

ผลของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อฟิล์มย่อยสลายได้
จากไคโตซานผสมเจลาติน

The Effects of Cinnamon Essential Oil on
Biodegradable Films Made from Chitosan with Gelatin



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EFFECTS OF CINNAMON ESSENTIAL OIL ON
BIODEGRADABLE FILMS MADE FROM CHITOSAN
WITH GELATIN



NATTAPORN BORIBUNSUK
PIYARAT PULLSUK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(MAJOR OF INDUSTRIAL MICROBIOLOGY)

DEPARTMENT OF BIOLOGY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2023** ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ผลของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อฟิล์มย่อยสลายได้จากไคโตซานผสมเจลาติน The Effects of Cinnamon Essential Oil on Biodegradable Films Made from Chitosan with Gelatin |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาว ณัฐพร บริบูรณ์สุข รหัสนักศึกษา 63050475 นางสาว ปิยะรัตน์ พูลสุข รหัสนักศึกษา 63050500 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) |
| ภาควิชา | ชีววิทยา |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ปีการศึกษา | 2566 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.วรกฤต วรรณนทกิจ |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2566

| | |
|-----------------------------------------------------|---------------------|
| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
| ผศ.ดร. สุทธิจิต ศรีวัชรกุล ประธานกรรมการ | สุทธิจิต ศรีวัชรกุล |
| ผศ.ดร.กานต์ วงศาธิยะ กรรมการ | กานต์ วงศาธิยะ |
| ผศ.ดร.วรกฤต วรรณนทกิจ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา | วรกฤต วรรณนทกิจ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ผลของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อฟิล์มย่อยสลายได้จากไคโตซานผสมเจลาติน |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาว ญัฐพร บริบูรณ์สุข รหัสนักศึกษา 63050475 นางสาว ปิยะรัตน์ พูลสุข รหัสนักศึกษา 63050500 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) |
| ภาควิชา | ชีววิทยา |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) |
| ปีการศึกษา | 2566 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.วรกฤต วรนนท์กิจ |

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โพลีเมอร์ธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน แป้ง เจลาติน เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารแบบแอคทีฟ ร่วมกับการเติมสารออกฤทธิ์จากพืชเพื่อยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศในฟิล์มไคโตซานผสมเจลาติน สำหรับการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ยืดอายุการเก็บรักษากุ้งแห้ง โดยเตรียมฟิล์มด้วยไคโตซานผสมเจลาตินซึ่งมีน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย (Cinnamon Essential Oil) ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0 (ตัวควบคุม), 0.5, 0.7, และ 0.9 มาศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ คือ ความหนา การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ ความต้านทานแรงดึง การยืดตัวที่จุดขาด สีและความทึบแสง ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีด้วยเครื่อง Micro-XRF คุณสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Agar disc diffusion และวิธี JIS Z 2801:2000 และการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เก็บรักษากุ้งแห้งที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ด้วยการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มทั้งสี่ตัวอย่างมีคุณสมบัติกายภาพ เช่น ความหนา การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ และความทึบแสง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย ขณะที่ค่าการยืดตัวที่จุดขาดและค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ลดลง สำหรับคุณลักษณะทางเคมีพบว่าฟิล์มที่มีความเข้มข้นของ CEO 0.7% และ 0.9% มีการกระจายตัวสูงของธาตุแคลเซียมและกำมะถัน นอกจากนี้ในการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าฟิล์มที่มีความเข้มข้นของ CEO 0.9% สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อทำการทดสอบการเก็บรักษากุ้งแห้ง พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และฟิล์มที่มีความเข้มข้นของ CEO 0.9% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดในวันที่ 9 โดยที่ความเข้มข้นต่ำกว่าเริ่มเสียสภาพ และเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

สภาพทั้งหมดในวันที่ 15 ผลการศึกษาพบว่า फिल्मโคโตซานผสมเจลาตินที่มีน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือกใหม่ ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยในการจัดการปัญหาขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้วัสดุธรรมชาติในฟิล์มยังช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

คำสำคัญ : ฟิล์มชีวภาพ , ฟิล์มย่อยสลายได้ , น้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ , โคโตซาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title | The Effects of Cinnamon Essential Oil on Biodegradable Films Made from Chitosan with Gelatin |
| Students | Miss Nattaporn Boribunsuk Student ID 63050475 Miss Piyarat Pullsuk Student ID 63050500 |
| Degree | Bachelor of Science (Industrial Microbiology) |
| Department | Biology |
| School | Science |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang(KMITL) |
| Academic Year | 2023 |
| Advisor | Asst.Prof.Dr. Worakrit Worananthakij |

Abstract

Currently, the development of environmentally friendly packaging is gaining widespread attention. Natural polymers such as chitosan, starch, and gelatin play a crucial role in producing active food packaging. Incorporating active compounds from plants to inhibit microorganisms can extend the shelf life of food. This study investigates the effects of cinnamon essential oil (CEO) in chitosan-gelatin films for use as packaging to extend the shelf life of dried shrimp. The films were prepared with chitosan and gelatin, incorporating CEO at concentrations of 0% (control), 0.5%, 0.7%, and 0.9%. The study examined the physical properties of the films, including thickness, water vapor permeability, water solubility, tensile strength, elongation at break, color, and opacity. Chemical characteristics were analyzed using Micro-XRF, antibacterial properties were tested using the Agar disc diffusion method and JIS Z 2801:2000, and the films were used to store dried shrimp at 4°C for 15 days with total microbial count analysis. The results showed that the physical properties such as thickness, water vapor permeability, water solubility, and opacity of all four film samples did not differ significantly. However, tensile strength, brightness (L*), and yellowness (b*) values increased with higher CEO concentrations, while elongation at break and greenness (a*) values decreased. Chemically, films with 0.7% and 0.9% CEO had higher dispersion of calcium and sulfur elements. In antibacterial tests, the film with 0.9% CEO effectively inhibited both Gram-positive and Gram-negative bacteria. During the dried shrimp storage test, microbial counts showed no significant difference from day 0 to day 6.

The film with 0.9% CEO best inhibited microbial growth by day 9, while lower concentrations began to deteriorate and completely deteriorated by day 15. In conclusion, chitosan-gelatin films with cinnamon essential oil have suitable properties for use as alternative packaging. This packaging is not only environmentally friendly but also helps manage increasing plastic waste. Moreover, using natural materials in films promotes efficient resource utilization.

Keywords : Biofilm, Biodegradable film, Cinnamon essential oil, Chitosan



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพิเศษในหัวข้อเรื่อง Bio-film บรรจุภัณฑ์อาหารแห้งย่อยสลายได้ โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากทางผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผศ.ดร.วรกฤต วรนนท์กิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่คอยให้คำปรึกษาให้ความรู้ และคำแนะนำที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในโครงการพิเศษนี้ นอกจากนี้ผู้จัดทำโครงการพิเศษขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุทธิจิต ศรีวีชรกุล ประธานกรรมการสอบ และ ผศ.ดร.กานต์ วงศาริยะ กรรมการสอบ ที่ให้ความกรุณาให้ คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่มอบความรู้ในเชิงทฤษฎีและทักษะในด้านการปฏิบัติ ซึ่งข้าพเจ้าสามารถนำมาปรับใช้ในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และนักวิทยาศาสตร์ภาควิชาชีววิทยาทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเบิกเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีรวมถึงอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้ปกครอง ที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนทุกรูปแบบในการศึกษาเล่าเรียนจนถึงระดับปริญญา ทั้งที่ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้อง ๆ ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในระหว่างการทำโครงการพิเศษนี้ ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐพร บริบูรณ์สุข
ปิยะรัตน์ พูลสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|------------------------------------------------------|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ค |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์..... | ฏ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขต..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 फिल्मย่อยสลายได้ทางชีวภาพ..... | 4 |
| 2.2 ชนิดของฟิล์ม..... | 4 |
| 2.2.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์..... | 4 |
| 2.2.2 ฟิล์มลิวติค..... | 4 |
| 2.2.3 ฟิล์มโปรตีน..... | 5 |
| 2.3 ไคโตซาน..... | 5 |
| 2.3.1 คุณสมบัติของไคโตซาน..... | 5 |
| 2.3.2 แหล่งวัตถุดิบในธรรมชาติของไคตินและไคโตซาน..... | 6 |
| 2.3.3 ลักษณะเฉพาะของไคโตซาน..... | 7 |
| 2.3.4 ประโยชน์ของไคโตซาน..... | 8 |
| 2.4 เจลาติน..... | 9 |
| 2.4.1 คุณสมบัติของเจลาติน..... | 10 |
| 2.4.2 แหล่งที่มาของเจลาติน..... | 10 |
| 2.4.3 วิธีการสกัดเจลาติน..... | 11 |
| 2.4.4 ประโยชน์ของเจลาติน..... | 12 |
| 2.5 ออบเชยเทศ..... | 13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.1 | ลักษณะทางพฤกษศาสตร์..... | 13 |
| 2.5.2 | สรรพคุณ | 13 |
| 2.5.3 | องค์ประกอบทางเคมี | 14 |
| 2.6 | อาหารแห้ง..... | 16 |
| 2.6.1 | ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง..... | 17 |
| 2.6.2 | ประเภทของอาหารแห้ง..... | 18 |
| 2.7 | แบคทีเรียก่อโรคในอาหาร..... | 19 |
| 2.7.1 | <i>Escherichia coli</i> | 19 |
| 2.7.2 | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 20 |
| 2.7.3 | <i>Salmonella typhimurium</i> | 20 |
| 2.7.4 | <i>Bacillus subtilis</i> | 21 |
| 2.7.5 | <i>Staphylococcus aureus</i> | 21 |
| 2.7.6 | <i>Micrococcus luteus</i> | 21 |
| 2.8 | เอกสารที่เกี่ยวข้อง | 22 |
| บทที่ 3 | วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 26 |
| 3.1 | วัสดุและอุปกรณ์..... | 26 |
| 3.1.1 | วัสดุ..... | 26 |
| 3.1.2 | เครื่องมือและอุปกรณ์..... | 26 |
| 3.1.3 | เชื้อจุลินทรีย์..... | 26 |
| 3.2 | การเตรียมฟิล์มและการขึ้นรูป..... | 27 |
| 3.3 | การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ..... | 27 |
| 3.3.1 | ความหนาของฟิล์ม..... | 27 |
| 3.3.2 | ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ..... | 27 |
| 3.3.3 | ความสามารถในการละลายน้ำ..... | 28 |
| 3.3.4 | คุณสมบัติทางกล..... | 28 |
| 3.3.5 | ค่าสีและความทึบแสง..... | 28 |
| 3.4 | การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี..... | 28 |
| 3.4.1 | วิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุในแผ่นฟิล์ม (XRF)..... | 28 |
| 3.5 | การทดสอบคุณสมบัติทางชีวภาพ..... | 29 |
| 3.5.1 | การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion..... | 29 |
| 3.5.2 | การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี JIS Z 2801:2000..... | 29 |
| 3.6 | การหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVA) หลังการเก็บรักษาถุงแห้งด้วยฟิล์ม..... | 30 |
| 3.7 | การประเมินผลทางสถิติ..... | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไป
 3.6 การหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVA) หลังการเก็บรักษาถุงแห้งด้วยฟิล์ม..... 30
 3.7 การประเมินผลทางสถิติ..... 30

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | 31 |
| 4.1 ผลการเตรียมฟิล์มและการขึ้นรูป | 31 |
| 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ..... | 32 |
| 4.2.1 ความหนาของฟิล์ม | 32 |
| 4.2.2 ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ..... | 32 |
| 4.2.3 ความสามารถในการละลายน้ำ..... | 33 |
| 4.2.4 คุณสมบัติทางกล..... | 33 |
| 4.2.5 ค่าสีและความทึบแสง | 34 |
| 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี | 36 |
| 4.3.1 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุในแผ่นฟิล์ม (XRF)..... | 36 |
| 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางชีวภาพ..... | 37 |
| 4.4.1 ผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion | 37 |
| 4.4.2 ผลการทดสอบด้วยวิธี JIS Z 2801:2000..... | 40 |
| 4.5 ผลการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVA) หลังการเก็บรักษาถุงแห้งด้วยฟิล์ม | 42 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 44 |
| เอกสารอ้างอิง | 46 |
| ภาคผนวก..... | 52 |
| ภาคผนวก ก..... | 53 |
| ภาคผนวก ข..... | 55 |
| ภาคผนวก ค..... | 57 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1 ลักษณะของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... | 32 |
| 4.2 ความหนา ความต้านทานแรงดึง (TS) การยึดตัวก่อนขาด (EAB) การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) และการละลายน้ำ (WS) ของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... | 34 |
| 4.3 ค่าสีและความทึบแสงของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ(Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... | 35 |
| 4.4 โชนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ(Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... | 39 |
| 4.5 ร้อยละการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย(%R)ของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน..... | 41 |
| 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกึ่งแห้ง(TVA)ระหว่างการเก็บรักษา กึ่งแห้งบรรจุฟิล์มฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) (CFU/ml)ที่ 4 °C..... | 43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ไคโตซาน | 5 |
| 2.2 เจลาติน | 9 |
| 2.3 ออบเชยเทศ | 13 |
| 2.4 โครงสร้างซินนามัลดีไฮด์ | 14 |
| 2.5 โครงสร้างยูจีนอล | 15 |
| 2.6 โครงสร้างเบนซิลเบนโซเอต | 16 |
| 2.7 โครงสร้างยูจีนิล อะซิเตต | 16 |
| 4.1 ลักษณะของฟิล์มไคโตซานผสมเจลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ | 31 |
| 4.2 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วย Micro-XRF | 36 |
| 4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุแบบ Mapping analysis ของฟิล์ม | 37 |
| 4.4 แสดงบริเวณยับยั้งแบคทีเรีย (inhibition zone) | 38 |
| 4.5 แสดงจำนวนโคโลนีจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °C | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|-----------------|-----------------------------------------------|
| CEO | น้ำมันหอมระเหยอบเชย (Cinnamon Essential Oil) |
| WVP | การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability) |
| WS | ความสามารถในการละลายน้ำ (Water solubility) |
| TS | ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) |
| EAB | ค่าการยืดตัวก่อนขาด (Elongation at break) |
| XRF | เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence) |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันขยะพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญ จากการสำรวจของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กรมควบคุมมลพิษ ในปี 2564 ประเทศไทยมีขยะพลาสติกใช้ครั้งเดียวเกิดขึ้น ภายหลังการบริโภคประมาณ 2.76 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 11 ของปริมาณขยะทั้งหมด มีการคัดแยกและนำกลับไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 19 ตกค้างในสิ่งแวดล้อมร้อยละ 3 และถูกนำไปกำจัดในสถานที่กำจัดขยะร้อยละ 78 การทิ้งขยะพลาสติกไม่ถูกต้องกระจายกระจายทั่วไป ก่อให้เกิดปัญหาขยะลอยในแม่น้ำ บางส่วนลงสู่ทะเล ปัญหาเศษขยะพลาสติกและไมโครพลาสติกจากกระบวนการสลายของพลาสติกขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวจนมีขนาดเล็กแพร่กระจายปนเปื้อนในน้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิต (สุพิมพ์พรรณ, ม.ป.ป.) รวมถึงอยู่บนจานอาหารของมนุษย์ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะมนุษย์บริโภคพลาสติกในทุกรูปแบบทุกวินาทีบนโลก วันละหลายล้านตัน ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การใช้พลาสติกเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีมากกว่า 40% ทั่วโลก รองลงมาคือการใช้งานก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุครัวเรือน (สุธินันต์, 2566) จากการศึกษาวิจัยขององค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล (World Wide Fund for Nature: WWF) ร่วมกับ มหาวิทยาลัยนิวยอร์กในออสเตรเลีย ทำการวิจัยหาปริมาณพลาสติกจากแหล่งธรรมชาติสู่วงจรบริโภคของมนุษย์ อาจบริโภคไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกาย ในปริมาณกว่า 2,000 ชิ้น หรือ 5 กรัมต่อสัปดาห์ เทียบเท่ากับบัตรเครดิต 1 ใบ คิดเป็น 20 กรัมต่อเดือน 240 กรัมต่อปี

