



ผลของน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวต่อคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน และต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซาน

Effect of Clove Essential Oil on Film Properties, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Chitosan Film

ดร.สมหวัง เล็กจิริง (Dr.Somwang Lekjing)¹* ขนิษฐา จินารักษ์ (Khanittha Chinarak)**

(Received: October 2, 2018; Revised: December 18, 2018; Accepted: December 23, 2018)

บทคัดย่อ

ในการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซานผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 5.0 โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มและค่าสี (L*) ลดลง ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าสี (a*, b*) และความทึบแสงเพิ่มขึ้น สำหรับสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าการต้านทานแรงยึดและค่าการยืดตัวของฟิล์มมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระพบว่า การเติมน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์กิจกรรมการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น ($p < 0.05$) สำหรับการศึกษาความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ในแบคทีเรียก่อโรค 4 ชนิด พบว่า ดัชนีต้านจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นจาก 0.11 เป็น 4.62 0.24 เป็น 3.26 0.12 เป็น 2.10 และ 0.13 เป็น 1.20 สำหรับ *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* และ *Escherichia coli* ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟิล์มพบว่า ระดับคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่น ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวมของฟิล์มไคโตซานลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากผลจากทดสอบสมบัติของฟิล์มและการประเมินทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่าฟิล์มไคโตซานที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาวที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

ABSTRACT

Study on the film properties, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan film incorporated with clove essential oil at 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 and 5.0% w/w were investigated. The results showed that %moisture content, % film solubility, water vapor permeability and color L* values decreased while color a* and b* values and opacity of film increased with increasing concentration of clove essential oil ($p < 0.05$). For mechanical property studies, tensile strength and %elongation of film were highest at 1.5 and 2.0% w/w of concentration of clove essential oil, respectively. Antioxidant activity of composite film results showed that %radical scavenging activity increased ($p < 0.05$) when concentration of clove essential oil increased. For the study of the antimicrobial activity against four pathogenic bacteria, the results showed that antimicrobial indexes increased from 0.11 to 4.62, 0.24 to 3.26, 0.12 to 2.10 and 0.13 to 1.20 for *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* and *S. Typhimurium*, respectively. For sensory evaluation, liking score in color, odor, appearance and overall liking of chitosan film incorporated with clove oil decreased with increasing the concentration of essential oil. Considering with film properties and sensory evaluation, it can conclude that the chitosan film incorporated with clove essential oil at 2.5 % w/w was the optimum treatment for further application in food packaging.

คำสำคัญ: ฟิล์มบิโกลไค ไคโตซาน น้ำมันหอมระเหยจากพืชมะนาว

Keywords: Edible film, Chitosan, Clove essential oil

¹Correspondent author: somwang.s@psu.ac.th

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

** นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

บทนำ

ฟิล์มบริโภคนได้ (Edible film) เป็นวัสดุแผ่นบางที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการบรรจุหรือห่อหุ้มอาหารและสามารถรับประทานพร้อมอาหารได้ โดยไม่ต้องทิ้งบรรจุภัณฑ์หรือสามารถปรุงไปพร้อมกับอาหาร ซึ่งฟิล์มจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของอาหาร หรือหากไม่บริโภคก็สามารถลอกทิ้งซึ่งจะย่อยสลายได้ง่าย การใช้บรรจุภัณฑ์บริโภคได้มีส่วนช่วยในการลดปริมาณขยะจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งกำลังเป็นปัญหาสำคัญของทุกประเทศ บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นหากไม่สามารถกำจัดให้หมดไป จะกลายเป็นปริมาณขยะมหาศาลและเป็นการเสียเงินจำนวนมากเพื่อเป็นการลดปัญหาขยะจากบรรจุภัณฑ์ ฟิล์มบริโภคนได้จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารและนอกจากนี้ ฟิล์มบริโภคนได้ยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เพราะสามารถช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารได้ อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติของฟิล์มบริโภคนได้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการผลิตฟิล์มด้วย

ไคโตซาน (poly [β-(1, 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose]) เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิดของไคตินหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Deacetylation เป็นสารที่ได้จากสัตว์พวก Crustacean shells (ปู, กุ้ง, กุ้งนาง เป็นต้น) [1-3] ไคโตซานมีคุณสมบัติเด่นคือ ไม่มีความเป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้เองและเป็นสารที่มีคุณสมบัติด้านจุลินทรีย์และต้านออกซิเดชัน ช่วยยับยั้งการเน่าเสียเร็ว ตลอดจนช่วยห้ามเลือดได้และมีการรายงานว่าไคโตซานมีศักยภาพในการเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะสารเคลือบและฟิล์มบริโภคนได้ [4-6] และฟิล์มไคโตซานนี้สามารถป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรียในปลา เนื้อหมู และผลิตภัณฑ์เนื้อวัวได้ [7-12] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผสมน้ำมันหอมระเหยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร อาทิ ไคโตซานผสมสารสกัดโรสแมรี่ในไส้กรอกหมู [13] และเบอเกอร์เนื้อ [14] ไคโตซานและน้ำมันโหระพาในผลิตภัณฑ์ไก่พร้อมปรุง [15-16] ไคโตซานและน้ำมันอบเชยในปลาเทราท์แช่เย็น [17] ไคโตซานและน้ำมันดอกทานตะวันในแฮมเบอเกอร์หมู [18] ไคโตซานและน้ำมันออริกาโนในอกไก่ [6] และไคโตซานและน้ำมัน *Zartaria multiflora* ในอกไก่ [19]

กานพลู (*Syzygium aromaticum* L. Merr.et Perry) จัดเป็นพืชในตระกูล Myrtaceae เป็นพืชสมุนไพรไทยที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ นำมาใช้เป็นเครื่องเทศใช้เป็นวัตถุดิบยา [20] ใช้รักษาอาการแน่นจุกเสียดและอาการปวดฟัน [21] มีการศึกษาพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากดอกกานพลูมีสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าร้อยละ 85 ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Eugenol ที่มีฤทธิ์ลดการอักเสบ [22] และยังสามารถฆ่าเชื้อ *Escherichia coli* [20] และเชื้อ *Salmonella Typhosa* ได้ [23] นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus parasiticus* และ *Aspergillus flavus* ได้อีกด้วย [24]

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด หากนำน้ำมันกานพลูมาใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งในฟิล์มบริโภคนได้จากไคโตซานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบริโภคนได้จากไคโตซานที่ผสมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูยังมีอยู่น้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มบริโภคนได้จากไคโตซานที่ผสมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเพื่อคัดเลือกความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูที่เหมาะสมที่สามารถนำไปขึ้นรูปฟิล์มเพื่อประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป



