E$  น้อยกว่า 2.3 แสดงว่ามีค่าสีไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น ความชื้นของสีผงที่ 2-6 เดือน และ ค่า aw ของสีผงที่ 2-4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากสีผงเริ่มต้น แต่เมื่อเก็บรักษา 12 เดือน ค่า aw เท่ากับ 0.30 แตกต่าง



กับสีผงเริ่มต้น แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง การละลายของสีผงที่ 2-10 เดือน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น นอกจากนี้การเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 16)

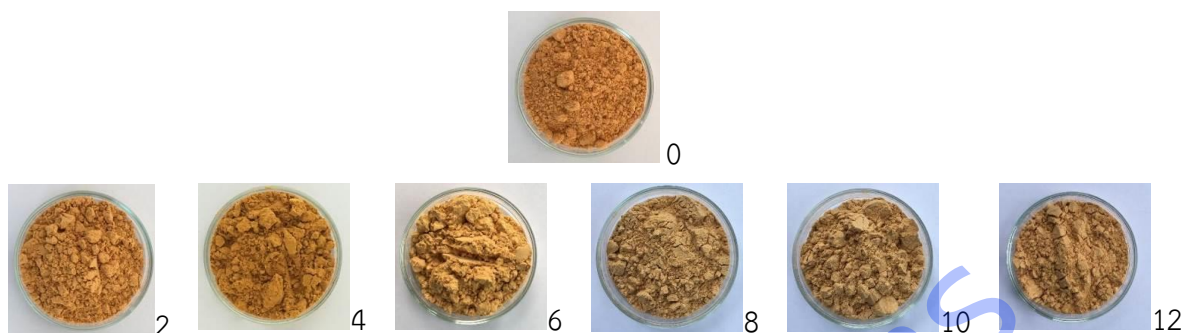


Figure 11 Appearance of carrot powder was kept at ambient temperature for 12 months

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
$\Delta E$	0	1.39	1.43	1.80	2.59	2.36	3.73
moisture content (%)	1.65a	1.76a	2.01a	1.96a	2.42b	2.88c	3.10c
water activity	0.27a	0.28ab	0.27a	0.29b	0.31c	0.30c	0.30c
water solubility (%)	84.51a	83.53a	81.65ab	82.87a	80.61ab	81.62ab	78.34b
pH	5.31ab	5.33b	5.32ab	5.3 ab	5.28ab	5.22a	5.28ab
total carotenoid (mg/100 g)	8.98a	8.60ab	8.30bc	8.34bc	8.11c	7.36d	7.51d
total phenolic compound (mg GAE/100 g)	180.30a	168.26ab	162.13bc	152.66bcd	150.72cd	147.43cd	139.88d
antioxidant capacity by DPPH (mg VCEAC/100 g)	67.84ab	71.020a	64.08b	57.08c	53.53c	45.46d	42.35d

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

6.3 อายุการเก็บรักษาสีผงจากใบเตย พบว่าสีผงที่ได้มีลักษณะดังภาพ Figure 12 โดยค่า  $\Delta E$  ตลอด 12 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่เกิน 2.30 แสดงว่าค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่แตกต่างกับสีผงเริ่มต้น ความชื้นของสีผงที่ 2-12 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากสีผงเริ่มต้น ค่า aw ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน มีค่าไม่



แตกต่างกัน การละลายของสีผงที่ 2-8 เดือน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้น นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษานานขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสีผงที่อายุการเก็บรักษา 0-12 เดือน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Table 17)

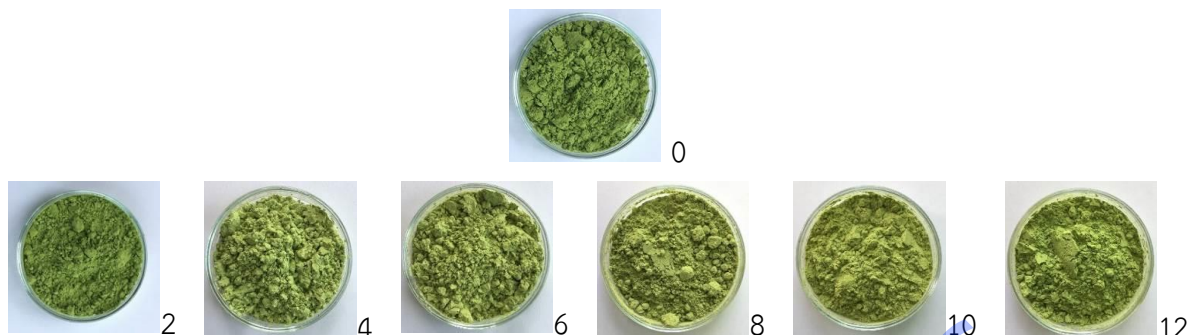


Figure 12 Appearance of pandan powder was kept at ambient temperature for 12 months

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 มอลโตเด็กซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท สีผงจากแคโรทีนปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 1,675 บาท ดังนี้ แคโรทีน 60 kg 1,500 บาท มอลโตเด็กซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท สีผงจากใบเตยปริมาณ 1.25 kg มีต้นทุนการผลิต 1,175 บาท ดังนี้ ใบเตย 40 kg 1,000 บาท มอลโตเด็กซ์ทรีน 2.5 kg 175 บาท ซึ่งต้นทุนการผลิตสีผงทุกสียังไม่รวมค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต

#### 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 <sup>a-f</sup> 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% ไกล์เคียงกับไซแลนทางการค้าที่มีปริมาณกรดยูโรนิกประมาณ 8.7-12.8% และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 60-80% โดยปริมาณกรดยูโรนิกและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและไซแลนทางการค้าแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากแหล่งของวัตถุดิบแตกต่างกัน 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  $\text{Na}^+$  ไปแย่งจับกับน้ำทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า salting out หรืออาจเกิดจากการที่ไอออน  $\text{Na}^+$  เกิดการผลักกันของตัวมันเองซึ่งเป็นผลทำให้ค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลง (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 (ไซแลนจากพืชวูด) พบว่าโครงสร้างของสารสกัดทั้ง 2 ชนิด มีองค์ประกอบหลักเหมือนกัน คือ น้ำตาลไซโรส โดยพบพีคที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน 5 ตำแหน่ง ได้แก่ หมู่ฟังก์ชัน C-O ที่ความยาวคลื่นช่วง 1039.65 (Table 19) ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะ  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 3) linkage และ  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) linkage ซึ่งพันธะดังกล่าวตรงกับโครงสร้างของไซแลนทางการค้าที่มีโครงสร้างเป็นน้ำตาลไซโรสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 3) linkage และ  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4)

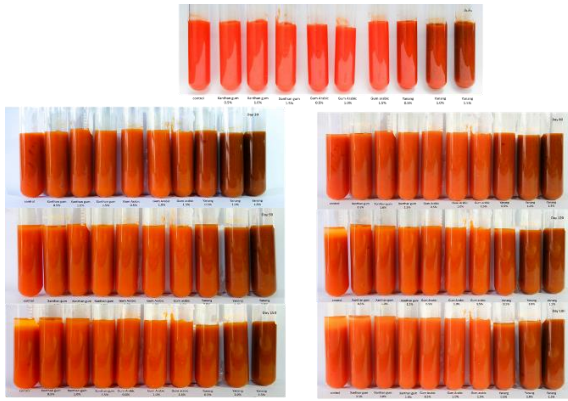
linkage และมีพีคที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันที่เป็นโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ พีคในช่วงความยาวคลื่น 3363.86  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพันธะ O-H ของหมู่ไฮดรอกซิล ที่บ่งบอกถึงพันธะไกลโคซิดิกซึ่งเป็นพันธะโครงสร้างทางเคมีของโพลีแซคคาไรด์ และยังมีโครงสร้างของหมู่เมทิล (C-H) ช่วง 2891.3  $\text{cm}^{-1}$  เป็นองค์ประกอบด้วย แสดงให้เห็นว่าสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางน่าจะเป็นสารไซแลน มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ และมีน้ำตาลไซโรสเป็นองค์ประกอบ

**Table 19** FTIR wave number and functional groups of hydrocolloids extracts from Yanang leaves and xylan

Functional groups	Wave number ( $\text{cm}^{-1}$ )	
	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 <sub>2</sub> Bending	1382.96	1384.89
C-O Stretching	1039.63	1043.49

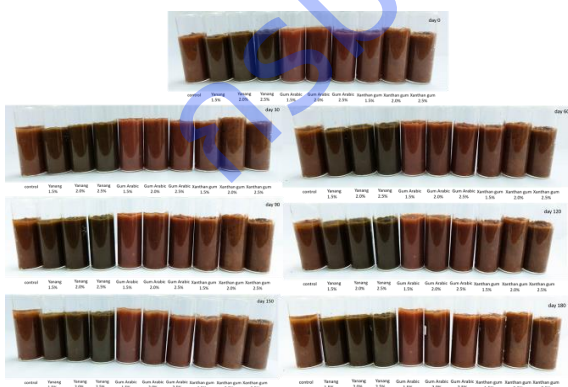
### 5. การประยุกต์ใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางในผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree เปรียบเทียบกับการใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า คือ แชนแทนกัมและกัมอาราบิก พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง 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 พบว่าซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางและสารให้ความคงตัวทางการค้าที่ความเข้มข้นเท่ากันให้ค่าความข้นหนืดจากมากไปน้อยและ % Serum Loss จากน้อยไปมากเรียงตามลำดับ ดังนี้ ซอสที่เติมแชนแทนกัม ซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง และซอสที่เติมกัมอะราบิก โดยซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง 1.5% มีค่าความข้นหนืด และ %Serum Loss ใกล้เคียงกับซอสที่เติมแชนแทนกัม 1.0% (Table 20) ดังนั้นสามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางที่ความเข้มข้น 1.5% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกได้ โดยเมื่อเก็บรักษา 6 เดือน พบว่าซอสที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านาง 1.5% มีความข้นหนืดลดลง 8.21% และค่าการแยกชั้นของซอสเพิ่มขึ้น 9.41% ใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมแชนแทนกัม 1.0% ที่มีค่าความข้นหนืดลดลง 4.87% และมีค่าการแยกชั้นของซอสเพิ่มขึ้น 5.46% ตามลำดับ และซอสพริกที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບย่านางความเข้มข้น 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 ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) for 180 days.

ผลการใช้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง แซนแทนกัม และกัมอะราบิก ปริมาณ 0.5 1.0 และ 1.5% ในอาหารเสริมสำหรับเด็กมีลักษณะปรากฏดัง Figure 17 โดยทำให้ค่าความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและ %Serum Loss ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง แซนแทนกัม และกัมอะราบิกที่ระยะเวลาเก็บรักษา 6 เดือน โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทุก 1 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางและสารให้ความคงตัวทางการค้าที่ความเข้มข้นเท่ากันให้ความข้นหนืดเรียงจากมากไปน้อยและค่า %Serum Loss เรียงจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ ผลิตภัณฑ์ที่เติมแซนแทนกัม ผลิตภัณฑ์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง และผลิตภัณฑ์ที่เติมกัมอะราบิก โดยผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางปริมาณ 2.0% มีค่าความข้นหนืด และ %Serum Loss ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมแซนแทนกัม 1.5% และเติมกัมอะราบิก 2.5% จึงสามารถใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางที่ความเข้มข้น 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. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง** พบว่ามีต้นทุนการผลิต 7,800.46 บาท/kg (ไม่รวมค่าอุปกรณ์ เครื่องมือ และพลังงานเชื้อเพลิง) โดยมีรายละเอียดต้นทุนของวัตถุดิบและสารเคมี ดังนี้ ใบย่านาง 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	Serum Loss (% w/w)								Consistency (g)						
	Day	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** <sup>a-j</sup> 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 ( $4\pm 2^\circ\text{C}$ ) 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** <sup>a-i</sup> 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 ออร์แกโนฟอสเฟต ออร์กาโนคลอรีน และไพรีทรอยด์ โดยน้ำคั้นมีคุณสมบัติดัง Table 22 คือ มีค่าของแข็งละลายน้ำ อยู่ในช่วง 3.3-6.1 °Brix และค่า pH อยู่ในช่วง 4.39-4.95 ซึ่งน้ำคั้นจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาและแกนมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงและมีค่า pH ต่ำกว่าส่วนจุกและก้านผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจุกและก้านผลมีค่าของแข็งละลายน้ำและ pH ไม่แตกต่างกัน ผลการตรวจสอบปริมาณโปรตีน พบว่าในน้ำคั้นจากจุกมีปริมาณสูงกว่าส่วนอื่น เท่ากับ 8.77 mg/g น้ำหนักสด โดยส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา แขน และก้านผล มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 4.30, 3.51 และ 4.23 mg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกัน น้ำคั้นที่ได้มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนเป็น 139.00 111.36 และ 106.12 CDU/g น้ำหนักสด จากจุก เปลือกติดเนื้อกับตา และแกน ตามลำดับ แต่ไม่พบค่ากิจกรรมเอนไซม์ในน้ำคั้นส่วนก้านผล อาจเนื่องมาจากก้านผลเป็นส่วนที่ถูกตัดออกจากลำต้นทำให้ผิวหน้าสัมผัสอากาศภายนอกระหว่างขนส่งและรอจำหน่ายทำให้เอนไซม์ค่อยๆ เสื่อมสภาพไป โดยค่ากิจกรรมเอนไซม์จากน้ำคั้นส่วนจุกมีปริมาณมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา เมื่อนำมาคำนวณค่ากิจกรรมจำเพาะที่แสดงถึงความบริสุทธิ์ของเอนไซม์พบว่าส่วนแกนและเปลือกติดเนื้อกับตามีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงไม่แตกต่างกันคือ 30.51 และ 26.14 CDU/mgโปรตีน ในขณะที่ค่ากิจกรรมจำเพาะของจุกเท่ากับ 16.13 CDU/mgโปรตีน ซึ่งแตกต่างจากสองส่วนข้างต้นมาก แม้ว่าส่วนจุกจะมีค่ากิจกรรมเอนไซม์สูงสุดแต่กลับมีค่ากิจกรรมจำเพาะน้อย แสดงให้เห็นว่าที่ได้จากจุกไม่ค่อยบริสุทธิ์ อีกทั้งยังเป็นชิ้นส่วนที่ไม่นิยมบริโภค จึงต้องตรวจสอบความปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกพัฒนากระบวนการผลิตเอนไซม์บรอมีเลนจากส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา เนื่องจากมีค่ากิจกรรมเอนไซม์และค่ากิจกรรมจำเพาะสูง 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 ( $p \leq 0.05$ ) by turkey's test, ND = Not detectable

## 2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในสกัดเอนไซม์บรอมีเลน

### 2.1 การศึกษาช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีบั่นชิ้นส่วนสับประรด

เอนไซม์เป็นสารชีวโมเลกุลที่ต้องดำเนินการภายใต้อุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเสียสภาพ จากการศึกษาพบว่าเอนไซม์บรอมีเลนสามารถทำงานได้ตั้งแต่ 10 °C โดยมีค่ากิจกรรมที่ดีในช่วง 40-60 °C แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์บรอมีเลนมีเสถียรภาพต่อการทำงานได้ครอบคลุมในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตีบั่นชิ้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา 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 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตีบั่นชิ้นส่วนสับประรด

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 เมื่อเปรียบเทียบ %yield ของเอนไซม์ที่ได้กับความบริสุทธิ์ที่ลดลงจากค่ากิจกรรมจำเพาะในขั้นตอนตีบั่น ร่วมกับการบีบคั้นแยกกาก จึงเลือกสภาวะการตีบั่นวัตถุดิบด้วยน้ำกลั่นนาน 1 นาที ที่ RT ก่อนนำไปบีบคั้นน้ำเป็นสภาวะที่เหมาะสม โดยไม่นำกากกลับมาทำซ้ำ

จากการศึกษาช่วงของอุณหภูมิและระยะเวลาในการต้บั่นชิ้นส่วนสับประรดที่เหมาะสม 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 การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์บรอมีเลนจากน้ำคั้นชิ้นส่วนสับประรดโดยวิธีการตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอล

เมื่อเติมเอทานอลเย็นลงในน้ำคั้นส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา ทำให้เอนไซม์บรอมีเลนเกิดการจับกลุ่มและเกิดเป็นตะกอนแยกตัวออกจากสารละลายเนื่องจากเอทานอลจะดึงโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถละลายอยู่ในสารละลายผสมนี้ได้ โดยขั้นตอนนี้ต้องทำภายใต้อุณหภูมิต่ำเพื่อลดการสูญเสียของเอนไซม์ (ทงง, 2530) ซึ่งหลังจากเติมเอทานอลลงในน้ำคั้นแล้วนำไปพักไว้ที่ 4 °C เพื่อให้เกิดตะกอนสมบูรณ์เป็นเวลา 30 60 120 และ 240 นาที พบว่าสารละลายตะกอนโปรตีนที่ได้มีปริมาณโปรตีนและค่ากิจกรรมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อความแปรปรวนของค่ากิจกรรมจำเพาะให้มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลากว่า 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) นอกจากนี้ยังได้ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการตีปั่นขึ้นส่วนสับประรดจากวิธีการเดิมที่เติมน้ำกลั่นอัตราส่วน 2:1 v/w เปรียบเทียบกับการตีปั่นโดยไม่เติมน้ำกลั่นภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาเดิม พบว่าได้น้ำคั้นที่ปริมาณผลผลิตเข้มข้นขึ้นประมาณ 20% ได้วิธีการทำเอนไซม์ผงจากส่วนเปลือกสับประรดคือตีปั่นวัตถุดิบที่ RT นาน 1 แล้วนำไปบีบคั้นน้ำ (ค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนอยู่ที่  $135.72 \pm 34.71$  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