แม้มีการยืนยันแล้วว่าไมโครพลาสติกไม่ส่งผลร้ายแรงต่อระบบทางเดินอาหาร แต่อาจเป็นอันตรายได้เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และยังส่งผลเสียอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เพื่อลดปัญหาเหล่านี้ โพลีเมอร์ธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน จึงได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีความสามารถในการป้องกันการสูญเสียความชื้น การสูญเสียกลิ่น การดูดซึมน้ำ หรือการซึมผ่านของออกซิเจน (Cazón et al., 2017) มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นำมาใช้เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารแบบแอคทีฟ (active packaging) นอกจากนี้ การเติมส่วนประกอบธรรมชาติจากพืชและสัตว์ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลชีพ และสารบำรุงผิวลงในบรรจุภัณฑ์ที่กินได้ (Karkar et al., 2023) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าการเคลือบด้วยไคโตซาน น้ำมันออริกาโน น้ำมันเปลือกอบเชย สารเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยไทม์และกานพลู การใส่เกลือ และบางครั้งร่วมกับเทคนิคการถนอมอาหารอื่นๆ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งองค์ประกอบของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาปลา (Yumnarn et al., 2023) และ

น้ำมันหอมระเหยจากพืชได้รับความสนใจในฐานะทางเลือกทดแทนสารกันเสียที่เป็นสารเคมี เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิสาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นธรรมชาติ ปลอดภัย สารต้านอนุมูลอิสระ และต้านเชื้อแบคทีเรีย (Göksen et al., 2020) รวมถึงอบเชยเทศ (Cinnamon) ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

ประเทศไทยมักนำอบเชยมาเป็นเครื่องเทศปรุงอาหารและยาแผนโบราณ เป็นสมุนไพรที่มีคุณสมบัติทางชีวภาพมากมาย มีสารประกอบ cinnamaldehyde , eugenol, caryophyllene, cinnamyl acetate และ cinnamic acid เป็นสารประกอบหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหย สารประกอบเหล่านี้แสดงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ ต้านแบคทีเรีย ต้านเบาหวาน ลดไข้ และยาแก้ปวด ฤทธิ์ทางภูมิคุ้มกัน และฤทธิ์ต้านการแพ้ (Wang et al., 2020.) การศึกษาประยุกต์ใช้ทางอาหารของอบเชย ส่วนต่างๆและน้ำมันหอมระเหยของอบเชยส่วนใหญ่จะใช้เป็นเครื่องเทศและเครื่องปรุงรสในการปรุงซอส ขนม เครื่องดื่ม หรือเพิ่มเป็นวัตถุเจือปนอาหารในรายการอาหารต่างๆ เนื่องจากมีศักยภาพในการถนอมอาหารอีกด้วย (Singh et al., 2021)

โดยงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเทศ (Cinnamon) ในฟิล์มไคโตซานผสมเจลาติน ทั้งคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ รวมถึงฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่อาจพบได้ในอาหาร สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ คือ ความหนา การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ ความต้านทานแรงดึง การยึดตัวที่จุดขาด สีและความทึบแสง คุณลักษณะทางเคมี เช่น การกระจายตัวของธาตุของฟิล์มไคโตซานผสมเจลาตินเมื่อใส่น้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มไคโตซานผสมเจลาตินเมื่อใส่น้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ
- 3) เพื่อการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เตรียมสารละลายฟิล์มไคโตซานผสมเจลาตินเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ที่ความเข้มข้น 0.5% 0.7% 0.9% (v/w) และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเป็นตัวควบคุม (Control) ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ คือ ความหนา การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ ความต้านทานแรงดึง การยึดตัวที่จุดขาด สีและความทึบแสง คุณลักษณะทางเคมี เช่นการกระจายตัวของธาตุ คุณสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Agar disc diffusion และวิธี JIS Z 2801:2000 และการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อฟิล์มโคโตะซานผสมเจลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยจาก
อบเชยเทศ เช่น ลักษณะทางกายภาพและเคมี คุณสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ในการพัฒนาเป็น
บรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกและส่งเสริมการใช้
ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable films) ได้รับการพัฒนาคิดค้นจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และสารจากธรรมชาติ ทำให้ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ สามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร วัสดุทางการแพทย์ นอกจากนี้ฟิล์มดังกล่าวยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาหารเพื่อช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำ ความชื้น ก๊าซชนิดต่าง ๆ (เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์) น้ำมัน ไขมัน หรือสารที่ถูกละลายได้ง่าย รวมทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ แต่การใช้พลาสติกย่อยสลายได้จะมีข้อจำกัดในการใช้งาน และมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของไอน้ำ ความชื้นได้น้อยกว่าฟิล์มพลาสติก ทำให้ไม่อาจใช้ฟิล์มย่อยสลายแทนฟิล์มพลาสติกได้ แต่สามารถใช้พลาสติกย่อยสลายได้เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพของอาหาร หรือยืดอายุการเก็บรักษา หรือช่วยลดปริมาณการใช้ฟิล์มพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายที่ยาวนาน เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และมีการทำลายที่ยาก (มยุรา, 2547)

2.2 ชนิดของฟิล์ม

2.2.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์

โพลีแซคคาไรด์บางชนิดสามารถใช้ผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น แอลจีเนท เพกทิน คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต (hydrolysate) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส แต่เนื่องจากธรรมชาติของโพลิเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาใช้ป้องกันการซึมผ่านความชื้น อย่างไรก็ตามโพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้น (gelatinous) และมีความชื้นสูงจะชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยที่สารเคลือบเจลาทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหาร (sacrificing agent) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการส่งผ่านความชื้น (มณฑาทิพย์, 2535)

2.2.2 ฟิล์มลิพิด

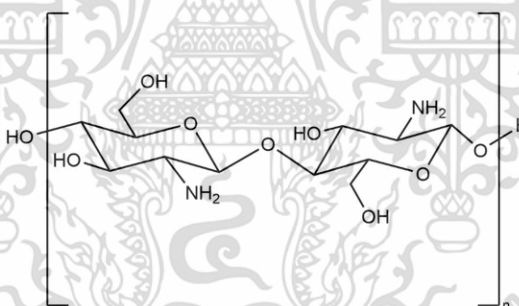
การใช้ไขมันห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมีมานานแล้วในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) เช่น การเคลือบช็อคโกแลตหรือใช้กับผัก ผลไม้ เช่น การเคลือบผลไม้ด้วยไข (wax) สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้ง acetylate monoglyceride ไขมันธรรมชาติ (natural wax) และสารตึงผิว (surfactant) นำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ โดยทั่วไปการเคลือบอาหารด้วยลิพิดก็เพื่อป้องกัน

การถ่ายเทความร้อนขึ้น แต่ในกรณีการเคลือบผลไม้ด้วยลิจิตินจะให้ผลอย่างอื่น เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนถ่ายมิให้เกิดรอยขีด (soft scald) หรือเคลือบผลแอปเปิลทันทีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันมิให้เกิดสีน้ำตาลด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต่างๆ (เช่น ลอริก ปาล์มทิก สเตียริก โอ เลอิก ลิโนเลอิกและลิโนเลนิก เป็นต้น) หรือน้ำมัน ปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และเลซิทีน ฟิล์มลิจิติน (มณฑาทิพย์, 2535)

2.2.3 ฟิล์มโปรตีน

การศึกษาฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนยังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับฟิล์มจากโพลีแซ็กคาไรด์ ฟิล์มโปรตีนได้แก่ ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสัตว์และพืช ได้แก่ collagen, gelatin, wheat gluten, corn zein, soy protein, whey protein และ casein ซึ่งสารพวกนี้มีคุณสมบัติเป็นพวกมีข้าวและมีพลาสติกไฮเซออร์ที่มีความสำคัญในการผลิตฟิล์มให้มีความยืดหยุ่น คือ glycerine และ sorbitol ฟิล์มโปรตีนมีข้อจำกัดในการวางกันไอน้ำ อย่างไรก็ตามฟิล์มชนิดนี้มีคุณสมบัติในการวางกันออกซิเจนได้ดี ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ มีคนจำนวนไม่น้อยที่แพ้โปรตีนจากนม, ไข่ขาว, peanut, wheat, soy bean และอื่นๆ ดังนั้นในการใช้ฟิล์มโปรตีน จึงต้องระบุอย่างชัดเจน ตัวอย่างฟิล์มโปรตีน เช่น ฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี ฟิล์มจากโปรตีนข้าวโพด เป็นต้น (มณฑาทิพย์, 2535)

2.3 ไคโตซาน (Chitosan)



รูปที่ 2.1 ไคโตซาน (Chitosan)

ที่มา <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/23/7136>

2.3.1 คุณสมบัติของไคโตซาน

ไคโตซาน หรือ 2-Amino-2-deoxy-(1,4)- β -D-glucopyranan มีลักษณะเป็นแผ่นสีขาวหรือสีครีมไม่มีกลิ่น บางครั้งอาจอยู่ในรูปผงหรือเส้นใย เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความเป็นพิษต่ำ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีประจุบวกมาก และเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดโพลีแคตไอออนิก ซึ่งมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี ไคโตซานเป็นโพลีแซ็กคาไรด์เชิงเส้น β -(1-4) ที่เชื่อมโยง 2-acetamide-2-deoxy- d -glucose (หน่วยน้ำตาลที่เป็นกลาง GlcNAc หรือ A-unit) และ 2-amino-2-deoxy- d -glucose (หน่วยน้ำตาลที่มีประจุบวก GlcN หรือหน่วย D) (Nilsen-Nygaard et al., 2015) และไคโตซานสามารถแยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์อ่อน ได้แก่ กรดอะซิติก และกรดแล็กติก เป็นต้น เนื่องจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของโคโตซานมีหมู่อะมิโน (-NH₂) และไฮดรอกซิล (-OH) เมื่อละลายในสารละลายกรดแล้ว หมู่อะมิโนได้รับโปรตอนเกิดเป็นประจุบวก (-NH₃⁺) สามารถเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตกับส่วนที่เป็นประจุลบของมิวซินทำให้โคโตซานสามารถยึดติดเยื่อเมือกได้หากอยู่ในสภาวะที่ไม่แตกตัวการยึดติดเยื่อเมือกจะเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่อะมิโนและไฮดรอกซิลของโคโตซานกับมิวซินและแรงไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) นอกจากนี้ยังพบว่าการศึกษาการยึดติดเยื่อเมือกของโคโตซานขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight, MW) ประจุ (charge) และปริมาณการกำจัดหมู่อะเซทิล (degree of acetylation, DA) ของโคโตซาน (สุภาวดี, ม.ป.ป.)

2.3.2 แหล่งวัตถุดิบในธรรมชาติของโคตินและโคโตซาน

โคตินและโคโตซานมักพบอยู่ร่วมกันในธรรมชาติและสามารถผลิตได้จากแหล่งวัตถุดิบจากธรรมชาติ โดยเฉพาะจากเปลือกแข็งของสัตว์น้ำที่ในปีหนึ่งๆ มีเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบโคตินและโคโตซานได้ในสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำจำพวกเห็ดรา (fungi)

2.3.2.1 แหล่งสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง (Shellfish) เปลือกแข็งของสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปู ตัวเคย (krill) หอยและแกนปลาหมึก เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตโคตินและโคโตซาน ในปัจจุบันสารโคตินที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตมาจากเปลือกแข็งที่เหลือทิ้งของสัตว์จำพวกกุ้งและปู (crustaceans) เป็นหลัก โดยทั่วไปสัตว์จำพวกนี้มีสารโคตินเป็นองค์ประกอบอยู่ ตั้งแต่ 2-12% ของมวลร่างกายทั้งหมด ปริมาณดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาวะของการลอกเปลือกในขบวนการผลิต ภาวะทางโภชนาการและระยะการเจริญพันธุ์ของสัตว์น้ำ องค์ประกอบหลักในเปลือกแข็งของสัตว์จำพวกกุ้งและปูประกอบด้วยโปรตีน (30-40%) เกลือแร่ (30-50%) และโคติน (13-42%) เกลือแร่ที่พบส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือฟอสเฟต (phosphate) และคาร์บอเนต (carbonate) ของแคลเซียมและแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังมีไขมันและสารแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณโคตินจากเปลือกแข็งของปู (13-26% ของน้ำหนักแห้ง) ต่ำกว่าของกุ้ง (14-42% ของน้ำหนักแห้ง) และของตัวเคย (34-49% ของน้ำหนักแห้ง) สำหรับเปลือกหอยกาบ (clam) และหอยนางรม (oyster) มีปริมาณเกลือแร่ต่างๆสูงถึง 90% ของน้ำหนักแห้ง จึงมีปริมาณโคตินน้อย

2.3.2.2 แหล่งจุลินทรีย์ (Microbial sources) พวกเห็ดรา (fungi) หลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดโคตินได้ เช่น กลุ่ม *Allomyces*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Choanephora*, *Tamnidium*, *Zygorhynchus* และ *Phycomyces* ซึ่งมีปริมาณโคตินที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของรา นอกจากโคตินแล้วยังพบโคโตซานในผนังเซลล์ของเชื้อราเช่นกัน แม้ปัจจุบันนี้ในทางปฏิบัติยังไม่มีกรรมนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตหลัก แต่วิธีการที่จะนำมาใช้ในการผลิตโคตินและโคโตซานได้มีการศึกษาไว้อย่างละเอียด การผลิตโคตินและโคโตซานจากเชื้อรามีสข้อดีเนื่องจากเชื้อราเหล่านี้มีอยู่แพร่หลาย เจริญเติบโตเร็ว ค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงไม่แพง นอกจากนี้เชื้อราไม่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) และเกลือแร่อื่นๆมาก จึงช่วยประหยัด

ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับกรดดังเช่นที่ใช้ในกระบวนการผลิตจากเปลือกแข็งของสัตว์น้ำ สามารถปรับปริมาณการผลิตให้เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการควบคุมสภาวะของการ

หมักเชื้อราและกระบวนการผลิต ตลอดจนการใช้เทคนิคการดัดแปลงพันธุกรรม (genetic manipulation) ปริมาณของไคตินและไคโตซานที่เคยมีรายงานอยู่ที่ 2-60% ของน้ำหนักแห้งเซลล์แห้ง การนำเชื้อรามานำมาใช้จำเป็นต้องจัดองค์ประกอบของอาหารในการเพาะเลี้ยงและเวลาที่เหมาะสม รวมทั้งสภาวะอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณของไคติน ไคโตซานและโปรตีน (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ม.ป.ป.)

2.3.3 ลักษณะเฉพาะของไคโตซาน

2.3.3.1 ระดับการกำจัดหมู่แอสติล

ไคโตซานเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่แอสติลของไคติน (พอลิเมอร์สายยาวที่มีองค์ประกอบเป็น เอน-แอสติลกลูโคซามีน) สภาพของการเป็นไคโตซานจึงขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่แอสติล ซึ่งวัดได้จากค่าระดับการกำจัดหมู่แอสติล การลดลงของหมู่แอสติลในไคตินเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่อะมิโนของกลูโคซามีนซึ่งเป็นการเพิ่มประจุบวกบนสายพอลิเมอร์ทำให้เกิดสภาพของการเป็นไคโตซานเพิ่มขึ้น การจัดระดับของการกำจัดหมู่แอสติลของไคโตซานมีค่าเป็นร้อยละหรือที่เรียกว่า Percent Deacetylation (% DD) ค่าระดับการกำจัดหมู่แอสติลมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของไคโตซาน

2.3.3.2 คุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

ไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย ยีสต์และรา จึงได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหารหลายชนิด เช่น อาหารทะเล เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ นม ขนมนมปั่น และน้ำผลไม้

2.3.3.3 การทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบาง

ไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานหลายชนิดมีคุณสมบัติในการนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มหรือเป็นเยื่อบางๆ ที่มีความเหนียว คงทน ยืดหยุ่นและไม่ฉีกขาดง่าย แผ่นฟิล์มมีลักษณะเด่นในการป้องกันการสูญเสียน้ำหรือความชื้นและควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ดี สามารถรับประจุไฟฟ้าได้ ไม่เป็นพิษและย่อยสลายได้ในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์เป็นบรรจุภัณฑ์หรือเคลือบบนผิวของอาหารเพื่อชะลอการเน่าเสียและถนอมคุณค่าของอาหาร เช่น ผลไม้ เนื้อสัตว์ และเนยแข็ง ไคโตซานเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการทำแผ่นฟิล์มไคโตซานต้องใช้กรดอินทรีย์เพื่อเป็นตัวทำละลาย เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดแลคติก (lactic acid) กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดมาลิก (malic acid) เมื่อละลายในกรดอินทรีย์จะได้สารละลายไคโตซานที่มีความหนืดต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่ใช้ทำละลายและจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มหรือการเคลือบไคโตซาน ประกอบกับกรดอินทรีย์เหล่านี้ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของ

เอกสารนี้ จุลินทรีย์ในตัวของกรดเอง จึงช่วยเสริมฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของไคโตซานยิ่งขึ้น ประสิทธิภาพไม่ว่าการ ในการกำรัยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กัชนิดของกรดอินทรีย์ โดยไคโตซานที่ละลายในกรด