วิธีการศึกษาและวัสดุอุปกรณ์

2.1 การเตรียมฟิล์ม

เตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สารละลายกรดอะซิติกในน้ำกลั่น ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร เป็นตัวทำละลาย กวนสารละลายอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กนานประมาณ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งได้สารละลายไคโตซานใสเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมกลีเซอรอลปริมาณ 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร ของไคโตซาน และเติม Tween 80 ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตร ลงในสารละลายไคโตซานข้างต้น กวนสารละลายอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กนาน 30 นาที จนได้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลู (*Eugenia caryophyllus*) ที่ผ่านกรรมวิธีการสกัดด้วยไอน้ำ มีองค์ประกอบของยูจินอล (Eugenol) ร้อยละ 75-80 (บริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด, ประเทศไทย) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 5.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในสารละลายไคโตซานแต่ละขวด กวนสารละลายไคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กนานประมาณ 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไคโตซานที่เติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูแต่ละความเข้มข้นโดยใช้ความเข้มข้นละ 15 มิลลิลิตร เทลงในจานเพาะเชื้อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร นำไปทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง จนฟิล์มแห้งและลอกฟิล์มออกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

2.2 การวัดคุณสมบัติของฟิล์ม

2.2.1 ความหนาของฟิล์ม (Thickness) วัดความหนาของฟิล์มด้วย Micrometer โดยสุ่มวัดชุดการทดลองละ 3 ซ้ำและในแต่ละซ้ำทำการวัดความหนา 10 จุด

2.2.2 ร้อยละของความชื้น (%Moisture content) วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของฟิล์มโดยใช้วิธีของ AOAC [25]

2.2.3 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม (% Film solubility) การวัดการละลายน้ำของฟิล์มทำโดยอ้างอิงวิธีของ Gontard et al. [26] โดยทำการอบฟิล์มในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง หรือนำหนักกึ่งที่ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟิล์ม จากนั้นนำฟิล์มใส่ลงในภาชนะที่มีน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมงโดยกวนเป็นระยะๆ แล้วนำฟิล์มไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง หรือนำหนักกึ่งที่ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟิล์มที่เหลือจากการละลายน้ำ และสามารถคำนวณ % TSM จากการคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$\%TSM = \frac{(W1-W2)}{W1} \times 100$$

เมื่อ W1 คือน้ำหนักของฟิล์มก่อนแช่น้ำ

W2 คือน้ำหนักที่คงที่ของฟิล์มหลังจากแช่น้ำ

2.2.4 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม (Water vapor permeability) ในการวัดค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ได้อ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน ASTM E96-92 [27]

2.2.5 คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม (Mechanical properties) ทำการวัดคุณสมบัติการยืดของฟิล์มด้วยเครื่อง Tensile (H500L-0383, Germany) ด้วยวิธี Generic Tensile with Preload from Laser Extensometer เตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับวัดวิเคราะห์โดยการตัดฟิล์มเป็นรูป Dumbbell มีความกว้าง 4 มิลลิเมตร และมีความยาว 80 มิลลิเมตร ใช้แผ่นยางรอง

ระหว่างฟิล์มตัวอย่างกับ Grip และปรับความดันลมที่ใช้หนีบเท่ากับ 1.0 ปาสคาล กำหนดค่าลงโปรแกรมได้แก่ ความกว้างของตัวอย่าง 4 มิลลิเมตร ความหนา 0.01 มิลลิเมตร และความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการวัดค่า Tensile Strength (เมกะปาสคาล) และ % Elongation

2.2.6 การวัดค่าสีและความโปร่งใสของฟิล์ม (Color and transparency) วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยใช้ Colorimeter (Precise ColorReader, SC80B, China) ทำการวัด 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง และวัดค่าความโปร่งใสของฟิล์มตามวิธีของ Kurt and Kahyaoglu [28] ทำการวัดค่าความทึบแสงโดยการตัดฟิล์มตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นเป็นชิ้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 9x30 มิลลิเมตรหรือให้มีขนาดเท่ากับ Spectrophotometer cell จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรด้วย UV Spectrophotometer (Hitachi, 2009, Japan) และใช้ cell เปล่าเป็นค่าอ้างอิง ค่าความโปร่งใสของฟิล์มสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{ค่าความโปร่งใสของฟิล์ม (T)} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร}}{\text{ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)}}$$

จากสมการดังกล่าว เมื่อค่าความโปร่งใสของฟิล์ม (T) สูง บ่งบอกว่าฟิล์มนั้นมีความโปร่งใสน้อยและมีความทึบแสง (Degree of opacity) มาก

2.3 การศึกษาการต้านออกซิเดชันของฟิล์ม

การวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันของแผ่นฟิล์มโดยการวัดค่า DPPH (2, 2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl) Scavenging Activity โดยดัดแปลงจากวิธีของ Wu et al. [29] ทำการเติมสารละลายของตัวอย่างฟิล์มที่ผสมน้ำมันหอมระเหยแต่ละความเข้มข้น ตัวอย่างละ 1 มิลลิตร เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.15 มิลลิโมลาร์ในสารละลายเมทานอล 1 มิลลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer (AS ONE, TM-1F, China) ตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรโดยใช้ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH เป็นค่าอ้างอิง และคำนวณดังในสมการนี้

$$\text{DPPH scavenging effect (\%)} = \frac{(\text{ค่าดูดกลืนแสง DPPH} - \text{ค่าดูดกลืนแสงตัวอย่าง}) \times 100}{\text{ค่าดูดกลืนแสง DPPH}}$$

2.4 การประเมินการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม

2.4.1 การเตรียมเชื้อเริ่มต้น

แบคทีเรียก่อโรคลในสิ่งมีชีวิตที่นำมาใช้ทดสอบมี 4 ชนิด คือ *E. coli*, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes* และ *S. aureus* (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ประเทศไทย) โดยเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิด 1 โคโลนีลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ โดย *E. coli* และ *S. Typhimurium* เชื้อลงในอาหาร Typtic soy broth (Hi-Media, India) ปริมาตร 100 มิลลิตร ส่วน *L. monocytogenes* และ *S. aureus* เชื้อลงในอาหาร Brain heart infusion broth (Hi-Media, India) ปริมาตร 100 มิลลิตร บ่มแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเขย่าตลอดเวลาเป็นเวลานานหนึ่งคืน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000xg เป็นเวลา 10 นาที แล้วค่อยๆรินส่วนใสออก นำสารแขวนลอยที่เหลือเติมสารละลาย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 10 มิลลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งทำซ้ำขั้นตอนนี้ 2 ครั้ง จากนั้นนำสารแขวนลอยที่ปั่นได้มาเจือจางด้วยสารละลาย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 9.9 มิลลิตร จะได้เชื้อแบคทีเรียประมาณ 10^9 โคโลนีต่อ



มิลลิลิตร จากนั้นนำเชื้อ 10^9 โคโลนีต่อมิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตร เติมนลงในสารละลาย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จะได้เชื้อแบคทีเรีย 10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร [30]

