

ผลของปริมาณกลีเซอรอลและน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา ต่อสมบัติของฟิล์มบริโศได้จากแป้งมันเทศสีม่วง

Effect of glycerol and holy basil essential oil contents on properties of edible films from purple sweet potato flour

น้ำฝน สามสาลี^{1*} ศิริณา พรหมมาต¹ ศรัณย์พร เรืองบุญกรุด¹ นิสา ร่มสัสม¹ อิดารัตน์ บำรุงภักดี¹
ทิพย์วรินทร์ รีมลัดวน¹ และ สุมาลี มุสิก¹

Namfon Samsalee^{1*} Sirinapa Prommat¹ Saranporn Rungboonkrod¹ Nisa Romsomsa¹ Thidarat Bumrunpakdee¹
Thipwarin Rimlumduan¹ and Sumalee Musika¹

¹สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

¹Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan,
Muang District, Nakhon Ratchasima, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณกลีเซอรอลและน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราต่อสมบัติของฟิล์มบริโศได้จากแป้งมันเทศสีม่วง โดยศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 4 ระดับ (ร้อยละ 20 30 40 และ 50) พบว่า ฟิล์มทุกสูตรสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ความแตกต่างของปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลต่อค่าความหนาของฟิล์ม ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลายน้ำ และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของฟิล์ม พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าการต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มมีค่าลดลง จากการศึกษาพบว่า การเติมปริมาณกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 มีสมบัติโดยรวมที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 30 และ 50 จากนั้นศึกษาผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราที่ความเข้มข้น 3 ระดับ (ร้อยละ 0 0.05 และ 0.10) ร่วมกับการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราไม่มีผลต่อค่าความหนา ความทึบแสง และการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์ม อย่างไรก็ตาม ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าการต้านทานแรงดึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 40 และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 พบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มสูงที่สุด (1.12 มิลลิโมลสมมูลไทโรซอลต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง และ 149.45 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ) ดังนั้น การศึกษาฟิล์มบริโศได้จากแป้งมันเทศสีม่วงร่วมกับการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการผลิตเป็นแผ่นฟิล์มบริโศได้ในการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อปกป้องและช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้

คำสำคัญ: ฟิล์มบริโศได้, แป้งมันเทศสีม่วง, น้ำมันหอมระเหย, ใบกะเพรา

ABSTRACT

This research aims to study the content of glycerol and holy basil essential oil on the properties of edible films from purple sweet potato flour. The effect of glycerol content at four concentrations (20, 30, 40 and 50%) was studied. The results showed that all film formulations were able to form a good film. The difference in glycerol content did not show any significant effect on the thickness of films. Moisture content, water activity, water solubility and elongation at break of purple sweet potato flour films increased with the increase of the glycerol content, whereas tensile strength and elastic modulus decreased. Studies have shown that the addition of glycerol at the 40% concentration showed good overall properties compared to 20%, 30% and 50% glycerol content. The effect of holy basil essential oil content was studied at three concentrations (0, 0.05 and 0.10%) in combination with the addition of glycerol at a 40% concentration on film properties. The study found that the amount of holy basil essential oil had no effect on thickness, opacity and elongation at break of films. While the tensile strength, DPPH radical scavenging activity and total phenolic content of the films was increased when the holy basil essential oil concentration increased. The film incorporated with 40% glycerol and 0.10%

holy basil essential oil showed the highest DPPH radical scavenging activity content and total phenolic content (1.12 mM Trolox per 100 g of samples and 149.45 mg of GAE per g of samples, respectively). Therefore, the study of edible films made from purple sweet potato flour in combination with holy basil essential oil demonstrate the potential for produce edible films to protect food products and to preserve the quality of food products.

KEYWORDS: Edible film, Purple sweet potato flour, Essential oil, Holy basil

*Corresponding Author: namfon.sm@rmuti.ac.th

Received: 31/05/2022; Revised: 10/04/2024; Accepted: 10/07/2024

1. บทนำ

จากปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้นทุกวันนี้ในปัจจุบัน หนึ่งในนั้นคือปัญหาจากการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายหรือจากวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งวัสดุดังกล่าวไม่สามารถย่อยได้ตามธรรมชาติ หรืออาจต้องใช้ระยะเวลาจนถึงจะสามารถย่อยสลายได้ ทำให้ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ (Biodegradable packaging) รวมถึงฟิล์มบริโภคได้ (Edible film) เข้ามามีบทบาทและความสำคัญมากขึ้นเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยฟิล์มบริโภคได้มีคุณสมบัติที่สามารถรับประทานได้ และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (Biodegradable) เนื่องจากสามารถผลิตได้จากวัสดุตามธรรมชาติ เช่น จากพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) โปรตีน (Protein) ลิพิด (Lipid) และเรซิน (Resin) โดยฟิล์มที่ผลิตขึ้นอาจทำจากวัสดุชนิดเดียวหรือใช้วัสดุหลายชนิดรวมกันในการขึ้นรูป (Krochta & Jonhston, 1997; Samsalee & Sothornvit, 2020) การใช้ประโยชน์จากฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์บริโภคได้สามารถช่วยลดการใช้งานบรรจุภัณฑ์สังเคราะห์ พร้อมทั้งยังทำหน้าที่ในการควบคุมการเคลื่อนย้ายของความชื้น กลิ่นรส และน้ำมันระหว่างส่วนประกอบในอาหารกับบรรจุภัณฑ์ด้วย (Krochta & Jonhston, 1997) ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพของอาหารและช่วยยืดอายุอาหารได้ โดยคุณสมบัติของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

มันเทศจัดอยู่ในตระกูลพืชหัว เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โดยพบว่ามีมันเทศมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากถึงร้อยละ 85.5 อีกทั้งยังเป็นแหล่งของวิตามิน เส้นใยอาหาร และเกลือแร่ มันเทศมีเนื้อสีเป็นแหล่งของฟลาโวนอยด์ (Phytochemicals) ที่สำคัญหลายชนิด โดยพบความแตกต่างของกลุ่มสารสำคัญตรงสีของเนื้อมันเทศ ส่งผลให้มันเทศเนื้อสีเป็นแหล่งอาหารสุขภาพที่ได้รับความสนใจ (Phomkaivon et al., 2013; Kunyane & Sungin, 2019) มันเทศสีม่วงเป็น