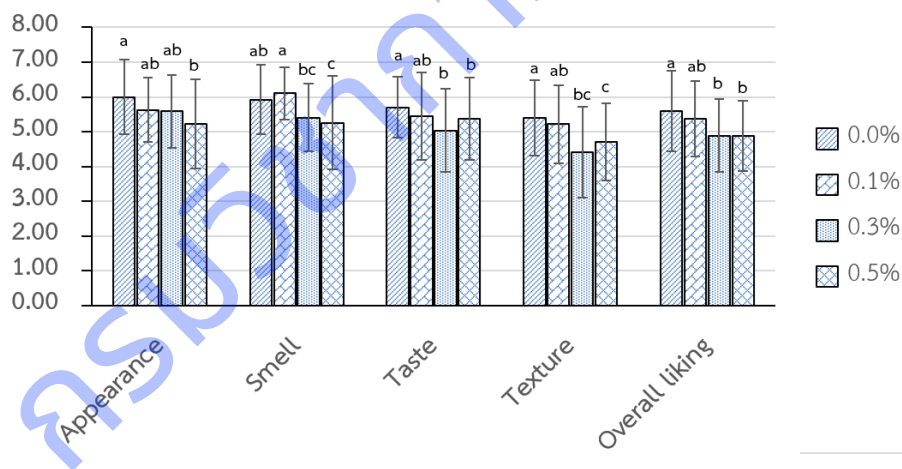
4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์สำหรับหมักเนื้อสัตว์ โดยนำเอนไซม์บรอมีเลนผงที่ผลิตได้มาใช้ร่วมกับซอสหมักเนื้อ เนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู โดยกำหนดสูตรพื้นฐาน และแปรปริมาณผงเอนไซม์ฯ ที่ 0.1 0.3 และ 0.5% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ โดยหมักทิ้งไว้เป็น 30 นาที ที่ RT หลังจากทำให้สุกแล้วสังเกตลักษณะชิ้นเนื้อหมูที่พบว่ามีลักษณะเนื้อนิ่มลง เสียรูปทรงมากขึ้น และฉีกขาดมากขึ้น ตามปริมาณของผงเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นในสูตรซอสหมัก เมื่อนำไปทดสอบค่าเนื้อสัมผัส พบว่าชิ้นเนื้อมีความแข็งแรง ความแข็ง ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยว ลดลงเมื่อปริมาณผงเอนไซม์เพิ่มขึ้นตามลำดับ (Table 26) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์บรอมีเลนที่ผลิตได้มีความสามารถในการย่อยพันธะเปปไทด์ของโปรตีนแล้วทำให้ความสามารถในการรัดตัวของกล้ามเนื้อเสื่อมสภาพลง (Kang and Rice, 1970) เนื้อจึงมีความแข็งแรงน้อยลงและถูกตัดขาดได้ง่ายขึ้น การเติมเอนไซม์ที่ปริมาณ 0.3 และ 0.5% มีค่าแรงเคี้ยวและความทนต่อการเคี้ยว 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 แต่เมื่อเติม

เอนไซม์ 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) โดยการใช้งผงเอนไซม์ที่มากเกินไปทำให้ชิ้นเนื้อเปื่อยยุ่ย ไม่คงรูป ดังนั้นการประยุกต์ใช้เอนไซม์บรอมีเลนผงสำหรับซอสหมักเนื้อ เนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู่ 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 อย่างไรก็ตามการผลิตในระดับสเกลที่ใหญ่ขึ้นและมีระบบการนำเอทานอลมาหมุนให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ซ้ำจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลงได้ อีกทั้งเป็นการหมุนเวียนผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตตามหลัก BCG model



## กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพ

### การทดลองที่ 2.1 การผลิตฟิล์มด้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ

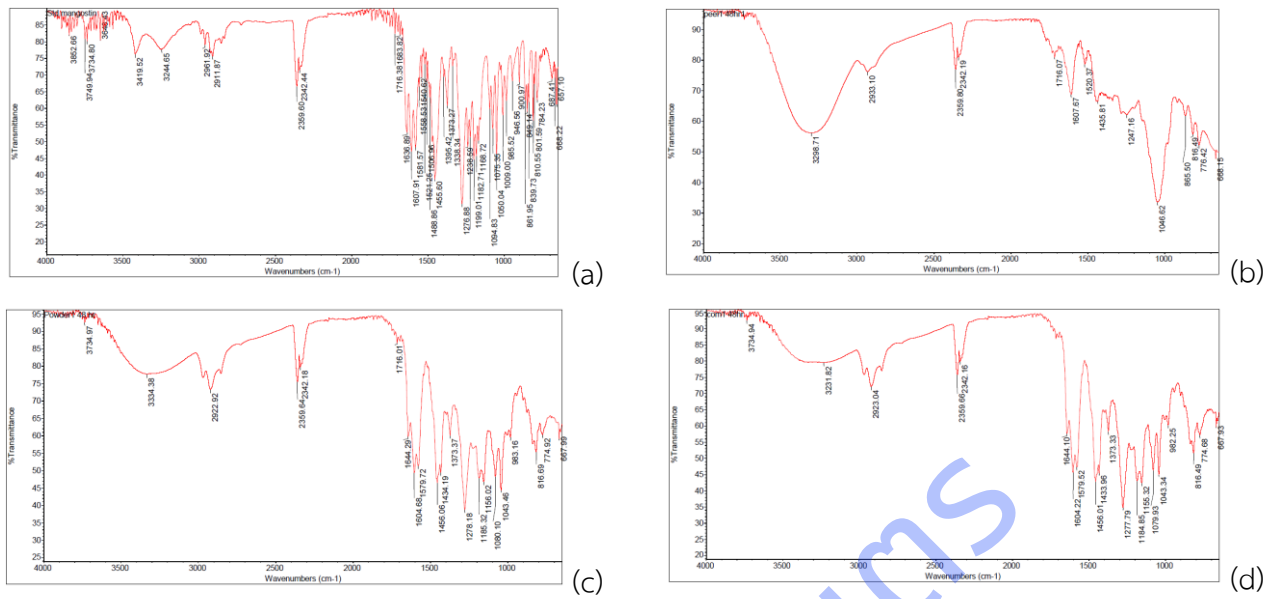
1. การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยเปลือกมังคุดที่นำมาสกัดมาจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกมังคุดจากผลมังคุดสดและเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่ามังคุดสดประกอบด้วยเปลือก 52.17% เมื่ออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 °C จะได้เปลือกมังคุดแห้ง 33.67% โดยน้ำหนักเปลือกสด มีความชื้น 4.36% มีลักษณะดัง Figure 20(a) เมื่อบดให้เป็นผงละเอียดจะได้ผงสีน้ำตาลมีความชื้น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



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

### 2. วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหายที่ได้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของสารสกัดเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสทิน ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด มีแอลฟา-แมงโกสทินเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีสเปกตรัมหลักหรือมีโครงสร้างหลักเหมือนกับสารมาตรฐาน โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัม พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีสเปกตรัมหลักในตำแหน่งและความเข้มของสเปกตรัมเหมือนกับสารมาตรฐานมากกว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบขึ้นบาง 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<sub>n</sub> stretching และ C-H vibration ของกลุ่มเมทิลในโครงสร้างของแอลฟา-แมงโกสทิน ที่  $1716\text{ cm}^{-1}$  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)



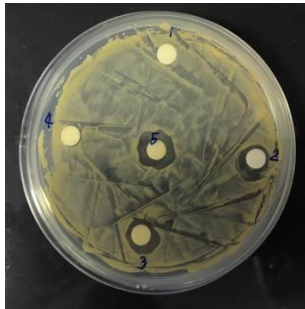
**Figure 21** Wave number of FTIR spectra of  $\alpha$ -mangostin standard (a) crude extract from slices of dried mangosteen peel (b) crude extract from dried mangosteen peel powder (c) and crude extract from commercial mangosteen peel powder (d).

จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทินในสารสกัดหยาบที่ได้ด้วยเครื่อง UV-VIS พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีสารแอลฟา-แมงโกสทินใกล้เคียงกันคือ 55.74 และ 55.70% ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบางมีปริมาณ 47.39% แสดงให้เห็นว่าแม้จะสกัดได้สารสกัดหยาบปริมาณมากแต่สารสกัดที่ได้อาจมีสารสำคัญที่ต้องการในปริมาณน้อยแต่มีสารชนิดอื่นถูกสกัดออกมามากกว่า สอดคล้องกับสเปกตรัมของสารสกัดที่ตำแหน่ง  $3298\text{ cm}^{-1}$  และ  $1046\text{ cm}^{-1}$  ที่มีความเข้มและความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างของสารชนิดอื่น ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากตัวอย่างแบบชิ้นบางมีพื้นที่ให้ตัวทำละลายเข้าไปสกัดเอาสารสำคัญออกมาได้น้อย

**3. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด** ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้ง พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ สอดคล้องกับรายงานของอุดมลักษณ์และคณะ (2549) แต่มีประสิทธิภาพแตกต่างกันดัง Figure 22 โดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อได้ดีที่สุด มี  $\varnothing$  วงใสเฉลี่ย 12.25 มม. สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสทิน คือ มีปริมาณสารสูงสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี เนื่องจากมีปริมาณสารออกฤทธิ์ไปทำลายเชื้อได้มากกว่า ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดแบบชิ้นบาง และสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีขนาดของ  $\varnothing$  วงใสเฉลี่ยเท่ากับ 8.56 และ 8.38 mm. โดยการยับยั้งเกิดจากกลไกการทำงานของสารแซนโทนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในสารสกัดจากเปลือกมังคุด ยับยั้งการเกิดกิจกรรมต่างๆ ในผนังเซลล์ ยับยั้งการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ในการสังเคราะห์โปรตีน การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน และการยับยั้งเอนไซม์ โดยแซนโทนจะไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเชื้อ ซาโปนินจะไปเพิ่มแรงตึงผิวให้ผนังเซลล์ทำให้เยื่อหุ้ม



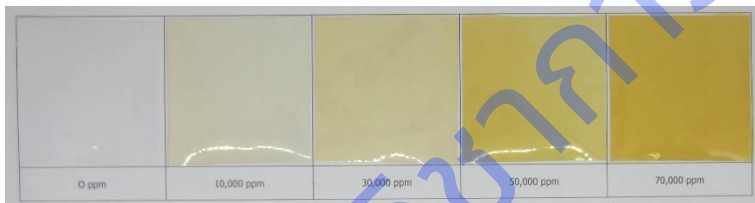
เซลล์ถูกทำลาย โลโปฟิติกและเทอฟินอยด์จะไปทำลายเมมเบรนของเซลล์ และสารพอลิฟีนอลจะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียเสื่อมสภาพ เป็นต้น (Sitti R H S. et al., 2018)



**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



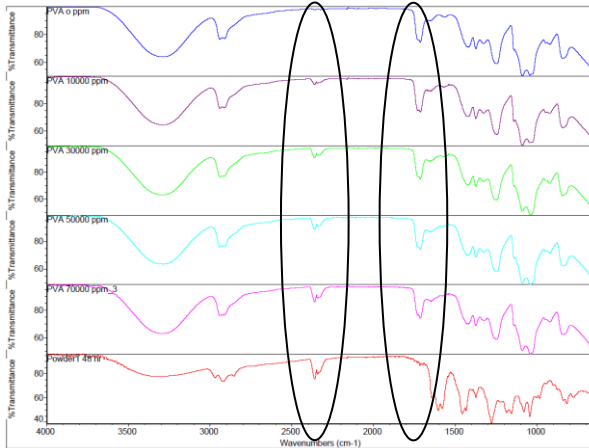
**Figure 23** PVA films appearance at various mangosteen peel extract various content: 0, 10,000, 30,000, 50,000 and 70,000 ppm (left to right).

**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 <sup>2</sup> )	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  $\text{cm}^{-1}$  มีความเข้มของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารสกัดเพิ่มขึ้น และไม่มีสเปกตรัมในช่วง 1714–1713  $\text{cm}^{-1}$  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.

โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัมเปรียบเทียบกันพบว่า ฟิล์ม PVA ที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด มีสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 3286 และ 3266  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของ PVA ซึ่งจะอยู่ในช่วง 3550–3200 ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของสารสกัด ส่วนสเปกตรัมของสารสกัดที่ตำแหน่ง 3298  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เดียวกันนั้นเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของกลุ่มไฮดรอกซิลของแซนโทน (Aisha et al., 2015) ส่วนช่วง 3000–2840  $\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C-H<sub>n</sub> stretching และ C-H vibration ของกลุ่มเมทิลในโครงสร้างของแอลฟา-แมงโกสทิน และกลุ่มอัลคิลของ PVA (Machmudah et al., 2014 และ Mansur et al., 2008) ที่ตำแหน่ง 2359–2342 เป็นตำแหน่งของ C-O stretching (Netata et al., 2014) ของแซนโทนในสารสกัด ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัด และความเข้มหรือความสูงของสเปกตรัมที่ตำแหน่งนี้เพิ่มขึ้นในฟิล์มที่เติมสารสกัดปริมาณมากขึ้น และที่ตำแหน่ง 1714  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งพบในฟิล์มทั้งที่เติมและไม่เติมสารสกัดแต่ไม่พบในสารสกัดเกิดจากการ stretching vibration ของ C=O ของกลุ่มคาร์บอนิลของพอลิไวนิลอะซิเตตที่หลงเหลือจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตตเพื่อเตรียม PVA (Korbag et al., 2016) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดกับ PVA เกิดแรงกระทำระหว่างกัน ทำให้เกิดสเปกตรัมในตำแหน่งของทั้งสารสกัดและ PVA ในฟิล์มทุกกรรมวิธี และฟิล์มแสดงสเปกตรัมที่เข้มข้น/สูงขึ้นในตำแหน่งของสารสกัดเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น

เมื่อทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามปริมาณสารสกัดที่เติม ดัง Table 27 โดยฟิล์มทุกกรรมวิธีมีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.11–0.13 mm. มีความชื้นลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกับการละลายน้ำที่ลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น 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 เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์มซึ่งหากมีค่าสูงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ดี 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/cm<sup>2</sup> 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 จะต้องมีความต้านทานแรงดึงขาดอย่างน้อย 30 MPa หรือประมาณ 306 kgf/cm<sup>2</sup> และสามารถดึงยึดได้อย่างน้อย 120% ซึ่งฟิล์มที่เตรียมได้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้จะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมด้านความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้บรรจุอาหาร

**5. ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม** โดยนำมาทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* พบว่าไม่เกิด clear zone บริเวณรอบๆ ฟิล์ม เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดไม่ได้แพร่ออกมาจากฟิล์ม อีกทั้ง PVA ละลายน้ำได้ดี เมื่อวางบนอาหารทำให้ฟิล์มละลายออก โดยฟิล์มไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm ไม่สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้ เนื่องจากเชื้อเจริญเติบโตได้ดีในงานเพาะเชื้อจนมองไม่เห็นฟิล์ม ส่วนฟิล์มเติมสารสกัด 30,000 และ 50,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้เล็กน้อย เนื่องจากยังพบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของฟิล์ม ส่วนฟิล์มเติมสารสกัด 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้ดี เนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม โดยมีขนาด  $\phi$  ของวงใสเฉลี่ยเท่ากับ 13.25

mm. ดัง Figure 25 ดังนั้นจึงสามารถนำฟิล์ม PVA เต็มสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm ไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ได้



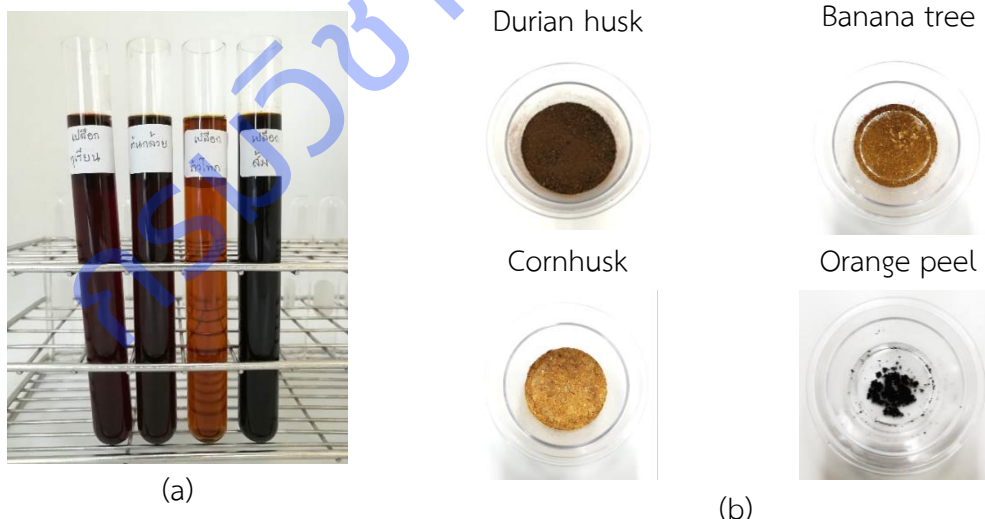
**Figure 25** Inhibition zone of PVA films incorporated with various content of dried mangosteen peel powder extract: 0 10,000 30,000 50,000 and 70,000 ppm against *Staphylococcus aureus* (left to right and top to down).