2.4.2 การวัดดัชนีการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม

ทำการวัดดัชนีการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มโดยใช้วิธี Agar diffusion test ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sanla-Ead et al. [31] โดยการตัดฟิล์มลักษณะวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำมาทำการฆ่าเชื้อด้วยซูวี่เป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำมาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจุลินทรีย์อยู่ประมาณ 10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จากการ spread plate ด้วย *E.coli* และ *S. Typhimurium* ลงบนอาหาร Tryptic soy agar และ *L. monocytogenes* และ *S. aureus* ลงบนอาหาร Brain heart infusion agar จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของโซนใสบริเวณรอบฟิล์ม คำนวณหาดัชนีการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มดังวิธีการคำนวณในสมการนี้

$$\text{Antimicrobial Index} = \frac{\text{พื้นที่ Inhibition zone} - \text{พื้นที่ฟิล์ม}}{\text{พื้นที่ฟิล์ม}}$$

2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพของฟิล์มโคโคซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ทางด้านกลิ่น สี ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวม ด้วยสเกลความชอบ (Hedonic scale) 9 ระดับ (คะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี สำหรับการเตรียมตัวอย่างฟิล์มก่อนการทดสอบ ทำโดยการขึ้นฟิล์มตัวอย่างในจานเพาะเชื้อและนำตัวอย่างมาทดสอบโดยไม่ลอกฟิล์ม

2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ในการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละชุดการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลและอภิปรายผลการศึกษา

ในการศึกษาการเตรียมฟิล์มโคโคซานที่ผสมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 5.0 โดยน้ำหนัก และนำมาทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ ได้ผลการทดลองแสดงดังนี้

3.1 ผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่างๆต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตซาน

จากผลการวัดความหนา ความชื้น การละลายน้ำ และการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูแต่ละความเข้มข้นลงในแผ่นฟิล์มไม่ทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีความหนาเฉลี่ย 0.012 มิลลิเมตร ในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. [32] ที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซานที่ผสมด้วยลอริกอาร์จินีน น้ำมันอบเชย และเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิเตด โดยพบว่าฟิล์มไคโตซานที่เติมน้ำมันอบเชยมีความหนาไม่แตกต่างกับฟิล์มไคโตซานที่ไม่เติมน้ำมันอบเชย ในส่วนของปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์มที่มีการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มลดลง ($p < 0.05$) โดยค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มลดลงจากร้อยละ 41.99 เป็นร้อยละ 38.61 เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพลูเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากพลูมีสมบัติของการเป็นไฮโดรโฟบิก ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจะสามารถแทรกตัวในโครงสร้างตาข่ายของฟิล์มไคโตซานจึงทำให้ความชื้นลดลง [26] สำหรับการวิเคราะห์ค่าการละลายน้ำของฟิล์ม พบว่าค่าการละลายน้ำของฟิล์มลดลงจากร้อยละ 43.33 เป็น ร้อยละ 32.12 เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันหอมระเหยจากพลูมีสมบัติไม่ชอบน้ำทำให้ฟิล์มไคโตซานมีค่าการละลายน้ำลดลง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim and Ustanoğlu [33] ที่รายงานว่า การเติมไขมันในฟิล์มโปรตีนหางนม (Whey protein) จะส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของฟิล์มลดลง สำหรับค่าการซึมผ่านของไอน้ำ เป็นการทดสอบความดันไอน้ำในการซึมผ่านผิวหนังฟิล์มอย่างอิสระ โดยทั่วไปฟิล์มที่ใช้ในการบริโภคหรือสารเคลือบผิวหน้าอาหารมีหน้าที่หลักคือขัดขวางการผ่านของความชื้นระหว่างอาหารและบรรยากาศรอบนั้น ซึ่งค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่ได้นั้นไม่ควรมีค่าสูง จากการทดลองพบว่า การเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูในฟิล์มไคโตซานทำให้ค่าซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตซานมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าลดลงจาก $4.53 \times 10^{-5} \text{ g.mm/day.m}^2.\text{kPa}$ เป็น $3.46 \times 10^{-5} \text{ g.mm/day.m}^2.\text{kPa}$ เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพลูเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก Gontard et al. [26] กล่าวว่าไขมันที่เติมลงไปในฟิล์มในปริมาณที่มากพอจะสามารถช่วยในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ นอกจากนี้ Guillen et al. [34] ทำการศึกษาการเติมน้ำมันดอกทานตะวันลงในฟิล์มเจลาตินจากหนังปลาสด (Cod gelatin) ที่ร้อยละ 0, 0.3, 0.6 และ 1 พบว่าสามารถปรับปรุงสมบัติด้านไฮโดรโฟบิกได้ ส่งผลให้ฟิล์มดังกล่าวมีค่าการซึมผ่านไอน้ำลดลง

ในการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นฟิล์มไคโตซาน โดยค่าสี L^* ซึ่งเป็นค่าความสว่าง (Lightness) ค่าสี a^* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greenness) และค่าสี b^* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) ซึ่งผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูจะส่งผลให้ค่าสี L^* ของฟิล์มมีค่าลดลง ($p < 0.05$) โดยทำให้ฟิล์มมีค่า L^* ต่ำกว่าฟิล์มไคโตซานที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหยและมีค่า L ลดลงจาก 80.38 เป็น 63.38 เมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 1 และ 2) ในกรณีของค่า a^* และ b^* พบว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยแต่ละความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยมีค่า a^* และ b^* สูงกว่าฟิล์มที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหยและมีค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นจาก -1.32 เป็น 3.68 และจาก 3.17 เป็น 3.67 ตามลำดับ เมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 2) ซึ่งการที่ค่า a^* และ b^* ที่เพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากพลูมีสีเหลืองอยู่แล้วและในระหว่างขั้นตอนการกวน



และการขึ้นรูปฟิล์ม น้ำมันหอมระเหยกานพลูสามารถรวมตัวกับออกซิเจน เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้น ซึ่งผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลให้ฟิล์มไคโดซานมีสีเข้มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อค่าความโปร่งใสของฟิล์มซึ่งหากค่าความโปร่งใสที่วัดได้มีค่ามากแสดงว่าฟิล์มนั้นมีความทึบแสงมากด้วย จากผลการทดลองพบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยส่งผลต่อค่าความโปร่งใสของฟิล์ม ($p < 0.05$) โดยค่าความโปร่งใสของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 9.52 เป็น 57.94 (ตารางที่ 1) เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกานพลูเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bertan et al. [35] ที่กล่าวว่าฟิล์มมีความทึบแสงเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของสารกลุ่มไฮโดรโฟบิก