แหล่งของแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ยับยั้งการเกิดมะเร็ง ด้านการเกิดออกซิเดชัน ด้านการอักเสบ และด้านการก่อกลายพันธุ์ เป็นต้น (Phomkaivon et al., 2013) มันเทศสีม่วงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิดทั้งอาหารคาวและหวาน การแปรรูปมันเทศสดให้อยู่ในรูปผงแป้ง (Flour) มีขั้นตอนการทำที่ไม่ซับซ้อน สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับมันเทศสีม่วงและยืดอายุการเก็บรักษาหัวมันสดให้อยู่ในรูปแบบผงที่สามารถเก็บไว้ได้นานได้ อีกทั้งยังสะดวกต่อการนำไปใช้และการขนส่งด้วย นอกจากนี้แป้งมันเทศสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้เพื่อผลิตเป็นถุงเพาะชำในการปลูกดอกดาวเรืองได้ โดยการเติมกลีเซอรอลในฟิล์มจากแป้งมันเทศพบว่ากลีเซอรอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความสามารถในการละลายน้ำให้กับฟิล์มได้ ส่วนสมบัติทางกลของฟิล์มจากแป้งมันเทศพบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดและค่าการต้านทานแรงเฉือนของฟิล์มลดลง (Theamdee & Rueangrun, 2019) การเตรียมฟิล์มแป้งมันฝรั่งโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 10-40 พบว่า ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มจะลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดตัวของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจากความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็น 20 จากนั้นการยืดตัวของฟิล์มจะลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการป้องกันการแพร่ผ่านไอน้ำ และความโปร่งใสของฟิล์มพบว่ามีความสัมพันธ์เมื่อปริมาณกลีเซอรอลในฟิล์มเพิ่มขึ้น (Fu et al., 2021) ปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ชจากเผือกและปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อสมบัติของฟิล์มบริโภคได้ ได้แก่ สมบัติการป้องกันการแพร่ผ่านไอน้ำ การต้านทานแรงดึง การยืดตัว ความสามารถในการละลาย และความโปร่งใสของฟิล์ม (Siskawardani & Hidayat, 2020) Basiak et al. (2018) รายงานว่าฟิล์มสตาร์ชข้าวสาลีที่เติมกลีเซอรอล

ร้อยละ 33 และร้อยละ 50 มีสมบัติทางกล ค่าสี การพองตัว และการละลายน้ำของฟิล์มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการรายงานก่อนหน้านี้พบว่าปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อการต้านทานแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์ม โดยฟิล์มที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอลจะมีความต้านทานแรงดึงสูงสุดและมีการยืดตัวต่ำที่สุด ในทางกลับกันเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลพบว่าฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น (Wiset et al., 2014) จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์มบรีโกลด์จากแป้ง (Mali et al., 2005; Nouraddini et al., 2018; Fu et al., 2021) โดยพลาสติกไซเซอร์ที่เติมในฟิล์มทำหน้าที่ในการลดแรงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นการเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ช่วยปรับปรุงความยืดหยุ่น ความยืดตัว และความเหนียวของฟิล์ม (Sanyang et al., 2015)

กะเพรา (*Ocimum sanctum*) จัดเป็นไม้ล้มลุก ที่แตกต่างกันสาขา จัดอยู่ในวงศ์ *Labiataceae* ลำต้นสูงประมาณ 30 – 60 เซนติเมตร มี 3 พันธุ์ คือ กะเพราแดง กะเพราขาว และกะเพราลูกผสม (กะเพราแดงและกะเพราขาว) น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราพบว่ามีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ ยูจีนอล (Eugenol) บีตาแคโรทีน (β-caryophyllene) บีตาเอเลมีน (β-elemene) เมทิลยูจีนอล (Methyl eugenol) และเมทิลชาวิคอล (Methyl chavicol) ที่มีสมบัติมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ต้านเชื้อรา และมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Hakkim et al., 2007; Pandey & Madhuri, 2010; Duanyai et al., 2020) จากการศึกษาของ Hakkim et al. (2007) พบว่า สารสกัดจากกะเพรมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้หลายชนิด เช่น อนุมูลเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) อนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Superoxide anion radical) เป็นต้น โดยส่วนของใบกะเพรมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าส่วนของกิ่งและดอก ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจากพืชจัดเป็นไขมัน (Lipid) ที่น่าสนใจในการนำมาเติมในสารละลายฟิล์ม เนื่องจากเป็นสารสกัดที่มีคุณสมบัติเสริมให้กับฟิล์มทางด้านฤทธิ์การต้านจุลชีพและการต้านอนุมูลอิสระ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมต่อสมบัติของฟิล์มบรีโกลด์จากแป้งมันเทศสีม่วง รวมถึงศึกษาผลของปริมาณของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราต่อสมบัติของฟิล์มบรีโกลด์จากแป้งมันเทศสีม่วงด้วย ซึ่งฟิล์มบรีโกลด์

ได้จากแป้งมันเทศสีม่วงอาจเป็นอีกหนึ่งทางเลือกโดยนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์บรีโกลด์ ย่อยสลายได้ ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแป้งมันเทศสีม่วง

นำมันเทศสีม่วงจากตลาดสุพรรณบุรีมาล้างทำความสะอาดเพื่อขจัดเศษดินที่ติดที่ผิวและล้างสิ่งสกปรกออก จากนั้นปอกเปลือกและนำไปล้างน้ำอีกครั้ง หั่นให้เป็นแผ่นบาง ๆ แขนงในสารละลายกรดซิดิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 5 นาที นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที นำไปใส่ถาดเพื่อเข้าอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven, รุ่น UN55, MEMMERT, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมันเทศสีม่วงที่ผ่านการอบแห้งมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่นไฟฟ้า (รุ่น IF-329, Imarflex, China) และร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 150 เมช เพื่อให้ได้แป้งมันเทศสีม่วงที่มีขนาดสม่ำเสมอ ก่อนนำไปขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม ผงแป้งมันเทศสีม่วงที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.02 ค่าสี $L^* = 56.39$ $a^* = 18.66$ และ $b^* = -2.58$ และมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.522 ผงแป้งมันเทศสีม่วงถูกบรรจุในถุงสุญญากาศเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นวัสดุตั้งในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มต่อไป

2.2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มบรีโกลด์จากแป้งมันเทศสีม่วง