**6. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต** เป็นต้นทุนจากการสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุด 12 บาท/g PVA เกรดทางการค้า 230 บาท/kg กลีเซอรอล 1 บาท/ml ดังนั้นในการเตรียมฟิล์ม PVA เต็มสารสกัดจากเปลือกมังคุด 70,000 ppm มีต้นทุนจากสารเคมีทั้งหมด 17 บาท/ตารางฟุต หรือประมาณ 0.60 บาท/cm<sup>2</sup>

## การทดลองที่ 2.2 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 มีสีน้ำตาลทำ

หน้าที่คล้ายกาวยึดเส้นใยให้ติดกัน สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าได้ เช่น ผงถ่านกัมมันต์ สารตัวเติม พอลิเมอร์ ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ เป็นต้น (Aadil et al., 2016a) จากการทดลอง พบว่า น้ำดำที่ได้จากการต้มเยื่อไม้สีที่แตกต่างกัน โดยสีของน้ำดำจากเปลือกทุเรียน ตันกล้วย และเปลือกส้ม มีสีที่เข้มกว่าเปลือกข้าวโพด (Figure 26 (a)) ดังนั้นในน้ำดำที่มีสีเข้มกว่าจะมีปริมาณสารอินทรีย์และลิกนินที่มากกว่า โดยน้ำดำจากการต้มเปลือกทุเรียนมีปริมาณลิกนินสูงสุด 39.5% รองลงมาคือ น้ำดำจากการต้มเปลือกข้าวโพด ตันกล้วย และเปลือกส้ม มีปริมาณลิกนิน 13.5 3.0 และ 2.0% ตามลำดับ มีลักษณะเป็นของแข็ง สีน้ำตาล สีอ่อนกว่าลิกนินทางการค้า เนื่องจากลิกนินที่ได้มาจากพืชต่างชนิดกันความเข้มของสีจึงแตกต่างกัน (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%

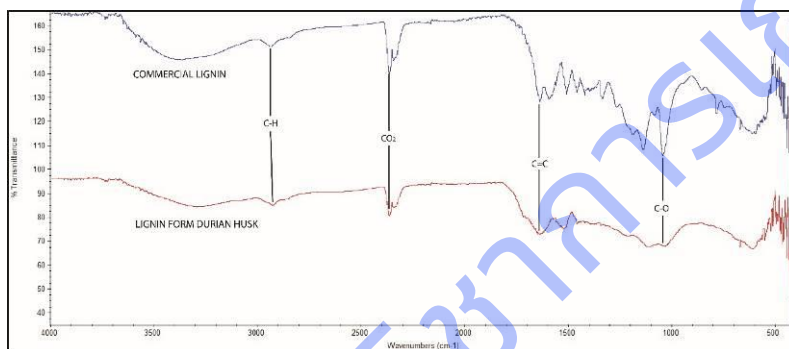


Figure 27 ATR-FTIR spectra of commercial lignin and lignin from durian husk

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของลิกนิน แสดงดัง Figure 27 โดยเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของลิกนินทางการค้าและลิกนินจากเปลือกทุเรียน พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกัน โดยสเปกตรัมของสารอยู่ในช่วง  $1300-650\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสารที่พบอยู่ในช่วงนี้ได้แก่ C-O stretching ช่วง  $1019$  และ  $1039\text{ cm}^{-1}$  สำหรับช่วง  $4000-1300\text{ cm}^{-1}$  เป็นบริเวณของหมู่ฟังก์ชันจะปรากฏฟังก์ชันที่สำคัญของหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ C-H stretching ช่วง  $2925$  และ  $2935\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  ช่วง  $2359\text{ cm}^{-1}$  และ C=C (alkenes) stretching ช่วง  $1633\text{ cm}^{-1}$  (Awal and Sain, 2011 and Cao et al., 2013) ดังนั้นผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าสารที่สังเคราะห์ได้ คือ ลิกนิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่ด้วย DSC พบว่า ลิกนินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน มีค่าพลังงาน  $71.22\text{ J/g}$  มากกว่าลิกนินทางการค้าที่มีค่าพลังงาน  $69.85\text{ J/g}$  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  $40\text{ mL/min}$  พบว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน (endothermic



reactions) เนื่องจากเกิดการหลอมเหลวที่จุดต่ำสุดของกราฟ (Tipduangta and Jakkapan, 2018) ผลการวิเคราะห์น้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) ของลิกนินและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (DTg) การไหลของความร้อน (Heat flow) และการสูญเสียน้ำหนัก (Tg) โดยทำการทดสอบเผาผลาญที่ช่วงอุณหภูมิ 30 - 200 °C (อัตราการให้ความร้อน 10 °C /min) ภายใต้ก๊าซ N<sub>2</sub> อัตรา 30 ml/min พบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของลิกนินทางการค้าเกิดขึ้นที่ 65.00 °C ใช้เวลาน้อยและอุณหภูมิต่ำกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียน ซึ่งมีค่าอุณหภูมิ 190.00 °C แสดงให้เห็นว่าลิกนินทางการค้าสลายตัวได้เร็วกว่าเมื่อได้รับความร้อน สำหรับการไหลของความร้อนสูงสุดของลิกนินทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าเท่ากัน คือ 183.00 °C และการสูญเสียน้ำหนัก (Tg) บ่งบอกถึงปริมาณกากของลิกนินที่เหลือจากการเผา ถ้าพบปริมาณกากมาก (Tg สูง) แสดงว่ามีการสูญเสียน้ำหนักน้อย โดยลิกนินทางการค้ามี Tg 87.05% สูงกว่าลิกนินจากเปลือกทุเรียนที่มี Tg 86.01% สำหรับช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวของลิกนินช่วง 30-150 °C เกิดจากน้ำที่อยู่ในลิกนินระเหยออกไป ส่วน 150-200 °C เกิดจากการสลายตัวของลิกนินแปรเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย เช่น CO, CO<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub> 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) แต่เปลือกทุเรียนมีปริมาณการทิ้งสูงสุดโดยเฉพาะจากการบริโภคในช่วงฤดูกาลที่มีผลผลิตออกสู่ตลาดซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขยะ (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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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  $H_2SO_4$  40% จะได้นาโนเซลลูโลสที่มีขนาดอนุภาค 0.05 nm. การใช้ความเข้มข้นของกรดน้อยกว่า 30% กรดไม่สามารถย่อยเส้นใยได้สมบูรณ์ ส่วนการใช้กรดมากกว่า 40% เส้นใยจะไหม้ยุ่ยเป็นสีดำ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากการใช้กรดในปริมาณที่น้อยการทำปฏิกิริยาของกรดกับเส้นใยเกิดได้ไม่สมบูรณ์ หรือมากจนเกินไปการทำปฏิกิริยาของกรดกับเส้นใย ส่งผลให้โครงสร้างเส้นใยถูกทำลายด้วยกรด (Liu et al., 2016) เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยโดยใช้ TEM กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเส้นใยมีขนาดเล็ก กระจุกตัวกันเป็นกลุ่ม โดยสาเหตุที่เส้นใยมีขนาดเล็กเกิดจากการย่อยด้วยกรด การใช้สารฟอกสี และการใช้แรงเชิงกลในการลดขนาดเส้นใยให้เหมาะกับการผลิตเป็นนาโนเซลลูโลส เมื่อวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพื่อหาความเป็นผลึกของสาร พบว่านาโนเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณความเป็นผลึกสูง โดยมีความเป็นผลึกถึง 94.30% ความเป็นผลึกสูงจะช่วยให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มชีวภาพให้ดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่เหมาะสมในการเติมด้วย ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของนาโนเซลลูโลสด้วย AFM พบว่า ความขรุขระของนาโนเซลลูโลสมีค่า 6.278 นาโนเมตร เส้นใยมีการกระจุกตัวเป็นกลุ่ม สอดคล้องกับการใช้ TEM กำลังขยาย 50 เท่า ความขรุขระที่ต่ำส่งผลให้สามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งผสมสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพได้ ต้นทุนการผลิตนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 141.93 บาท/g ถูกกว่านาโนเซลลูโลสทางการค้าที่มีราคา 1,050 บาท/g

## 2. การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้นาโนเซลลูโลสและลิกนินเป็นสารเติมแต่ง

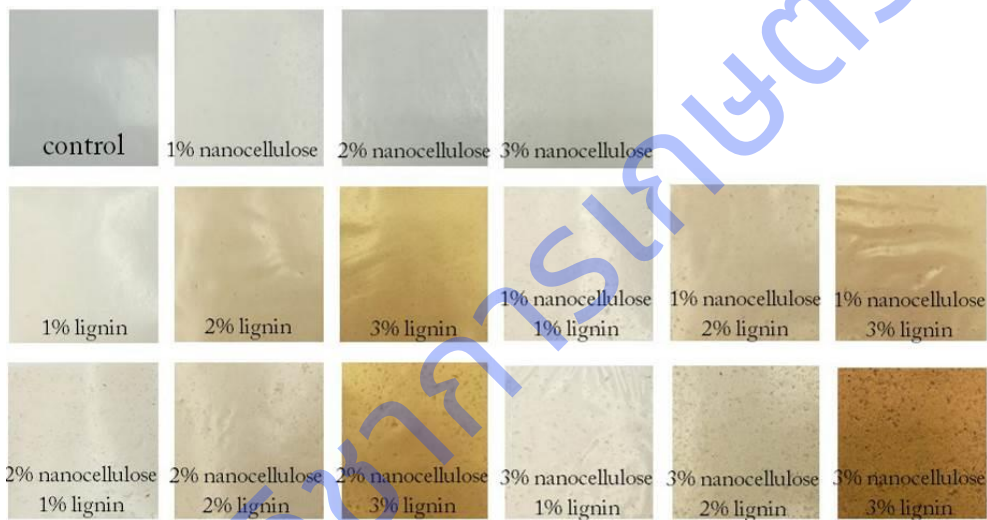
**2.1 การเตรียมแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง** พบว่าสตาร์ชที่ได้มีสีขาว หลังจากอบและบดแล้วจะเป็นผงละเอียดสีขาว มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ 106.55 ปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 22% สอดคล้องกับ Rolland-Sabaté et al. (2012) ที่รายงานว่าแป้งสตาร์ชมันสำปะหลังมีอะไมโลสเท่ากับ 21.5%

**2.2 การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ** โดยทดลองขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ พบว่าได้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันออกไปตามปริมาณสารเติมแต่งที่ที่แตกต่างกัน ดัง Figure 30 โดยฟิล์มมีสมบัติ ดังนี้

**1) สมบัติเชิงกล** ได้แก่ TS และ %E พบว่า การเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสในฟิล์มชีวภาพมีค่า TS น้อยกว่าฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม (C) อย่างมีนัยสำคัญ โดยฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม มีค่า TS สูงถึง 229.36 kgF/cm<sup>2</sup> เกิดจากการที่ลิกนินมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ส่งผลให้การรวมเป็นเนื้อเดียวกับฟิล์มสตาร์ชได้ไม่สมบูรณ์ (Acosta et al., 2015) ส่วนนาโนเซลลูโลสเกิดจากการกระจายตัวของนาโนเซลลูโลสไม่สม่ำเสมอบนแผ่นฟิล์มชีวภาพ ส่งผลให้บริเวณของฟิล์มที่มีการกระจุกตัวของนาโนเซลลูโลสขาดเป็นลำดับแรก เมื่อพิจารณาค่า TS ของฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส(N) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) พบว่า ฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส มีค่าลดลงเมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่ 93.71



kgF/cm<sup>2</sup> เนื่องจากปริมาณของนาโนเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นทำอันตรกิริยากับวัสดุหลักลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง (Chen et al., 2019) ฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น มีค่าสูงสุด 151.51 kgF/cm<sup>2</sup> ที่ปริมาณลิกนิน 2% (L2) และลดลงเมื่อเติมลิกนิน 3% (L3) เพราะหมู่ฟังก์ชันในส่วนที่ขอบน้ำระหว่างสตาร์ชและลิกนินยึดติดได้ดีในระดับหนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินเกินจากนั้น อันตรกิริยาการยึดติดกันระหว่างสตาร์ชและลิกนินอ่อนแอลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง (Bhat et al., 2013) และฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน มีค่า TS สูงสุด 131.98 kgF/cm<sup>2</sup> ที่ปริมาณนาโนเซลลูโลส 2%/ลิกนิน 3% (N2L3) การเติมปริมาณนาโนเซลลูโลสมีผลอย่างยิ่งในการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแข็งแรงของฟิล์ม โดยการเติมนาโนเซลลูโลส 1% แปรปริมาณลิกนิน 1 2 และ 3% ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณนาโนเซลลูโลส 2 และ 3% ความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการที่หมู่ฟังก์ชันในส่วนที่ขอบน้ำระหว่างนาโนเซลลูโลสและลิกนินยึดติดได้ดีในปริมาณที่เหมาะสม 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) โดยการเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลสในแผ่นฟิล์มชีวภาพมีค่าร้อยละการยึดตัวสูงสุดถึง 25.16% อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม เกิดจากการที่โครงสร้างของสตาร์ชถูกทำลายทำให้อนุภาคของลิกนินและนาโนเซลลูโลสเข้าไปแทรกโครงสร้างของสตาร์ชได้ ส่งผลให้การเหนียวน้ำระหว่างพันธะไฮโดรเจนของสตาร์ชจำกัดลง เกิดการรวมตัวเป็นโครงสร้างใหม่ ในขณะที่เดียวกันสายโซ่โมเลกุลของสตาร์ชแบบอสัณฐาน ไม่สามารถหมุนหรือบิดตัวโครงสร้างได้เช่นเดียวกับพันธะไฮโดรเจนของสตาร์ช ทำให้เกิดการเชื่อมต่อ

ของสายโซ่พอลิเมอร์และจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ในระบบ (ลิกนิน-นาโนเซลลูโลส-วัสดุหลัก) (Yang et al., 2020) ส่งผลให้แผ่นฟิล์มแข็ง (stiffness) ความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง (Espinosa et al., 2019) ดัง Figure 31

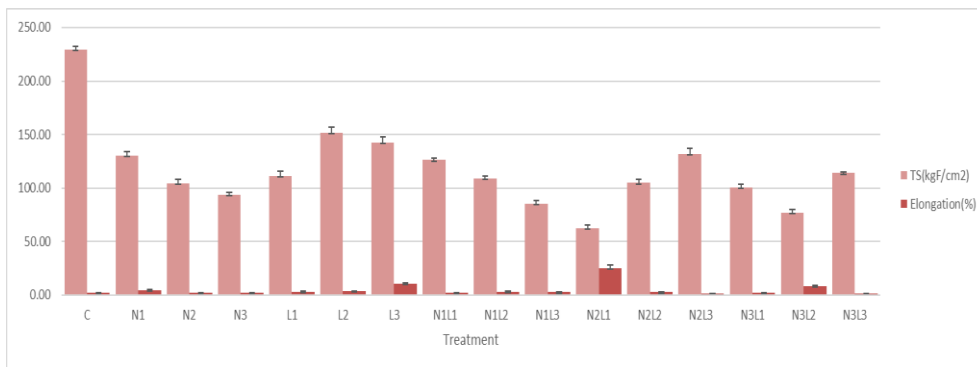


Figure 31 Tensile strength and elongation at break of biofilms

2) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนา พบว่า การเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากการเติมสารลงในแผ่นฟิล์มทำให้ปริมาตรของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น (Nagar et al., 2019) โดยฟิล์มเติมนาโนเซลลูโลส 3%/ลิกนิน 3%(N3L3) มีค่าสูงสุด คือ 0.228 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชีวภาพชุดควบคุมแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส และแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนิน โดยความชื้นของฟิล์มช่วยให้เข้าใจอันตรกิริยาขององค์ประกอบหรือส่วนผสมในการผลิตฟิล์มและผลของน้ำที่มีต่อฟิล์ม พบว่าฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุมและเติมลิกนิน โดยฟิล์มชีวภาพเติมนาโนเซลลูโลส 3%(N3) มีความชื้น 13.01% แตกต่างกับแผ่นฟิล์มชีวภาพทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ โดยนาโนเซลลูโลสจัดอยู่ในสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (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)

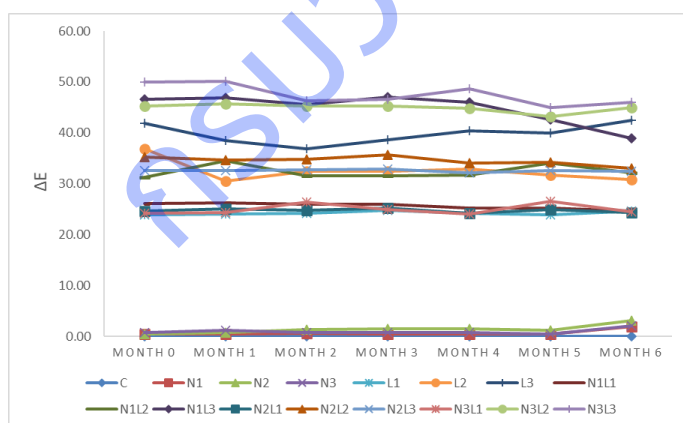


Figure 32 Total Color Difference ( $\Delta E$ ) of biofilms

ผลของค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) พบว่า พิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสมีค่า  $\Delta E$  เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อพื้นผิวการดูดซับแสงของฟิล์มชีวภาพ (Nagar et al., 2019) ส่วนฟิล์มชีวภาพที่เติมลิกนินมีค่า  $\Delta E$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสและชุดควบคุม(C) โดยฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส 3%/

ลิกนิน 3%(N3L3) มีค่า  $\Delta E$  สูงสุด เนื่องจากลิกนินอยู่ในรูปผงสีน้ำตาลเข้มเมื่อเติมลงในฟิล์มชีวภาพแล้วยังคงเป็นสีน้ำตาล ดังนั้น การเพิ่มปริมาณลิกนินในฟิล์มชีวภาพส่งผลให้ค่า  $\Delta E$  เพิ่มขึ้นด้วย (Shankar et al., 2015) จากการเก็บรักษาฟิล์มชีวภาพเพื่อศึกษาค่า  $\Delta E$  เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าค่า  $\Delta E$  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