ในการทดสอบค่าการต้านแรงดึงและค่าการยืดตัวของฟิล์มไคโดซาน ซึ่งค่าการต้านทานแรงดึงเป็นการทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก และค่าการยืดตัวเมื่อขาดเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยืดหยุ่นหรือความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม ซึ่งค่านี้วัดได้เมื่อฟิล์มขาดลงภายใต้การทดสอบแรงดึงและคำนวณในรูปของร้อยละของความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างระหว่างจุดที่ยึดฟิล์มไว้ถึงระยะที่ยืดออกไป จากผลการทดลองพบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูลงในฟิล์มไคโดซาน ส่งผลต่อสมบัติของฟิล์ม ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยค่าการต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 12.107 เมกะปาสกาล เป็น 40.4066 เมกะปาสกาล (ภาพที่ 3a) แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกานพลูเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 1.5 ส่งผลให้ฟิล์มไคโดซานมีค่าต้านทานแรงดึงลดลงจาก 40.4066 เมกะปาสกาล เป็น 26.4502 เมกะปาสกาล เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยจากร้อยละ 1.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มไคโดซานที่เติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 1.5 มีค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำมันหอมระเหยลงในฟิล์มไคโดซานนั้น ส่วนของไขมันที่เพิ่มขึ้นจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ [36] อย่างไรก็ตาม การที่ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มไคโดซานลดลงเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 1.5 เนื่องจากการเติมน้ำมันหรือไขมันลงไปเป็นส่วนประกอบของฟิล์มนั้น ไขมันส่วนที่มากเกินไปจะไปแทรกและกระจายตัวอยู่ระหว่างโครงข่ายของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มสูญเสียสมบัติเชิงกล [26] Weller et al. [37] รายงานว่า Young's modulus ของฟิล์มโพรตีนมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุจากการอ่อนตัวของไขมันบนร่างแหโพรตีนและความไม่สมบูรณ์ในโครงสร้างฟิล์มนั้น ดังนั้นการผสมไขมันที่ลงในฟิล์มจึงส่งผลให้ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มมีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงฟิล์มมีความแข็งแรงลดลงด้วย เมื่อพิจารณาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อการยืดตัวของฟิล์มไคโดซาน พบว่าค่าการยืดตัวของฟิล์มไคโดซานเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการต้านแรงดึงของฟิล์ม คือค่าการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าการยืดตัวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.42 เป็นร้อยละ 31.96 (ภาพที่ 3b) และมีค่าการยืดตัวของฟิล์มลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าร้อยละ 2.0 คือ มีค่าการยืดตัวลดลงจากร้อยละ 31.96 เป็นร้อยละ 23.77 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากร้อยละ 2.0 เป็นร้อยละ 5.0 Gallo et al. [38] กล่าวว่าค่าการยืดตัวของฟิล์มมีค่าลดลงนั้นเนื่องจากโมเลกุลไขมันมีความใกล้ชิดกันมากเกินไปในโมเลกุลของฟิล์ม จึงเกิดการรวมตัวกันระหว่างไขมันมากกว่าการแทรกตัวระหว่างฟิล์มไคโดซาน รวมถึงเนื่องมาจากน้ำมันหอมระเหยกานพลูจะแทรกกระหว่างโมเลกุลของไคโดซานส่งผลให้พันธะแต่ละโมเลกุลของไคโดซานอยู่ห่างกันมากขึ้น

3.2 ผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไคโตซาน

การทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไคโตซานทำโดยการวิเคราะห์ค่า %DPPH scavenging effect โดยใช้สาร 2,2-Diphenyl- 1-picrylhydrazyl ซึ่งเป็นการตรวจสอบความสามารถของฟิล์มในการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนโดยติดตามการจางลงของสารละลายสีม่วงของสารละลาย DPPH หรือสารอนุมูลอิสระที่เสถียร (Stable radical) ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร หากสารนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงจะลดลง จากการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพลูส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ($p < 0.05$) โดยความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่สูงขึ้นก็จะทำให้ฟิล์มไคโตซานมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงจากร้อยละ 11.87 เป็นร้อยละ 42.45 (ภาพที่ 4) เมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากพลูมีสารประกอบหลักคือยูจีนอลซึ่งเป็นสารสำคัญในการทำให้เกิดประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยสารนี้มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนไฮโดรเจนหรือออกซิเจนอิสระหรือเรียกว่าเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) ทำให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงสีโดยติดตามสีม่วงของสารละลาย DPPH ที่จางลงได้นอกจากนี้สารละลายไคโตซานเองก็มีคุณสมบัติด้านการต้านอนุมูลอิสระโดยสังเกตได้จากค่า %DPPH scavenging effect ที่มีมากถึง 5.09 และเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูลงในฟิล์มไคโตซานจึงทำให้ฟิล์มไคโตซานมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น โดยจะมีค่า %DPPH scavenging effect สูงและมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้น

3.3 ผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่างๆต่อความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซาน

ในการทดสอบความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของฟิล์มไบโโกลได้จากไคโตซานนั้น ทำการเตรียมโดยการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 5.0 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปฟิล์มและนำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* และ *S. Typhimurium* โดยตัดฟิล์มลักษณะเป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำมาฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีเป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำมาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่มีการลงสารละลายเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์แต่ละสายพันธุ์ (10^6 โคโลนีต่อมิลลิตร) จากการศึกษาพบว่าหูดควบคุมคือ ฟิล์มไคโตซานที่ไม่ผสมสารใด ๆ และหูดควบคุมที่มีการผสมสาร Tween 80 รวมกับ Glycerol ตัวอย่างควบคุมทั้งสองหูดนี้ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบได้ โดยสังเกตจากการไม่พบขอบวงใสของการยับยั้ง (Antimicrobial inhibition clear zones) อย่างไรก็ตาม พบว่าฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพลูสูงขึ้นประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจะสูงขึ้นด้วย โดยสังเกตได้จากค่าดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial index) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (ตารางที่ 2) โดยพบว่าค่า Antimicrobial index จะเพิ่มขึ้นจาก 0.11 เป็น 4.62 และ 0.24 เป็น 3.26 และ 0.12 เป็น 2.10 และ 0.13 เป็น 1.20 สำหรับ *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* และ *S. Typhimurium* ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารประกอบสำคัญ (Active compound) ในน้ำมันหอมระเหยจากพลู นั่นก็คือ ยูจีนอล (Eugenol) [39,40] สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้โดยมีการปลดปล่อยสารออกมาจากฟิล์ม ซึ่งสังเกตได้จากวง