2.2.1 ศึกษาปริมาณกลีเซอรอลต่อสมบัติของฟิล์มบรีโกลด์จากแป้งมันเทศสีม่วง

เตรียมสารละลายฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วง โดยชั่งแป้งมันเทศสีม่วงปริมาณ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 95 กรัม กวนผสมพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate stirrer, รุ่น C-MAG-HS7, IKA, Germany) เติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของแป้งมันเทศสีม่วง กวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที ขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการเทหล่อขึ้นรูป (Solution casting method) โดยคำนวณปริมาณของแข็งของสารละลายฟิล์มแต่ละสูตรให้มีปริมาณ 2.4 กรัม (ต่อเพลท) เทสารละลายฟิล์มลงเพลท Petri dish ที่เคลือบเทปลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

140 มิลลิเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มที่ได้และเก็บที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) 50 ± 5 % เป็นเวลาอย่างน้อย 2 วัน ในโถควบคุมความชื้น เพื่อรอการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มต่อไป

2.2.2 ศึกษาปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราต่อสมบัติของฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วง

เตรียมสารละลายฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงตามข้อ 2.2.1 โดยเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของแป้งมันเทศสีม่วง กวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (Asian Bioplex, AP OPERATIONS CO., LTD., ประเทศไทย) ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ที่ร้อยละ 0 0.05 และ 0.10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารละลาย และเติม Tween 80 ร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหย (Tongnuanchan et al., 2012) กวนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่ความเร็ว 22,000 rpm เป็นเวลา 3 นาที (IKA Labortechnik homogenizer, Malaysia) นำสารละลายฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงที่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราเทลงเพลท Petri dish ที่เคลือบเทปลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร โดยคำนวณปริมาณของแข็งของสารละลายฟิล์มแต่ละสูตรให้มีปริมาณ 2.4 กรัม เท่ากันทุกเพลท จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มและเก็บที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) 50 ± 5 % เป็นเวลาอย่างน้อย 2 วัน ในโถควบคุมความชื้น เพื่อรอการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มต่อไป

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของแผ่นฟิล์ม

2.3.1 ความหนาของแผ่นฟิล์ม (Thickness) โดยใช้เครื่องวัด Thickness gauge (รุ่น 7301, Mitutoyo, Kanagawa, Japan)

2.3.2 ปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์ม (Moisture content) ตามวิธี AOAC (2000)

2.3.3 ความทึบแสงของแผ่นฟิล์ม (Opacity) โดยตัดแผ่นฟิล์มขนาด 10 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร บรรจุฟิล์มลงในคิวเวท (Cuvette) นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (รุ่น Genesys 10 UV scanning,

Thermo Fisher Scientific, United States) โดยใช้คิวเวทเปล่าเป็นแบล็ก และคำนวณค่าความทึบแสงของแผ่นฟิล์มตามสมการ

$$\text{ความทึบแสง (mm}^{-1}\text{)} = \frac{\text{ค่าการวัดดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 600 nm}}{\text{ความหนาของแผ่นฟิล์ม (mm)}}$$

2.3.4 ค่าสีของแผ่นฟิล์ม (Color) โดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter (Chroma meter, CR 400, Konica Minolta, Inc., Osaka, Japan) ตามระบบ CIE lab system แสดงผลเป็นค่า L* (ความสว่าง 0 หมายถึง สีดำ และ 100 หมายถึงขาว) a* (+a* หมายถึง สีแดง และ -a* หมายถึง สีเขียว) และ b* (+b* หมายถึง สีเหลือง และ -b* หมายถึง สีน้ำเงิน)

2.3.5 ความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม (Water solubility) โดยตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มก่อนละลาย จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง โดยให้น้ำหนักตัวอย่างคงที่ (dm_1) จากนั้นใส่ตัวอย่างลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแยกฟิล์มที่เหลืออยู่ (ไม่ละลาย) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทำการชั่งน้ำหนัก (dm_2) และคำนวณความสามารถในการละลายของฟิล์มตามสมการ (Samsalee & Sothornvit, 2020)

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ (\%)} = \frac{dm_1 - dm_2}{dm_1} \times 100$$

โดยที่

dm_1 = เป็นน้ำหนักของตัวอย่างฟิล์มแห้งเริ่มต้น (gram)

dm_2 = เป็นน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มแห้งที่ไม่ละลายน้ำ (gram)

2.3.6 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) โดยใช้เครื่อง Water activity meter (รุ่น Series 4 TE DUO, Aqua Lab, England) นำแผ่นฟิล์มตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ บรรจุใส่ในโถลึบพลาสติก นำไปวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการอ่านค่าที่ได้

2.3.7 สมบัติการทางกล (Mechanical properties) โดยวิเคราะห์ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) และมอดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D882-97 standard (ASTM, 1997) ใช้เครื่อง Universal testing machine (Instron model 5569, Massachusetts,

USA) ตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 8 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ยึดปลายทั้ง 2 ข้างของฟิล์มเข้ากับหัวหนีบ (Grip) อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที และค่าขนาด Load cell 50 นิวตัน คำนวณค่าการต้านทานแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และมอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มตามสมการดังนี้

$$\begin{aligned}\text{การต้านทานแรงดึง (MPa)} &= \frac{F_{\max}}{A} \\ \text{การยืดตัว ณ จุดขาด (\%)} &= \frac{L}{L_0} \times 100 \\ \text{มอดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)} &= \frac{(F_{\max}/A)}{(L/L_0)}\end{aligned}$$

โดยที่

$F_{\max}$ = ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มขาด (N)
 A = พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม (mm^2)
 L_0 = ความยาวเริ่มต้นของฟิล์ม (mm)
 L = ระยะความยาวที่ฟิล์มยืดออก (mm)

2.3.8 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

การเตรียมตัวอย่างสารละลายฟิล์มโดยนำตัวอย่างฟิล์มปริมาณ 0.25 กรัม ละลายในเมทานอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,700 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างฟิล์ม 35 เท่า เพื่อนำไปทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Tongnuanchan et al., 2012)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl) โดยดูดสารละลายฟิล์มปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น DPPH ความเข้มข้น 0.15 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer (รุ่น ZX4, VELP, Italy) จากนั้นตั้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox รายงานผลเป็น มิลลิโมลสมมูล Trolox ต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง (mM Trolox/100 g of sample) (Tongnuanchan et al., 2012)

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent โดยการดูดสารละลายฟิล์มแต่ละสูตรใส่หลอดทดลองปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 7 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น Folin-Ciocalteu phenol reagent ความเข้มข้น

ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ลงในหลอดทดลองปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 8 นาที เติมน้ำกลั่นละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวล ต่อปริมาตร ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 0.9 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent, GAE) รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง (mg GAE/g of sample) (Siripatrawan & Harte, 2010)

2.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของปริมาณของกลีเซอรอลต่อสมบัติของฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วง

จากการศึกษาฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่ปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอล 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 20 30 40 และ 50 พบว่า ฟิล์มทั้ง 4 สูตรสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มมีสีม่วง ลักษณะโปร่งใส แผ่นฟิล์มที่ได้มีผิวเรียบ (รูปที่ 1) ความหนาของฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากได้ทำการควบคุมปริมาณของแข็งในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม โดยฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงมีค่าความหนาอยู่ในช่วง 0.22 – 0.23 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) ค่าสีของฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วง พบว่า ค่า L^* และ a^* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1) โดยฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงมีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 44.49 – 52.03 ค่า a^* อยู่ในช่วง 29.18 – 30.14 และค่า b^* อยู่ในช่วง -0.38 – 1.67 อย่างไรก็ตามค่าสีของฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงมีความแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของฟิล์มที่ได้ตั้ง

รูปที่ 1 โดยทั่วไปการเติมกลีเซอรอลไม่มีผลต่อค่าสีของฟิล์ม (Samsalee et al., 2021) อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มมีการให้ความร้อนซึ่งอาจส่งผลต่อค่าสีของฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงที่ได้ ฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 พบว่ามีค่าความทึบแสงของฟิล์มสูงที่สุด ($3.05 \text{ มิลลิเมตร}^{-1}$) แตกต่างจากการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($2.57 \text{ มิลลิเมตร}^{-1}$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khotsaeng et al. (2023) ที่ได้รายงานว่าการเติมปริมาณ

กลีเซอรอลเพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีความโปร่งแสงเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้พบว่า การเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 มีค่าความทึบแสงของฟิล์มไม่แตกต่างกับกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 40 ($p > 0.05$) โดยความทึบแสงของฟิล์มสามารถช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีความไวต่อแสงได้ ซึ่งถือเป็นข้อดีเนื่องจากแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดกลิ่นหืนที่ไม่พึงประสงค์ได้



รูปที่ 1 ลักษณะปรากฏของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 20 (ก) 30 (ข) 40 (ค) และ 50 (ง)

ตารางที่ 1 ความหนา ความทึบแสง และค่าสีของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลระดับต่าง ๆ

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	ความหนา ^a (mm)	ความทึบแสง (mm ⁻¹)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
20	0.22 ± 0.02	3.05 ± 0.19 ^b	52.03 ± 1.00 ^b	30.14 ± 0.38 ^b	-0.38 ± 0.19 ^a
30	0.22 ± 0.02	2.94 ± 0.37 ^{ab}	51.27 ± 1.97 ^b	29.18 ± 0.60 ^a	-0.22 ± 0.21 ^a
40	0.23 ± 0.02	2.68 ± 0.17 ^{ab}	48.34 ± 1.15 ^b	29.86 ± 0.52 ^{ab}	1.38 ± 0.16 ^b
50	0.23 ± 0.02	2.57 ± 0.39 ^a	44.49 ± 2.90 ^a	29.59 ± 0.27 ^{ab}	1.67 ± 0.49 ^b

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงแต่ละระดับของปริมาณกลีเซอรอล ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงแต่ละระดับของปริมาณกลีเซอรอล ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลระดับต่าง ๆ

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	ความชื้น (%)	ความสามารถในการละลายน้ำ (%)	ปริมาณน้ำอิสระ
20	17.00 ± 2.42 ^a	55.84 ± 2.51 ^a	0.527 ± 0.004 ^a
30	19.76 ± 2.67 ^a	56.78 ± 3.10 ^{ab}	0.539 ± 0.011 ^{ab}
40	23.57 ± 0.33 ^b	62.04 ± 1.98 ^{bc}	0.553 ± 0.015 ^{bc}
50	28.60 ± 0.59 ^c	64.35 ± 3.60 ^c	0.568 ± 0.007 ^c

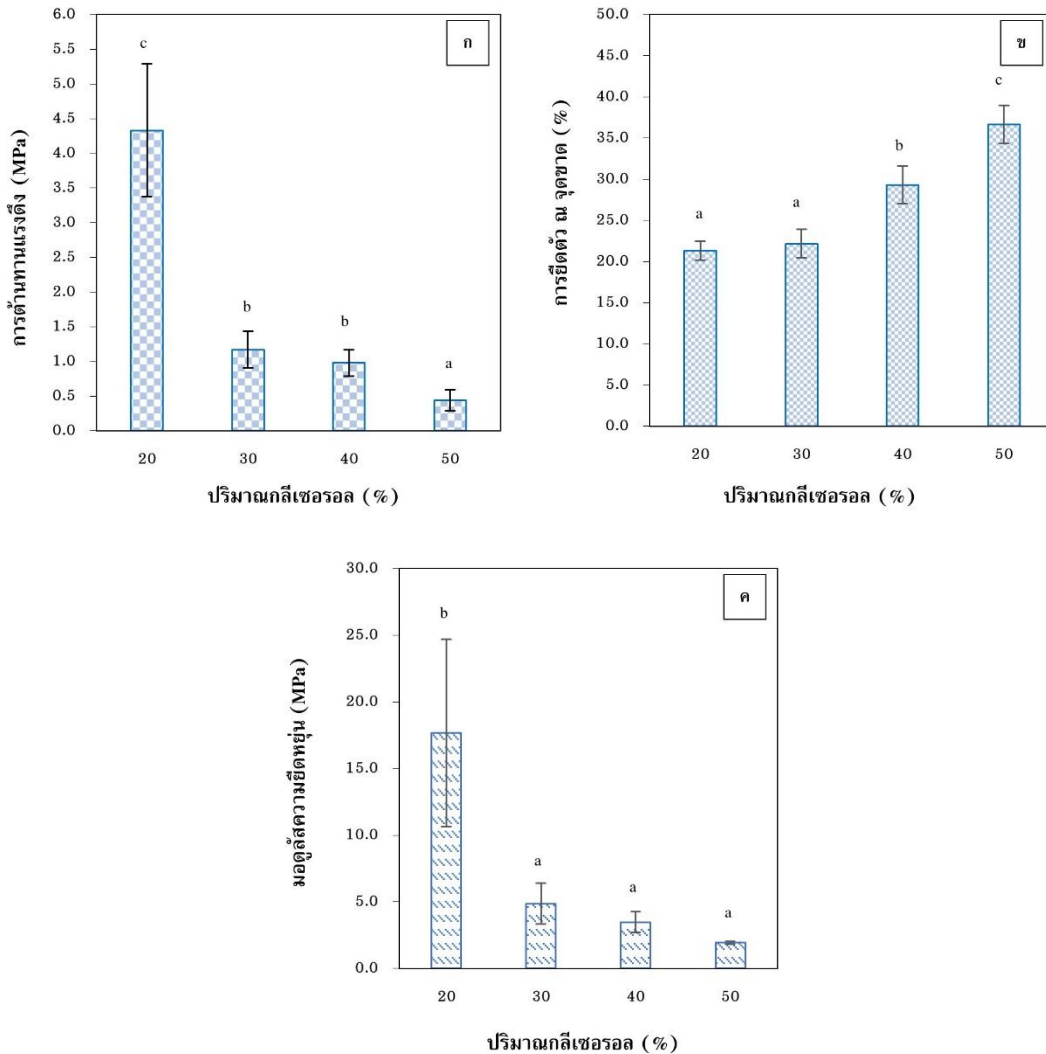
หมายเหตุ a-c หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงแต่ละระดับของปริมาณกลีเซอรอล ($p < 0.05$)