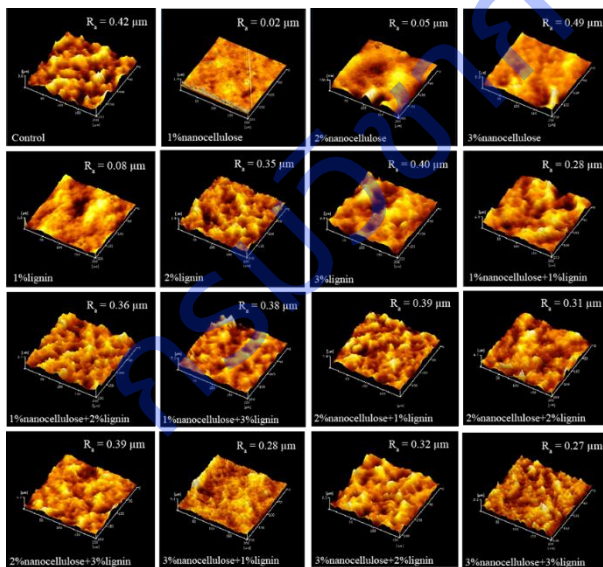


Figure 33 Micromorphology and roughness of biofilms measured by AFM

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) และฟิล์มชีวภาพผสมนาโน

เซลลูโลสและลิกนิน(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) มีค่าสูงสุด195  $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$  อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มชีวภาพชุดควบคุม(C) ดังนั้น เลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพเติมลิกนิน(L3) ที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุด เป็นปัจจัยหนึ่งพัฒนาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง แสดงดัง Figure 34

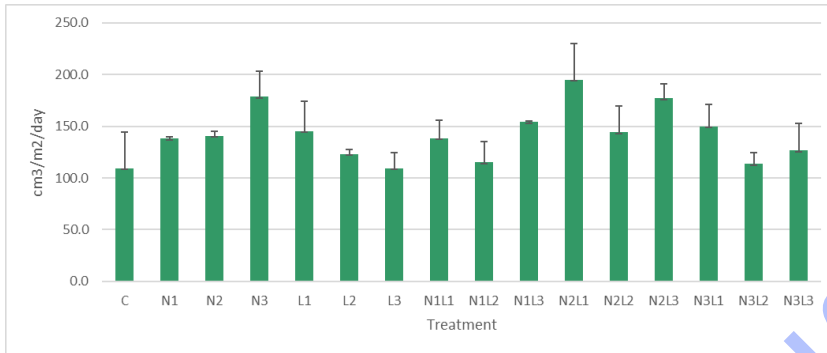


Figure 34 Oxygen transmission rate (OTR) of biofilms

5) การต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้: ผลของค่าการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ของแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยแบ่งช่วงความยาวคลื่นเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 300 400 และ 700 นาโนเมตร พบว่าการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ได้ดีกว่าการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากลิกนินมีสมบัติในการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ โดยนาโนเซลลูโลสอาจเป็นตัวช่วยเพิ่มสมบัติการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ดียิ่งขึ้น เพราะนาโนเซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง สามารถเกิดการหักเหและสะท้อนของแสงได้ดี สอดคล้องกับ Castillo et al. (2013) ที่กล่าวว่า การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งส่งผลให้เพิ่มความสามารถของการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวบวกรวม สามารถเพิ่มสมบัติต้านทานรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ รวมถึงส่งผลให้ค่าสีของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในการทดลองเลือกความยาวคลื่นที่ 400 นาโนเมตร มาศึกษา เนื่องจากเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทฟิล์มพลาสติก เน้นการศึกษาด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีผลจากรังสียูวีเอ (UVA) ซึ่งเป็นรังสีที่ส่องผ่านบนพื้นผิวโลกถึง 95% แสดงดัง Figure 35

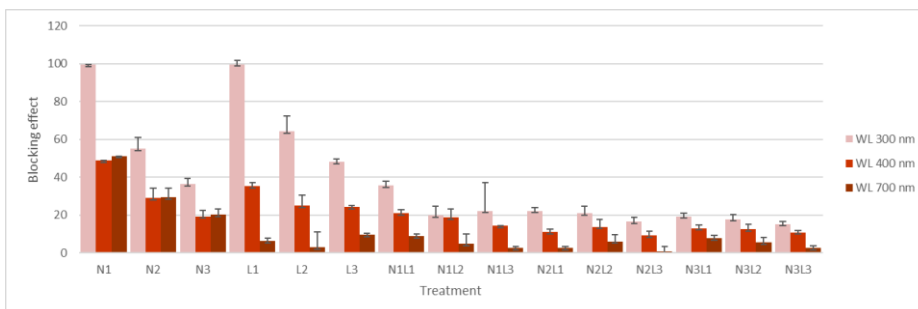


Figure 35 Blocking effect of biofilms (absorption spectra at 300, 400 and 700 nm)



2.3 ต้นทุนการผลิต พลาสติกขนาด 30x30 cm<sup>2</sup> เท่ากับ 5.00 บาท ดังนั้น สตาร์ชมันสำปะหลัง 9 g 0.22 บาท กลีเซอรอล 2.7 g 0.59 บาท ลิกนิน 0.27 g 4.19 บาท ดังนั้นต้นทุนขนาด 10x10 cm<sup>2</sup> มีต้นทุน 1.11 บาท

3. ศึกษาศักยภาพประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยคัดเลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพที่เหมาะสมที่สุด คือ ฟิล์มชีวภาพเติม ลิกนิน 3% (L3) นำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบถุงขนาด 10x10 cm<sup>2</sup> บรรจุเม็ดมะม่วงหิมพานต์ 5 g (Figure 36) ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ บรรจุในถุง L3 มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ต่ำกว่าในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (1.31 และ 1.58 meq/kg) เมื่อเทียบกับถุง ทางการค้า แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 และปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นไปในทางเดียวกันกับ ค่าเปอร์ออกไซด์ โดยเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บรรจุในถุง L3 มีปริมาตรของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่ต่ำกว่า ในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 (39.99 และ 48.24 ml) เมื่อเทียบกับถุงทางการค้า แต่มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 (Table 29) เนื่องจากอนุภาคของลิกนินช่วยลดรูพรุนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ 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

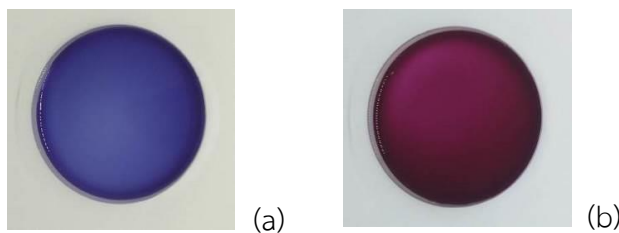
Months	Peroxide value (meq/kg) of cashew nut		The volume of oxygen gas (ml)	
	Commercial plastic	bioplastic (L3)	Commercial plastic	bioplastic (L3)
1	1.44	1.31	43.97	39.99
2	1.70	1.58	51.67	48.24
3	1.78	2.15	54.17	65.49

สำหรับฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลส(N) เหมาะสำหรับเป็นชั้นเคลือบกล่องกระดาษด้านในเพื่อบรรจุ มะเขือเทศเชอร์รี่สดสามารถเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่สดได้มากกว่า 10 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุกล่อง กระดาษที่ไม่เคลือบ ส่วนฟิล์มชีวภาพที่เติมนาโนเซลลูโลสและลิกนิน(NL) เหมาะสำหรับเป็นชั้นเคลือบกระดาษ สำหรับเพิ่มสมบัติให้กระดาษ ซึ่งสามารถกักน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดีขึ้น (Rojo et al., 2015)

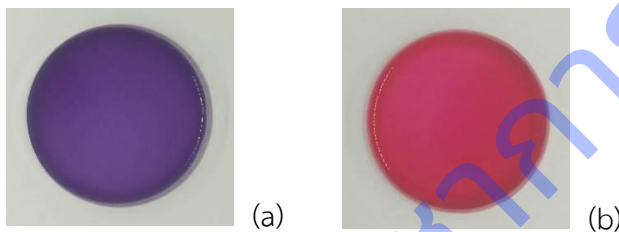
## การทดลองที่ 2.3 การผลิตฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง

### 1. ผลการเตรียมสีอินดิเคเตอร์

1.1 ผลการเตรียมสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน แสดงลักษณะปรากฏดัง Figure 39-39 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 จะมีสีในช่วง ไม่มีสี-สีม่วง และช่วง pH 1-6 จะมีสีในช่วง แดง-ม่วง จึงทำให้ค่าสีที่ได้ออกโทนน้ำเงินเนื่องจากมีโครงสร้างของสารหลายชนิดอยู่รวมกัน คือ Flavylium cation (สีแดง) Neutral quinoidal base (สีม่วง) และ Carbinol pseudobase (ไม่มีสี)

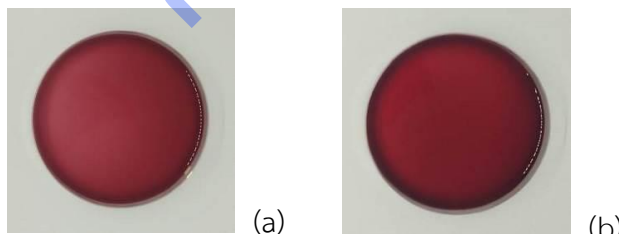


**Figure 37** Appearance of indicator color from butterfly pea flower; water extraction (a) and acetic acid 0.15 M extraction (b)



**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 โดยมีสีโทนแดงเข้ม

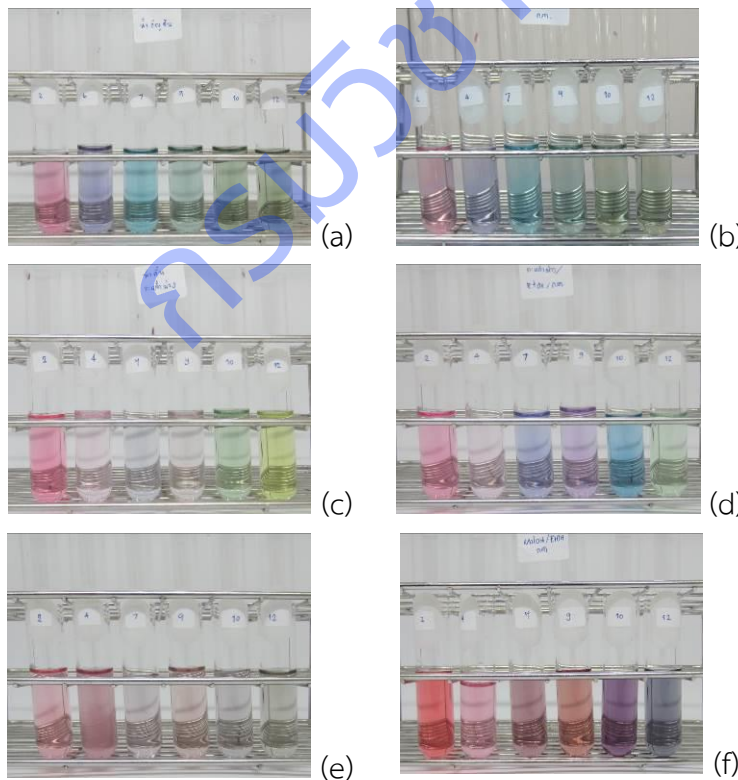


ตั้ง Figure 39 เนื่องจากสีอินดิเคเตอร์มี pH เป็นกรดและมีสีใกล้เคียงกัน ทำให้มีสีใกล้เคียงกัน เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินอยู่ในรูปของ Flavylium cation ( $1 < \text{pH} < 4$ ) (สีแดง) และ Carbinol pseudobase (ไม่มีสี)

แสดงให้เห็นว่าสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันและกะหล่ำปลีม่วงมีลักษณะปรากฏของสีแตกต่างกันเมื่อเตรียมด้วยสภาวะที่ต่างกัน หรือมีค่าสีที่แตกต่างกันเมื่อค่า pH ของสารละลายแตกต่างกัน ส่วนสีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นผลหม่อนและผลหม่อนที่สกัดด้วย acidified ethanol มีลักษณะปรากฏของสีใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารละลายมีค่า pH เป็นกรดเช่นเดียวกัน

**1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์** พบว่าสารสกัดจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และผลหม่อน ให้ค่าสีและลักษณะปรากฏของสีแตกต่างกัน โดยสีที่ได้จากการสกัดในสภาวะกรดจะให้สีที่เข้มกว่าการสกัดด้วยน้ำและน้ำคั้น (Figure 37-39) สอดคล้องกับค่าปริมาณรงควัตถุ คือ เมื่อปริมาณรงควัตถุสูงจะทำให้สีที่เข้มกว่า 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 สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยกรด มีการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกันในสารละลายบัฟเฟอร์ 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 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 มีการเปลี่ยนแปลง สีชัดเจนกว่าสีจากน้ำคั้น โดยสีจากน้ำคั้นอยู่ในช่วง แดง-แดงเข้ม-ไม่มีสี-แดงอ่อน-ฟ้าอ่อน-เขียวอ่อน ส่วนสีที่สกัด ด้วยกรดอยู่ในช่วง แดง-แดงอ่อน-ม่วงแดง-ส้ม-ม่วง-ม่วงน้ำเงิน โดยสีอินดิเคเตอร์ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่มีสถานะเป็นกรดให้การเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนกว่าสีที่ได้จากน้ำคั้นและการสกัดด้วยน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ รงควัตถุในสีอินดิเคเตอร์ แสดงให้เห็นว่าผลผลิตทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้เป็นสีอินดิเคเตอร์ได้

**1.4 ผลการทดสอบความคงตัวของสีอินดิเคเตอร์** เป็นการทดสอบเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบและวิธีการสกัดที่ ให้สีอินดิเคเตอร์มีความคงตัวดีที่สุด มีลักษณะปรากฏของสีเมื่อมองด้วยตาเปล่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บ รักษาเป็นเวลา 6 วัน ที่ RT และที่ 4 °C พบว่าเมื่อเก็บรักษาไป 1 วัน สีอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่าง ชัดเจนในบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH สูง และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ต่ำ ทั้งที่ RT และที่ 4 °C และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน พบว่าสีอินดิเคเตอร์ทุกชนิดมีสีเหมือนวันที่ 1 แต่มีสีอ่อนลง ดัง Table 30 และ 31

การเก็บรักษาสีอินดิเคเตอร์ที่ RT สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและกรดอะซิติกมีการ เปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 12 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนสีอย่าง ชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 10 และ 12 เมื่อเก็บรักษา 6 วัน สีอินดิเคเตอร์จากน้ำคั้นกะหล่ำปลีม่วงมีการเปลี่ยนแปลง สีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 9 10 และ 12 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol ทั้งในวันที่ 1 และ 6 ของการเก็บรักษา สีอินดิเคเตอร์จากผลหมอนทั้ง น้ำคั้นและสกัดด้วย acidified ethanol มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 ทั้งใน วันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บรักษา (Table ที่ 30)

การเก็บรักษาสีอินดิเคเตอร์ที่ 4 °C สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทั้งสกัดด้วยน้ำและกรดอะซิติกมีการ เปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 12 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 และ 6 วัน สีอินดิเคเตอร์จากกะหล่ำปลี ม่วงที่ได้จากน้ำคั้นมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 10 และ 12 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่าง ชัดเจนในบัฟเฟอร์ pH 7 9 10 และ 12 เมื่อสกัดด้วย acidified ethanol ทั้งในวันที่ 1 และวันที่ 6 ของการเก็บ รักษา 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 ให้ความคงตัวของสีดีที่สุด และการเก็บรักษาที่ 4 °C จะช่วยให้สีมีความคงตัวมากกว่าการเก็บที่ RT ดังนั้นจึงคัดเลือกสับอินดิเคเตอร์จากการ สกัดดอกอัญชันด้วยกรดไปเตรียมฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ในขั้นต่อไป

**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 พบว่าฟิล์มที่ ได้มีลักษณะใส โปร่งแสง มีสีน้ำเงินถึงม่วง ยืดหยุ่นได้ดี มีสีแตกต่างกันตามปริมาณสีอินดิเคเตอร์ โดยสีเข้มขึ้นเมื่อ ปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น ดัง Figure 41

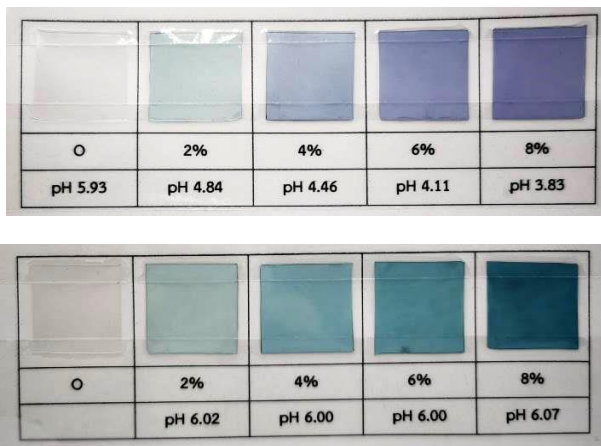


Figure 41 Appearance of pH Indicator films with indicator color 0, 2, 4, 6 and 8% were added, in order from left to right, where pH of the film-forming solution is not adjusted (a) and adjust to 6 with 1 M. NaOH (b)

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 40(a)