ใสของการยับยั้ง นอกจากนี้จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่ทำการทดสอบ พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพลูมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้ดีกว่า *L. monocytogenes* และยับยั้ง *L. monocytogenes* ได้ดีกว่า *E. coli* และ *S. Typhimurium* สอดคล้องกับงานวิจัยของ Canillac and Mourey [41] ซึ่งทำการศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบด้วยสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก *Picea excels* พบว่าสารสกัดน้ำมันหอมระเหยดังกล่าวสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแกรมลบ โดยให้เหตุผลว่าเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกมีโครงสร้างส่วน Lipophilic ends ของ Lipoteichoic acids ในเยื่อผิว ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก ขณะที่เยื่อเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงอาจทำให้สารสกัดซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกสามารถแทรกซึมเข้าเซลล์จุลินทรีย์ของแบคทีเรียแกรมบวกได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมลบ จึงส่งผลให้สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบเช่นเดียวกับน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่เติมลงในฟิล์มไคโดซานส่งผลให้ฟิล์มไคโดซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ โดยสังเกตจากค่า Antimicrobial index ของ เชื้อ *S. aureus* และ *L. monocytogenes* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกจะมีค่า Antimicrobial index สูงกว่า เชื้อ *E. coli* และ *S. Typhimurium* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ (ตารางที่ 2)

3.4 ผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟิล์มไคโดซาน

ชาน

จากผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scale โดยพิจารณาจากคุณลักษณะด้านกลิ่น สี ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ซึ่งใช้ผู้ทำการทดสอบจำนวน 30 คน ต่อตัวอย่างฟิล์มไคโดซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูทั้ง 8 ระดับความเข้มข้น พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านสีของฟิล์ม ($p<0.05$) โดยทำให้คะแนนความชอบด้านสีมีค่าลดลงจาก 6.57 เป็น 4.40 คะแนน (ตารางที่ 3) เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาความชอบด้านกลิ่นของฟิล์มไคโดซาน พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นของฟิล์มมีค่าลดลงจาก 5.70 เป็น 3.20 เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของฟิล์ม ($p<0.05$) โดยมีคะแนนลดลงจาก 6.13 เป็น 4.30 เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาด้านความชอบโดยรวม พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของฟิล์มไคโดซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลุน้อยกว่าฟิล์มไคโดซานที่ไม่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลู และมีระดับคะแนนที่ลดลงเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยมีคะแนนลดลงจาก 6.17 เป็น 4.03 เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าระดับคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมของฟิล์มไคโดซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูทั้ง 8 ระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยผู้ทำการทดสอบจะให้คะแนนความชอบของฟิล์มไคโดซานที่ไม่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูสูงสุดและมีระดับคะแนนลดลงเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ความเข้มข้นสูงขึ้น

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซานที่ผสมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากพริกที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพริกไม่ส่งผลต่อความหนาของฟิล์ม ($p \geq 0.05$) แต่การเติมน้ำมันหอมระเหยจากพริกส่งผลต่อค่าความชื้น ค่าการละลายน้ำ และค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม ($p < 0.05$) โดยพบว่าค่าความชื้น ค่าการละลายน้ำ และค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าสีและความทึบแสงของฟิล์ม พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพริกความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้ฟิล์มมีสีเข้มและคล้ำขึ้นและส่งผลให้มีค่าความทึบแสงสูงขึ้น นอกจากนี้ การเติมน้ำมันหอมระเหยจากพริกลงในฟิล์มไคโตซานส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม โดยค่าการต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพริกเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักส่งผลให้ฟิล์มไคโตซานมีค่าต้านทานแรงดึงลดลง เช่นเดียวกับค่าการยืดตัวของฟิล์มไคโตซาน พบว่าค่าการยืดตัวของฟิล์มไคโตซานเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็น 2.0 โดยน้ำหนัก และมีค่าการยืดตัวของฟิล์มลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก

ในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ของฟิล์มไคโตซาน พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพริกส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ($p < 0.05$) โดยความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพริกที่สูงขึ้นก็จะทำให้ฟิล์มไคโตซานมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงขึ้น เมื่อพิจารณาการทดสอบความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซานนั้น ฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพริกมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบ และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากพริกสูงขึ้นประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจะสูงขึ้นด้วยโดยสังเกตได้จากค่า Antimicrobial index ที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็น 2.0 โดยน้ำหนัก ค่า Antimicrobial index จะเพิ่มขึ้นจาก 0.11 เป็น 4.62 และ 0.24 เป็น 3.26 และ 0.12 เป็น 2.10 และ 0.13 เป็น 1.20 สำหรับ *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* และ *S. Typhimurium* ตามลำดับ นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยจากพริกมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้ดีกว่า *L. monocytogenes* และยับยั้ง *L. monocytogenes* ได้ดีกว่า *E. coli* และ *S. Typhimurium*

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟิล์ม พบว่าระดับคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมของฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพริกทั้ง 8 ระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกัน โดยผู้ทำการทดสอบจะให้คะแนนความชอบของฟิล์มไคโตซานที่ไม่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพริกสูงที่สุดและมีระดับคะแนนลดลงเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยจากพริกที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป แต่เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ผู้บริโภคไม่เป็นที่ยอมรับในด้านกลิ่นมากนักจึงควรเลือกใช้ฟิล์มดังกล่าวให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ (เช่น ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและเนื้อสัตว์แปรรูปสำหรับทำแฮมเบอร์เกอร์กึ่งสำเร็จรูป ไพรและเครื่องเทศ) หรือมีการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดการระเหยของกลิ่น (เช่น เทคโนโลยีการห่อหุ้ม)



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการและวิจัยทางนวัตกรรมและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้การสนับสนุนในด้านสถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Knorr D. Use of chitinous polymer in food. Food Technol 1984; 38(1): 85-97.
2. Rinaudo M. Chitin and chitosan: properties and application. Prog Polym Sci 2006; 31(7): 603-31.
3. Sandford PA. Commercial sources of chitin and chitosan and their utilization. In: Varum KM, Domard A, Smidsrød O, editors. Advances in chitin science. 6th ed. Trondheim: NTNU; 2003. p. 35-42.
4. Fan W, Sun J, Chen Y, Zhang Y, Chi Y. Effect of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. Food Chem 2009; 115(1): 66-70.
5. Petrou S, Tsiraki M, Giatrakou V, Savvaidis IN. Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat. Int J Food Microbiol 2012; 156: 264-271.
6. Suman SP, Mancini RA, Joseph P, Ramanathan R, Konda, MKR, Dady G, Yin, S. Packaging-specific influence of chitosan on color stability and lipid oxidation in refrigerated ground beef. Meat Sci 2010; 86(4): 994-998.
7. Cao Y, Gu W, Zhang J, Chu Y, Ye X, Hu, Y. Effects of chitosan, aqueous extract of ginger, onion and garlic on quality and shelf life of stewed pork during refrigerated storage. Food Chem 2013; 141: 1655-1660.
8. Chantarasataporn P, Tepkasikul P, Kingcha Y, Yoksan R, Pichyangkura R, Visessanguan W, Chirachanchai S. Water-based oligochitosan and nanowhisker chitosan as potential food preservatives for shelf-life extension of minced pork. Food chem 2014; 159: 463-470.
9. Hu J, Wang X, Xiao Z, Bi W. Effect of chitosan nanoparticles loaded with cinnamon essential oil on the quality of chilled pork. Lebensm Wiss Technol 2015; 63: 519-526.
10. Qin YY, Yang JY, Lu HB, Wang SS, Yang XC, Chai M, Li L, Cao JX. Effect of chitosan film incorporated with tea polyphenol on quality and shelf life of pork meat patties. Int J Biol Macromol 2013; 61: 312-316.
11. Park S, Marsh KS, Dawson P. Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension. Meat Sci 2010; 85: 493-499.
12. Reesha KV, Kumar PS, Bindu J, Varghere TO. Development and characterization of an LDPE/chitosan composite antimicrobial film for chilled fish storage. Int J Biol Macromol 2015; 79: 934-942.