ปริมาณความชื้นของฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงพบว่า ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 และ 30 มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 17.00 และ 19.76 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การเติมปริมาณกลีเซอรอลที่ร้อยละ 50 พบว่า ฟิล์มมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 28.60) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มสูตรอื่น ($p < 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของฟิล์มพบว่าสอดคล้องกับความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการ

ละลายน้ำบ่งบอกถึงลักษณะของการต้านทานน้ำของแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีผลต่อความเหมาะสมในการนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้งาน จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น โดยการเติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 50 พบว่ามีค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 64.35 อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างกับการเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 40 (ร้อยละ 62.04) จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการเติมกลีเซอรอลในปริมาณมากขึ้นฟิล์มที่ได้

มีค่าปริมาณความชื้นและการละลายที่สูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกลีเซอรอล ซึ่งโดยทั่วไปตามธรรมชาติกลีเซอรอลมีลักษณะดูดความชื้น (Hygroscopic) อุณหภูมิของน้ำไว้ในเมทริกซ์ของฟิล์มทำให้พื้นผิวของฟิล์มเปียกและดูดซับความชื้นได้ดี (Ramos et al., 2013) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของฟิล์มพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.539 – 0.568 (ตารางที่ 2) โดย

ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำอิสระเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นของฟิล์ม อย่างไรก็ตามค่าปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มทั้ง 4 สูตร มีค่าต่ำกว่า 0.61 ซึ่งอาจจะป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้เนื่องจากสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโต (Tee et al., 2017)



รูปที่ 2 การต้านทานแรงดึง (ก) การยืดตัว ณ จุดขาด (ข) และมอดูลัสความยืดหยุ่น (ค) ของฟิล์มจากแป้งมันเทศสีม่วงที่ปริมาณกลีเซอรอลระดับต่าง ๆ

จากการศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงพบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นที่ปริมาณร้อยละ 20 ถึง ร้อยละ 50 มีผลทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลง จาก 4.33 เป็น 0.44 เมกะปาสคาล (รูปที่ 2) โดยการเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 50 พบว่า มีค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.44 เมกะปาสคาล โดยทั่วไปค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มมีผลต่อความทนทานของฟิล์มต่อความเค้นตึงจากของฟิล์มในระหว่างการ

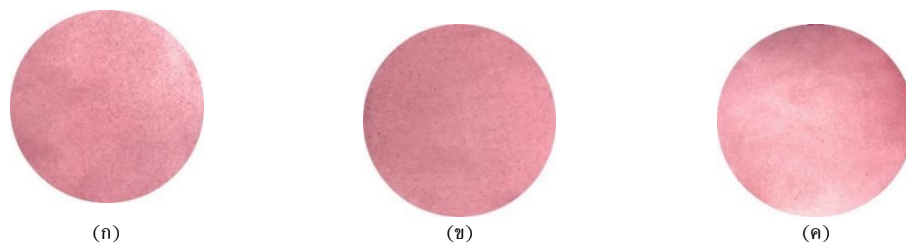
นำไปใช้งาน ขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์ม พบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่ร้อยละ 20 และ 30 มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ร้อยละ 21.33 และ 22.17 ตามลำดับ) โดยการเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 50 พบว่า ฟิล์มมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับร้อยละ 36.67 ซึ่งบ่งบอกถึงฟิล์มมีความยืดหยุ่นของฟิล์มสูงที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มสูตรอื่น ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มพบว่า มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.68 เมกะปาสคาล แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีความแข็งแรงมากที่สุด แต่มีความยืดหยุ่นน้อยที่สุด ฟิล์มที่ได้จากการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ถึงแม้จะได้ฟิล์มที่แข็งแรงแต่ฟิล์มมีความเปราะเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มสูตรอื่น อย่างไรก็ตามการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ถึง ร้อยละ 50 พบว่ามีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.93 – 4.87 เมกะปาสคาล ดังนั้นจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อค่าการต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์ม เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นในเมทริกซ์ของฟิล์มจะไปจับกับสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งมันเทศสีม่วง ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ทำให้เพิ่มการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น (Sanyang et al., 2015; Theamdee & Rueangrung, 2019) จากการศึกษาพบว่า การเติมปริมาณกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 มีสมบัติของฟิล์มโดยรวมที่ดี โดยเฉพาะสมบัติทางกลของฟิล์มเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 30 และ 50 ซึ่งมีค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มเท่ากับ 1.03 เมกะปาสคาล ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเท่ากับร้อยละ 29.33 และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มเท่ากับ 3.48 เมกะปาสคาล

3.2 ผลของปริมาณของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วง

จากศึกษาปริมาณของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 0.05 และ 0.10 ต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงร่วมกับการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 เป็น