ส่วนฟิล์มปรับ pH มีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.14-0.17 มิลลิเมตร มีความชื้นลดลงเมื่อเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์มีความชื้นสูงสุด เท่ากับ 11.09% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ โดยฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ที่ปริมาณต่างๆ ให้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 7.88-8.51 การละลายน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มขึ้น แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 26.36-30.55% โดยฟิล์มไม่เติมสีอินดิเคเตอร์ละลายน้ำได้น้อยที่สุด และฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% ละลายน้ำได้มากที่สุด ส่วนค่าสีมีค่าความสว่างลดลงจาก 86.90 ในฟิล์มไม่เติมอินดิเคเตอร์ เป็น 65.15 ในฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ 8% และมีค่าความเป็นสีน้ำเงินและค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสีอินดิเคเตอร์เพิ่มมากขึ้น ดัง Table 33 สอดคล้องลักษณะปรากฏใน Figure 40(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 (%)	Water Solubility		Color		
			$a_w$	(%)	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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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	2.20/2.35B	4.26/1.50PB	5.42/3.00PB	5.02/4.20PB
D60										
ΔE/H	1.83/4.50PB	4.72/6.77BG	6.00/1.30PB	7.30/2.90PB	7.94/4.43PB	1.20/4.47PB	3.91/7.43BG	5.70/1.47PB	7.96/2.93PB	8.00/4.20PB
D90										
ΔE/H	1.81/4.53PB	5.00/6.63BG	6.89/1.20PB	8.76/2.47PB	10.20/3.70PB	1.30/4.50B	4.66/7.20BG	6.28/1.20PB	9.56/2.20PB	9.91/3.77PB

**Table 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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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										
ΔE/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	3.41/1.90B	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	3.06/1.30B	7.31/9.77BG	7.87/8.60BG	0.50/4.37PB	1.82/4.63B	3.05/1.60B	3.64/1.23B	7.05/9.10BG
D18										
$\Delta E/H$	1.40/4.07PB	3.80/9.37BG	6.89/5.87BG	9.84/4.63BG	10.75/5.27BG	0.83/4.20PB	2.42/2.00B	6.13/7.77BG	6.74/7.37BG	8.54/6.63BG
D22										
$\Delta E/H$	2.02/4.50PB	4.56/7.47BG	7.47/4.77BG	10.29/2.80BG	11.46/3.87BG	0.71/4.57PB	2.89/1.13B	7.18/6.20BG	8.50/4.87BG	9.66/4.83BG
D26										
$\Delta E/H$	2.32/4.40PB	5.20/6.03BG	8.84/2.33BG	12.05/8.77G	12.95/1.57BG	0.98/4.57PB	3.81/9.53BG	8.45/4.43BG	9.75/2.80BG	11.10/2.80BG
D30										
$\Delta E/H$	2.30/4.40PB	5.80/5.07BG	9.77/9.67G	12.98/6.63G	14.11/9.67G	1.08/4.50PB	4.04/7.60BG	9.71/2.43BG	11.25/9.40G	12.77/9.87G
D60										
$\Delta E/H$	2.33/4.47PB	8.31/5.63G	15.26/9.70GY	20.62/7.33GY	23.47/8.57GY	1.11/4.50PB	6.69/9.07G	15.64/1.00G	20.05/7.70GY	21.97/8.50GY
D90										
$\Delta E/H$	2.35/4.50PB	9.22/2.60G	16.93/7.50GY	22.91/5.50GY	28.40/5.60GY	1.37/4.50PB	7.24/6.23G	17.78/8.20PB	21.86/5.70GY	26.91/5.33GY

**Table 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  $\Delta E$  มากกว่า 3.5 คนทั่วไปสามารถจำแนกความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่า (Mokrzycki and Tatol, 2011) ส่วนฟิล์มที่เก็บในถุงฟอล์ย 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 ส่วนฟิล์มที่เก็บในถุงฟอล์ย พบว่าเก็บได้นานขึ้น โดยฟิล์มเติมสี 2% เก็บได้มากกว่า 22 วัน แต่ไม่เกิน 26 วัน พิล์มเติมสี 6% เก็บได้มากกว่า 4 วัน แต่ไม่เกิน 8 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 4 และ 8% เก็บได้เท่ากับการเก็บในถุงซิปล โดยเมื่อค่า  $\Delta E$  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  $\Delta E$  ยังไม่เกิน 3.50 ส่วนฟิล์มที่เติมสี 8% เก็บได้มากกว่า 60 วัน แต่ไม่เกิน 90 วัน ส่วนที่เก็บในถุงฟอล์ย พบว่าฟิล์มเติมสี 2 และ 4% เก็บได้มากกว่า 90 วัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6% เก็บได้มากกว่า 60 วัน แต่ไม่เกิน 90 วันฟิล์มเติมสี 8% เก็บได้มากกว่า 30 วัน แต่ไม่เกิน 60 วัน ส่วนฟิล์มปรับ pH เติมสี 2% ในถุงซิปล เก็บได้มากกว่า 60 วัน แต่ไม่เกิน 90 วัน และเก็บได้มากกว่า 90 วัน เมื่อเก็บรักษาในถุงฟอล์ย พิล์มเติมสี 4% ทั้งที่เก็บในถุงซิปลและถุงฟอล์ย เก็บได้มากกว่า 22 วัน แต่ไม่เกิน 26 วัน เท่ากัน ส่วนฟิล์มเติมสี 6 และ 8% ทั้งที่เก็บในถุงซิปลและถุงฟอล์ย เก็บได้มากกว่า 8 วัน แต่ไม่เกิน 18 วัน เท่ากัน (Table 35 และ 37)

แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาฟิล์มในถุงซิปลและถุงฟอล์ยไม่มีผลต่อการเก็บรักษาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่คนทั่วไปสามารถจำแนกความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่าอยู่ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน ควรเก็บรักษาฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อคงไว้ซึ่งสีของฟิล์ม และควรใช้งานฟิล์มภายใน 1 เดือน สำหรับฟิล์มไม่ปรับ pH และไม่เกิน 18 วัน สำหรับฟิล์มปรับ pH หลังจากผลิตเพื่อให้ฟิล์มมีประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างมากที่สุด

### 3. ผลการทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างของฟิล์ม

3.1 ผลการทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ต่างของฟิล์ม โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ pH ต่างๆ พบว่าฟิล์มมีสีเปลี่ยนไปเมื่ออยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างแตกต่างกัน ดัง Table 38 โดยฟิล์มไม่ปรับ pH ให้การเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนกว่าฟิล์มปรับ pH เมื่อมองด้วยตาเปล่า และเปลี่ยนสีชัดเจนเมื่ออยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ต่าง สูง โดยฟิล์มเติมสีอินดิเคเตอร์ปริมาณ 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)				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
pH of film forming solution	5.93	4.84	4.46	4.11	3.83	5.93	6.02	6.00	6.00	6.07
Start										
pH 2										
pH 4										
pH 5										
pH 7										
pH 9										
pH 11										

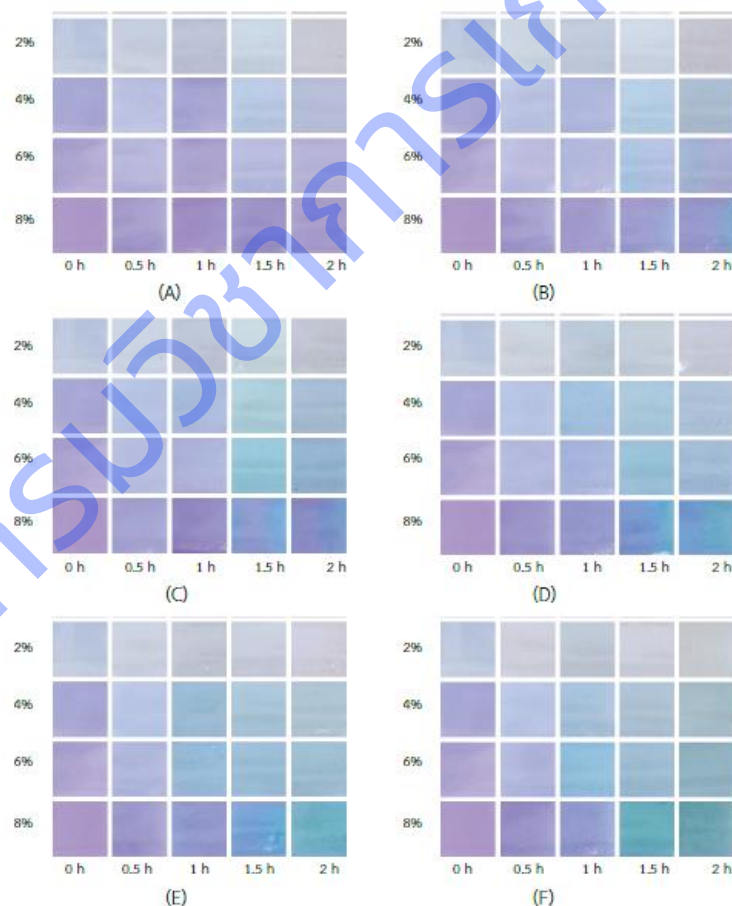
**3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง** ต่อไอระเหยของกรดอะซิติกเข้มข้น 99% พบว่าฟิล์มมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน โดยฟิล์มไม่ปรับ pH จะเปลี่ยนจากโทนเขียว-ม่วง ไปเป็นโทนสีชมพู ส่วนฟิล์มที่ปรับ pH จะเปลี่ยนจากโทนเขียวไปเป็นโทนชมพูน้ำตาล โดยฟิล์มที่มีปริมาณสีอินดิเคเตอร์มากกว่าจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีชัดเจนกว่า ดัง Figure 42 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดความสุกของผลไม้ได้ เช่น ฝรั่ง องุ่น และสตรอเบอร์รี่ เนื่องจากเมื่อผลไม้สุกจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ระเหยได้ออกมา เช่น กรดอะซิติก กรดมาลิก และกรดทาฮาริก 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 ผลการทดสอบทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของฟิล์ม** โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มต่อไอ  $\text{NH}_3$  โดยการอังไอ  $\text{NH}_3$  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 พบว่าการ

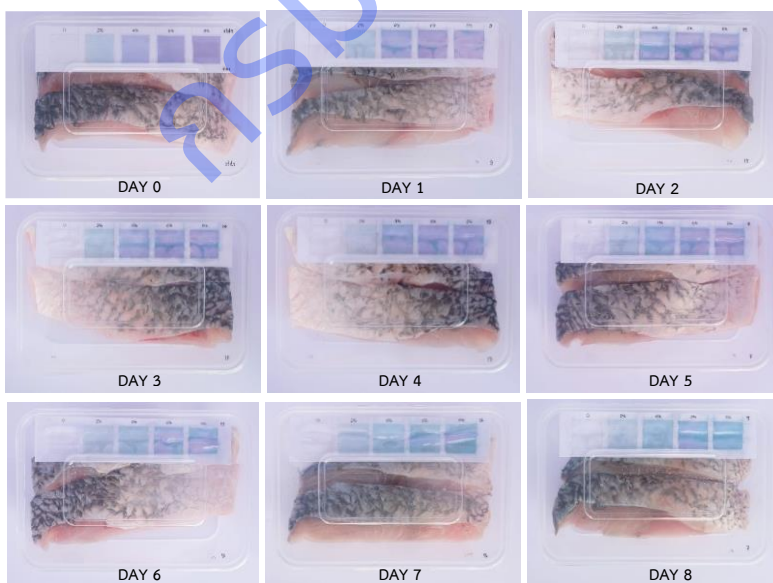
เปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการสัมผัสกับไอ  $\text{NH}_3$  และความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  โดยเมื่อความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  คงที่ ฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่าเมื่อระยะเวลาในการอังไอระเหยนานขึ้น และที่เวลาสัมผัสกับไอระเหยเท่ากันฟิล์มที่อังไอระเหย  $\text{NH}_3$  ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นการเปลี่ยนสีของฟิล์มชัดเจนกว่าเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยฟิล์มที่มีสีอินดิเคเตอร์น้อยกว่าจะเปลี่ยนสีเร็วกว่า ดัง Figure 43 สอดคล้องกับผลการทดสอบการตอบสนองต่อไอ  $\text{NH}_3$  ของฟิล์มผสมสารสกัดสีแอนโทไซยานินจากดอกกุหลาบแดง Kang et al. (2020) ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนสีของฟิล์มไปทางต่าง คือ เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นน้ำเงินและเขียว ตามลำดับ โดยฟิล์มที่เติมสารสกัดดอกกุหลาบน้อยกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเร็วกว่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ทำให้ฟิล์มที่มีปริมาณสารสกัดมากต้องการปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินมากกว่า เช่นเดียวกันเมื่อความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  เพิ่มขึ้น ฟิล์มจึงมีการเปลี่ยนแปลงสีเร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้น ในการศึกษาการตอบสนองต่อไอระเหย  $\text{NH}_3$  ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันของฟิล์มอินดิเคเตอร์ผสมสารสกัดเคอร์คิวมินของ Wannawisan et al. (2019) แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  เพิ่มขึ้น สีของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีไปทางต่าง คือ จากสีเหลืองเป็นส้ม



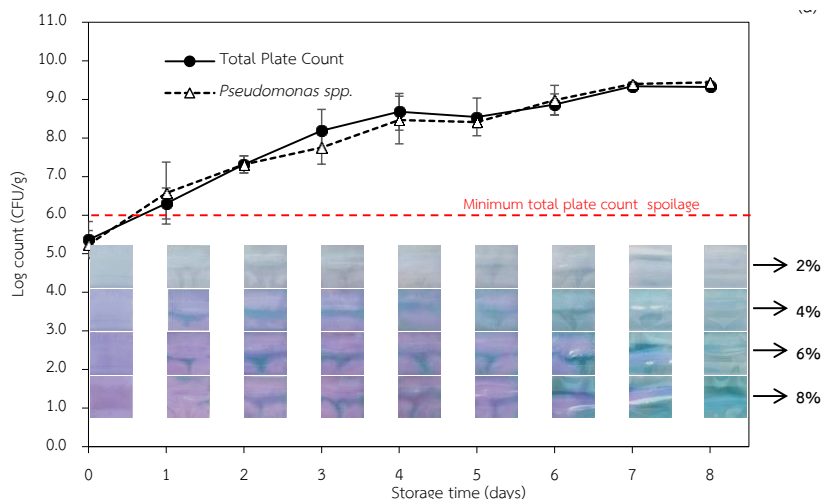
**Figure 43** Color change of pH-indicator based film in response to ammonia vapor at different concentrations: (A) 0.01 M (B) 0.02 M (C) 0.04 M (D) 0.06 M (E) 0.08 M and (F) 0.10 M

ดังนั้นจึงนำฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-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/cm<sup>2</sup> และมี %E 544.63a 561.47a 571.67a 572.67a และ 573.53% ค่า WVTR มีค่าลดลงตามลำดับ ดังนี้ 2,878 2,701 2,703 2,768 และ 2,571 g/m<sup>2</sup>/day และค่า OTR มีค่าลดลงตามลำดับ ดังนี้ 0.738 0.538 0.413 .0520 และ 0.410 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day

**4. ผลการประยุกต์ใช้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างกับผลิตภัณฑ์อาหาร** โดยนำฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง 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 NH<sub>3</sub> เพิ่มขึ้น ซึ่ง NH<sub>3</sub> เป็นสารในกลุ่มสารประกอบไนโตรเจนระเหยได้ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีการปล่อยสารกลุ่มไนโตรเจนระเหยได้ (TVB-N) ออกมา เช่น NH<sub>3</sub> 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 NH<sub>3</sub> ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนสีเป็นสีโทนเขียว 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 เต็มสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันทุกความเข้มข้น เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษา แต่ฟิล์มที่เต็มสี 2% สังเกตเห็นการเปลี่ยนสีไม่ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า เนื่องจากฟิล์มมีสีเดิมเป็นสีโทนเขียว และเมื่อสัมผัสกับไอระเหย  $\text{NH}_3$  ที่เป็นต่าง แอนโทไซยานิน จะให้สีโทนสีเขียวเช่นเดียวกับสีฟิล์มสี ส่วนฟิล์มที่เต็มสี 4 6 และ 8% เห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยเปลี่ยนจากโทนน้ำเงิน/ม่วง ไปเป็นโทนฟ้า/เขียว ดังแสดงใน Figure 44 และ Table 39 โดยการเปลี่ยนแปลงเกิดบริเวณของฟิล์มที่สัมผัสกับกระดาษก่อนฟิล์มส่วนอื่น อาจเนื่องจากกระดาษดูดซับไอระเหยของก๊าซและดูดซับไอน้ำเอาไว้ ส่งผลให้ฟิล์มสัมผัสกับความชื้นและไอระเหยได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีของฟิล์มกับคุณภาพของเนื้อปลา พบว่าฟิล์มเต็มสี 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 แต่ฟิล์มที่เต็มสีอินดิเคเตอร์น้อยกว่าจะไวต่อการเปลี่ยนสีมากกว่า แม้ว่าฟิล์มที่เต็มสี 8% จะให้ค่า  $\Delta E$  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)