13. Georgantelis D, Ambrosiadis I, Katikou P, Blekas G, Georgakis SA. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocophenol on microbiological parameter and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 °C. *Meat Sci* 2007; 76(1): 172-181.
14. Georgantelis D, Blekas G, Katikou P, Ambrosiadis I, Fletouris D. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocophenol on lipid oxidation and color stability during frozen storage of beef burgers. *Meat Sci* 2007; 75(2): 256-264.
15. Giatrakou V, Ntzimani A, Savvaidis IN. Effect of chitosan and thyme oil on a ready to cook chicken product. *Food Microbiol* 2010; 27(10): 132-136.
16. Giatrakou V, Ntzimani A, Zwietering M, Savvaidis IN. Combined chitosan-thyme treatments with modified atmosphere packaging on a Greek Ready-to-Cook (RTC) poultry product. *J Food Protect* 2010; 73, 663–669.
17. Ojagh SM, Rezaei M, Razavi SH, Hosseini SMH. Effect of chitosan coating enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chem* 2010; 120: 193-198.
18. Vargas M, Albors A, Chiralt A. Application of chitosan–sunflower oil edible films to pork meat hamburgers. *Procedia Food Sci* 2011; 1, 39–43.
19. Bazargani-Gilani B, Aliakbarlu J, Tajik H. Effect of pomegranate juice dipping and chitosan coating enriched with *Zataria multiflora* Boiss essential oil on the shelf life of chicken meat during refrigerated storage. *Innov Food Sci Emerg Technol* 2015; 29:280-287.
20. Kosnik A. Antibiotic properties of vegetable oils. *Roczniki Akad Med Biatymstoku* 1995; 1: 227-360.
21. Division of Medical Research. *Folk herbs: chapter 1*. Bangkok: Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health; 2526. p. 17. Thai.
22. Pongprayoon U, Baeckstrom P, Jacobsson U, Lindstrom M, Bohlin L. Compounds inhibiting prostaglandin synthesis isolated from *Ipomoea pescaprae*. *Planta Med* 1991; 57(6): 515-518.
23. Dold H, Knapp A. The antibacterial action of spices. *Z Hyg Infektionskrankh* 1948; 128: 696-706.
24. Farag RS, Daw ZY, Abo-Raya SH. Influence of some spice essential oils on *Aspergillus parasiticus* growth and production of aflatoxins in a synthetic medium. 1989; *J Food Sci* 54:74-76.
25. AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 17th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International; 2000.
26. Gontard N, Duchez C, Cuq JL, Guilbert S. Edible composite films of wheat gluten and lipid: water vapour permeability and other physical properties. *Int J Food Sci Technol* 1994; 29: 39-50.
27. ASTM. Standard test method for water vapour transmission of materials. Method E96-92. In: *Annual book of ASTM standards*. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; 1992.
28. Kurt A, Kahyaoglu T. Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydr Polym* 2014; 104: 50-58.



29. Wu HC, Chen HM, Shiau CY. Free amino acid and peptide as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*). Food Res Int 2003; 36, 949-957.
30. Carvalho RJ, Souza GT, Honorio VG, Sousa JP, Conceicao ML, Maganani M, Souza EL. Comparative inhibitory effects of *Thymus vulgaris* L. essential oil against *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* and mesophilic starter co-culture in cheese-mimicking models. Food Microbiol 2015; 52, 59-65.
31. Sanla-Ead N, Jangchud A, Chonhenchob V, Suppakul P. Antimicrobial activity of cinnamon, clove and galangal essential oils and their principle constituents, and possible application in active packaging. In: Proceedings of the 15th IAPRI World Conference on Packaging; 2006 Oct 2-5; Tokyo, Japan. 2006. p. 214-218.
32. Ma Q, Zhang Y, Zhong Q. Physical and antimicrobial properties of chitosan films incorporated with lauric arginate, cinnamon oil, and ethylenediaminetetraacetate. J Food Sci Technol 2016; 65: 173-179.
33. Kim SJ, Ustanoğlu Z. Solubility and moisture sorption isotherms of whey-protein based edible films as influenced by lipid and plasticizer incorporation. J Agric Food Chem 2001; 49: 4388-4391.
34. Guillen MCG, Mateos MP, Estaca JG, Caballero EL, Monyero P. Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films. Trends Food Sci Technol 2009; 20: 3-16.
35. Bertan LC, Palmu PST, Siani AC, Grosso CRF. Effect of fatty acids and 'Brazilian elemi' on composite films based on gelatin. Food Hydrocoll 2005; 19: 73-82.
36. Shellhammer TH, Krochta JM. Whey protein emulsion film performance as effected by lipid type and amount. J Food Sci 1997; 62: 390-394.
37. Weller CL, Gennadios A, Saraiva RA. Edible bilayer film from zein and grain Sorghum wax or Carnaluba wax. Lebensm Wiss Technol 1998; 31: 279-285.
38. Gallo JAQ, Debeaufort F, Callegarin F, Voilley A. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-base edible film. J Membr Sci 2000; 180: 37-46.
39. Lee KG, Shibamoto T. Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds [*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. et Perry]. Food Chem 2001; 74(4): 443-448.
40. Ordóñez G, Llopis N, Peñalver P. Efficacy of eugenol against a *Salmonella enterica* serovar enteritidis experimental infection in commercial layers in production. J Appl Poult Res 2008; 17: 376-382.
41. Canillac N, Mourey A. Antibacterial activity of the essential oil of *Picea excels* on *Listeria*, *Staphylococcus aureus* and coliform bacteria. Food Microbiol 2001; 18: 261-268.