พลาสติกไซเซอร์ พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในฟิล์มไม่มีผลต่อค่าความหนาและค่าความทึบแสงของฟิล์ม ($p > 0.05$) โดยมีค่าความหนาอยู่ในช่วง 0.23 – 0.24 มิลลิเมตร และค่าความทึบแสงของฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 2.51 – 2.68 มิลลิเมตร⁻¹ (ตารางที่ 3) งานวิจัยของ Lekjing & Chinarak (2019) ได้รายงานว่าฟิล์มโคโคซานร่วมกับการเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 เป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยฟิล์มโคโคซานที่ได้มีความทึบแสงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสารกลุ่มไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้การเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.05 และ 0.10 มีค่าความทึบแสงของฟิล์มไม่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากการเติมในปริมาณที่น้อยจึงทำให้มีค่าความทึบแสงที่ไม่ต่างกัน นอกจากนั้นเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีค่า L^* และค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าดังกล่าวบ่งบอกถึงค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงของฟิล์มตามลำดับ ในขณะที่ค่า b^* ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความเป็นสีเหลืองของฟิล์มพบว่ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3) โดยค่าสีของฟิล์มอาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่เติม ซึ่งน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่เติมในฟิล์มมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อน เมื่อรวมกับสารละลายฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงทำให้ได้สีของฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงร่วมกับการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา นอกจากนั้นแล้วอาจเป็นไปได้ว่าในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม น้ำมันหอมระเหยเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟิล์ม ซึ่งผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทำให้ค่าสีของฟิล์มที่ได้แตกต่างกันเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมแตกต่างกัน (Lekjing & Chinarak, 2019)

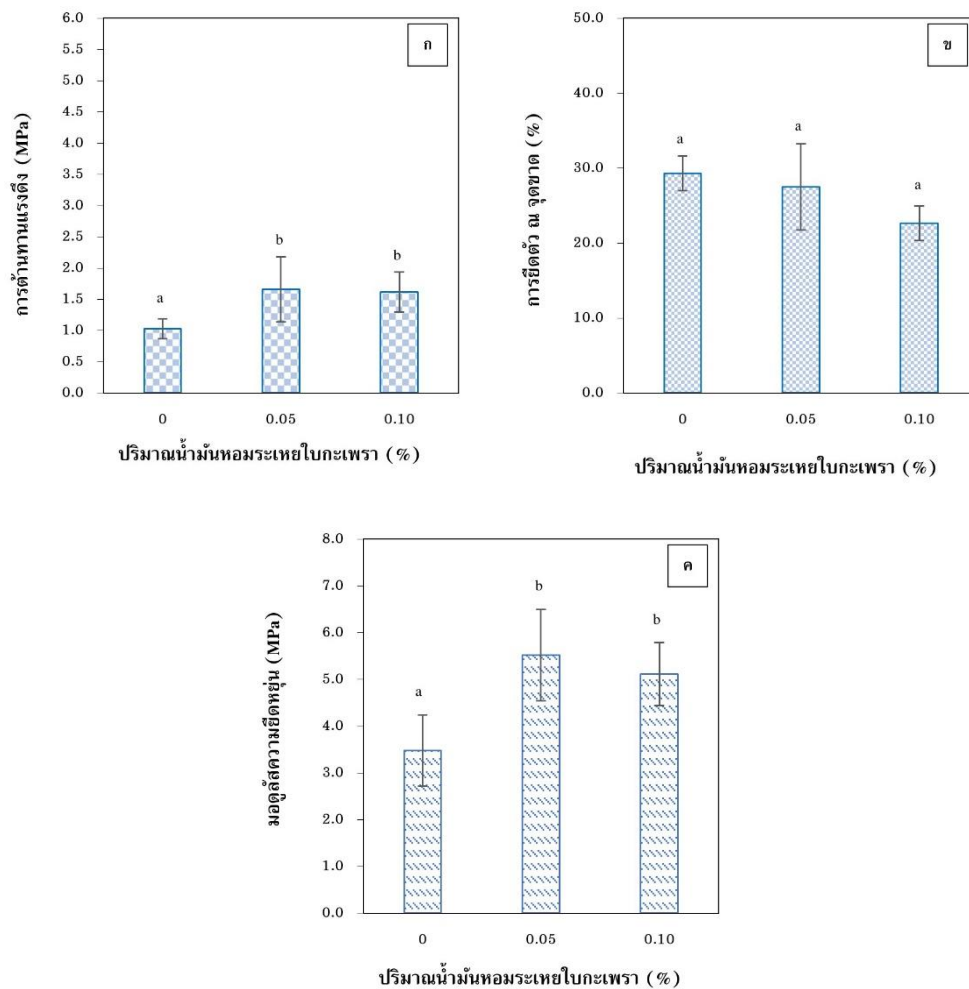


รูปที่ 3 ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลร้อยละ 40 ร่วมกับการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 (ก) 0.05 (ข) และ 0.10 (ค)

ตารางที่ 3 สมบัติของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลร้อยละ 40 ร่วมกับปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ

สมบัติของฟิล์ม		ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา (%)		
		0	0.05	0.10
ความหนา ^m (mm)		0.23 ± 0.02	0.24 ± 0.04	0.23 ± 0.03
ความทึบแสง ^s (mm ⁻¹)		2.68 ± 0.17	2.51 ± 0.31	2.68 ± 0.31
ค่าสี	L*	38.19 ± 1.58 ^a	45.40 ± 1.87 ^b	48.48 ± 2.75 ^c
	a*	18.77 ± 1.03 ^a	25.61 ± 0.75 ^b	31.62 ± 0.46 ^c
	b*	7.49 ± 0.48 ^c	1.34 ± 0.23 ^b	-0.36 ± 0.11 ^a
ความชื้น (%)		23.57 ± 0.33 ^b	21.71 ± 1.69 ^b	19.39 ± 0.21 ^a
ความสามารถในการละลายน้ำ (%)		62.04 ± 1.98 ^c	34.66 ± 1.23 ^b	27.38 ± 0.74 ^a
ปริมาณน้ำอิสระ		0.553 ± 0.015 ^c	0.495 ± 0.016 ^b	0.418 ± 0.021 ^a

หมายเหตุ a-c หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ (p < 0.05)



รูปที่ 4 การต้านทานแรงดึง (ก) การยึดตัว ณ จุดขาด (ข) และมอดูลัสความยืดหยุ่น (ค) ของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลร้อยละ 40 ร่วมกับปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลร้อยละ 40 ร่วมกับปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ (p < 0.05)

จากผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ ในฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเทศสีม่วง พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราเพิ่มขึ้นทำให้ค่าปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มลดลง (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่มีสมบัติ

ของการเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งมีความไม่ชอบน้ำ และสามารถแทรกตัวและกระจายตัวในโครงสร้างของฟิล์มได้จึงทำให้ความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำและปริมาณน้ำอิสระลดลง (Lekjing & Chinarak, 2019) โดยฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.10 พบว่า มีค่าความชื้น ความสามารถในการ