อินทรีย์ต่างชนิดกันจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์แตกต่างกันไปด้วย มีรายงานว่าไคโตซานที่ละลายในกรดอะซิติก กรดแลคติกและกรดฟอร์มิก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียมากกว่ากรดโพธิอิกและกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

การผสมสารบางชนิด เช่น น้ำมันหอมระเหยกรดสเตียริก (stearic acid) และสารเชื่อมโยง (cross-linking agent) มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การผ่านเข้าออกของน้ำตลอดจนความยืดหยุ่น และความทนทานของแผ่นฟิล์มไคโตซาน น้ำมันหอมระเหยออริกาน (oregano essential oil) ทำให้แผ่นฟิล์มหนาและขุ่นขึ้น มีความแข็งแรงลดลงแต่มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น และลดการซึมผ่านของน้ำได้ดีรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *L. monocytogene* และ *E. coli* ในแผ่นไส้กรอก (bologna slice) เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มไคโตซานเดี่ยวๆ (นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มแบบผสม (composite film) กับเซลลูโลส (chitosan-hydroxy propyl methyl cellulose film) ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *L. monocytogene* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่พบในอาหาร

2.3.3.4 น้ำหนักโมเลกุล

ความหนืดและความสามารถในการละลาย ไคโตซานที่ผลิตขึ้นมีหลากหลายชนิดซึ่งจะมีน้ำหนักโมเลกุลและระดับการกำจัดหมู่เอซิดิลที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลให้สารละลายไคโตซานมีความหนืดและคุณสมบัติอื่นๆ ที่ต่างกันไป ไม่สามารถละลายน้ำแต่ละสายได้ในกรดอินทรีย์ เมื่อผ่านปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำ (hydrolysis) จะอยู่ในรูปที่มีน้ำหนักโมเลกุลเล็กและในรูปของโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) ที่สามารถละลายน้ำได้และยังคงมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและยีสต์หลายชนิด สารละลายที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความหนืดมากและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายจึงมีการนำมาย่อยสลายด้วยกรรมวิธีทางเคมี ฟิสิกส์หรือใช้เอนไซม์เพื่อตัดสายพอลิเมอร์ให้สั้นลงซึ่งทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลเล็กลง จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายและถูกดูดซึมได้ดีขึ้นตลอดจนเพิ่มคุณสมบัติอื่นๆ เช่น การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อรา ความสามารถในการต่อต้านเชื้อโรคต่างๆ ต้านมะเร็งและเพิ่มภูมิคุ้มกันโรค (กรมวิทยาศาสตร์บริการ , ม.ป.ป.)

2.3.4 ประโยชน์ของไคโตซาน

2.3.4.1 ด้านการเกษตรกรรมและอาหาร

ไคโตซานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตรได้ เนื่องจาก เป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติและเสื่อมหงชีวภาพได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษ มีการนำไคโตซานไปใช้เป็นสารเคลือบผลไม้ เพื่อป้องกันแบคทีเรีย ช่วยยืดอายุการเก็บผลไม้ได้นานขึ้น ทำให้ผลไม้ยังสดใหม่อยู่ ไคโตซานใช้ลดปริมาณคลอโรฟิลล์และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด โดยการผสมไคโตซานในอาหาร ซึ่ง

มีการใช้เป็นส่วนผสมขายในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ กุกี้ ก้วยเตี่ยว และน้ำส้ม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 ด้านการบำบัดน้ำทิ้ง

โคโตซานมีหมู่เอมีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน จึงสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน สีย้อมผ้า และโอออน ของโลหะได้ มีการนำโคโตซานไปใช้ดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้ง และใช้ในการดูดซับโอออนของโลหะในการบำบัดน้ำทิ้ง ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง โปรท โคโรเมียม และยูเรเนียม

2.3.4.3 ด้านเภสัชกรรมและการแพทย์

โคโตซานถูกนำมาใช้ทางเภสัชกรรม โดยการใช้เป็นตัวขนส่งยา (drug delivery) เพื่อเพิ่มการดูดซึมและปลดปล่อยยา ในทางการแพทย์มีการนำโคโตซานไปใช้เป็นวัสดุปิดแผล ทำให้แผลหายเร็วขึ้นหรือทำให้เลือดจับเป็นก้อน นอกจากนี้ ยังมีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้โคโตซานในการลดปริมาณคลอเรสเตอรอลและไขมันในสัตว์ ซึ่งพบว่าสัตว์ที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดโคโตซานมีปริมาณคลอเรสเตอรอลในอุจจาระเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าจะยังไม่ทราบกลไกการลดปริมาณคลอเรสเตอรอลที่ชัดเจนก็ตาม

2.3.4.4 ด้านสุขภาพและเครื่องสำอาง

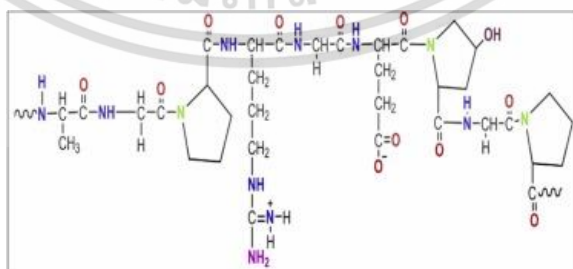
โคโตซานมีการใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิว ได้แก่ แชมพู ครีมนวด ซึ่งมีวางจำหน่ายในประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และยังมีการใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวหน้า ได้แก่ ครีมอาบน้ำ โลชั่น

2.3.4.5 ด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์

โคโตซานถูกนำไปใช้เป็นสารดูดซับยูเรเนียม เพื่อให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมระดับน้อยๆ ในน้ำประปาและน้ำทะเล (วรรณิ, 2553)

2.4 เจลาติน (Gelatin)

เจลาตินเป็นวัสดุโมเลกุลขนาดใหญ่ตามธรรมชาติที่สกัดจากผิวหนัง กระดูก และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ (รูปที่ 2.2) เป็นไบโอโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ได้จากการไฮโดรไลซิสบางส่วนของคอลลาเจน เป็นโปรตีนไม่มีสี ละลายน้ำได้ และประกอบด้วยกรดอะมิโน 19 ชนิด ไกลซีน โพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีน เป็นกรดอะมิโนหลัก (Ahmad et al., 2017)



รูปที่ 2.2 เจลาติน (Gelatin)

ที่มา <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289422001375>

2.4.1 คุณสมบัติของเจลาติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลลาตินมีคุณสมบัติสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจล เวลาในการเกิดเจล ความหนืด การสร้างพื้นผิว การทำให้หนาขึ้น การตั้งค่า อุณหภูมิหลอมละลาย และการจับตัวของน้ำ ลักษณะเฉพาะเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น แหล่งที่มาของวัตถุดิบ องค์ประกอบ ของกรดอะมิโน วิธีการสกัดเจลลาติน และ รูปแบบกรดอะมิโนโดยรวม (Luo et al., 2022) เจลาตินที่ได้มาจากแหล่งสัตว์ต่างๆ โดยการไฮโดรไลซิสบางส่วน/การสลายด้วยความร้อน จะประกอบด้วยโปรตีนโดยประมาณ (88%) ความชื้น (10%) และเกลือ (1–2%) โดยน้ำหนักแห้งปริมาณโปรตีนจะอยู่ที่ 98–99% และไม่มิกลิน รสจืดจาง หรือมีสีเหลืองเล็กน้อย เพราะบาง โปร่งแสง มีลักษณะเป็นแผ่น เกล็ด หรือผงไม่มีรส ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละลายได้ในกลีเซอรอล น้ำร้อน และกรดอะซิติก เจลาตินที่ผ่านกระบวนการกรดจะมีจุดไอโซอิเล็กทริกสูงกว่าเจลลาตินที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลน์ เป็นการผสมผสานของสายโซ่น้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย เช่น สายโซ่ α , สายโซ่ β และโซ่ γ - ส่วนประกอบ β ที่สูงกว่ามีส่วนทำให้คุณสมบัติของเจลดีขึ้นและส่งเสริมความแข็งแรงในฟิล์มเจลลาติน (Rather et al., 2022)

2.4.2 แหล่งที่มาของเจลลาติน

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น หนังกหมู และหนังวัว เป็นแหล่งเจลลาตินที่มีอยู่มากที่สุด โดยคิดเป็น 46% ของแหล่งเจลลาตินทั่วโลก รองลงมาคือกระดูก (23%) กีบ (29%) และอีก 1% ที่เหลือมาจากแหล่งทางทะเล ในยุโรป 95% ของเจลลาตินได้มาจากหนังวัวและหมู และ 5% จากกระดูก เจลาตินของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีจุดเดือดและจุดเกิดเจลสูง และมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนกลับด้านความร้อนได้ กระดูก หนังกหมู และหนังวัวเป็นแหล่งเจลลาตินแบบดั้งเดิมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เจลาตินจากกระดูกวัวมีคุณภาพสูงและนิยมใช้ในอุตสาหกรรม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ศักยภาพทางการตลาดของเจลลาตินผลพลอยได้จากปลาและสัตว์ปีกเพิ่มขึ้น ของเสียจากสัตว์ปีกอาจเป็นแหล่งที่มาหลักของเจลลาตินในเร็วๆ นี้ แต่ในปัจจุบันมีการผลิตเชิงพาณิชย์ที่จำกัดเนื่องจากมีผลผลิตต่ำ (Rather et al., 2022)

2.4.2.1 เจลาตินจากสัตว์ปีก

ตีนไก่ประกอบด้วยคอลลาเจนที่สามารถใช้เป็นแหล่งเจลลาตินที่ดีที่สุด โปรตีนไอโซเลทยังได้มาจากของเสียจากการแปรรูปสัตว์ปีกมูลค่าต่ำ เช่น กระดูก และเศษเนื้อสัตว์ที่แยกออกจากกันด้วยเครื่องจักร ของเสียจากไก่ เช่น กระดูก กระดูกอ่อน และเหนียง มีปริมาณเจลลาตินสูงกว่าเจลลาตินหนังไก่มีโครงสร้าง α -helix และ β -sheet มากกว่า ดังนั้นเจลลาตินจึงมีความแข็งแรงของเจลสูงกว่า และโมดูลัสยืดหยุ่นและหนืด

2.4.2.2 เจลาตินจากปลา

อุตสาหกรรมแปรรูปปลาก่อให้เกิดผลพลอยได้และของเสียจำนวนมากที่อุดมไปด้วยโปรตีนเจลลาติน แต่ในปัจจุบันการใช้เจลลาตินจากปลายังมีข้อจำกัดในอุตสาหกรรมอาหาร เมื่อเทียบกับเจลลาตินของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ของเสียจากการแปรรูปปลาคิดเป็น 75% ของน้ำหนักที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับได้ หนึ่งและกระดูกปลาคิดเป็น 30% ของน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนสูงกว่าที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเจลาตินจากปลาได้ เจลาตินจากของเสียจากการแปรรูปปลา เช่น หนึ่ง เป็นสิ่งทดแทนและเป็นแหล่งเจลาตินทางเลือกสำหรับตลาดที่กังวลเกี่ยวกับโรคสpongiform จากวัว เจลาตินจากปลามีอุณหภูมิหลอมละลายและเกิดเจลต่ำกว่า และมีความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าเจลาตินของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เจลาตินที่ได้จากปลาน้ำเย็นมี ปริมาณ ไฮดรอกซีโพรลีนและความแข็งแรงของเจลตามปกติ แต่เจลาตินที่ได้จากปลาน้ำเย็นจะมีปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนและความแข็งแรงของเจลต่ำ เจลาตินของเสียจากการแปรรูปปลาน้ำเย็นลึกลับมีปริมาณโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนในปริมาณน้อยกว่า จึงเกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 8–10 °C

2.4.2.3 เจลาตินจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิดที่ใช้ในการผลิตเจลาติน ได้แก่ วัว แพะ ควาย และจามรี แหล่งเจลาตินที่สำคัญที่สุดในช่วงทศวรรษปี 1930 คือหนังหมู ซึ่งถือเป็นการผลิตเจลาตินขั้นต้นทางอุตสาหกรรม แหล่งที่มาของคอลลาเจน/เจลาตินของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ได้แก่ หนังหรือผิวหนัง เส้นเอ็น โครงกระดูก และกระดูกอ่อน เจลาตินจากแหล่งสุกรและวัวโดยทั่วไปได้มาจากผิวหนังหรือหนังสัตว์ และจากกระดูก กระดูกอ่อน และเส้นเอ็น ในปริมาณที่น้อยกว่า ของเสียจากการแปรรูปควายมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการผลิตเจลาติน หนังควายมีความหนา 6-8 มม. และมีพลังมากกว่าหนังสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดอื่น ซึ่งคิดเป็นประมาณ 11.5% ของน้ำหนักตัวทั้งหมด และหนังวัวมีสัดส่วนเพียง 9.0% เท่านั้น คอลลาเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของหนังควาย และหนังควายมีคอลลาเจนมากกว่าหนังวัว เนื่องจากปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนในคอลลาเจนหนังควายสูงกว่า โครงสร้างคอลลาเจนจึงมีความซับซ้อน ความคงตัวต่อความร้อน และความแข็งแรงของเจลสูงกว่า และเจลาตินจากวัวได้รับความนิยมเป็นพิเศษมากกว่าแหล่งเจลาตินอื่นๆ สำหรับการสร้างฟิล์ม เนื่องจากมีความสามารถในการขึ้นรูปเจลที่เหนียวกว่า (ความแข็งแรงของเจลและความหนืด) และคุณสมบัติในการสร้างฟิล์มที่แข็งแรง

2.4.3 วิธีการสกัดเจลาติน

เจลาตินเป็นโปรตีนสำคัญที่ได้จากการไฮโดรไลซิสบางส่วนของคอลลาเจน การไฮโดรไลซิสทำได้โดยใช้กรด เบส เอนไซม์ หรือโดยการผสมกัน วิธีการสกัดเจลาตินที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมคือวิธีทางเคมี อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการทางชีววิทยา วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์เป็นกระบวนการไฮโดรไลซิสที่มีแนวโน้มดีกว่า (Rather et al., 2022)

2.4.2.1 วิธีการสกัดด้วยกรด

สารละลายกรดใช้ในการไฮโดรไลซ์วัสดุคอลลาเจนในกระบวนการสกัดนี้ เจลาตินที่ผลิตได้เรียกว่าเจลาตินชนิด A มักใช้หนังหมูในการสกัด ซึ่งแช่ด้วยสารละลายกรดเป็นเวลา 10–45 ชั่วโมง การแช่ด้วยกรดช่วยเพิ่มการบวมของคอลลาเจน ส่งผลให้ไฮโดรไลซิสดีขึ้นและมีเอกสารนี้เปเปอร์เซ็นต์ผลผลิตมากขึ้น การบวมและการละลายของวัสดุคอลลาเจนได้รับผลกระทบอย่างมากจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นและชนิดของกรดที่ใช้ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเจลาตินที่ได้ กรดที่สำคัญที่ใช้ ได้แก่ กรดฟอสฟอริกและกรดอินทรีย์อื่นๆ

2.4.2.2 วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์

การสกัดด้วยเอนไซม์สร้างความสิ้นเปลืองน้อยลงและลดเวลาการประมวลผล แต่วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีการสกัดเจลาตินแบบอื่น ในวิธีการสกัดเจลาตินด้วยเอนไซม์ เอนไซม์ไฮโดรไลซ์โปรตีนหลายชนิดจะเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาตินสำหรับการสกัดเจลาตินด้วยวิธีนี้ พารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือการรักษาด้วยเปปซิน เจลาตินที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์มีความแข็งแรงของเจลที่ดีกว่า แม้ว่าผลผลิตของเจลาตินจะต่ำกว่าวิธีการสกัดเจลาตินอื่นๆ เล็กน้อย

2.4.4 ประโยชน์ของเจลาติน

เจลาตินขึ้นชื่อในด้านคุณสมบัติอเนกประสงค์ รวมถึงความสามารถในการอิมัลชันและการเกิดฟอง คุณสมบัติออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณสมบัติการแทนที่ไขมัน และคุณสมบัติในการขึ้นรูปฟิล์ม (Rather et al., 2022)

2.4.4.1 วัสดุบรรจุภัณฑ์

ฟิล์มและสารเคลือบเจลาตินมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเนื่องจากมีลักษณะเฉพาะสารเคลือบและฟิล์มเจลาตินช่วยรักษาคุณภาพของอาหารตลอดการเก็บรักษา โดยทำหน้าที่เป็นอุปสรรคต่อก๊าซออกซิเจน แสง และความชื้น ป้องกันการเสื่อมสภาพ ชะลอการเกิดออกซิเดชันและปกป้องอาหารจากการสูญเสียคุณภาพอื่นๆ คุณสมบัติของการเคลือบเจลาตินและฟิล์มสามารถปรับปรุงได้โดยการรวมเจลาตินกับ สารโพลีแซ็กคาไรด์ ต่างๆ เช่น แชนแทน ไคโตซาน และแป้งข้าวเจ้า การรวมสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านจุลชีพในฟิล์มและสารเคลือบเจลาตินช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของอุปสรรคและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