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น ความหนา ค่าการละลายน้ำและค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ผสมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ น้ำมันหอมระเหย (%)	ความหนา ^{ns} (mm)	ความชื้น (%)	การละลายน้ำ ของฟิล์ม (%)	การซึมผ่านไอน้ำ (x 10 ⁻⁵ g.mm/day.m ² .kPa)	ค่าความโปร่งใส ของฟิล์ม
0	0.012±0.000	50.59±4.33 ^a	43.40±2.35 ^a	4.53±0.00 ^a	9.53±1.61 ^c
0.5	0.012±0.000	41.99±2.19 ^{bc}	43.33±1.65 ^a	3.80±0.00 ^{ab}	12.69±1.49 ^c
1.0	0.012±0.000	44.16±3.97 ^{bc}	40.29±2.90 ^a	3.72±0.00 ^{ab}	16.47±2.82 ^c
1.5	0.012±0.000	45.16±5.00 ^b	43.73±1.66 ^a	3.98±0.00 ^{ab}	36.14±7.86 ^b
2.0	0.012±0.000	42.01±0.46 ^{bc}	35.87±2.94 ^b	4.23±0.00 ^{ab}	39.25±4.59 ^b
2.5	0.012±0.000	41.28±0.08 ^{bc}	34.22±2.19 ^{bc}	4.09±0.00 ^{ab}	41.11±3.58 ^b
3.0	0.012±0.000	39.35±3.12 ^d	32.40±1.50 ^c	3.72±0.00 ^{ab}	51.89±4.72 ^a
5.0	0.012±0.000	38.61±1.34 ^d	32.12±0.95 ^c	3.46±0.00 ^b	57.94±2.46 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (3 ซ้ำ) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-d} ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางที่ 2 ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของน้ำมัน หอมระเหย (%)	Antimicrobial index			
	<i>S. aureus</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. Typhimurium</i>
tween80+glycerol	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d
สารละลายไคโตซาน	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.13±0.00 ^d
0	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.27±0.12 ^d
0.5	0.11±0.19 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.66±0.04 ^c
1.0	0.20±0.22 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.68±0.14 ^{bc}
1.5	0.77±0.20 ^b	0.24±0.11 ^c	0.12±0.10 ^{dc}	0.72±0.34 ^{bc}
2.0	1.24±0.27 ^b	0.45±0.27 ^c	0.42±0.32 ^d	0.77±0.41 ^{bc}
2.5	2.80±0.76 ^b	1.10±0.24 ^b	0.89±0.37 ^c	0.84±0.07 ^{bc}
3.0	2.91±2.31 ^b	2.91±0.70 ^a	1.29±0.13 ^b	1.05±0.32 ^{ab}
5.0	4.62±1.30 ^a	3.26±0.55 ^a	2.10±0.25 ^a	1.20±0.11 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (3 ซ้ำ) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

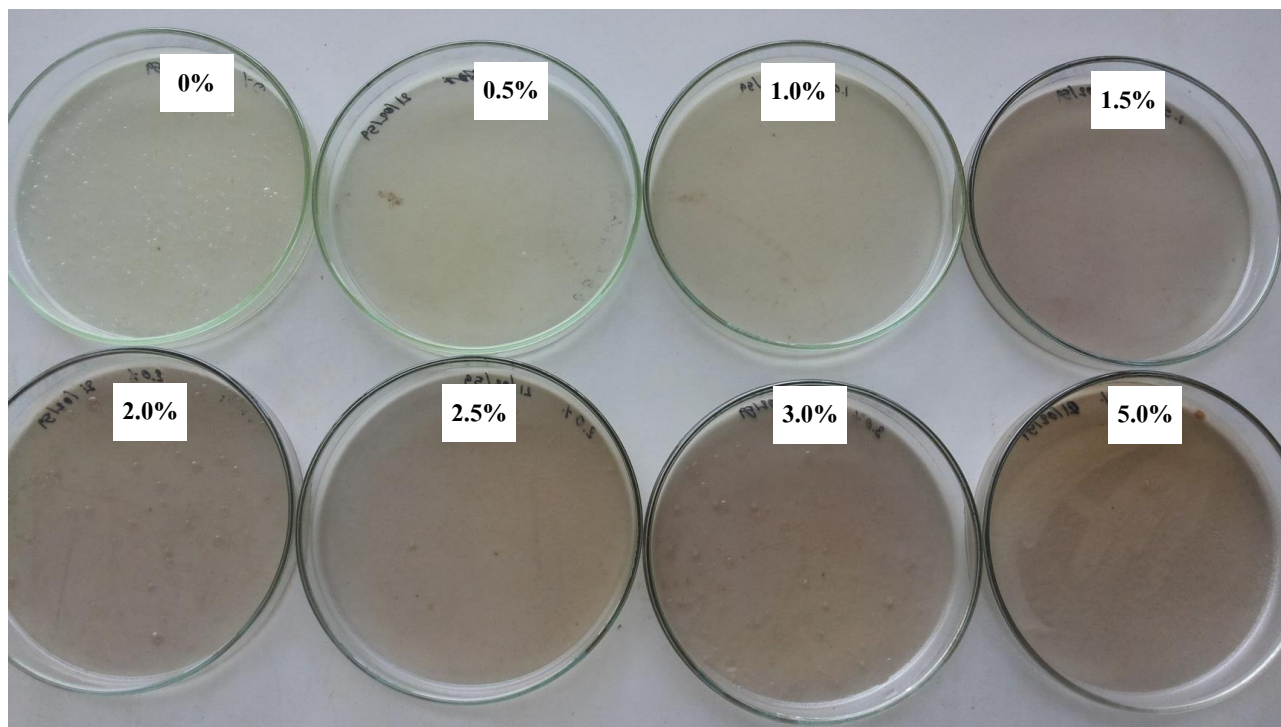
^{a-c} ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