การละลายน้ำ และปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 19.39 ร้อยละ 27.38 และ 0.418 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามค่าปริมาณน้ำอิสระของฟิล์มทุกสูตรไม่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ (น้อยกว่า 0.61)

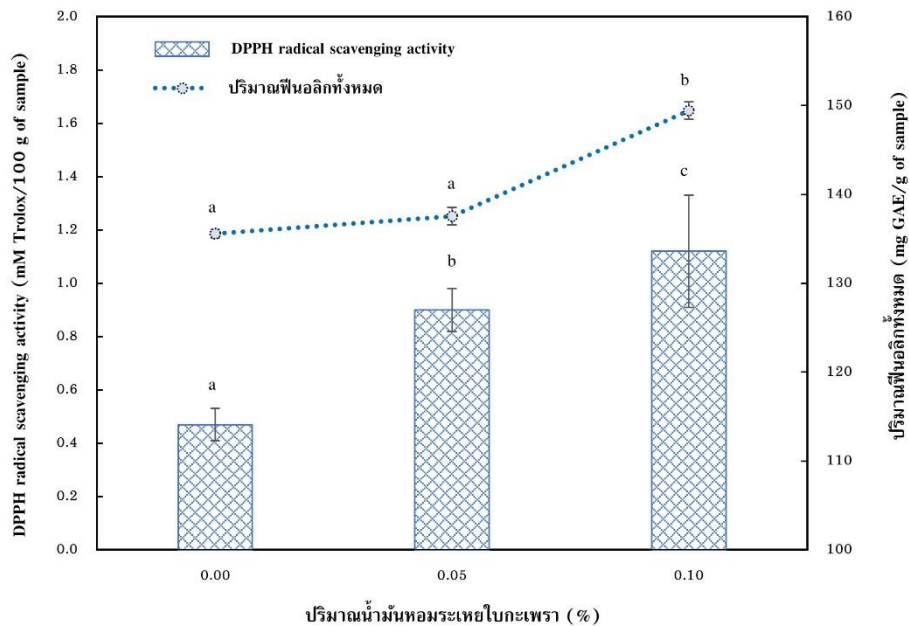
สมบัติทางกลของฟิล์มบรีโกลได้จากแปงมันเทศ สีม่วงร่วมกับน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา พบว่า การเติมปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มเมื่อเทียบกับการไม่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา (รูปที่ 4) อย่างไรก็ตามค่าการต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ร้อยละ 0.05 และ 0.10 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.62 – 1.66 เมกะปาสคาล และ 5.12 – 5.52 เมกะปาสคาลตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bhatia et al. (2024) ที่ได้รายงานว่ฟิล์มคาราจีแนนที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากเกรฟฟรุต (Grapefruit) มีค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มสูงกว่าฟิล์มคาราจีแนนที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหยเกรฟฟรุต และการเติมน้ำมันหอมระเหยจากเกรฟฟรุตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 พบว่ามีค่าการต้านทานแรงดึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hosseini et al. (2009) ที่พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยในฟิล์มไคโตซานส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น งานวิจัยของ Lekjing & Chinarak (2019) ได้รายงานว่ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มไคโตซานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 1.5 โดยมีค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 12.11 เมกะปาสคาล เป็น 40.41 เมกะปาสคาล ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์และน้ำมันหอมระเหยทำให้เกิดผลของการเชื่อมข้าม (Cross-linking) ซึ่งทำให้ปริมาตรอิสระและความสามารถในการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง (Hosseini et al., 2009; Bhatia et al., 2024) ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มบรีโกลได้จากแปงมันเทศสีม่วงที่เติมและไม่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด อยู่ในช่วงร้อยละ 22.67 – 29.33 (รูปที่ 4) อย่างไรก็ตามค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มบรีโกลได้จากแปงมันเทศสีม่วงที่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากน้ำมันหอมระเหยมี

สารฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบโดยอาจมีผลรบกวนการจับกันของโครงข่ายพอลิเมอร์ (Saengwong-ngam et al., 2020) ทำให้ฟิล์มที่ได้จากการเติมน้ำมันหอมระเหยมีความเปราะกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมน้ำมันหอมระเหย ซึ่งจะเห็นได้จากการต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของฟิล์มที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหย (รูปที่ 4)

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่า ฟิล์มแปงมันเทศสีม่วงร่วมกับน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.12 มิลลิโมลสมมูลโทรลอคซ์ต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง (รูปที่ 5) เนื่องจากฟิล์มมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราสูงที่สุด ทำให้มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยในน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา มีองค์ประกอบหลักเป็นสาร Eugenol ซึ่งเป็นสารที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Duanyai et al., 2020) ดังนั้นการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในปริมาณมากจึงทำให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงดังรูปที่ 5 งานวิจัยของ Lekjing & Chinarak (2019) พบว่าฟิล์มไคโตซานที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์ม พบว่า การเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 และ 0.05 มีค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 135.57 และ 137.55 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา มีสารประกอบที่ระเหยได้ (Volatile components) และการเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 อาจเป็นปริมาณที่น้อย ซึ่งอาจเกิดการระเหยไปในระหว่างขั้นตอนการทำแห้งฟิล์มส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มมีค่าไม่แตกต่างกับการไม่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา (ร้อยละ 0) อย่างไรก็ตามการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ร้อยละ 0.10 พบว่าค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มมีค่ามากที่สุดคือ 149.45 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง (รูปที่ 5) โดยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราพบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 63.97

มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 7.79 มิลลิโมลสมมูลโทรลอกซ์ต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง (ข้อมูลไม่ได้แสดงในรูป) นอกจากนั้นจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราพบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH เท่ากับ 0.47 มิลลิโมลสมมูลโทรลอกซ์ต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มเท่ากับ 135.57 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ถึงแม้จะไม่มีน้ำมันหอม

ระเหยใบกะเพราในแผ่นฟิล์ม เนื่องจากแป้งมันเทศสีม่วงมีสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สารสีแดง ม่วง และน้ำเงิน มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ และเส้นเลือดอุดตันในสมอง ชะลอความเสื่อมของดวงตา และช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค อีโคไล (*Escherichia coli*) ในระบบทางเดินอาหาร (Charoenphun, 2018)