2.4.4.2 การเคลือบเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

คอลลาเจนและเจลาตินถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์เหล่านี้เพื่อคงสี ลดการเสื่อมสภาพของกลิ่น ปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสและชะลอการเน่าเสียของจุลินทรีย์และสารเคมี สเต็กเนื้อที่เคลือบด้วยเจลาตินและเก็บไว้แบบอ่อนมีการก้ำจืดน้อยกว่าสเต็กเนื้อที่ไม่เคลือบ

2.4.4.3 การเคลือบ/บรรจุภัณฑ์ผลไม้

ผักและผลไม้เป็นสินค้าที่เน่าเสียง่าย เนื่องจากน้ำ 80–90% ต้องการการดูแลอย่างเหมาะสมระหว่างการเก็บรักษา ปัจจุบันการเคลือบด้วยสารที่บริโภคได้หลายชนิด เช่น ลิพิด โปรตีน โพลีแซ็กคาไรด์ หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้ถูกนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์พืช การใช้สารเคลือบกับสินค้าเป็นการทดแทนการจับเก็บบรรยากาศดัดแปลงเพื่อการรักษาคุณภาพผ่านการเปลี่ยนแปลง การควบคุมบรรยากาศภายในของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ สารเคลือบที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพช่วยลด

การสูญเสียความชื้น ปฏิกริยาออกซิเดชัน การเคลื่อนย้ายตัวถูกละลาย การแลกเปลี่ยนก๊าซ ช่วยลดปัญหาความผิดปกติทางสรีรวิทยา สารละลายเคลือบเจลาตินป้องกันน้ำหนักลด การเสื่อมของวิตามิน

ซี ทำให้สีของผลไม้เข้มขึ้น การเคลือบเจลาตินอาจใช้ร่วมกับสารธรรมชาติอื่นๆ เช่น สารสกัดจากพืชที่มีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระหรือต้านจุลชีพ เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของสินค้าพืช การเคลือบเจลาตินที่ผสมผสานกับสารสกัดจากชาและว่านหางจระเข้ช่วยรักษาและยืดอายุคุณภาพของส้มสด การเคลือบชั้นแอปเปิ้ลด้วยเจลาตินที่มีสารสกัดจากชาและว่านหางจระเข้จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของส้มสด

2.5 อบเชยเทศ (*Cinnamomum verum* J. Presl.)

ชื่อสมุนไพร : อบเชยเทศ (OP CHOEI THET)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Cinnamomum verum* J. Presl

ชื่อวงศ์ : Lauraceae

2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อบเชยเทศ หรือ อบเชยลังกา (รูปที่ 2.3) ที่มีแหล่งกำเนิดในป่าของอินเดียตะวันตกเฉียงใต้ ศรีลังกาตะวันตก และ เขิงเขาเทเนสเซอร์ิม (ตะนาวศรี) ของพม่า เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ สูงถึง 18 เมตร มีกลิ่น หอมแรง ใบออกตรงข้าม แผ่นใบคล้ายหนัง รูปไข่ถึงรี มีเส้นใบ 3 เส้น อาจพบ 5 เส้น ปลายใบแหลม โคนใบกลม ผิวเกลี้ยง สีเขียวเป็นมัน ช่อดอกออกที่ปลายแบบแยกแขนงหลวม ๆ ยาวถึง 10 เซนติเมตรหรือมากกว่า ก้านช่อดอกสีขาวครีม มีขนนุ่ม ดอกขนาดเล็ก มีกลิ่นฉุน สีเหลืองอ่อน มีใบประดับขนาดเล็ก มีขน วงกลีบรวม ยาว 0.8 เซนติเมตร มีขนคล้ายเส้นไหม ฐานเป็นหลอดรูประฆังสั้น ๆ ปลายแยก 6 กลีบ ยาว 0.3 เซนติเมตร ผลแบบมีเนื้อ รูปคล้ายรูปไข่ถึงทรงรี ยาว 1 -2 เซนติเมตร สุกมีสีดำ เมล็ดมี 1 เมล็ด (สำนักงานวิจัยและพัฒนาป่าไม้, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.3 อบเชยเทศ (*Cinnamomum verum* J. Presl.)

ที่มา http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_06_11.htm

2.5.2 สรรพคุณ

ตำรายาไทย: น้ำต้มเปลือกต้น ต้มแก้ตับอักเสบ อาหารไม่ย่อย แก้ท้องเสีย ลำไส้เล็กทำงานผิดปกติ ขับพยาธิ มีสรรพคุณบำรุงดวงจิต แก้อ่อนเพลีย ชูกำลัง ขับผายลม บำรุงธาตุ แก้บิด แก้ลมอัมพาต แก้ไข้สันนิบาต ใช้ปรุงเป็นยานัตถ์แก้ปวดหัว รับประทานแก้เบื่ออาหาร แก้จุกเสียด แน่นท้อง อาหารไม่ย่อย แก้ไอ แก้ไข้หวัด ลำไส้อักเสบ ท้องเสียในเด็ก อากาศหัดไม่ว่ากรณใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดื่มน้ำและต้องอยู่ถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณไปใช้

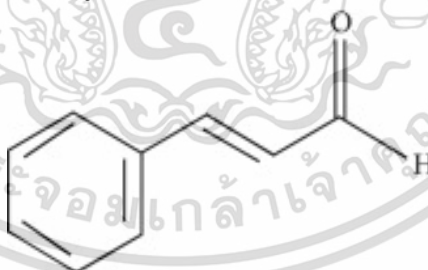
ปวดประจำเดือน แก้อ่อนเพลีย คลื่นไส้อาเจียน แก้วปวดประจำเดือน ห้ามเลือด บดเป็นผงโรยแผล
กามโรค สมานแผล

อบเชยมีการนำมาใช้ในพิกัดยาไทย คือ “พิกัดตรีธาตุ” ประกอบด้วย กระจวาน
ดอกจันทร์ และอบเชย เป็นยาแก้ธาตุพิการ แก้มลม แก้วเสมหะ แก้วไข้ “พิกัดตรีทิพย์รส” คือการจำกัด
จำนวนของที่มีรสดี 3 อย่าง คือโกฐกระดูก เนื้อไม้ และอบเชยไทย มีสรรพคุณบำรุงธาตุ บำรุงกระดูก
บำรุงตับปอดให้เป็นปกติ แก้มลมในกองเสมหะ บำรุงโลหิต “พิกัดจตุวาตะผล” คือการจำกัดจำนวนตัว
ยาแก้มลม ประกอบด้วยผล 4 อย่าง คือ เหง้าชิงแห้ง กระจลำพัก อบเชยเทศ และโกฐหัวบัว มีสรรพคุณ
แก้วไข้ แก้วพรดัก แก้วตรีสมุฏฐาน ขับผายลม บำรุงธาตุ แก้มลมกองริดสีดวง “พิกัดทศกฐาผล” คือการ
จำกัดจำนวนตัวยาตระกูลเดียวกัน 10 อย่าง มีชะเอมทั้ง 2 (ชะเอมไทย ชะเอมเทศ) ลูกผักชีทั้ง 2
(ผักชีล้อม ผักชีลา) อบเชยทั้ง 2 (อบเชยไทย อบเชยเทศ) ลำพันทั้ง 2 (ลำพันแดง ลำพันขาว) ลูกเร่ว
ทั้ง 2 (เร่วน้อย เร่วใหญ่) มีสรรพคุณ แก้วไข้เพื่อดีและเสมหะ ขับลมในลำไส้ บำรุงธาตุ บำรุงปอด แก้ว
รัตตะปิตตะโรค แก้มลมอัมพฤกษ์ อัมพาต บำรุงกำลัง บำรุงดวงจิตให้แจ่มชื่น แก้วไข้ (มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี, ม.ป.ป.)

2.5.3 องค์ประกอบทางเคมี

2.5.3.1 ซินนามัลดีไฮด์ (Cinnamaldehyde)

ซินนามัลดีไฮด์ (Cinnamaldehyde) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตร
 $C_6H_5CH = CHCHO$ (รูปที่ 2.4) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ที่รานส์ (E) isomer ช่วยให้
อบเชยเกิดกลิ่นหอมและกิจกรรมทางชีวภาพต่างๆ (Rao and Gan, 2014) ส่วนประกอบนี้เป็นที่รู้จัก
กันอย่างแพร่หลายในด้านคุณสมบัติด้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ สารต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง ลด
คอเลสเตอรอล และคุณสมบัติกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Pandey et al., 2022)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างซินนามัลดีไฮด์

ที่มา <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323912501000045>

2.5.3.2 ยูจีนอล (Eugenol)

ยูจีนอล (Eugenol) หรือ 4-allyl-2-methoxyphenol (รูปที่ 2.5) เป็นฟีนิลโพรพาน
นอยด์ที่มี guaiacol แทนที่สายโซ่อัลลิล ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีรายงานว่ามียู่
ในพืชหลายชนิด รวมถึงใบโหระพาหรือใบ *Tulsi* (วงศ์กะเพรา), *Eugenia caryophyllata* (กานพลู),
Zingiber officinale (ขิง), เปลือกและใบของ *Cinnamomum verum* (อบเชย), *Curcuma longa*
ไม่ว่ากรณแต่ฯ ทั้งสน ยกทั้งห่ามีมเหตต์แบสงเนยห่า และตองยั้งองเงงเจ้าชองเอกสรวิทุกครั้งทมกรณเใบเ

(ขมิ้น) ตลอดจนพืชที่ให้กลิ่นหอมหลายชนิด เช่น *Cinnamomum verum* (อบเชยแท้) *Ocimum basilicum* (โหระพา) *Myristica fragrans* Houtt (ลูกจันทน์เทศ) และ *Cinnamomum loureirii* Nees (อบเชยญวน) แหล่งตามธรรมชาติที่สำคัญ คือ *Eugenia caryophyllata* (syn *Syzygium aromaticum*) ซึ่งประกอบด้วย 45-90% และอบเชยมี 20-50% (Nisar et al., 2021) ยูจีนอลถูกแยกออกครั้งแรกในปี พ.ศ. 2472 และเริ่มการผลิตเชิงพาณิชย์ในปี พ.ศ. 2483 ใช้งานจำนวนมากในอุตสาหกรรมยา อาหาร การเกษตร และเครื่องสำอาง (Silva et al., 2018) คุณสมบัติทางเภสัชวิทยา มีมากมาย รวมถึงฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต้านการอักเสบ ยาแก้ปวด ปกป้องระบบประสาท ต้านเบาหวาน และต้านมะเร็ง ซึ่งทำให้เป็นส่วนผสมจากธรรมชาติสารพัดประโยชน์ที่ช่วยในการป้องกันและรักษาโรคผิดปกติต่างๆ WHO ได้ประกาศให้ยูจีนอลได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัย (GRAS) และเป็นสารที่ไม่ก่อกลายพันธุ์ (Nisar et al., 2021)



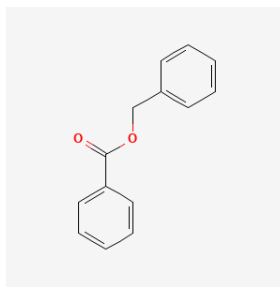
รูปที่ 2.5 โครงสร้างยูจีนอล

ที่มา <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8357497/>

2.5.3.3 เบนซิลเบนโซเอต (Benzyl benzoate)

เบนซิลเบนโซเอต (Benzyl benzoate) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุล $C_{14}H_{12}O_2$ (รูปที่ 2.6) หนึ่งในอนุพันธ์ของ benzyl เป็นส่วนประกอบของเรซินอะโรมาติกสีน้ำตาลในน้ำมันอบเชยและยาแก้ไอ และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ ในอุตสาหกรรมน้ำหอม ยา และอาหาร มันถูกดูดซับและไฮโดรไลซ์เป็นกรดเบนโซอิกและเบนซิลแอลกอฮอล์ (Süloğlu et al., 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

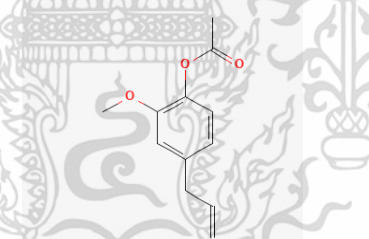


รูปที่ 2.6 โครงสร้างเบนซิลเบนโซเอต

ที่มา <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzyl-Benzoate#section=Structures>

2.5.3.4 ยูจีนิล อะซิเตต (Eugenyl acetate)

ยูจีนิล อะซิเตต (Eugenyl acetate) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{10}H_{14}O_3$ (รูปที่ 2.7) เป็นอะโรมาเอสเทอร์ที่พบได้ทั่วไปในน้ำมันหอมระเหยจากดอกกานพลู (*Syzygium aromaticum*) หน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งยุโรป (EFSA) ประเมินและพิจารณาการใช้ยูจีนิล อะซิเตตที่ปลอดภัยเป็นสารอะโรมาติกในผลิตภัณฑ์อาหาร มีชื่ออยู่ในฐานข้อมูลของสหภาพยุโรปว่าเป็นสารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีคุณสมบัติในการแต่งกลิ่น เป็นที่สนใจทางอุตสาหกรรม เช่น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ยาต้านจุลชีพ และคุณสมบัติต้านมะเร็ง (Santos et al., 2016)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างยูจีนิล อะซิเตต

ที่มา <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Eugenol-acetate#section=Structures>

2.6 อาหารแห้ง

อาหารที่นำมาทำแห้งมีหลายหลาย วัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็นของเหลว ของกึ่งแข็งหรือของแข็ง ให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งอาจเป็นชิ้น เป็นแผ่น หรือเป็นผง ที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการทำแห้งที่เลือกใช้ ตัวอย่างอาหารแห้งที่พบทั่วไป ได้แก่ ผักผลไม้ ถั่วเมล็ดแห้ง นมผง ชา กาแฟ โกโก้ น้ำตาล เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ

เอกสารนี้เป็นอาหารทะเล เห็ด กว๊ายเตี้ยว พาสต้า สมุนไพร เครื่องเทศ วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เป็นต้น

ไม่ว่าก็ตามเนื่องจากกระบวนการอบแห้งอาหารเกี่ยวข้องกับทั้งการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อน มวลที่

ถ่ายเทระหว่างการทำแห้งอาหารส่วนใหญ่คือน้ำที่มีอยู่ในอาหาร ระหว่างการอบแห้ง อาหารจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆขึ้นมากมาย ทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ การทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง ต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้หลังจากการทำแห้ง เช่น การนำมากินตัว (rehydration) ด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปทรง ทั้งยังต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน มีการนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป.)