### 3.2 ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง (Output)


ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
1. องค์กรความรู้	10	เรื่อง	1. องค์กรความรู้	10	เรื่อง	<p>1. การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริก</p> <p>แคปไซซิน สกัดได้ด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% โดยพริกชี้หนูพันธุ์หัวเรือที่อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทานอล 1:5 w/v ให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารแคปไซซินและสารไดไฮโดรแคปไซซินเท่ากับ 2,374.35 <math>\mu\text{g/g}</math> และ 1,772.05 <math>\mu\text{g/g}</math> สารสกัดเป็นของเหลวข้น สีน้ำตาลแดง ส่วนแคโรทีนอยด์สกัดได้ด้วยน้ำมันบริโภคได้ โดยพริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าวให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 229.42 <math>\mu\text{g/ml}</math> และ 97.62 <math>\mu\text{moles Trolox/ml}</math> สภาวะในการทำงาน คือ ใช้อัตราส่วน สารสกัดแคปไซซิน สารสกัดแคโรทีนอยด์ และมอลโตเด็คซ์ทริน 0.5:10:40 v/v อุณหภูมิเข้า 170 °C อุณหภูมิออก 90 °C</p> <p>2. การผลิตน้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล</p> <p>เลือกใช้มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยและวิตามินซีสูง 22.40% มีปริมาณ Methoxy Content เฉลี่ย 11.80% มีค่า Equivalent weight เฉลี่ย 328.48% และมีค่า Degree of Esterification เฉลี่ย 56.21 องค์กรประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย D-limonene 52.63% สภาวะที่ดีที่สุดในการทำมะนาวผงด้วยเครื่อง Spray Dry คือ อัตราส่วนน้ำมันหอมระเหย:มอลโตเด็คซ์ทริน DE10 เท่ากับ 50:50</p>	<p>ผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลองค์กรความรู้ไปใช้ประโยชน์หรือพัฒนาต่อยอดได้</p> <p>ผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลองค์กรความรู้ไปใช้ประโยชน์หรือพัฒนาต่อยอดได้</p>








ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						ฉีดพ่นที่อุณหภูมิขาเข้า 150 °C ได้ มะนาวผง 45.91% มีปริมาณกรด ทั้งหมด 20.58 mg/100 g มะนาว ผง มีความชื้น 3.12%	
						<b>3. การผลิตสีผงจากจากดอก อัญชันทดแทนสีสังเคราะห์ใน ผลิตภัณฑ์อาหาร</b> สกัดสีจากดอกอัญชันด้วย สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M และนำไปทำแห้งแบบพ่น ฝอยโดยผสมสารสกัดกับมอลโต เด็กซ์ทรีน 20% ของน้ำสกัด นำไป ทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงสีชมพู มีปริมาณ แอนโทไซยานิน 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100 g	ผู้ที่สนใจ สามารถ นำข้อมูล องค์ ความรู้ไป ใช้ ประโยชน์ หรือ พัฒนาต่อ ยอดได้
						<b>4. การผลิตสีผงจากแครอททด แทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ อาหาร</b> สีผงจากแครอท ทำโดยสกัด แครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ลมร้อน เข้า 180 °C ได้สีผงสีส้ม มีปริมาณ แคโรทีนอยด์ 8.98 mg/100 g	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ ข้อมูลองค์ ความรู้ไป ใช้ ประโยชน์ หรือพัฒนา ต่อยอดได้
						<b>5. การผลิตสีผงจากใบเตย ทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ อาหาร</b> สีผงจากใบเตย เริ่มจากสกัดใบเตย ด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ ทำแห้ง แบบพ่นฝอย ลมร้อนเข้า 160 °C โดยผสมมอลโตเด็กซ์ทรีนซ์ 20% ได้ สีผงสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 103.63 mg/100 g	ผู้ที่สนใจ สามารถ นำข้อมูล องค์ ความรู้ไป ใช้ ประโยชน์ หรือ พัฒนาต่อ ยอดได้
						<b>6. การผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผง จากใบย่านาง</b> การสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบ ย่านางด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายใน แอลกอฮอล์ (AIS) จากนั้นทำการ สกัด AIS ด้วยน้ำ โดยมีสภาวะที่	ผู้ที่สนใจ สามารถ นำข้อมูล องค์ ความรู้ไป ใช้ ประโยชน์

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 80 °C อัตราส่วนของแข็งที่ไม่ละลายใน แอลกอฮอล์และน้ำ เท่ากับ 1:20 ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที ได้ ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง 5.45% เป็นผงสีเทา มีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิก รวมทั้งปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของ สารสกัด 67.15 % สามารถใช้เป็น สารให้ความคงตัวทดแทนสาร ทางการค้าได้ในผลิตภัณฑ์ซอส พริกและผลิตภัณฑ์อาหารเสริม สำหรับเด็ก	หรือ พัฒนาต่อยอดได้
						<b>7. การใช้ประโยชน์เอนไซม์</b> <b>บรอมิเลนจากผลพลอยได้ของ</b> <b>อุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด</b> ส่วนเปลือกติดเนื้อกับตาเป็นผลพลอยได้ที่มีสัดส่วนสูงและมีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์บรอมิเลนสูง โดยได้ผลผลิตเอนไซม์บรอมิเลนผงที่ $0.24 \pm 0.09\%$ ต่อ น้ำหนักสด มีค่าสี $L^* = 42.6$ $a^* = 0.7$ $b^* = 5.8$ $H = 2.6Y$ ค่า $a_w = 0.21$ ความชื้น $6.6 \pm 0.9\%$ ความหนาแน่นรวม $0.16 \text{ g/mL}$ มีค่ากิจกรรมเอนไซม์บรอมิเลนอยู่ที่ $19,832.66 \pm 5,128.13 \text{ CDU/g}$ ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมเมื่อใช้ในสูตรซอสหมักเนื้อ คือ 0.1% โดย น้ำหนักเนื้อสัตว์ และใช้เวลาหมักไม่เกิน 30 นาที	ผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์หรือพัฒนาต่อยอดได้
						<b>8. การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่</b> <b>ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ</b> เตรียมโดยเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดแบบผง ปริมาณ 70,000 ppm ในฟิล์ม PVA พบว่าสามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด <i>Staphylococcus aureus</i> ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 13.25 มิลลิเมตร มีความชื้น 7.71% มีค่า	ผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์หรือพัฒนาต่อยอดได้

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						aw 0.412 มีความต้านทานแรงดึง ขาด 329.69 kgf/cm <sup>2</sup> และดึงยืด ได้ 387.10%	
						9. การผลิตฟิล์มชีวภาพที่ผสม สารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตร ฟิล์มชีวภาพจากมันสำปะหลังเติม นาโนเซลลูโลสและลิกนิน ให้ผลการต้านรังสียูวีและแสงที่ มองเห็นได้ดีกว่าการเติมนาโน เซลลูโลสหรือลิกนินเพียงอย่าง เดียว ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เป็นบรรจุภัณฑ์ป้องกันแสงได้ เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่แสงมีผลต่อ การเสื่อมของผลิตภัณฑ์ อยู่ ระหว่างการนำไปทดสอบกับ ผลิตภัณฑ์	ผู้ที่สนใจ สามารถ นำข้อมูล องค์ ความรู้ไป ใช้ ประโยชน์ หรือ พัฒนาต่อ ยอดได้
						10. การผลิตฟิล์มตรวจวัดความ เป็นกรดต่าง ผลิตโดยเตรียมฟิล์มคอมโพสิต ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ ไคโตซาน ใ้กิลีเซอร์รอลเป็นเพิ่ม ความยืดหยุ่น และเติมสีอินดิเค เตอร์จากสารสกัดดอกอัญชันที่ สกัดด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M ปริมาณ 2 4 6 และ 8% จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยเทในแผ่นอะคริลิก ทิ้งไว้ให้ แห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้ฟิล์ม ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดย อยู่ระหว่างทดสอบกับผลิตภัณฑ์	ผู้ที่สนใจ สามารถ นำข้อมูล องค์ ความรู้ไป ใช้ ประโยชน์ หรือ พัฒนาต่อ ยอดได้
2. ต้นแบบเทคโนโลยี							
2.1 ระดับห้องปฏิบัติการ	13	ต้นแบบ	2.1 ระดับ ห้องปฏิบัติการ	13	ต้นแบบ	1. เทคโนโลยีการผลิต แคปไซซินและแคโรทีนอยด์ผง จากพริก แคปไซซิน สกัดได้ด้วยเอทานอล เข้มข้น 95% โดยพริกชี้หนูพันธุ์หัว เรื่อที่อัตราส่วนพริกแห้งต่อเอทา นอล 1:5 w/v ให้สารสกัดพริกที่มี ปริมาณสารแคปไซซินสูงที่สุด โดย มีปริมาณสารแคปไซซินและสารได	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับ ห้องปฏิบัติ การไป พัฒนาต่อ ยอดใน ภาคสนาม


ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>ไฮโดรแคปไซซินเท่ากับ 2,374.35 <math>\mu\text{g/g}</math> และ 1,772.05 <math>\mu\text{g/g}</math> สารสกัดเป็นของเหลวข้น สีน้ำตาลแดง ส่วนแคโรทีนอยด์สกัดได้ด้วยน้ำมันบริโภคได้ โดยพริกชี้ฟ้าที่สกัดด้วยน้ำมันรำข้าวให้สารสกัดพริกที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับ 229.42 <math>\mu\text{g/ml}</math> และ 97.62 <math>\mu\text{moles Trolox/ml}</math> สภาวะในการทำผง คือ ใช้อัตราส่วน สารสกัดแคปไซซิน สารสกัดแคโรทีนอยด์ และมอลโทเด็คซ์ทรีน 0.5:10:40 v/v อุณหภูมิเข้า 170 °C อุณหภูมิออก 90 °C</p>  <p>สารสกัดแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผง</p>	ได้ โดยต้นทุนการผลิตสูงกว่าทางการค้า
						<p>2. เทคโนโลยีการผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล</p> <p>เลือกใช้มะนาวพันธุ์แป้นพิจิตร เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันมะนาวและวิตามินซีสูง 22.40% มีปริมาณ Methoxy Content เฉลี่ย 11.80% มีค่า Equivalent weight เฉลี่ย 328.48% และมีค่า Degree of Esterification เฉลี่ย 56.21 องศาประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย D-limonene 52.63% สภาวะที่ดีที่สุดในการทำมะนาวผงด้วยเครื่อง Spray Dry คือ อัตราส่วนน้ำมันมะนาว:มอลโทเด็คตริน DE10 เท่ากับ 50:50 ผิดพันที่อุณหภูมิเข้า 150 °C ได้มะนาวผง 45.91% มีปริมาณกรด</p>	ผู้ที่สนใจสามารถนำเทคโนโลยีระดับห้องปฏิบัติการไปพัฒนาต่อยอดในภาคสนามได้

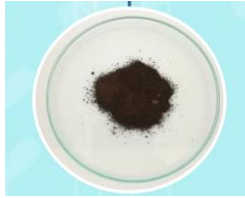

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						ทั้งหมด 20.58 mg/100 กรัม มะนาวผง มีความชื้น 3.12%  มะนาวผง	
						3. เทคโนโลยีการผลิตสีผงจาก พืชทดแทนสีสังเคราะห์ใน ผลิตภัณฑ์อาหาร: สีจากดอก อัญชัน สกัดสีจากดอกอัญชันด้วย สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.15 M และนำไปทำแห้งแบบพ่น ฝอยโดยผสมสารสกัดกับมอลโต เด็กซ์ทริน 20% ของน้ำสกัด นำไป ทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ลมร้อนเข้า 160 °C ได้สีผงสีชมพู มีปริมาณ แอนโทไซยานิน 40.02 mg cyanidin-3-glucoside/100 g  สีผงจากดอกอัญชัน	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับ ห้องปฏิบัติ การไป พัฒนาต่อ ยอดใน ภาคสนาม ได้ โดยสีผงที่ ผลิตได้อยู่ ในเกณฑ์ มาตรฐาน ข้อกำหนด คุณภาพ หรือ มาตรฐาน สำหรับ สารสกัดให้
						4. เทคโนโลยีการผลิตสีผงจาก พืชทดแทนสีสังเคราะห์ใน ผลิตภัณฑ์อาหาร: สีจากแครอท สีผงจากแครอท ทำโดยสกัด แครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ลมร้อน เข้า 180 °C ได้สีผงสีส้ม มีปริมาณ แคโรทีนอยด์ 8.98 mg/100 g  สีผงจากแครอท	สีจากส่วน ของพืช หรือสัตว์

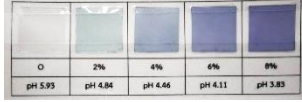
ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>5. เทคโนโลยีการผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร: สีจากใบเตย</p> <p>สีผงจากใบเตย เริ่มจากสกัดใบเตยด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ ทำแห้งแบบพ่นฝอย ลมร้อนเข้า 160 °C โดยผสมมอลโตเด็กทรีนซ์ 20% ได้สีผงสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 103.63 mg/100 g</p>  <p>สีผงจากใบเตย</p>	
						<p>6. เทคโนโลยีการผลิตไฮโดรคอลลอยด์ผงจากใบย่านางใช้ เป็นสารให้ความคงตัวเทคโนโลยีการสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง ทำโดยสกัดด้วยเอทานอล ความเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) จากนั้นทำการสกัด AIS ด้วยน้ำ โดยมีสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 80 °C อัตราส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และน้ำเท่ากับ 1:20 และระยะเวลาในการสกัด 90 นาที จะได้ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง มีปริมาณ %yield 5.45% มีลักษณะปรากฏเป็นผงสีเทา มีความชื้น 7.32% มีปริมาณกรดยูโรนิครวมทั้งปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของสารสกัด ประมาณ 67.15 %</p>  <p>ไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านาง</p>	<p>ผู้ที่สนใจสามารถนำเทคโนโลยีระดับห้องปฏิบัติการไปพัฒนาต่อยอดในภาคสนามได้</p>

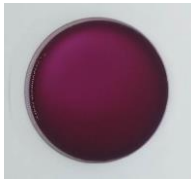


ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>7.ต้นแบบเทคโนโลยีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานางเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอส</p> <p>ได้เทคโนโลยีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานางปริมาณ 1.5% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอส ที่ให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นต่ำที่สุด ที่อายุการเก็บรักษา 6 เดือน</p>  <p>ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีการเติมสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ</p>	<p>ผู้ที่สนใจสามารถนำเทคโนโลยีระดับห้องปฏิบัติการไปพัฒนาต่อยอดในภาคสนามได้ซึ่งสามารถใช้ทดแทนสารเพิ่มความข้นหนืดทางการค้าได้</p>
						<p>8.ได้เทคโนโลยีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree</p> <p>ได้เทคโนโลยีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานางปริมาณ 2.0% เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่ให้เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นต่ำที่สุด ที่อายุการเก็บรักษา 6 เดือน</p>  <p>อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จากไບยานางปริมาณ 20%</p>	<p>ผู้ที่สนใจสามารถนำเทคโนโลยีระดับห้องปฏิบัติการไปพัฒนาต่อยอดในภาคสนามได้ซึ่งสามารถใช้ทดแทนสารเพิ่มความข้นหนืดทางการค้าได้</p>

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>9.เทคโนโลยีการสกัดเอนไซม์ บรอมีเลนจากส่วนต่างๆของ สับปะรดที่เป็นผลพลอยได้จาก อุตสาหกรรมการแปรรูป ได้เทคโนโลยีการสกัดเอนไซม์ บรอมีเลนจากส่วนเปลือกติดเนื้อ กับตา โดยตีปั่นชิ้นส่วนที่ RT 1 นาที่ แล้วบีบคั้นน้ำพร้อมแยกกาก นำมาเติมเอทานอลเย็นอัตราส่วน 26:74 โปรตีนตกตะกอนนาน 60 นาที่ นำไปปั่นแห้งที่ความเร็ว รอบ 10,000 rpm นาน 15 นาที่ (ทำที่ 4 °C) ละลายตะกอนโปรตีน ด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็งจะได้เอนไซม์บรอมี เลนผงสีที่มีสี L* a* b* และ H เท่ากับ 42.6 0.7 และ 2.6Y ตามลำดับ ค่า aw และความชื้น เป็น 0.21 และ 6.6±0.9% กิจกรรมเอนไซม์บรอมีเลนเป็น 19,832.66±5128.13 CDU/g มี ปริมาณผลผลิต 0.24±0.09% ต่อ น้ำหนักสด</p>	<p>ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับ ห้องปฏิบัติ การไป พัฒนาต่อ ยอดใน ภาคสนาม ได้</p>
						<p>10.เทคโนโลยีการผลิตฟิล์มต้าน จุลินทรีย์สำหรับอาหารหรือ ผลิตผลเกษตร ผลิตฟิล์มโดยเติมสารสกัดจาก เปลือกมังคุดแบบผง ปริมาณ 70,000 ppm ลงในฟิล์ม PVA พบว่าสามารถต้านการเจริญเติบโต ของเชื้อแบคทีเรียชนิด <i>Staphylococcus aureus</i> ได้ดี ที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวง ใสเฉลี่ย 13.25 mm. มีความชื้น 7.71% มีค่า aw 0.412 มีความ ต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm<sup>2</sup> และดึงยึดได้ 387.10%</p>  <p>ฟิล์มต้านจุลินทรีย์</p>	<p>ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับห้อง ปฏิบัติ การไป พัฒนาต่อ ยอดใน ภาคสนาม ได้ ซึ่งมีค่า สูงกว่า มาตรฐาน ฟิล์มยึด ชนิดPE ตาม มาตรฐาน มอก.1136- 2536</p>

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>11. เทคโนโลยีการใช้สารลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารเติมแต่งในแผ่นฟิล์ม</p> <p>ได้เทคโนโลยีการใช้ลิกนินและนาโนเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียนเป็นสารเติมแต่งในแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเติมในปริมาณ 1-3% โดยน้ำหนักของสตราซ์ สามารถระยะเวลาในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจาก 24 cm. เป็น 12 cm. แผ่นฟิล์มที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ ตีความการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินเพียงอย่างเดียว มีแรงดึงขาดสูงสุดถึง 151.51 kgf/cm<sup>2</sup> และการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม เท่ากับ 5.70% รวมถึงการเติมนาโนเซลลูโลสและลิกนินส่งผลต่อการต้านรังสียูวีและแสงที่มองเห็นได้ ตีความการเติมนาโนเซลลูโลสหรือลิกนินเพียงอย่างเดียว และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมีค่า 109.1 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์</p>	<p>ผู้ที่สนใจสามารถนำเทคโนโลยีระดับห้องปฏิบัติการไปพัฒนาต่อยอดในภาคสนามได้ โดยคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารทางการค้า แต่ต้นทุนการผลิตถูกกว่า</p>
						 <p>ลิกนินจากเปลือกทุเรียน</p>	
						 <p>นาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน</p>	