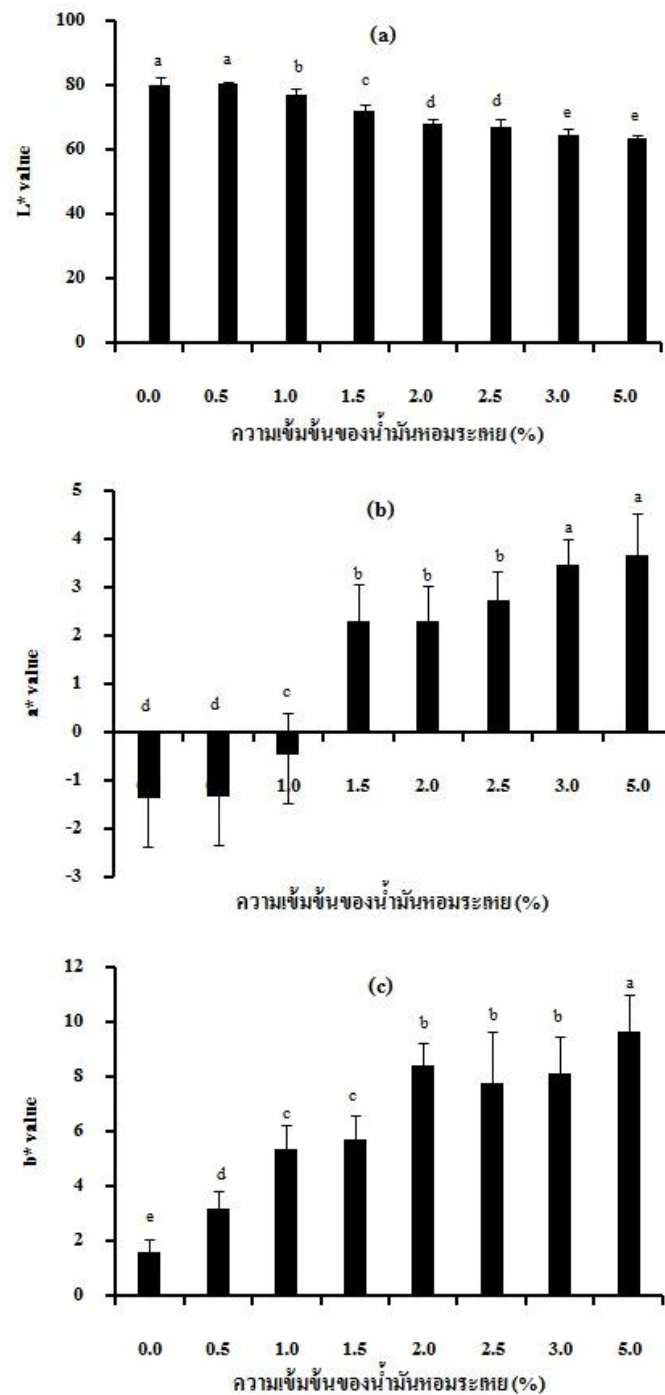
ความเข้มข้นของน้ำมัน หอมระเหย (%)	คุณลักษณะ			
	สี	กลิ่น	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
0	6.93±1.44 ^a	6.60±1.59 ^a	6.40±1.59 ^a	6.47±1.57 ^a
0.5	6.57±1.38 ^{ab}	5.70±1.37 ^b	6.13±1.46 ^{ab}	6.17±1.34 ^{ab}
1.0	6.20±1.03 ^b	5.23±1.38 ^{bc}	5.90±1.03 ^{abc}	5.73±1.31 ^{bc}
1.5	5.33±0.96 ^c	4.97±1.67 ^c	5.50±1.14 ^{abcd}	5.63±1.22 ^c
2.0	5.13±1.01 ^{cd}	4.10±1.30 ^d	4.93±0.87 ^{bcd}	4.93±1.20 ^d
2.5	4.90±1.45 ^{cde}	3.90±1.18 ^{de}	4.80±1.00 ^{cd}	4.60±1.07 ^{de}
3.0	4.73±1.57 ^{de}	3.50±1.14 ^{ef}	4.77±1.25 ^{cd}	4.53±1.78 ^{ef}
5.0	4.40±1.96 ^e	3.20±1.21 ^f	4.30±1.09 ^d	4.03±1.25 ^f

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (3 ซ้ำ) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-f} ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

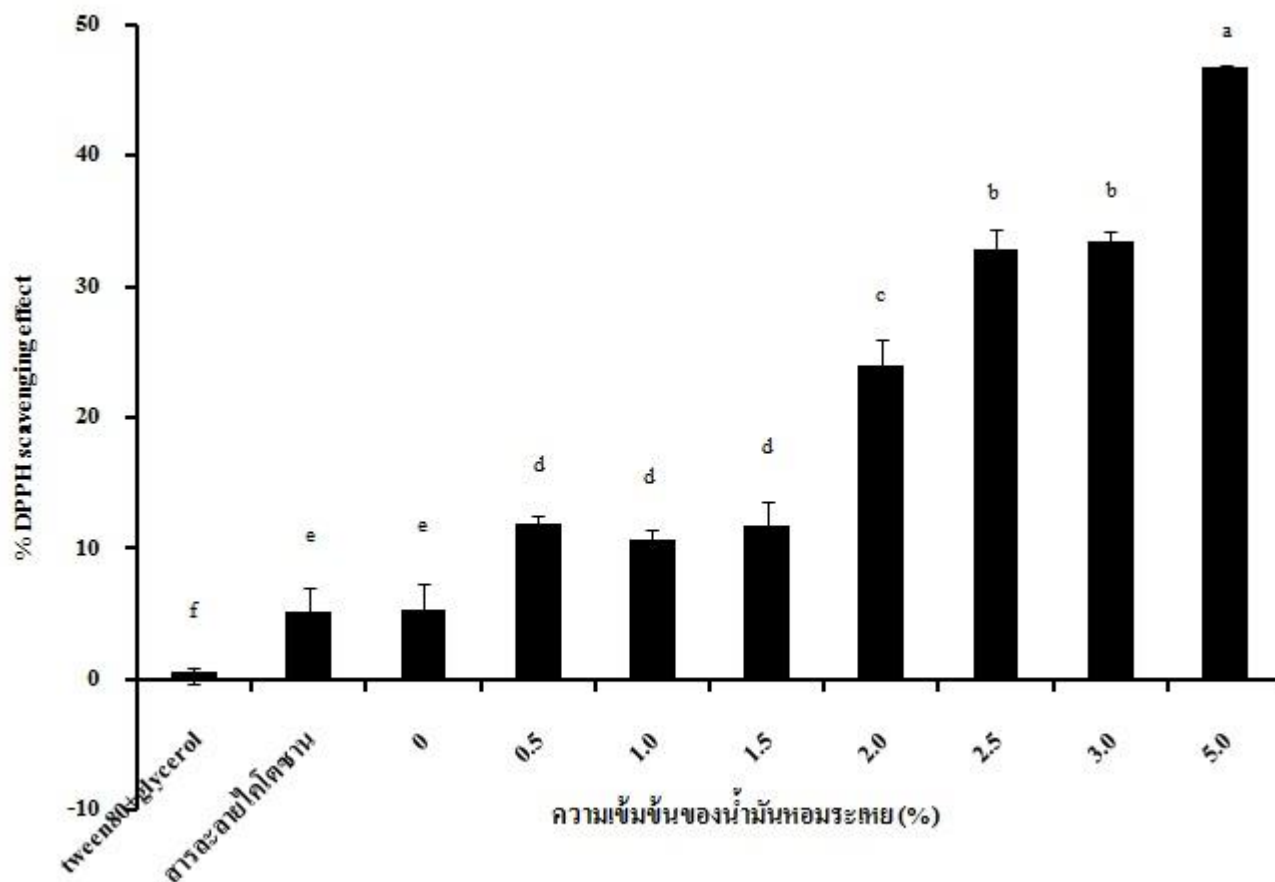


ภาพที่ 1 ลักษณะของฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่ผ่านการขึ้นรูปฟิล์ม



ภาพที่ 2 ค่าสี L* value (a), a* value (b) และ b* value (c) ของฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

^{a-c} ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มโพลิลแลกไทด์ที่ผสมน้ำมันหอมระเหยกลั่นทุเลาที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

^{a-f}ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)