2.6.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งในระหว่างการเก็บรักษาจะมีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค เป็นระยะเวลาานานเท่าใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา ดังนี้

1. ชนิดและคุณสมบัติของอาหารแห้ง

อาหารแห้งประเภทที่มีไขมันสูง อาหารแห้งประเภทที่มีไขมันสูง โดยเฉพาะไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนมากพอและมีตัวเร่งการเกิดออกซิเดชัน เช่น แสง ความร้อน เป็นต้น ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารแห้งนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดกลิ่นหืนขึ้นได้ นอกจากนี้สารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันยังสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอื่นๆเช่น ทำให้สีซีดจาง ทำลายวิตามินต่าง ๆ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี วิตามินเอ และยังสามรถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งมีผลที่สามารถก่อให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่น โรคมะเร็ง ได้

อาหารแห้งที่ประกอบด้วยน้ำตาลและโปรตีนสูง จะทำให้อาหารแห้งดังกล่าวมีโอกาสเสื่อมเสียคุณภาพจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้สูง ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งเกิดสีน้ำตาล และมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารด้วย

คุณสมบัติในการดูดน้ำ (hygroscopic property) ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการดูดน้ำที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณความชื้น องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของอาหารแห้ง เป็นต้น โดยทั่วไปอาหารแห้งซึ่งที่ลักษณะเป็นชิ้น และอาหารผงจะมีความชื้นต่ำกว่าบรรยากาศปกติ เมื่อเก็บไว้ในภาชนะไม่มิดชิดจะสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปในอาหารได้โดยเฉพาะในอาหารแห้งที่ประกอบด้วยสารที่ดูดน้ำได้ดี เช่น น้ำตาล เกลือ และกรดจะทำให้ดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งทำให้อาหารแห้งสามารถเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพในแง่ต่าง ๆ เช่น เนื้อสัมผัสไม่กรอบ รูปร่างหดเหี่ยว เกิดการเกาะกลุ่มเป็นก้อนที่มักพบในอาหารผงประเภทต่าง ๆ ได้แก่ นมผง กาแฟผง และน้ำผลไม้ผง เป็นต้น นอกจากนี้โครงสร้างของอาหารแห้งนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณสมบัติในการดูดน้ำของ อาหารแห้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยพบว่า อาหารแห้งที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เย็นทำให้มีโครงสร้างเอกสารนี้เป็นรูปพรุนมาก ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการดูดน้ำจากความชื้นในบรรยากาศโดยรอบอีกด้วย ดังนั้นเมื่อไม่ว่ากาอาหารผ่านกระบวนการอบแห้งเรียบร้อยแล้ว ควรมีการบรรจุในภาชนะที่สามารถป้องกันการซึมผ่าน

ของไอน้ำโดยเร็วที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการดูดซึมของน้ำเข้าไปในอาหารซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของอาหารแห้ง

2. สภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาอาหารแห้ง

ความชื้นสัมพัทธ์และออกซิเจนในบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีปริมาณความชื้นและค่า aw ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ดังนั้นถ้าเก็บไว้ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศทั่วไป หรือในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ทำให้อาหารแห้งดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบได้ซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพทางกายภาพ เช่น ทำให้อาหารไม่กรอบ เนื้อสัมผัสนิ่ม และเกาะกันเป็นก้อนได้ นอกจากนี้การเก็บอาหารแห้งในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ก็มีผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหารแห้งเช่นกัน เนื่องจากก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เป็นผลให้เกิดกลิ่นหืนและทำลายของคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร เช่น วิตามินบางชนิดในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งได้

อุณหภูมิและแสงในขณะเก็บรักษา โดยทั่วไปถ้าเก็บอาหารแห้งไว้ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คุณภาพของอาหารแห้งเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายขึ้นและมีอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้นลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารแห้งนั้นเกิดได้เร็วขึ้น เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น นอกจากนี้แสงก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแห้ง โดยแสงจะมีผลในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นกัน

สัตว์ แมลง จุลินทรีย์และสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ขณะเก็บรักษาอาหารแห้ง หากมีสัตว์เช่น หนู และแมลงต่าง ๆ กัดแทะ ทำให้เกิดความเสียหายแก่อาหารแห้งได้ นอกจากนี้การเก็บรักษาอาหารแห้งไม่ถูกวิธีจนสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละอองต่าง ๆ และจุลินทรีย์สามารถปนเปื้อนในอาหารแห้งได้ ก็สามารถทำให้คุณภาพของอาหารแห้งด้อยลงหรือก่อให้เกิดการเสื่อมเสียให้กับผลิตภัณฑ์ได้ (วิภาดา, 2537)

2.6.2 ประเภทของอาหารแห้ง

อาหารแห้งประเภทที่ 1 อาหารกระป๋อง ไม่ว่าจะเป็นเนื้อสัตว์ ผัก-ผลไม้ ถั่วหรือธัญพืช ในรูปแบบการบรรจุด้วยกระป๋องก็สามารถส่งออกได้ หรือแม้แต่อาหารของสัตว์เลี้ยงอย่างเช่น หม่า, แมว เป็นต้น

อาหารแห้งประเภทที่ 2 อาหารเส้นสำเร็จรูปและผงสำเร็จรูป ตัวอย่างเช่น เส้นมามาเส้นก๋วยเตี๋ยว โจ๊ก ทั้งแบบซองและแบบถ้วย ก็จัดอยู่อาหารแห้งประเภทนี้

อาหารแห้งประเภทที่ 3 ผลไม้แปรรูป โดยผ่านกรรมวิธีแปรรูปต่างๆ อย่างการหมัก การดอง การกวน หรือการอบกรอบที่นิยมในปัจจุบัน ซึ่งสินค้าประเภทนี้ ได้รับความนิยมในการส่งออกสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
อาหารแห้งประเภทที่ 4 ผงปรุงรสและเครื่องปรุงประกอบอาหาร เป็นสิ่งที่คนไทยขาดไม่ได้ เนื่องจากรสชาติอาหารของไทยที่มีความจัดจ้าน รสชาติถึงเครื่อง แต่เมื่อเทียบกับ

ต่างประเทศที่มีรสชาติอาหารที่จัด คนไทยจึงนิยมส่งออกผงบุงรสและเครื่องปรุงประกอบอาหารไปต่างประเทศ ตัวอย่างเช่น โลโบ้ आयिโนะโมะโตะ เป็นต้น

อาหารแห่งประเภทที่ 5 เครื่องดื่มชนิดผง ตัวอย่างเช่น ผงกาแฟ ผงโกโก้ ผงชานม ที่ในปัจจุบันเป็นที่นิยมส่งออกไปต่างประเทศเป็นอย่างมาก

อาหารแห่งประเภทที่ 6 น้ำพริกและน้ำจิ้ม สำหรับคนไทยแล้วอาหารที่สามารถทานคู่กับข้าวสวยร้อนๆได้นั้น ก็คงขาดน้ำพริกรสชาติเด็ดของไทยไปไม่ได้ ที่ทั้งถูกปากคนไทยและชาวต่างชาติ

อาหารแห่งประเภทที่ 7 อาหารทะเลอบแห้ง ตัวอย่างเช่น ปลาแห้ง กุ้งแห้ง ปลาหมึกอบแห้ง ที่สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายเมนู

อาหารแห่งประเภทที่ 8 ถั่วและธัญพืช เป็นสินค้าถั่วานาชนิด ที่อุดมไปด้วยคุณประโยชน์อย่างมาก ที่สามารถนำไปประกอบอาหาร หรือทานเล่น

2.7 แบคทีเรียก่อโรคในอาหาร

จุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร หมายถึง จุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส พยาธิและโปรโตซัว ที่ก่อให้เกิดโรคในคน โดยผ่านทางอาหารหรือน้ำเป็นหลัก ซึ่งอาหารที่มีการปนเปื้อนของเซลล์จุลินทรีย์ก่อโรคหรือสารพิษ จะทำให้ผู้บริโภคเจ็บป่วย จากโรคที่เกิดจากอาหาร โดยสามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ โรคอาหารเป็นพิษ โรคติดเชื้อจากอาหารและโรคจากสารพิษ ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นในร่างกายมนุษย์ (ศนิ, 2560)

อาหารที่เราบริโภคกันในปัจจุบัน มักปนเปื้อนจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียจากแหล่งต่างๆ ที่พวกมันอาศัยอยู่ ตัวอย่างเช่น จากพืชผักผลไม้ สัตว์ น้ำเสีย ดิน อากาศ การสัมผัสและกระบวนการผลิต ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีการปนเปื้อนจากแหล่งอื่นๆอีกมากมาย โดยแบคทีเรียก็จะมีชนิดที่แตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมนั้นๆด้วย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในที่นี้เฉพาะแบคทีเรียที่ทำให้อาหารสดเน่าเสีย ซึ่งเชื้อที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

2.7.1 *Escherichia coli*

เชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น (Normal flora) ที่พบได้ในลำไส้ของคนและยังอาศัยอยู่ในสัตว์ เช่น สุกร โค กระบือ เป็นต้น โดยปกติจะไม่ทำอันตรายหรือก่อโรคร้ายแรง เมื่ออยู่ในลำไส้จะช่วยย่อยอาหารที่เรารับประทานเข้าไป แต่หากเชื้อ *E. coli* ลูกกล้าเข้าสู่ระบบต่างๆ ของร่างกายก็จะทำให้เกิดโรคติดเชื้อรุนแรง เช่น โรคติดเชื้อระบบทางเดินปัสสาวะ โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบและการติดเชื้อในกระแสเลือด เป็นต้น และมี บางสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วงได้ โดยการปนเปื้อนของเชื้อในอาหารหรือน้ำดื่ม อาจเกิดจากเชื้อจะถูกขับออกมาจากอุจจาระสัตว์ถ้าสัตว์ถ่ายอุจจาระลงดินหรือแหล่งน้ำ ซึ่งใช้เป็นแหล่งเพาะปลูกหรืออุปโภค บริโภค ทั้งนี้เชื้อ *E. coli* ที่สามารถก่อโรคอุจจาระร่วง (Diarrheagenic *E. coli*) จะมีกลไกการก่อโรคและสามารถสร้างสารพิษได้แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ เช่น เชื้อ Enterotoxigenic *E. coli* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษ enterotoxin ทำให้เกิด

อาการท้องร่วงแบบเฉียบพลัน ถ่ายเหลวเป็นน้ำ หรือเชื้อ Enterohaemorrhagic *E. coli* ที่สร้างสารพิษ Shiga ทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง ถ่ายเป็นมูกเลือด ก่อให้เกิดกลุ่มอาการเม็ดเลือดแดงแตกและไตวายเฉียบพลัน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข, 2557)

2.7.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa อยู่ใน family Pseudomonadaceae เป็นแบคทีเรียรูปร่างแท่ง แกรมลบ มี flagella ที่ขั้ว ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต เมื่อเจริญเติบโตในอาหารที่เหมาะสม เชื้อจะผลิต non-fluorescent bluish pigment pyocyanin มีหลายสายพันธุ์ผลิต fluorescent green pigment pyoverdine ด้วย *Pseudomonas aeruginosa* เหมือน *fluorescent Pseudomonas* สายพันธุ์อื่นๆ ที่ผลิต catalase, oxidase และแอมโมเนียจาก arginine และสามารถเจริญเติบโตโดยใช้ citrate เป็นแหล่งคาร์บอน เพียงแหล่งเดียว สามารถพบได้ในอุจจาระ ดิน น้ำ สิ่งปฏิกูล สามารถเพิ่มจำนวนได้ในน้ำ และพื้นผิวอินทรีย์ที่เหมาะสมที่มีการสัมผัสกับน้ำ *P. aeruginosa* เป็นสาเหตุของการติดเชื้อในโรงพยาบาล ด้วยภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรง เข้าสู่ร่างกายได้ด้วยการสัมผัสเนื้อเยื่ออ่อนบาง บาดแผล และเยื่อเมือก ด้วยน้ำหรือ เครื่องมือผ่าตัดที่มีการปนเปื้อนเชื้อ การทำความสะอาด contact lenses ด้วยน้ำที่มีการปนเปื้อนเป็นสาเหตุของการเกิดโรคกระจกตาอักเสบ (keratitis) การดื่มน้ำไม่ได้เป็นช่องทางสำคัญของการติดเชื้อ (สำนักสุขภาพอาหารและน้ำ, ม.ป.ป.)

2.7.3 *Salmonella typhimurium*

Salmonella เป็นแบคทีเรีย ที่มีลักษณะรูปท่อน เคลื่อนที่โดยใช้แฟลเจลลารอบเซลล์ ต้องการออกซิเจนในการเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตประมาณ 37 องศาเซลเซียส ช่วง pH ในการเติบโตอยู่ระหว่าง 4.1-9.0 ส่วนค่า aw (ปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการเติบโต) ต่ำสุดสำหรับการเติบโตประมาณ 0.93-0.95 เชื้อ *Salmonella* มีความสามารถในการทนความร้อนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์และผลจากสิ่งแวดล้อมในการเติบโต สามารถติดต่อจากสัตว์มาสู่คนและสัตว์อื่น ๆ เช่น หนู สัตว์ปีก แมลง วัว ควาย สุนัข แมว และม้า เป็นต้น สำหรับการติดเชื้อในคนนั้นส่วนมากจะได้รับเชื้อปะปนมากับน้ำและอาหาร และบางครั้งอาจเกิดจากสัตว์เลี้ยงที่อาศัยตามอาคารบ้านเรือน ซึ่งเป็นพาหะของเชื้อหรือหากมีผู้ป่วยเป็นโรค salmonellosis ทำงานที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารแล้วมีสุขลักษณะส่วนบุคคลที่ไม่ดีพอ เช่น ไข่เล็บบยาว และหลังจากกลับจากห้องน้ำมิได้มีการล้างมือให้สะอาดเสียก่อน และเป็นแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่ร่างกายได้ โดยรับประทานอาหารที่มีเชื้อซาลโมเนลลาปนเปื้อน ได้แก่ อาหารประเภทเนื้อ เช่น พายเนื้อ ไส้กรอก แฮม เบคอน แชนวิช และมักเป็นอาหารที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังพบใน เนื้อ ไข่ นมและผลิตภัณฑ์ ปลาและอาหารทะเลที่ไม่ได้ผ่านความร้อนอย่างเพียงพอ อาหารสุกๆดิบๆ ไม่ว่าจะเป็นแฮม ลาบ ยำ ปูเค็ม ปูดอง ผักสด (สถาบันอาหาร

กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis เป็นแบคทีเรีย (bacteria) รูปร่างเป็นท่อน (rod shape) ย้อมติดสีแกรมบวก (gram positive bacteria) อยู่ในวงศ์ *Bacillaceae* สามารถสร้างแคปซูล (capsule) ได้ และสามารถสร้างสปอร์ (bacterial spore) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญได้ดี สามารถพบทั่วไปในดิน ในน้ำ ในพืช (พืชมัพีญ และนิธิยา, ม.ป.ป.)

2.7.5 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะกลม เรียงตัวเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น หรือ เป็นคู่หรือเป็นสายสั้นๆ ไม่เคลื่อนที่ โคลินีสีเหลืองหรือสีทอง เจริญเติบโตได้ดีในสภาพมีออกซิเจนมากกว่าในสภาพไม่มีออกซิเจน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเติบโตคือ 35-40 องศาเซลเซียส ช่วง pH หรือความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเติบโตอยู่ที่ 7-7.5 ส่วนค่า aw (ปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้ใน การเติบโต) ต่ำสุดสำหรับการเติบโตในสภาพมีออกซิเจนประมาณ 0.86 สภาพไม่มีออกซิเจน ประมาณ 0.90 สามารถพบได้ในอากาศ ฝุ่นละออง ขยะมูลฝอย น้ำ อาหารและนม หรืออาหารบรรจุเสร็จ สภาพแวดล้อมภายนอกมนุษย์และสัตว์ เป็นแหล่งของเชื้อชนิดนี้โดยจะพบอยู่ตาม ทางเดินหายใจ ลำคอ หรือ เส้นผมและผิวหนังถึง 50 % หรือมากกว่านี้ในคนที่มีสุขภาพดี และอาจพบเชื้อชนิดนี้ 60-80 % ในผู้ที่สัมผัสโดยตรงกับผู้ป่วยหรือผู้ที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมในโรงพยาบาล ตลอดจนผู้ประกอบอาหาร รวมทั้งในขั้นตอนของการบรรจุและสภาพแวดล้อมภายนอกนับเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่ง คือ การเก็บอาหารไว้ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมเป็นผลให้อาหารที่มีการปนเปื้อนอยู่แล้ว มีการเพิ่มจำนวนของเชื้อและสร้างสารพิษได้อย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ร่างกายได้จากการรับประทานอาหารที่มีเชื้อปนเปื้อน อาหารที่มักพบเชื้อปนเปื้อนได้แก่ เนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ เนื้อสัตว์ปีกและผลิตภัณฑ์จากไข่ อาหารประเภท สลัดเช่น ไข่ ทูน่า เนื้อไก่ มันฝรั่ง และมักกะโรนี ผลิตภัณฑ์นมอบ ครีมพาย แอแคลร์ ซ็อกโกแลต แชนวิช และผลิตภัณฑ์นม ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิไม่เหมาะสม และเก็บไว้เป็นเวลานานก่อนรับประทาน และ *S. aureus* บางสายพันธุ์ผลิตสารพิษที่ เรียกว่า เอนเทอโรทอกซิน ทำให้อาหารเป็นพิษ เอนเทอโรทอกซินที่ ผลิตมีหลายชนิด แต่ชนิดที่พบว่าทำให้เกิดอาหารเป็น พิษบ่อยคือ ชนิดเอและดี โดยช่วงอุณหภูมิที่ เชื้อผลิตเอนเทอโรทอกซินอยู่ระหว่าง 15.6 และ 46.1 องศาเซลเซียส และผลิตได้ดีที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (สถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

2.7.6 *Micrococcus luteus*

Micrococcus luteus แบคทีเรียแกรมบวก ไม่เคลื่อนที่ และไม่สร้างสปอร์ โคลินีสีลักษณะกลม สีเหลือง นูนและเรียบ ต้องการออกซิเจนในการเจริญ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 25-30 องศาเซลเซียส ทั่วไปแล้วจะเป็น saprophyte ที่ไม่เป็นอันตราย แต่ก็สามารถทำหน้าที่เป็นเชื้อโรคที่ฉวยโอกาสได้ มีความเกี่ยวข้องกับโรคต่างๆ เช่น เยื่อหุ้มสมองอักเสบ โรคข้ออักเสบติดเชื้อ เยื่อหูอักเสบ การติดเชื้อทางผิวหนังเรื้อรังในผู้ป่วยที่ติดเชื้อ HIV และการติดเชื้อจากสายไม่ว่ากาสวน สามารถพบบนผิวหนังของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่นๆ นอกจากนี้ยังแยกได้จากอาหาร