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>12. เทคโนโลยีการสกัดสีจากดอก อัญชันเป็นสีอินดิเคเตอร์ สกัดอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน โดยใช้สารละลายกรดซิตริกความ เข้มข้น 0.15 M อุณหภูมิ 60 °C นาน 30 นาที อัตราส่วนดอก อัญชันต่อสารละลายกรด เท่ากับ 1:50 w/v จากนั้นทำให้สารสกัด เข้มข้นขึ้นจนมีปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำได้ เท่ากับ 8 °Brix</p>	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับห้อง ปฏิบัติ การไป พัฒนาต่อ ยอดใน ภาคสนาม ได้
						<p>13. เทคโนโลยีการนำสีอินดิเค เตอร์จากดอกอัญชันมา ประยุกต์ใช้ในฟิล์มตรวจวัดความ เป็นกรดต่างได้เทคโนโลยีการนำสี อินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันใน รูปแบบของเหลวมาเติมในสารละลาย ของฟิล์มคอมโพสิทระหว่างพอลิ ไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน และเติมกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่ม ความยืดหยุ่น ไม่ต้องปรับ pH ของ สารละลายฟิล์ม จะได้ฟิล์มที่มีการ เปลี่ยนแปลงของสีในสารละลาย บัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ ชัดเจน</p>  <p>ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ต่าง</p>	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับห้อง ปฏิบัติ การไป พัฒนาต่อ ยอดใน ภาคสนาม ได้
2.2 ระดับภาคสนาม	2	ต้นแบบ	2.2 ระดับ ภาคสนาม	2	ต้นแบบ	<p>1.ต้นแบบเทคโนโลยีการเพิ่ม มูลค่าผลพลอยได้ของ อุตสาหกรรมแปรรูปสับประรด การเพิ่มมูลค่าของผลพลอยได้ของ อุตสาหกรรมแปรรูปสับประรดจาก ส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา โดยตีปั่น ชิ้นส่วนที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที แล้วบีบคั้นน้ำพร้อมแยกการ นำ เติมเอทานอลเย็นอัตราส่วน 26:74 โปรตีนตกตะกอนนาน 60 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว รอบ 10,000 rpm นาน 15 นาที (ทำที่ 4 °C) ละลายตะกอนโปรตีน ด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็งจะได้เอนไซม์บรอมี</p>	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับ ภาคสนาม ไปใช้ ประโยชน์ และพัฒนา ต่อยอดได้

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>เลนผงสีที่มีสี L* a* b* และ H เท่ากับ 42.6 0.7 และ 2.6Y ตามลำดับ ค่า aw และความชื้น เป็น 0.21 และ 6.6±0.9% กิจกรรมเอนไซม์บรอมิเลนเป็น 19,832.66±5128.13 CDU/g มี ปริมาณผลผลิต 0.24±0.09% ต่อ น้ำหนักสด</p>  <p>สารสกัดเอนไซม์บรอมิเลนจาก เปลือกคืดเนื้อส่วนตาของ สับปะรด</p>	
						<p>2.ต้นแบบเทคโนโลยีการสกัดสี อินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน ได้เทคโนโลยีการสกัดอินดิเคเตอร์ จากดอกอัญชันโดยใช้สารละลาย กรดซिटริกความเข้มข้น 0.15 M อุณหภูมิ 60 °C นาน 30 นาที อัตราส่วนดอกอัญชันต่อ สารละลายกรด เท่ากับ 1:50 w/v ทำให้สีมีความคงตัวทั้งที่ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 °C และมีการเปลี่ยนแปลงของสี ชัดเจนเมื่ออยู่ในสารละลาย บัฟเฟอร์ pH ต่างๆ</p>  <p>สีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน</p>	ผู้ที่สนใจ สามารถนำ เทคโนโลยี ระดับ ภาคสนาม ไปใช้ ประโยชน์ และพัฒนา ต่อยอดได้
3. ต้นแบบผลิตภัณฑ์	-		-			-	
4. กระบวนการใหม่							
4.1 ระดับห้องปฏิบัติการ	7	กระบวนการ	4.1 ระดับ ห้องปฏิบัติการ	7	กระบวนการ	<p>1. กระบวนการสกัดสารสีจาก ดอกอัญชัน สกัดดอกอัญชันด้วยสารละลาย กรดซिटริกเข้มข้น 0.15 M</p>	- ผู้ที่สนใจ สามารถนำ กระบวนการที่ได้ไป ใช้ประโยชน์

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						อัตราส่วนดอกอัญชันต่อสารละลายกรดซิตริก เท่ากับ 1:50 w/v สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำออกจนมีของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 8 °Brix	และพัฒนาต่อยอดได้
						<b>2. กระบวนการสกัดสารสีจากแครอท</b> ทำโดยสกัดแครอทด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ นำสารสกัดที่ได้ไประเหยน้ำจนสารสกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 25 °Brix	ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อยอดได้
						<b>3. กระบวนการสกัดสารสีจากใบเตย</b> ทำการสกัดใบเตยด้วยเครื่องแยกกาก สารสกัดที่ได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 5 °Brix	ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อยอดได้
						<b>4. กระบวนการประยุกต์ใช้สกัดสารไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางเพื่อใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร</b> - กระบวนการนำสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางไปใช้ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.5% เก็บรักษาได้ 6 เดือน โดยให้ค่าความข้นหนืดและเปอร์เซ็นต์การแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับการใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า ได้แก่ แชนแทนกัม ที่ใช้ปริมาณ 1.0% และใช้ในปริมาณที่น้อยกว่ากัมอะราบิก ที่ต้องใช้ปริมาณมากกว่า 1.5% - กระบวนการนำสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากใบย่านางไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบ puree ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ปริมาณที่เหมาะสม คือ 2.0% โดยให้ค่าความข้นหนืดและเปอร์เซ็นต์การ	ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อยอดได้



ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						แยกชั้นของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับการใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า ได้แก่ แชนแทนกัม ที่ใช้ปริมาณ 1.5% และใช้ในปริมาณที่น้อยกว่ากัมอะราบิก ที่ใช้ปริมาณ 2.5%	
						<b>5. กระบวนการใช้เอนไซม์บรอมีเลนที่ได้จากส่วนต่างๆของสับปะรดในการผลิตซอสหมักเนื้อ</b> - ใช้ปริมาณเอนไซม์ผง 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์ในสูตร หมักเป็นเวลาไม่เกิน 30 นาที ก็เพียงพอที่จะทำให้เนื้อสัตว์นุ่มลงได้ เมื่อนำไปทดสอบค่าเนื้อสัมผัสมีค่าแรงเค้น ความแข็ง ความเหนียว และความทนต่อการเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ไม่เสียรสชาติมากเกินไป	ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อยอดได้
						<b>6.กระบวนการการสกัดสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน</b> กระบวนการการสกัดสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน คือ การนำดอกอัญชันแห้งมาสกัดโดยใช้กรดซิตริก ความเข้มข้น 0.15 M ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนดอกอัญชันแห้ง:ตัวทำละลาย เท่ากับ 1:50 (w/v) จากนั้นนำมาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบสูญญากาศ จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 8 °Brix จากนั้นเก็บไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 °C	ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อยอดได้
						<b>7.กระบวนการการนำสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันมาใช้ในฟิล์มเพื่อผลิตเป็นฟิล์มตรวจวัดค่า pH</b> กระบวนการนำสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันมาใช้ในฟิล์ม ทำโดยนำสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชันในรูปแบบของเหลวที่มีความเข้มข้น 8 °Brix มาเติมในสารละลายของฟิล์มคอมโพลีเมอร์ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน โดยเติม	ผู้ที่สนใจสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อยอดได้

ผลผลิตตามคำรับรอง	จำนวน	หน่วย นับ	ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง	จำนวน	หน่วย นับ	รายละเอียดผลผลิตที่ได้จริง	เชิง คุณภาพ
						<p>ขณะสารละลายฟิล์มมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง และเติมกลีเซอรอลเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการ casting บนแผ่นอะคริลิก และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้ฟิล์มตรงใจวัดความเป็นกรด-ด่าง</p>  <p>ฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างที่มีปริมาณสื่อนิโคเตออร์ 0 2 4 6 และ 8% ทั้งปรับและไม่ปรับ pH</p>	
<b>5. การประชุมเผยแพร่ผลงาน/สัมมนาระดับชาติหรือนานาชาติ (ระบุ)</b>							
5.1 นำเสนอแบบปากเปล่าระดับนานาชาติ	2	เรื่อง	5.1 นำเสนอแบบปากเปล่าระดับนานาชาติ	1	เรื่อง	1.เรื่อง Carotenoid Content} Total Phenolic Content} Antioxidant Activity and Carotenoids Compounds of Non-aqueous Extracts form chills ( <i>Capsicum annum L.</i> ) การประชุมวิชาการนานาชาติ 22 <sup>nd</sup> Euro-Global Summit on Food and Beverage} Euro Food 2019 ณ ประเทศสหราชอาณาจักร ระหว่างวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2562-4 มีนาคม 2562	ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถนำผลงานไปอ้างอิงเพื่อต่อยอดงานวิจัยได้
<b>6. การพัฒนากำลังคน</b>	-		-			-	
<b>7. ทรัพย์สินทางปัญญา</b>							
อนุสิทธิบัตร/สิทธิบัตร/ลิขสิทธิ์/พินดีพิช (ให้ระบุ)	2	เรื่อง	อนุสิทธิบัตร	2	เรื่อง	<p><b>เรื่องที่ 1</b> กรรมวิธีการผลิตลิคินินจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เลขที่คำขอ 1903003263</p> <p><b>เรื่องที่ 2</b> กรรมวิธีการผลิตนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เลขที่คำขอ 2103000490</p>	เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำผลงานไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

### 3.3 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (Outcome) (ถ้ามี)

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง	ปีที่เกิดผลลัพธ์
1. นำผลงานวิจัย เรื่อง การผลิตแคปไซซินผงและแคโรทีนอยด์ผงจากพริกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ในโครงการวิจัยและพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ เรื่อง การประยุกต์ใช้สารสกัดแคปไซซินในผลิตภัณฑ์เจลนวด โดยนำวิธีการสกัดแคปไซซินไปต่อยอด	2564
2. นำผลงานวิจัย เรื่อง การผลิตมะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาวในรูปแบบไมโคร-นาโนแคปซูล ไปต่อยอดงานวิจัย ในโครงการ โครงการวิจัยและพัฒนาขยายผลผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติเชิงพาณิชย์ เรื่อง การวิจัยและพัฒนาขยายผลผลิตภัณฑ์จากมะนาวเชิงพาณิชย์ โดยนำวิธีการเตรียมน้ำมันมะนาว มะนาวผง และการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางไปต่อยอด	2564
3. นำผลงานวิจัย เรื่อง การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ไปต่อยอดงานวิจัย ในโครงการ วิจัยและพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ เรื่อง การผลิตสีผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมท โดยนำวิธีการสกัดสีจากดอกอัญชันไปต่อยอด	2564
4. นำผลงานวิจัย เรื่อง การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ในโครงการ โครงการวิจัยและพัฒนาขยายผลผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติเชิงพาณิชย์ เรื่อง โครงการวิจัยและพัฒนาขยายผลผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติเชิงพาณิชย์ โดยนำวิธีการผลิตสีผงและการนำไปใช้ประโยชน์ ไปต่อยอด	2564
5. นำผลงานวิจัย เรื่อง การผลิตสีผงจากพืชทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ในโครงการ วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ โดย นำวิธีการสกัดสีจากดอกอัญชันไปต่อยอดเป็นสีอินดิเคเตอร์	2563
6 นำผลงานวิจัย เรื่อง การผลิตเอนไซม์บรอมิเลนจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด เพื่อใช้เป็น meat tenderizer ไปต่อยอดงานวิจัย ในโครงการ วิจัยและพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ เรื่อง การผลิตผลิตภัณฑ์ช่วยย่อยจากเอนไซม์บรอมิเลนในรูปแบบกรานูลฟองฟู โดยนำวิธีการผลิตเอนไซม์บรอมิเลนไปต่อยอด	2564
7. นำผลงานวิจัยไปถ่ายทอดและฝึกอบรมแก่ผู้สนใจ ได้แก่ หลักสูตร “นวัตกรรมการสกัดสารสำคัญและการใช้ประโยชน์ในเครื่องสำอาง” ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร	2562
8. ถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำน้ำมะนาวพาสเจอร์ไรส์และการทำแยมมะนาว ในงานการประชุมสัมมนาของวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร เรื่องแนวทางการวิจัยด้านนวัตกรรมสู่ผู้ใช้ประโยชน์	2560
9. สาธิตการทำเครื่องดื่มมะนาว แยมมะนาว ในงาน “ เกษตรไทยก้าวหน้า ภายใต้ร่มพระบารมี “	2560

### 3.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง (Impact) (ถ้ามี)

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง	ปีที่เกิดผลกระทบ
ด้านเศรษฐกิจ :	
ด้านสังคม :	
ด้านสิ่งแวดล้อม :	

### 3.5 การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) การถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการฝึกอบรมแก่ผู้สนใจในหลักสูตร “นวัตกรรมการสกัดสารสำคัญและการใช้ประโยชน์ในเครื่องสำอาง” โดยได้นำสูตรโลชั่นและเจลบำรุงผิวมาเผยแพร่ ในวันที่ 29 เมษายน 2562 โดยมีผู้เข้ารับการอบรม จำนวน 30 คน ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร



การฝึกอบรมหลักสูตรนวัตกรรมการสกัดสารสำคัญและการใช้ประโยชน์ในเครื่องสำอาง

- 2) ถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำน้ำมะนาวพาสเจอร์ไรส์และการทำแยมมะนาว ในงานการประชุมสัมมนาของวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร เรื่องแนวทางการวิจัยด้านนวัตกรรมสู่ผู้ใช้ประโยชน์ ในวันที่ 20 กรกฎาคม 2560
- 3) การสาธิตการทำเครื่องดื่มมะนาว แยมมะนาว ในงาน “ เกษตรไทยก้าวหน้า ภายใต้ร่มพระบารมี “ ระหว่างวันที่ 16-20 สิงหาคม 2560

## บทที่ 4 สรุปผลและอภิปรายผล

### สรุปผลและอภิปรายผล

ผลการวิจัยในโครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าในพืชและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติจำเพาะ สามารถสกัดเอาสารสำคัญไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เวชสำอางและบรรจุภัณฑ์ โดยสารสกัด วิธีการสกัด การกักเก็บสารสำคัญ และการนำสารสกัดไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

#### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับอาหารและเวชสำอาง

**สรุปผล** สารสำคัญหรือสารธรรมชาติที่ได้จากการวิจัยในกิจกรรมนี้ ได้แก่ แคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก มะนาวผง น้ำมันหอมระเหย และเพคตินจากมะนาว สีม่วงกลุ่มแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน สีม่วงกลุ่มแคโรทีนอยด์จากแครอท สีม่วงกลุ่มคลอโรฟิลล์จากใบเตย ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง และเอนไซม์บรอมีเลนจากสับปะรด โดยสารสำคัญแต่ละชนิดมีวิธีการเตรียม การกักเก็บ คุณสมบัติ และการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

**1. แคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริก:** แคปไซซินเตรียมได้โดยการสกัดพริกด้วยเอทานอล 95% อัตราส่วน 1:5 w/v และแคโรทีนอยด์เตรียมได้โดยการสกัดพริกด้วยน้ำมันรำข้าว อัตราส่วน 1:2.5 w/v โดยสารสกัดที่ได้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง กักเก็บสารโดยการนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย จะได้สารสกัดแบบผง นำไปประยุกต์ใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพโดยบรรจุในแคปซูลปริมาณ 500 mg/แคปซูล สามารถเก็บได้ 180 วัน ต้นทุนการผลิต 1.15 บาท/แคปซูล ในขณะที่สารสกัดแคปไซซินในท้องตลาดมีราคาประมาณ 4-12 บาท/แคปซูล

**2. มะนาวผง น้ำมันหอมระเหยและเพคตินจากมะนาว:** น้ำมันมะนาวพร้อมตีและมะนาวผงผลิตจากน้ำมะนาว น้ำมันหอมระเหยสกัดจากเปลือก และเพคตินสกัดจากเปลือกและกาก โดยเปลือกมะนาวสกัดเพคตินได้ 1.59% w/w และสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ 1.06% v/w กักเก็บน้ำมันมะนาวโดยการนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยจะได้มะนาวผง สามารถนำไปใช้ปรุงอาหารและผลิตเป็นเครื่องดื่มมะนาวได้ ส่วนเพคตินและน้ำมันหอมระเหยนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง เช่น มาร์คพอกหน้า ครีมโฟมล้างหน้า และเซรั่ม เป็นต้น

**3. สีม่วงจากพืช** ได้แก่ สีม่วงกลุ่มแอนโทไซยานิน สกัดได้โดยการสกัดดอกอัญชันด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 0.15 M ที่อุณหภูมิ 60 °C 30 นาที อัตราส่วน 1:50 w/v นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 160 °C ได้สีม่วงเป็นสีชมพู มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ สีม่วงกลุ่มแคโรทีนอยด์ สกัดโดยคั้นน้ำจากแครอทด้วยเครื่องแยกกาก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 170 °C ได้สีม่วงเป็นสีส้ม ซึ่งทั้ง 2 สี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.5 และ 1.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม สีม่วงกลุ่มคลอโรฟิลล์ ได้จากการสกัดใบเตยด้วยเครื่องแยกกาก นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนเข้า 160 °C ได้สีม่วงเป็นสีเขียวและมีกลิ่นหอมใบเตย นำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมสังขยา ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0% โดยน้ำหนักของส่วนผสม