รูปที่ 5 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลร้อยละ 40

ร่วมกับปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเทศสีม่วงที่กลีเซอรอลร้อยละ 40 ร่วมกับปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ระดับต่าง ๆ ($p < 0.05$)

4. บทสรุป

จากการศึกษาฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงที่ปริมาณกลีเซอรอล 4 ระดับ พบว่า ฟิล์มทุกสูตรสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ปริมาณกลีเซอรอลในฟิล์มมีผลต่อสมบัติของฟิล์มทางด้านความทึบแสง ค่าสี ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ ปริมาณน้ำอิสระ และสมบัติทางกลของฟิล์ม จากการศึกษพบว่า การเติมปริมาณกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 มีสมบัติโดยรวมที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 30 และ 50 จึงศึกษาปริมาณกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ร่วมกับการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา (ร้อยละ 0 0.05 และ 0.10) ต่อสมบัติของฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วง โดยการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา

ในฟิล์ม พบว่า ไม่ส่งผลต่อความหนาและความทึบแสงของแผ่นฟิล์ม อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา มีผลต่อสมบัติของฟิล์มทางด้านค่าสี ความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ ปริมาณน้ำอิสระ การต้านทานแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น การยึดตัว ณ จุดขาดของฟิล์ม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์ม โดยการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 พบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของฟิล์มสูงที่สุด รวมถึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฟิล์มแป้งมันเทศสีม่วงร่วมกับการเติมน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารบริโกลได้ และสามารถย่อยสลายได้ทาง

ชีวภาพเพื่อปกป้องและช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- American Society of Testing and Materials (ASTM) International, Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting (D882-97). (1997). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis*, 16th ed. Virginia: Association of official analytical chemists.
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2018). How glycerol and water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films. *Polymers*, 10(4), 412.
- Bhatia, S., Abbas Shah, Y., Al-Harrasi, A., Jawad, M., Koca, E., & Aydemir, L. Y. (2024). Enhancing tensile strength, thermal stability, and antioxidant characteristics of transparent kappa carrageenan films using grapefruit essential oil for food packaging applications. *ACS omega*, 9, 9003-9012.
- Charoenphun, N. (2018). Development of cookie products from sweet potato. *Journal of Food Technology, Siam University*, 13(1), 32-43. (in Thai)
- Duanyai, S., Manok, S., & Rodpo, P. (2020). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from Thai Herbs to microorganisms causing dermatitis. *KKU Science Journal*, 48(1), 76-85. (in Thai)
- Fu, Z. Q., Guo, S. X., Sun, Y., Wu, H. J., Huang, Z. G., & Wu, M. (2021). Effect of glycerol content on the properties of potato flour films. *Starch-Stärke*, 73(5-6), 2000203.
- Hakkim, F. L., Shankar, C. G., & Girija, S. (2007). Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) leaves, stems, and inflorescence and their in vitro callus cultures. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(22), 9109-9117.
- Hosseini, M.H., Razavi, S.H., & Mousavi, M.A. (2009). Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. *Journal of food processing and preservation*, 33(6), 727-743.
- Khotsaeng, N., Simchuer, W., Imsombut, T., & Srihanam, P. (2023). Effect of glycerol concentrations on the characteristics of cellulose films from Cattail (*Typha angustifolia* L.) flowers. *Polymers*, 15(23), 4535.
- Krochta, J. M., & Johnston, C. D. (1997). Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Science and Technology*, 51(2), 60-74.
- Kunyancee, K., & Sungin, P. (2019). The effect of gur gum on the qualities of gluten free crispy waffle from sweet purple potato flour. *Dusit Thani College Journal*, 13(1), 315-329. (in Thai)
- Lekjing, S., & Chinarak, K. (2019). Effect of clove essential oil on film properties, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan film. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 19(4), 172-189. (in Thai)
- Mali, S., Grossmann, M. V. E., Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2005). Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 157-164.
- Nouraddini, M., Esmaili, M., & Mohtarami, F. (2018). Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch. *International journal of biological macromolecules*, 120, 1639-1645.
- Pandey, G., & Madhuri, S. (2010). Pharmacological activities of *Ocimum sanctum* (tulsi): a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 5(1), 61-66.
- Phomkaivon, N., Surojanametakul, V., Poolperm, N., & Satmalee, P. (2013). Changes on physico-chemical properties, total anthocyanin contents and antioxidant activity of different pre-treatment purple sweet potato flour. In *Proceedings of 51st Kasetsart University Annual Conference: Agricultural Extension and Home Economics, Agro-Industry*. pp. 281-288, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Ramos, Ó. L., Reinas, I., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., Vicente, A. A., Poças, M. F., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2013). Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 110-122.
- Saengwong-ngam, R., Matan, N., & Matan, N. (2020). Physical properties, mechanical properties and antifungal activity of PLA bioplastic film containing Michelia alba oil on brown rice. *Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University*, 22(1), 14-21. (in Thai)
- Samsalee, N., & Sothornvit, R. (2020). Characterization of food application and quality of porcine plasma protein-based films incorporated with chitosan or encapsulated turmeric oil. *Food and Bioprocess Technology*, 13(3), 488-500.
- Samsalee, N., Romsomsa, N., & Musika, S. (2021). Physicochemical, mechanical and thermal properties of edible film from man lueat (*Dioscorea alata*) flour. *RMUTP Research Journal*, 15(2), 24-39. (in Thai)
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2015). Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch. *Polymers*, 7(6), 1106-1124.
- Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food hydrocolloids*, 24(8), 770-775.
- Siskawardani, D. D., & Hidayat, R. (2020). Physic-mechanical properties of edible film based on taro starch (*Colocasia esculenta* L. Schoott) with glycerol addition. In *Proceedings of Earth and Environmental Science*. pp. 1-7. IOP Publishing.
- Tee, Y. B., Tee, L. T., Daengprok, W., & Talib, R. A. (2017). Chemical, physical, and barrier properties of edible film from flaxseed mucilage. *BioResources*, 12(3), 6656-6664.
- Theamdee, P., & Rueangrun, J. (2019). The effect of glycerol content on physical and mechanical properties of the biodegradable film from sweet potato flour for plastic plant bag application. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 21(3), 14-24. (in Thai)
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2012). Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. *Food Chemistry*, 134(3), 1571-1579.
- Wiset, L., Poomsa-ad, N., Jomlapeeratikul, P., & Borompichaichartkul, C. (2014). Effects of drying temperatures and glycerol concentrations on properties of edible film from konjac flour. *Journal of Medical and Bioengineering*, 3(3), 171-174.