เช่น นม ชีสแพะ และปลาหมึกสำหรับ (Microbiologiblog, 2015) และในปี พ.ศ. 2546 มีการเสนอให้ จัดประเภท *M. luteus* สายพันธุ์ ATCC 9341 เปลี่ยนชื่อใหม่เป็น *Kocuria rhizophila* (Tang and Gillevet, 2003)

2.8 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ปิลันธนา และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกอบเชยเทศถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางยา อาหาร และเครื่องสำอางมาเป็นเวลานาน น้ำมันจากเปลือกอบเชยเทศประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยสารสำคัญที่พบมากคือ cinnamaldehyde จากรายงานการวิจัยพบว่า น้ำมันจากเปลือกอบเชยเทศมีฤทธิ์ต้านจุลชีพอย่างกว้างขวางเมื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวก และแกรมลบ เช่น *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* ฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Candida albicans* และเชื้อราในจีนัส *Aspergillus* และฤทธิ์ต้านปรสิตคือฤทธิ์ฆ่าเหาตัวเมียและไข่เหา น้ำมันจากเปลือกอบเชยเทศจัดเป็นสารที่มีความเป็นพิษปานกลางเมื่อให้โดยการรับประทานและก่อให้เกิดการระคายเคืองผิวหนังปานกลางเมื่อให้ทางผิวหนัง โดยไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์เมื่อทดสอบในแบคทีเรีย แต่รายงานการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเภสัชภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมันจากเปลือกอบเชยเทศและการศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพของเภสัชภัณฑ์ดังกล่าวในปัจจุบันยังคงมีจำกัด จึงควรมีการศึกษาทางคลินิกเพิ่มเติม เพื่อให้ทราบขนาดของน้ำมันจากเปลือกอบเชยเทศในรูปแบบเภสัชภัณฑ์ต่างๆที่ให้ผลการรักษาในมนุษย์โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษเมื่อให้โดยการรับประทาน และไม่ก่อให้เกิดการแพ้ระคายเคือง

เจิมขวัญ และคณะ (2557) ได้การศึกษาสมบัติของฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้ม 2 ระดับความเข้มข้นคือ 0.7 และ 1.4 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มโคโตซานที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มพบว่าฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้ม 1.4 เปอร์เซ็นต์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นแต่ความแข็งแรงและอัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง เป้าหมายของการศึกษานี้คือการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากส้มเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเค้กเนยรสส้ม โดยศึกษาผลของการยับยั้งการเกิดเชื้อราบนเค้กเมื่อเปรียบเทียบการห่อเค้กเนยรสส้มด้วยฟิล์มโคโตซานที่ไม่ได้ผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มกับฟิล์มโคโตซานที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้ม 0.7 และ 1.4% ซึ่งเค้กทั้งหมดถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าเค้กที่ห่อด้วยฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้ม 1.4% มีเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด และมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด จากการสังเกตการปรากฏของเชื้อราบนผิวเค้กทุกวัน พบว่าเค้กที่ห่อด้วยฟิล์มยัด ฟิล์มโคโตซาน ฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มที่ระดับความเข้มข้น 0.7 และ 1.4% มีอายุการเก็บรักษา 2, 4, 7 และมากกว่า 10 วันตามลำดับฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มที่ระดับความเข้มข้น 1.4%

เอกสารนี้ให้ผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีที่สุดสรุปได้ว่าน้ำมันหอมระเหยจากส้มทำให้ฟิล์มมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่ดีขึ้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเค้กส้มได้ยาวนานขึ้นและให้ผลทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับ

วัชรวดี และคณะ (2563) ได้ศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มไคโตซานที่ผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากเทพทาโร เพื่อนำไปสู่การทำงานต้นแบบฟิล์มถนอมอาหาร โดยเลือกเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *Staphylococcus aureus* และเชื้อ *Escherichia coli* มาใช้ในการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังกล่าว ผลที่ได้ พบว่า ค่าระดับการบวมตัวของต้นแบบแผ่นฟิล์มยัดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำมันหอมระเหยในฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น โดยการผสมกันของไคโตซานและน้ำมันหอมระเหยสามารถเพิ่มความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ที่ดีขึ้นแบบมีนัยสำคัญอย่างไรก็ตามมีเพียงสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.5 % (W/V) เท่านั้นที่เหมาะสมกับการนำไปทดสอบการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม

Chang et al. (2019) ได้ทำการศึกษาฟิล์มไคโตซานวิธีการหล่อและปรับสภาพให้เป็นกลางด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยแช่ในสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 0, 1, 5, 10% เป็นเวลา 10 วินาที, 50 วินาที หรือ 90 วินาที พบฟิล์มไคโตซานที่ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลาย NaOH 10% เป็นเวลา 90 วินาทีที่มีประสิทธิภาพในการกั้นน้ำและออกซิเจนได้ดีที่สุด ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนใหม่ในสายไคโตซานโดยเป็นการลดโปรตอนของหมู่อะมิโน ซึ่งเพิ่มความแน่นของฟิล์ม

Lian et al. (2019) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีความสมดุลระหว่างชอบน้ำ-ไลโปฟิลิก (HLB) ที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางกายภาพ โครงสร้าง และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยในฟิล์มคอมโพสิตไคโตซาน เตรียมฟิล์มคอมโพสิตที่มีอิมัลซิไฟเออร์สี่ตัวที่มีค่า HLB ต่างกัน : DATEM (HLB: 8–9.2), Tween 85 (HLB: 11), Tween 80 (HLB: 15) และ Tween 20 (HLB: 16.7) ผลการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคของน้ำมันหอมระเหยในสารละลายขึ้นรูปฟิล์มลดลงเมื่อค่า HLB ของอิมัลซิไฟเออร์เพิ่มขึ้น กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสะท้อนให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของน้ำมันหอมระเหยในฟิล์มคอมโพสิตขึ้นอยู่กับชนิดและ HLB ของอิมัลซิไฟเออร์ การเติมอิมัลซิไฟเออร์ช่วยลดการซึมผ่านของไอน้ำและความต้านทานแรงดึงของฟิล์ม แต่ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ การปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากฟิล์มและฤทธิ์ต้านจุลชีพของฟิล์มไม่มีความสัมพันธ์กับ HLB ของอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย ชนิดของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาระหว่างอิมัลซิไฟเออร์และเมทริกซ์ฟิล์มความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำกว่า (เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มควบคุม) การยืดตัวที่สูงกว่าและการมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ (*E. coli*) พบได้ในฟิล์มคอมโพสิต Tween 85 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการผลิตฟิล์มคอมโพสิต

Wang et al. (2019) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางแสง สัณฐานวิทยา ด้านเชื้อแบคทีเรีย และทางกายภาพของฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวโพด มีการเติมน้ำมันหอมระเหยจากใบไผ่ในระดับต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น 0.5, 1, 2% พบว่าเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยจากใบไผ่ความหนา (TC) และการยืดตัวเมื่อขาด (EAB)

ของฟิล์มที่ใช้แบ่งข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยจาก 0.121 เป็น 0.207 มม. แต่มีการลดลงของปริมาณความชื้น (MC) จาก 13.12 เป็น 11.41% ความสามารถในการละลายน้ำลดลงจาก 30.58 เป็น 26.95% ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) จาก 3.91 เป็น 3.05 $\text{gmm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ และความต้านทานแรงดึงจาก 20.64 ถึง 10.68 MPa นอกจากนี้พบว่าฟิล์มที่ทำจากแบ่งข้าวโพดที่มีน้ำมันหอมระเหยจากใบไผ่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ดีต่อแบคทีเรียแกรมบวกและลบ และผลกระทบต่อแกรมบวกมีมากกว่า

Lee et al. (2021) ได้ทำการศึกษาฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพต้านจุลชีพ โดยใช้วุ้น (AG) และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นวัสดุโพลีเมอร์เมทริกซ์ และน้ำมันเปลือกอบเชย (CBO) เป็นสารต้านจุลชีพ ผสม AG และ PVA ด้วยอัตราส่วนการผสมที่แตกต่างกัน การเพิ่ม AG ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการกักน้ำโดยรวมของฟิล์มคอมโพสิต เพื่อประเมินผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ต่อจลนศาสตร์การปลดปล่อยของ CBO จากฟิล์ม ได้วิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการปลดปล่อย CBO ภายใต้อุณหภูมิและ RH รวมกัน 9 แบบ จากนั้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ได้รับได้ดำเนินการโดยใช้แบบจำลอง Peleg, Ritger-Peppas และ Peppas-Sahlin เพื่อตรวจสอบกลไกการปลดปล่อยของ CBO อัตราการปลดปล่อย CBO จึงเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนกับอุณหภูมิและ RH โดยที่ RH เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของการปลดปล่อยของ CBO การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพในหลอดทดลองกับแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบแสดงให้เห็นว่าฟิล์มคอมโพสิตที่พัฒนาแล้วมีความสามารถในการนำไปใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารต้านจุลชีพสูง

Al-Mijalli et al. (2023) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและสารต้านอนุมูลอิสระของ *Cinnamomum verum* (EO) โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใช้วิธีการเสริมสามวิธี ได้แก่ การตรวจวิเคราะห์ DPPH, ABTS และ FRAP วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย GC-MS และทดสอบต้านจุลชีพหลายชนิด คือ *Kocuria rhizophila*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella aerogenes*, *Salmonella enterica*, *Penicillium expansum*, *Candida albicans* และ *C. tropicalis* ผลการศึกษาพบว่า *C. verum* (EO) มีซินนามัลดีไฮด์ ไดเมทิล อะซีตัล (64.53%), ซินนามิก อัลดีไฮด์ (35.36%) และ α -โคเพน (0.11%) เป็นองค์ประกอบและมีประสิทธิภาพในการต้านจุลชีพในวงกว้างอย่างมีนัยสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ทดสอบ โดยแบคทีเรียมีโซนการยับยั้งตั้งแต่ 32.36 ± 2.42 ถึง 13.9 ± 1.47 มิลลิเมตร และเชื้อรา 22.13 ± 2.25 ถึง 15.26 ± 0.73 มิลลิเมตร และค่าความเข้มข้นในการยับยั้งขั้นต่ำ (MIC) ความเข้มข้นในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียขั้นต่ำ (MBC) และความเข้มข้นของการฆ่าเชื้อราขั้นต่ำ (MFC) มีค่าต่ำตั้งแต่ 0.031 ถึง 1.0% และการตรวจสอบเภสัชพลศาสตร์และเภสัชจลนศาสตร์ของ *C. verum* (EO) เพิ่มเติมพบว่าอาจมีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารและยาหลายชนิด โดยเป็นแหล่งใหม่สำหรับสารกันบูดตามธรรมชาติ สารต้านจุลชีพ และสารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Khanjari et al. (2023) ได้ทำการศึกษาผลของฟิล์มกรดโพลีแลกติกที่มีความเข้มข้นต่างกันของ น้ำมันหอมระเหย *Cinnamomum verum* (CVEO) ต่อเกณฑ์จุลินทรีย์ เคมี และประสาทสัมผัสของเนื้อมันฝรั่ง ได้รับการประเมินระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 วัน พบว่าฟิล์ม PLA ที่มี CVEO มีฤทธิ์ยับยั้ง *L. monocytogenes* มากกว่า *E. coli* O157:H7 และจำนวนแบคทีเรียแอโรบิกทั้งหมด แบคทีเรียเอนเทอโรแบคทีเรียของตัวอย่างที่ห่อด้วยฟิล์ม PLA ที่มี CVEO 0.6 และ 0.9 % ไม่ถึง 7 log CFU/g ในระหว่างการเก็บรักษา และการใช้ฟิล์ม PLA ที่มีความเข้มข้นของ CVEO ต่างกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในลักษณะทางประสาทสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

- 1) ไคโตซาน
- 2) เจลาติน
- 3) น้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ
- 4) กลีเซอรอล
- 5) สารละลายกรดอะซิติก
- 6) Tween80
- 7) อาหารเลี้ยงเชื้อ
- 8) กุ้งแห้ง

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate Stirrer)
- 2) บีกเกอร์
- 3) อัลตราโซนิก โฮโมจีไนเซอร์ (Ultrasonic Homogenizer)
- 4) ถาด
- 5) เครื่องชั่ง
- 6) ตู้แช่
- 7) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)
- 8) ถังพลาสติก
- 9) ไมโครมิเตอร์
- 10) moisture can
- 11) โถดูดความชื้น
- 12) เครื่องวิเคราะห์พื้นผิว
- 13) เครื่องวัดสี
- 14) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.1.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ทดสอบ

- 1) *Escherichia coli* TISTR 074
- 2) *Pseudomonas aeruginosa* TISTR 2370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) *Staphylococcus aureus* TISTR 746

6) *Micrococcus luteus* TISTR 3274

3.2 การเตรียมสารละลายฟิล์มและการขึ้นรูป

เตรียมสารละลายกรดอะซิติก 0.5% (w/v) โดยการใส่กรดอะซิติกบริสุทธิ์ลงในน้ำปราศจากไอออนจากนั้นใส่เจลาติน 2% (w/v) คนเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปิดเครื่องให้ความร้อน ใส่โคโตซาน 1% (w/v) คนต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่กลีเซอรอล 10% (v/w) คนเป็นเวลา 20 นาที ใส่ Tween80 0.2% ของน้ำมันหอมระเหยอบเซย และใส่น้ำมันหอมระเหยอบเซยเทศจนถึงความเข้มข้นสุดท้ายที่ 0.5% 0.7% 0.9% (v/w) และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเซยเป็นตัวควบคุม (control) คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที ที่ความเร็ว 1500 rpm จากนั้นทำ Emulsion ด้วย Ultrasonic Homogenizer ทำการกรอง จากนั้นเทสารละลายลงถาด อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชำระคืน แล้วเก็บฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (สมหวัง และชนิษฐา, 2562.)