**4. ไฮโดรคอลลอยด์** ได้จากการสกัดไบยานางด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% จะได้ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) จากนั้นสกัด AIS ด้วยน้ำที่ 80 °C 90 นาที อัตราส่วน 1:20 w/v ได้ไฮโดรคอลลอยด์จากไบยานาง 5.45% มีปริมาณกรดยูโรนิกและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 55.68% ใกล้เคียงกับไซแลนทางการค้า มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 12.63 มีต้นทุนการผลิต 7,800.46 บาท/kg สามารถประยุกต์ใช้เป็นสารให้

ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและอาหารเสริมสำหรับเด็กในรูปแบบเพียวเร่ทดแทนสารทางการค้า โดยปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ซอสพริก คือ 1.5% และปริมาณที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็ก คือ 2.0%

**5. เอนไซม์บรอมีเลน** สกัดได้จากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ซึ่งส่วนที่มีศักยภาพมากที่สุด คือ ส่วนเปลือกติดเนื้อกับตา เนื่องจากมีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์สูง ผลิตเอนไซม์โดยตีปั่นที่ RT นาน 1 นาที ปีบคั้นน้ำ แล้วนำน้ำคั้นมาตกตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกและสกัดเอนไซม์โดยตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลอัตราส่วน 26:74 v/v นาน 1 ชม. ปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm 15 นาที ภายใต้อุณหภูมิ 4 °C นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ผงเอนไซม์บรอมีเลนสีเหลืองอ่อน ที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ 19,832.66±5128.13 CDU/g ประยุกต์ใช้เป็นซอสหมักเนื้อเนื้อหมูสูตรสุกี้-ซาบู โดยปริมาณเอนไซม์ผงที่เหมาะสมคือ 0.1% ต่อน้ำหนักเนื้อสัตว์

**อภิปรายผล** สารสำคัญจากธรรมชาติที่วิจัยได้จากกิจกรรมที่ 1 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายอุตสาหกรรม ดังนี้ สารสกัดแคปไซซินและแคโรทีนอยด์จากพริกใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเสริมสุขภาพ โดยมีราคาถูกกว่าสารสกัดแคปไซซินในท้องตลาด มะนาวผง น้ำมันหอมระเหยจากมะนาวและเลมอน ใช้ในอุตสาหกรรมเวชสำอาง โดยทดแทนการนำเข้าวิตามินซีและน้ำมันหอมระเหยจากต่างประเทศ มะนาวผงและสีผงใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยสามารถทดแทนสารให้รสเปรี้ยวและสีสังเคราะห์ได้ เอนไซม์บรอมีเลนใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็น meat tenderizer ทำให้เนื้อนุ่มได้ในเวลาไม่เกิน 30 นาที ช่วยลดเวลาในการหมักเนื้อและลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

**ข้อเสนอแนะ** คือ ทดลองสกัดสารสำคัญทุกชนิดในระดับขยายขนาดหรือปริมาณมากขึ้น พร้อมทั้งศึกษาปริมาณสารที่ได้ คุณสมบัติของสารสำคัญ และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งต้นทุนการผลิต เพื่อรองรับและสามารถให้ข้อเสนอแนะกับผู้สนใจนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ อีกทั้งการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจากการวิจัย

## กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพ

**สรุปผล** สารสำคัญหรือสารธรรมชาติที่ได้จากการวิจัยในกิจกรรมนี้ ได้แก่ สารแซนโทนจากเปลือกมังคุด ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และสีอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน โดยสารสำคัญแต่ละชนิดมีวิธีการเตรียม การกักเก็บ คุณสมบัติ และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ดังนี้

**1. สารแซนโทน** เตรียมได้จากการสกัดเปลือกมังคุดอบแห้งด้วยเอทานอล โดยสารสกัดมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสีย จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ได้ โดยปริมาณที่เหมาะสมในการเติมในฟิล์ม PVA คือ 70,000 ppm สามารถนำไปใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm<sup>2</sup> และดึงยืดได้ 387.10% สูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 มีต้นทุนการผลิต 17 บาท/ตารางฟุต



**2. ลิกนินและนาโนเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน** โดยลิกนิน เตรียมได้จากการนำน้ำดำจากการสกัดเชื่อมมา สกัดด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 50% และอะซิโตน พบว่าลิกนินที่ได้มีคุณสมบัติดีกว่าลิกนินทางการค้า ช่วยป้องกัน แสง ส่วนนาโนเซลลูโลส เตรียมได้จากการนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สกัดได้มาฟอกและย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 40% และลดขนาดด้วยการโฮโมจิไนซ์ ได้นาโนเซลลูโลสที่มีขนาดอนุภาค 0.05 nm ต้นทุนการผลิตลิกนิน และนาโนเซลลูโลสเท่ากับ 15.52 บาท/g และ 141.93 บาท/g นำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ช มันสำปะหลัง โดยฟิล์มที่เติมลิกนิน 3% มีสมบัติเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เสื่อมเสีย ง่ายเมื่อโดนแสง เช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์ ต้นทุนการผลิตฟิล์ม ขนาด 30x30 cm<sup>2</sup> เท่ากับ 5.00 บาท/แผ่น

**3. สีนินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน** เป็นสีกลุ่มแอนโทไซยานินซึ่งสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อ pH เปลี่ยน เหมาะ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เพื่อชี้บ่งการเสื่อมเสียของอาหาร เตรียมโดยสกัด ดอกอัญชันด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.15M และนำไปเติมในฟิล์ม PVA ปริมาณ 4 หรือ 6% จะได้ฟิล์มที่เปลี่ยนสีได้ เมื่อสัมผัสกับสารละลายหรือไอระเหยที่มีค่า pH ต่างๆ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ชี้บ่งการเน่าเสียของเนื้อพลาสติกได้ โดยจะเปลี่ยนจากสีโทนฟ้าไปเป็นสีโทนเขียว เมื่อเนื้อปลาเน่าเสียจากจุลินทรีย์

**อภิปรายผล** สารสำคัญจากธรรมชาติที่วิจัยได้จากกิจกรรมที่ 2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม บรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้กับบรรจุภัณฑ์นั้นๆ เช่น เพิ่มคุณสมบัติการป้องกันแสงโดยการเติมลิกนินและนาโนเซลลูโลส ทำให้บรรจุภัณฑ์เป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารได้โดยการเติมสาร แชนโทน และทำให้บรรจุภัณฑ์เป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาดสามารถชี้บ่งคุณภาพของอาหารภายในได้โดยการเติมสินดิเค เตอร์ ซึ่งสารทั้งหมดมีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาถูกกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ

**ข้อเสนอแนะ** คือ ทดลองสกัดสารสำคัญทุกชนิดในระดับขยายขนาดหรือปริมาณมากขึ้น พร้อมทั้งศึกษา ปริมาณสารที่ได้ คุณสมบัติของสารสำคัญ และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งต้นทุนการผลิต เพื่อรองรับและ สามารถให้ข้อเสนอแนะกับผู้สนใจนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ และปรับเปลี่ยนการนำไปใช้ประโยชน์ใน รูปแบบอื่น เช่น จากฟิล์มตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง เป็นสติ๊กเกอร์ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง หรือการนำสารที่ ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น การนำลิกนินไปใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- กิติมา เหมวงษา. 2549. การพัฒนาการผลิตผงสีจากแครอทและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 168 หน้า.
- คุณาธิป ศิริมงคล อังคณา ไบบาล และสมใจ ขจรซีพพันธุ์งาม. 2015. แอคทีฟโคโทซาน/พีวีเอ फिल्मผสมแอนโทไซ  
ยานินจากซังข้าวโพดสีม่วงเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ฟิล์ม. Chemical Engineering Project. 6 หน้า.
- จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม ศุภมาศ กลิ่นขจร ศิริพร เต็งรัง และ สุปรียา สุขเกษม. 2563. การผลิตสีผงจากพืช  
ทดแทนสีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ปี 2563. กองวิจัยและพัฒนา  
วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. 22 หน้า
- จิตรา สิงห์ทอง สุเวทย์ นิงสานนท์ และ Steve W. Cui. 2550. การศึกษาการสกัดองค์ประกอบและคุณสมบัติเชิง  
หน้าที่ของสารสกัดใบย่านาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร  
คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- ทอง ภัครัชพันธุ์ และ อรวินท์ วงศ์มีเกียรติ. 2530. กระบวนการตกตะกอนและความคงตัวของบรอมีเลน.  
ว.เกษตรศาสตร์(วิทย์.) 21: 289-294.
- นิมิตพิสุทธิ ธรรมคะชวนะ. 2530. การผลิตโบรมิเลนจากต้นสับปะรด. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
กรุงเทพฯ
- ประสงค์ ศิริวงศ์ไฉชาติ วิไลวรรณ อางนันทน์ และนิธยา รัตนานนท์. 2552. การพัฒนาสารสกัดจากเปลือกมังคุด  
เพื่อใช้ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 69 หน้า.
- ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ และสุดสาย ตริวานิช. 2546. จุลินทรีย์ในอาหาร, น.48-74. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ  
อาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พรพิมล เลี้ยงสุทธิสกันต์. 2545. เยลลี่กระเจี๊ยบแดง, น. 52-55. ใน คู่มือการแปรรูปผักและผลไม้. โรงพิมพ์ชุมชน  
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- พัชรินทร์ มีทรัพย์ และสุวิชญา บัวชาติ. 2561. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรต่อการยับยั้งเชื้อ  
*Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*. ว.วิทย์.กษ. 49(2)(พิเศษ). 485-488.
- ภาณุวัฒน์ สรรพกุล. 2561. การบรรจุแบบแอคทีฟและอินเทลลิเจนต์: การปลดปล่อยและการวินิจฉัย.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- 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].
- สุพัฒน์ คำไทย กิตติกุล อุงคนะตีวัตติ และวีรบูรณ์ คิดเก่ง. 2554. การเติมสารสกัดจากผงเปลือกมังคุดในฟิล์ม  
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรกโคโนส. ว.วิทย์.กษ. 42:1 (พิเศษ): 583-583.

- อรุษา เขาวนลิขิต ศีโรรัตน์ อภิขยารักษ์ สรารัตน์ คงทอง และสุชญา ชูประทุม. 2552. ผลกระทบของ pH และ อุณหภูมิ ต่อสีและความคงตัวของสารสกัดจากกระเจี๊ยบและอัญชัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40(3) (พิเศษ). หน้า 5-8.
- อารี ฤทธิบุรณ์. 2554. การผลิตเอนไซม์โบรมิเลนจากลำต้นของสั้ปประรดและการนำไปใช้ประโยชน์ในการทำผงหมักเนื้อนุ่ม. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อุดมลักษณ์ สุขอัติตะ 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.
- 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 xanthenes 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 Xanthenes in Eudragit RL100/RS100 for Anti-Colon Cancer Delivery. *Journal of Nanomaterials*. Vol.2015. 12p.
- Awal, A. and M. Sain. 2011. Spectroscopic Studies and Evaluation of Thermorheological Properties of Softwood and Hardwood Lignin. *Journal of Applied Polymer Science* 122: 956–963.
- Bhat, R., Nurulismah, A., Rozman. H. Din and g.-S. Tay. 2013. Producing novel sago starch based food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste. *Journal of Food Engineering* 119: 707–713.
- 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 Villar, M. 2013. Thermoplastic starch films reinforced with talc nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* 95: 664–674.
- Charoenphun, N., Sakchai, S. and Sai-Ut, S. 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 Chen, g. 2019. A comparative study on the starch-based biocomposite films reinforced by nanocellulose prepared from different nonwood fibers. *Cellulose* 26: 2425–2435.
- 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.
- Dubois, M., gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
- Espinosa, E., Isabel, B., Antonio, R., Fernando, P., Gary, C. and A. Rodríguez. 2019. PVA/(ligno)nanocellulose biocomposite films. Effect of residual lignin content on structural, mechanical, barrier and antioxidant properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 141: 197–206.
- Ezati, P., Tajik, H., Moradi, M. and Molaei, R. 2019. Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet. *International Journal of Biological Macromolecules* 132: 157–165
- Giusti, M.M. and Wrolstad, R. E. 2005. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. p. 19-31. In: *Handbook of Food Analytical Chemistry*. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Guadarrama-Lezama, A. Y, Alvarez. L. D, Jaramillo-Flores M. E., Alonso C. P., Niranjana K., gutierrez-Lopez a g. F., Alamilla-Beltran L. 2012. Preparation and characterization of non-aqueous extracts from Chilis (*Capsicum annuum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering* 112 (2012) 29–37.
- Gudeva, L. K., Mitrev S., Maksimova V., Spasov D. 2013. Content of capsaicin extracted from hot pepper (*Capsicum annuum* ssp. *microcarpum* L.) and its use as an ecopesticide. *Hem. ind.* 67 (4): 671–675
- Heggset, E. B., Gary, C. C. and K. Syverud. 2017. Temperature stability of nanocellulose dispersions. *Carbohydrate Polymers* 157: 114–121.

- Kang, C.K. and Rice, E.E. 1970. Degradation of various meat fractions by tenderizing enzymes. *J. Food Sci.* 35: 563-565.
- Kang, S., Wang, H., Xia L., Chen, M., Cheng, M., Li, L., Cheng, J., Li, X. and Jiang, S. 2020. Colorimetric film based on polyvinyl alcohol/ okra mucilage polysaccharide incorporated with rose anthocyanins for shrimp freshness monitoring. *Carbohydrate Polymers* 229 (115402): 1-10.
- Ketnawa, S., Chaiwut, P. and Rawdkuen, S. 2011 Aqueous Two-phase Extraction of Bromelain from Pineapple Peels ('Phu Lae' cultiv.) and Its Biochemical Properties. *Food Sci. Biotechnol.* 20(5): 1219-1226.
- Kha, T.C., M.H. Nguyen and P.D. Roach. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering.* 98: 385-392.
- Korbag, I. and Saleh, S. M. 2016. Studies on the formation of intermolecular interactions and structural characterization of polyvinyl alcohol/lignin film. *International of Environment Studies.* from <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2016.1143700>. [10 January 2020]. 9p.
- Kusmayadi, A., Adriani, L., Abun, A., Muchtaridi, M. and Tanuwiria U. H. 2018. The effect of solvents and extraction time on total xanthone and antioxidant yields of mangosteen peel (*garcinia Mangostana L.*) extract. *Drug Invention Today.* 10:12. 2572-2576.
- Kuswandi, B. and Murdyaningsih, E. A. 2017. Simple on package indicator label for monitoring of grape ripening process using colorimetric pH sensor. from [https://www.researchgate.net/publication/318623188\\_Simpleon\\_package\\_indicator\\_label\\_f\\_or\\_monitoring\\_of\\_grape\\_ripening\\_process\\_using\\_colorimetric\\_pH\\_sensor](https://www.researchgate.net/publication/318623188_Simpleon_package_indicator_label_f_or_monitoring_of_grape_ripening_process_using_colorimetric_pH_sensor).
- Kuswandi, B., Jayus. Larasati, T.S., Abdullah, A. and Heng, L.Y. 2012. Real time monitoring of shrimp spoilage using on-package sticker sensor based on natural dye of curcumin. *Food Analytical Methods* 5: 881-889.
- Kuswandi, B., Maryska, C., Jayiu. Abdullah, A. and Heng, L.Y. 2013. Real time on-packaging freshness indicators for guavas packaging. *Food Measue.* 7:29-39.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ng, C.S. 1987. Determination of trimethylamine oxide (TMAO-N), trimethylamine (TMA-N), total volatile basic nitrogen (TVB-N) by Conway's method. *In*: Hasegawa, H. ed, *Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products*, Marine Fisheries Research Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore, 1987, pp. 1–8.
- Obi, F. O., Ugwuishiwu, B. O. and Nwakaire, J. N. 2016. AgRICULTURAL WASTE CONCEPT, gENERATION, UTILIZATION AND MANAgEMENT. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)* 35(4): 957 – 964.
- 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.
- 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., S. Teresa., B. Alain., C. Paul., J. Benoît., C. Hernán and D. Dominique. 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., K. Kanjana., B. Opas and S. Klanarong. 1996. Influence of Water Stress During growth to Quality and Physicochemical Properties of Cassava Starch. *The 37<sup>th</sup> 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.
- Shankar, S., Jeevan, P. R. and Jong-Whan R. 2015. Effect of lignin on water vapor barrier, mechanical, and structural properties of agar/lignin composite films. *International Journal of Biological Macromolecules* 81: 267-273.
- Sharma, g. 2003. *Digital color imaging*. CRC Press, New York.
- Szalóki-Dorkó, L., g. Végvári, M. Ladányi, g. Ficzek and M. Stéger-Máte. 2015. Degradation of anthocyanin content in sour cherry juice during heat treatment. *Food Technol. Biotechnol.* 53 (3): 354-360.
- Sitti R H S., Sugita, P., Ambarsari, L. and Rahayu, D. U. C. 2018. Antibacterial Mangosteen (*garcinia mangosteen* Linn.) peel extract encapsulated in Chitosan. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: conf. Series* 1116. 7 p.
- Tan, C., Chee, K.C., Lin, L. and g. Wong. 2018. Enhancing 3D printability of puree food by addition of hydrocolloids. *Proc. Of the 3<sup>rd</sup> Intl. Conf. on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2018)*: 662-666.
- Tipduangta, P. and Sirithunyalug, 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.
- 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.
- 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.

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.

ความรู้วิชาการเกษตร