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.3.1 ความหนาของฟิล์ม

วัดความหนาของฟิล์ม โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ สุ่มตัวอย่างฟิล์ม 10 ตำแหน่ง และหาค่าเฉลี่ย

3.3.2 การซึมผ่านของไอน้ำ

ตรวจสอบการซึมผ่านของไอน้ำของตัวอย่างฟิล์ม โดยยึดติดฟิล์มเข้ากับปากถ้วยที่บรรจุแคลเซียมคลอไรด์แอนไฮดรัสปราศจากน้ำ (anhydrous calcium chloride) จากนั้นวางถ้วยในโถดูดความชื้นที่มีน้ำเพื่อรักษาความชื้น 100 % ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักถ้วยทุกๆ 12 ชั่วโมง (Zhang et al., 2023)

คำนวณหาการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ดังสมการ

$$WVP = \{(\Delta W \times X) / (t \times A \times \Delta p)\}$$

โดยที่ Δw คือการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถ้วย (กรัม)

X คือความหนาของฟิล์มโดยเฉลี่ย (เมตร)

t คือเวลา (วินาที)

A คือพื้นที่ผิวสัมผัสของฟิล์ม (ตารางเมตร)

Δp คือความแตกต่างของแรงดันไอน้ำจากทั้งสองด้านของฟิล์ม (3167.1 Pa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ความสามารถในการละลายน้ำ

วิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำ โดยตัดฟิล์มขนาด 2×2 เซนติเมตร นำไปอบในเตาอบ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นวางนำฟิล์มมาใส่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและเขย่าเป็นครั้งคราว แล้วนำฟิล์มที่เหลือไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (Khan et al., 2023)

คำนวณความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม ดังสมการ

$$WS(\%) = (W_1 - W_2) / W_1$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักของฟิล์มก่อนแช่น้ำ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของฟิล์มหลังแช่น้ำ (กรัม)

3.3.4 คุณสมบัติทางกล

การพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลซึ่งรวมถึงความทนต่อแรงดึง (TS) และค่าการยืดตัวก่อนขาด (EAB) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นผิว ตัดฟิล์มที่ให้ขนาด 2×6 เซนติเมตร จากนั้นยึดติดกับด้ามจับของเครื่องวิเคราะห์

3.3.5 ค่าสีและความทึบแสง

วัดค่าสีของฟิล์มด้วยเครื่องวัดสีที่แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ตามลำดับ โดยแสดงค่าดังต่อไปนี้ ความสว่าง (0-100), เขียว/แดง (-60 ถึง +60) และสีน้ำเงิน/เหลือง (-60 ถึง +60) และวัดความทึบแสงของฟิล์มด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 600 นาโนเมตร โดยตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นสี่เหลี่ยม (50×5 มิลลิเมตร) แล้วติดที่ด้านบนของ Q-quartz (Zhang et al., 2023) จากนั้นคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{Transparency value} = A / X$$

โดยที่ A คือค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร

X คือความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

3.4.1 วิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุในแผ่นฟิล์ม (XRF)

เตรียมฟิล์มขนาด 4×4 นิ้ว จากนั้นวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเครื่อง Micro-XRF รุ่น M4 Tornado ร่วมกับใช้เทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโตรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน โดยใช้วิธี Mapping analysis ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยใช้ลำอิเล็กตรอนส่องกราดบนพื้นผิวตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นภาพแสดงลักษณะการกระจายของธาตุนบนพื้นผิวนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทดสอบคุณสมบัติทางชีวภาพ

3.5.1 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Agar disc diffusion

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มต่อเชื้อ *Escherichia coli* TISTR 074, *Pseudomonas aeruginosa* TISTR 2370, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311, *Bacillus subtilis* TISTR 1248, *Staphylococcus aureus* TISTR 746 และ *Micrococcus luteus* TISTR 3274 ด้วยวิธี Agar disk diffusion โดยนำเชื้อแบคทีเรียผสมกับน้ำเกลือที่ปราศจากเชื้อ (normal salt saline) 0.85% ปรับความขุ่นเท่ากับ McFarland standard No. 0.5 (ปริมาณเชื้อ 1.5×10^8 CFU/ml) ใช้ไม้พันสำลีปลอดเชื้อจุ่มลงในสารแขวนลอยแบคทีเรีย ทำการทา (swab) ให้ทั่วผิวหน้าอาหารแข็งด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ตั้งทิ้งไว้ 3-5 นาที จากนั้นนำฟิล์มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อภายใต้รังสียูวีเป็นเวลาประมาณ 30 นาที วางลงบนผิวหน้าอาหารแข็ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำไปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง (Khanjari et al., 2023)

3.5.2 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี JIS Z 2801:2000 (มาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียบนพื้นผิววัสดุ)

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มต่อเชื้อ *E. coli* TISTR 074, *P. aeruginosa* TISTR 2370, *S. typhimurium* ATCC 13311, *B. subtilis* TISTR 1248, *S. aureus* TISTR 746 และ *M. luteus* TISTR 3274 โดยเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหาร Trypticase soy agar (TSA) แล้วนำมาเตรียมสารแขวนลอยตะกอนแบคทีเรียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่ความเข้มข้น 1.5×10^6 CFU/ml จากนั้นนำสารแขวนลอยแบคทีเรียหยดลงบนฟิล์มขนาด 1×1 เซนติเมตร ที่ฆ่าเชื้อภายใต้รังสียูวีเป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วปิดทับด้วยพลาสติกที่ปลอดเชื้อ วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ชะล้างบนแผ่นฟิล์ม เจือจาง 10 เท่า กระจายลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับปริมาณโคโลนีแบคทีเรียและคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรียโดยคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$R = \{ (U_t - U_c) / U_c \} \times 100\%$$

โดยที่ R คือ กิจกรรมการยับยั้งจุลินทรีย์

U_t คือ จำนวนโคโลนีแบคทีเรียเป็นชุดควบคุม(เซลล์/มิลลิลิตร)

A_t คือ จำนวนโคโลนีแบคทีเรียบนเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทดสอบฟิล์ม (เซลล์/มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVA) หลังการเก็บรักษาถุงแห้งด้วยฟิล์ม

ทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ถุงแห้งเป็นตัวแทนอาหารแห้ง โดยห่อถุงแห้งด้วยฟิล์ม แบ่งเป็นกลุ่มควบคุมคือฟิล์มที่ไม่ผสมน้ำมันหอมระเหย และกลุ่มตัวอย่างคือฟิล์มที่ผสมน้ำมันหอมระเหย จากนั้นเก็บอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์เป็นเวลา 15 วัน โดยวิเคราะห์ทุก 3 วัน

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count) ในถุงแห้งโดยชั่งถุงแห้ง 5 กรัม ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำเกลือ 45 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องตีปั่น ทำการเจือจางแบบอนุกรม และตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร กระจายลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วบันทึกผล

3.7 การประเมินผลทางสถิติ

ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ ความหนา, TS (MPa), EAB (%), WVP ($\text{gmm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$), WS (%), ค่าสี และความทึบแสง ข้อมูลทางชีวภาพ ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Agar disc diffusion และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในถุงแห้ง จะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และ Duncan post test ด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics software ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการเตรียมฟิล์มและการขึ้นรูป

จากการเตรียมสารละลายฟิล์มโคโตนผสมเจลาติน พบว่า สารละลายที่ได้มีสีใส และมีกรดอะซิติกค่อนข้างแรง เมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ที่ความเข้มข้น 0.5% 0.7% 0.9% (v/w) และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเป็นตัวควบคุม (Control) และผ่านการทำ Emulsion ด้วย Ultrasonic Homogenizer จากนั้นทำการกรอง พบว่า สารละลายฟิล์มที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะที่หนืด มีสีขาวขุ่นเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศที่เพิ่มขึ้น และไม่มีการตกตะกอนหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง สารละลายไม่เกิดการแยกชั้น แสดงให้เห็นว่าสารละลายฟิล์มผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศได้ดี

สำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าฟิล์ม CEO 0% (Control) มีสีใสสามารถลอกออกจากภาชนะค่อนข้างยาก มีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีกลิ่นกรดอะซิติกอ่อนๆ และมีฟองอากาศ แต่ฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชย มีสีเหลืองใส สามารถลอกออกจากภาชนะได้ง่าย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยเล็กน้อย ไม่มีฟองอากาศในฟิล์ม ยกเว้นความเข้มข้น 0.5% ที่ไม่มีกลิ่น และมีฟองอากาศเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจากผลการขึ้นรูปฟิล์มชี้ให้เห็นว่าฟิล์มมีสีเหลืองเข้มขึ้น และฟองลดลงตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย

การเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศไม่มีผลต่อความทึบแสงแต่มีผลให้ค่าความสว่าง L^* ค่าสีเหลือง b^* มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น และค่าสีเขียว a^* มีค่าลดลง อาจเกิดจากสีผลมาจากรงควัตถุที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหยซึ่งในน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศสีเหลือง เนื่องจากมีสารประกอบยูเจนอล นอกจากนี้การเติมน้ำมันหอมระเหยยังช่วยลดกลิ่นกรดอะซิติกที่ใช้ในการละลายโคโตนได้



รูปที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มโคโตนผสมเจลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้น 0% (Control) (1), CEO 0.5% (2), CEO 0.7% (3) และ CEO 0.9% (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| ความเข้มข้นน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ | สี | ลักษณะปรากฏ |
|-----------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CEO 0% (Control) | ใส | ฟิล์มสามารถลอกออกจากภาชนะได้ค่อนข้างยาก มีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีกลิ่นกรดอะซิติกอ่อนๆ และไม่มีฟองอากาศ |
| CEO 0.5% | เหลืองใส | ฟิล์มสามารถลอกออกจากภาชนะได้ง่าย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ ไม่มีกลิ่น และมีฟองอากาศเล็กน้อย |
| CEO 0.7% | เหลืองใส | ฟิล์มสามารถลอกออกจากภาชนะได้ง่าย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีกลิ่น CEO เล็กน้อย และไม่มีฟองอากาศ |
| CEO 0.9% | เหลืองใส | ฟิล์มสามารถลอกออกจากภาชนะได้ง่าย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ มีกลิ่น CEO เล็กน้อย และไม่มีฟองอากาศ |

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 ความหนา

ความหนาของฟิล์มเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล รวมถึงการซึมผ่าน (น้ำ ก๊าซ และความชื้น) ความทนทานต่อแรงดึง และความทนทานต่อแรงกระแทก (Hosseini et al., 2021) จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO) ที่ความเข้มข้น 0.5% 0.7% 0.9% (v/w) ไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์ม โดยมีค่าความหนาในช่วง 0.14 – 0.24 มิลลิเมตร ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับ สมหวัง และชนิษฐา (2562) ที่ศึกษาคุณสมบัติฟิล์ม การต้านออกซิเดชัน และต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มโคโตะซานที่เติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่ามีค่าความหนาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถแทรกซึมลงสู่ฟิล์มได้ดีไม่มีการแยกชั้น และการเติม Tween 80 ช่วยสร้างความเสถียรต่อการก่อตัวระหว่างสารละลายที่เป็นน้ำและหยดน้ำมันที่ไม่ชอบน้ำ (Nazurah et al., 2022)

4.2.2 การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP)

วัสดุบรรจุภัณฑ์ควรลดการส่งผ่านความชื้นระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บรักษา จากตารางที่ 4.2 พบว่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของฟิล์ม CEO 0% (Control) , CEO 0.5% , CEO 0.7% และ CEO 0.9% คือ 2.67 ± 0.51 , 2.19 ± 1.04 , 2.64 ± 1.37 และ $2.62 \pm 1.33 \times 10^{-10}$

เอกสารนี้ $\text{gmm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ ตามลำดับ จากผลการทดลองค่าการซึมผ่านของไอน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับค่าความหนา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศไม่ส่งผลให้การซึมผ่านของไอน้ำลดลง เกิดจากเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยมีความเข้มข้นไม่เพียงพอจะลดโครงสร้างผนังและโครงสร้างทางเคมีที่สม่ำเสมอของไคโตซาน เจลาติน โดยการซึมผ่านของไอน้ำเกิดผ่านส่วนที่ชอบน้ำในโครงสร้างฟิล์มและขึ้นกับอัตราที่ชอบน้ำ ไม่ชอบน้ำขององค์ประกอบภายในฟิล์ม (Fan et al., 2023)

4.2.3 ความสามารถในการละลายน้ำ (WS)

ความสามารถในการละลายน้ำเป็นคุณลักษณะอีกปัจจัยหนึ่งที่ดีในการวัดความต้านทานของฟิล์มต่อน้ำ จากผลการทดลองพบว่าฟิล์ม CEO 0% (Control) , CEO 0.5% , CEO 0.7% และ CEO 0.9% คือ $37.66 \pm 3.49\%$, $28.65 \pm 5.06\%$, $28.67 \pm 9.93\%$ และ $21.21 \pm 4.93\%$ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีประสิทธิภาพของการละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับ Wu et al. (2014) ที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซาน-เจลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยออริกาความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่ามีค่าการละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เกิดจากความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยไม่เพียงพอจะช่วยลดสภาพแวดล้อมที่ชอบน้ำเนื่องจากไคโตซาน เจลาตินในธรรมชาติมีคุณสมบัติชอบน้ำ และการละลายน้ำขึ้นกับอัตราที่ชอบน้ำไม่ชอบน้ำขององค์ประกอบภายในฟิล์ม (Nazurah et al., 2022)

4.2.4 คุณสมบัติทางกล

ค่าความต้านทานแรงดึง (TS) และการยืดตัวที่จุดขาด (EAB) เป็นตัวกำหนดพื้นฐานของความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์ม ผลการทดลองพบว่าฟิล์ม CEO 0% (Control) , CEO 0.5% , CEO 0.7% และ CEO 0.9% มีค่าความต้านทานแรงดึงคือ 0.70 ± 0.05 , 0.56 ± 0.07 , 0.67 ± 0.02 และ 0.76 ± 0.05 MPa ตามลำดับ ดังในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีแนวโน้มค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับ Teymoorian et al. (2024) ที่ศึกษาคุณลักษณะทางกล โครงสร้างจุลภาค และทางกายภาพของฟิล์มที่มีอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยหัวมิงกรมอลโดวาพบว่า ค่าสามด้านต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเกิดได้จากพันธะไฮโดรเจน (ปฏิกิริยาระหว่าง dipole-dipole) ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของโพลีเมอร์ชีวภาพและขั้วของโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวที่กระจายตัวในฟิล์ม (Kong et al., 2022)

สำหรับค่าการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์ม CEO 0% (Control) , CEO 0.5% , CEO 0.7% และ CEO 0.9% คือ $0.07 \pm 0.01\%$, $0.03 \pm 0.01\%$, $0.07 \pm 0.00\%$ และ $0.05 \pm 0.01\%$ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าการยืดตัวที่จุดขาดแตกต่างจากความต้านทานแรงดึง คือ มีความผันผวนต่อน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศในฟิล์ม CEO 0.5% มีค่าการยืดตัวที่จุดขาดน้อยที่สุด การลดลงของ EAB อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่าง CEO และสารตั้งต้นซึ่งจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล และทำให้ฟิล์มเปราะ อาจเป็นผลมาจากพันธะระหว่างโมเลกุลที่ประกอบเป็นฟิล์มอ่อนตัวลง (Jamróz et al., 2023) จากการทดสอบฟิล์มไคโตซานผสมเจ

ลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ มีความทนต่อแรงดึง แต่มีความสามารถในการยืดที่น้อย จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมาก

ตารางที่ 4.2 ความหนา ความต้านทานแรงดึง (TS) การยืดตัวก่อนขาด (EAB) การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) และการละลายน้ำ (WS) ของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| ความเข้มข้นน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ | ความหนา | TS (MPa) | EAB (%) | WVP ($\times 10^{-10}$ gmm ⁻² s ⁻¹ Pa ⁻¹) | WS (%) |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| CEO 0% (Control) | 0.14±0.06 ^a | 0.70±0.05 ^{ab} | 0.07±0.01 ^a | 2.67±0.51 ^a | 37.66±3.49 ^a |
| CEO 0.5% | 0.16±0.04 ^a | 0.56±0.07 ^b | 0.03±0.01 ^b | 2.19±1.04 ^a | 28.65±5.06 ^a |
| CEO 0.7% | 0.13±0.01 ^a | 0.67±0.02 ^{ab} | 0.07±0.00 ^a | 2.64±1.37 ^a | 28.67±9.93 ^a |
| CEO 0.9% | 0.24±0.08 ^a | 0.76±0.05 ^a | 0.05±0.01 ^{ab} | 2.62±1.33 ^a | 21.21±4.93 ^a |

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระหว่างฟิล์มย่อยสลายได้ผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO)

4.2.5 ค่าสีและความทึบแสง

การวัดค่าสีและความทึบแสงฟิล์มโคโตนผสมเจลาติน โดยเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศที่ความเข้มข้น 0.5% 0.7% 0.9% (v/w) และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเป็นตัวควบคุม ผลที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าสีและความทึบแสงของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| ความเข้มข้นน้ำมัน หอมระเหยอบเชย เทศ | L* | a* | b* | Opacity(A600nm) |
|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| CEO 0% (Control) | 5.33±0.02 ^c | -1.33±0.06 ^a | -2.16±0.01 ^d | 0.14±0.06 ^a |
| CEO 0.5% | 11.60±0.17 ^b | -4.47±0.02 ^b | 2.89±0.02 ^c | 0.16±0.04 ^a |
| CEO 0.7% | 13.90±0.30 ^a | -5.31±0.43 ^c | 4.90±0.21 ^b | 0.13±0.01 ^a |
| CEO 0.9% | 14.59±0.31 ^a | -5.74±0.12 ^c | 8.35±0.12 ^a | 0.24±0.08 ^a |

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P <0.05) ระหว่างฟิล์มย่อยสลายได้ผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยส่งผลให้ฟิล์มมีค่า L* (ค่าความสว่าง) และค่า b* เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย คือ ฟิล์ม CEO 0.9% มีค่าความสว่างและมีลักษณะเป็นสีเหลืองสูงสุด แต่ค่า a* ของฟิล์มจะมีค่าที่ลดลงตามเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย คือ ฟิล์ม CEO 0% (Control) มีลักษณะเป็นสีเขียวสูงสุด ขณะที่ค่าความทึบแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองที่ฟิล์มมีลักษณะสีเหลืองใส อาจเกิดจากรังควมในน้ำมันหอมระเหย ซึ่งในน้ำมันหอมระเหยอบเชยมีสีเหลืองเนื่องจากมีสารประกอบยูเจนอล (Yuwono et al., 2002) และไม่เกิดการกระเจิงแสงหรือดูดกลืนแสงจึงส่งผลให้ความทึบแสงไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม ดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยฟิล์มมีค่าความหนา ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ ค่าการละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าการทานด้านแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยึดตัวที่จุดขาดมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ แสดงถึงน้ำหอมระเหยอบเชยไม่มีผลต่อความหนา การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ แต่มีผลต่อการต้านทานแรงดึงและการยึดตัวที่จุดขาดต่อฟิล์ม นอกจากนี้ค่าสีและความทึบแสงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของฟิล์มโคโตนผสมเจลาติน จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการนำฟิล์มไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้ **4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี** เป็นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

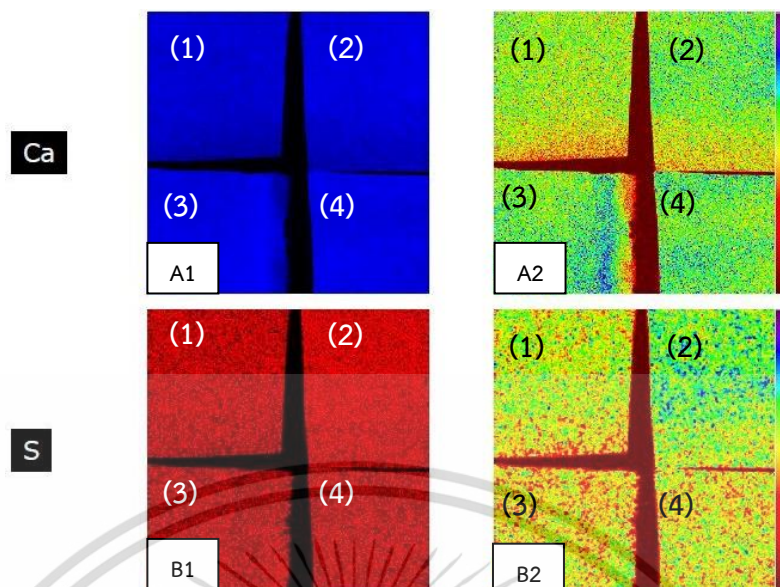
4.3.1 วิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุในแผ่นฟิล์ม(Micro-XRF)

ในการศึกษาใช้การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) ร่วมกับเครื่อง Micro-XRF รุ่น M4 Tornado เพื่อการกระจายตัวของธาตุจากฟิล์มโคโตะซานผสมเจลาตินเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO) ที่ความเข้มข้น 0.5% 0.7% 0.9% และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเป็นตัวควบคุม พบว่า ผลสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วย Micro-XRF ดังรูปที่ 4.2 สเปกตรัมที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน Y คือ จำนวนสัญญาณของรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดได้ และแกน X คือพลังงานของรังสีเอกซ์ในหน่วยของ keV พิกัดทั้งหมดเกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากชั้น L ไปยังชั้น K ที่รู้จักกันในชื่อย่อ $K\alpha$ พิกัดที่เด่นที่สุดคือพิกัดของแคลเซียม(Ca) ที่ประมาณ 3.75 keV และพิกัดของกำมะถัน(S) ที่ประมาณ 2.45 keV สเปกตรัมที่ได้ใช้สร้าง Mapping analysis ในรูปที่ 4.3 พบว่าแคลเซียมมีการกระจายตัวอยู่มากในตัวอย่าง CEO 0.7% และ CEO 0.9% เช่นเดียวกับกำมะถัน อาจเกิดจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยอบเชยเนื่องจากมีธาตุแคลเซียม และ กำมะถัน เป็นส่วนประกอบ(USDA, 2019) ร่วมกับที่มีอยู่เดิมในฟิล์มโคโตะซานผสมเจลาติน



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วย Micro-XRF สเปกตรัมที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน Y คือ จำนวนสัญญาณของรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดได้ และแกน X คือพลังงานของรังสีเอกซ์ในหน่วยของ keV พิกัดที่เกิดขึ้นบ่งบอกถึงธาตุในตัวอย่างฟิล์ม คือ แคลเซียม (Ca) และกำมะถัน (S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



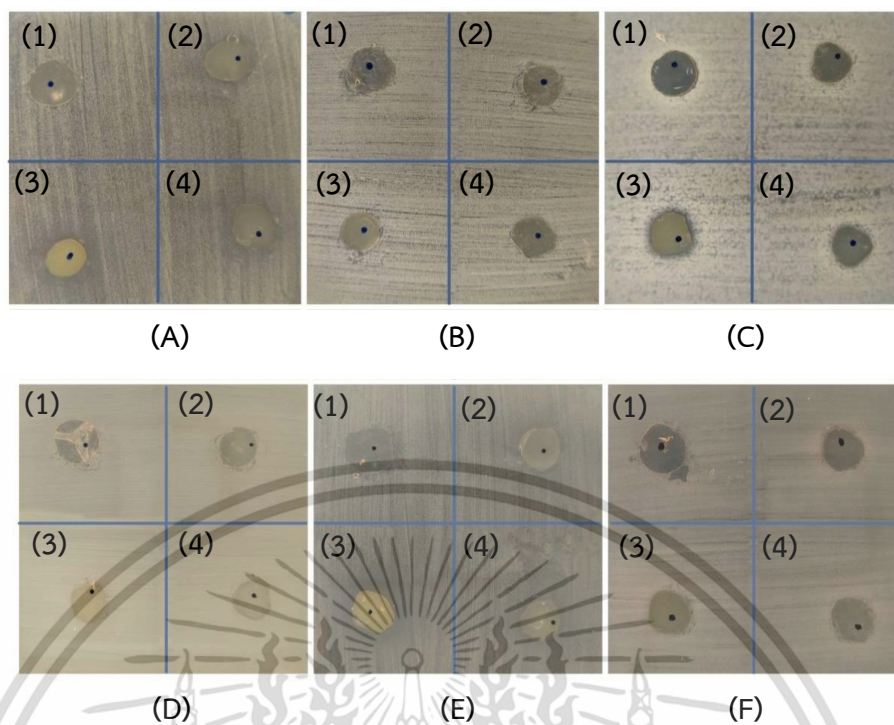
รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุแบบ Mapping analysis ของฟิล์ม โดย(A1), (B1) แสดงความเข้มข้นของธาตุแคลเซียม (Ca) และกำมะถัน (S) ตามลำดับ ในตัวอย่างพื้นที่ที่มีสีเข้มกว่า จะแสดงถึงความเข้มข้นของธาตุที่สูงกว่า และ(A2), (B2) แสดงรายละเอียดการกระจายตัวของธาตุ แคลเซียม (Ca) และกำมะถัน (S) ตามลำดับ แถบสีที่เปลี่ยนจากสีแดงไปสีน้ำเงินแสดงถึงการลดลงของความเข้มข้นของธาตุ ในฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยความเข้มข้นที่ร้อยละ 0 (ตัวควบคุม) (1), 0.5 (2), 0.7 (3), และ 0.9 (4) พบว่าแคลเซียมมีการกระจายตัวอยู่มากในตัวอย่าง CEO 0.7% และ CEO 0.9% เช่นเดียวกันกับกำมะถัน

4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพ

4.4.1 ผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Agar disc diffusion

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Micrococcus luteus* TISTR 3274, *Staphylococcus aureus* TISTR 746, *Bacillus subtilis* TISTR 1248, *Pseudomonas aeruginosa* TISTR 2370, *Escherichia coli* TISTR 074 และ *Salmonella typhimurium* ATCC 13311 ของฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO) ที่ความเข้มข้น 0% 0.5% 0.7% 0.9% โดยวิธี Agar disc diffusion จากรูปที่ 4.4 พบว่าฟิล์ม CEO 0.9% มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้สูงสุด โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* TISTR 2370, *M. luteus* TISTR 3274 และ *S. aureus* TISTR 746 ได้สูงสุด มีบริเวณยับยั้ง 10.82 , 10.69 และ 10.54 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงบริเวณยับยั้งแบคทีเรีย (inhibition zone) ของเชื้อ *Micrococcus luteus* TISTR 3274 (A) , *Staphylococcus aureus* TISTR 746 (B), *Bacillus subtilis* TISTR 1248 (C) , *Pseudomonas aeruginosa* TISTR 2370 (D) , *Escherichia coli* TISTR 074 (E) และ *Salmonella typhimurium* ATCC 13311 (F) ทำการทดสอบกับฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยความเข้มข้นที่ร้อยละ 0 (ตัวควบคุม) (1), 0.5 (2), 0.7 (3), และ 0.9 (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 โชนกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| แบคทีเรีย | โชนกยับยั้ง (มิลลิเมตร) | | | |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | CEO 0% (Control) | CEO 0.5% | CEO 0.7% | CEO 0.9% |
| <i>Micrococcus luteus</i> TISTR 3274 | 8.00±0.00 ^b | 8.59±0.27 ^b | 9.98±0.15 ^a | 10.69±0.39 ^a |
| <i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 746 | 8.28±0.28 ^a | 9.87±0.54 ^a | 9.36±0.56 ^a | 10.54±1.79 ^a |
| <i>Bacillus subtilis</i> TISTR 1248 | 8.00±0.00 ^c | 8.12±0.07 ^{bc} | 8.62±0.04 ^b | 9.20±0.31 ^a |
| <i>Escherichia coli</i> TISTR 074 | 8.00±0.00 ^b | 8.53±0.16 ^{ab} | 8.64±0.16 ^{ab} | 8.70±0.32 ^a |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> TISTR 2370 | 8.00±0.00 ^b | 8.22±0.12 ^b | 8.90±0.14 ^b | 10.82±0.60 ^a |
| <i>Salmonella Typhimurium</i> ATCC 13311 | 8.00±0.00 ^a | 8.29±0.06 ^a | 8.31±0.12 ^a | 8.35±0.19 ^a |

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันในจำนวนอนุกรมที่มีนัยสำคัญ (P <0.05) ระหว่างฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO)

4.4.2 ผลการทดสอบด้วยวิธี JIS Z 2801:2000

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *M. luteus* TISTR 3274 , *S. aureus* TISTR 746, *B. subtilis* TISTR 1248, *P. aeruginosa* TISTR 2370 , *E. coli* TISTR 074 และ *S. typhimurium* ATCC 13311 ของฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO) ที่ความเข้มข้น 0%, 0.5%, 0.7% และ 0.9% โดยวิธี JIS Z 2801:2000 เพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพในผลิตภัณฑ์พลาสติก โลหะ และเซรามิก พบว่าร้อยละการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย คือ ฟิล์ม CEO 0.9% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้สูงสุด โดยยับยั้งเชื้อ *E. coli* TISTR 074 , *S. aureus* TISTR 746 และ *P. aeruginosa* TISTR 2370 ได้สูงสุด มีร้อยละการยับยั้ง 51.46 , 43.20 และ 14.75 ตามลำดับ แสดงดังในตารางที่ 4.5

จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 วิธี คือ Agar disc diffusion และ JIS Z 2801:2000 ของฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 สามารถคัดเลือกความเข้มข้นน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศเพื่อนำมาผลิตฟิล์ม โดยพิจารณาจากฤทธิ์ยับยั้งเชื้อได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก แกรมลบ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ มีซินนามัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบทางเคมีสำคัญ ซึ่งสามารถขัดขวางการสังเคราะห์ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ระบบเอนไซม์ (Chen et al., 2024) ยับยั้งการเผาผลาญพลังงานอย่างรวดเร็ว และหยุดการเคลื่อนตัวของโปรตอนส่งผลให้เซลล์เกิดการรั่วไหลของไอออนขนาดเล็กเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ และการตายของเซลล์แบคทีเรีย (Friedman, 2017)

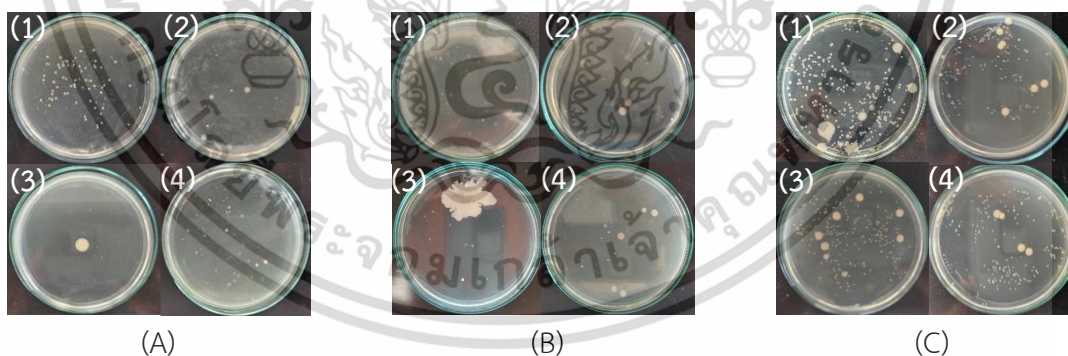
ตารางที่ 4.5 ร้อยละการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (%R) ของฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| ความเข้มข้นน้ำมัน หอมระเหยอบเชยเทศ | R(%) | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | <i>Micrococcus luteus</i> TISTR 3274 | <i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 746 | <i>Bacillus subtilis</i> TISTR 1248 | <i>Escherichia coli</i> TISTR 074 | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> TISTR 2370 | <i>Salmonella Typhimurium</i> ATCC 13311 |
| CEO 0% (Control) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CEO0.5% | 2.35 | 8.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CEO0.7% | 0.00 | 17.87 | 0.00 | 51.46 | 7.29 | 0.00 |
| CEO0.9% | 4.09 | 43.20 | 0.00 | 51.46 | 14.75 | 0.00 |

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย แสดงถึงความแตกต่างกันในแนวตั้งระหว่างฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO)

4.5 ผลการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVA) หลังการเก็บรักษาถุงแห้งด้วยฟิล์ม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในถุงแห้งบรรจุฟิล์มโคโตนผสมเจลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) ที่ความเข้มข้น 0.5% 0.7% 0.9% และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเป็นตัวควบคุม ในระยะเวลา 15 วัน ที่ 4 องศาเซลเซียส โดยเจือจางถุงแห้งด้วย Normal saline 0.85% ตีปั่น 1 นาที แล้วทำการ Spread plate ตรวจสอบผลโดยการนับจำนวนโคโลนี 30 ถึง 300 โคโลนี พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 แสดงดังในตารางที่ 4.6 จำนวนเชื้อวันที่ 0 ถึง วันที่ 6 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีความเสถียรสำหรับการเก็บรักษาถุงแห้ง วันที่ 9 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน คือฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.5, 0.7, 0.9 และตัวควบคุม มีปริมาณเชื้อ $2.39 \times 10^5 \pm 2.12 \times 10^4$, $1.45 \times 10^5 \pm 2.82 \times 10^4$, $2.78 \times 10^4 \pm 2.53 \times 10^4$ และ $6.15 \times 10^4 \pm 4.50 \times 10^3$ CFU/ml ตามลำดับ ซึ่งฟิล์ม CEO 0.9% มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด อาจเกิดจากฟิล์มที่ผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.9% เริ่มเสียสภาพ และเสียสภาพทั้งหมดในวันที่ 15 ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเสื่อมสภาพช้ากว่าฟิล์มโคโตนผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.4 ที่มีอายุการเก็บรักษา 10 วัน (เจิมขวัญ และคณะ, 2563) เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศมีซินนามัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้าว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด (Chen et al., 2024) เสื่อมสภาพ ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพ เช่น ความหนาและการซึมผ่านของไอน้ำอาจมีส่วนเพราะการส่งผ่านความชื้นระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในของผลิตภัณฑ์อาหาร ส่งผลโดยตรงกับคุณภาพผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บรักษา



รูปที่ 4.5 แสดงจำนวนโคโลนีจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการรักษาถุงแห้งที่ 4 °C ใน วันที่ 0 (A) , วันที่ 9 (B) และ วันที่ 15 (C) โดยใช้ระดับการเจือจางของสารแขวนลอยเชื้อถุงแห้งที่ 10^{-2} ทำการทดสอบกับฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยความเข้มข้นที่ร้อยละ 0(ตัวควบคุม) (1), 0.5 (2), 0.7 (3), และ 0.9 (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ่มแห้ง (TVA) ระหว่างการเก็บรักษา กุ่มแห้งบรรจุฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (Cinnamon Essential Oil: CEO) (CFU/ml) ที่ 4 °C

| ความเข้มข้น น้ำมันหอมระเหย อบเชยเทศ | CFU/ml | | | | | |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| | วันที่0 | วันที่3 | วันที่6 | วันที่9 | วันที่12 | วันที่15 |
| CEO 0% (Control) | $1.43 \times 10^5 \pm 7.4 \times 10^{4a}$ | $7.0 \times 10^4 \pm 4.05 \times 10^{4a}$ | $1.25 \times 10^5 \pm 2.27 \times 10^{4a}$ | $6.15 \times 10^4 \pm 4.50 \times 10^{3bc}$ | $1.43 \times 10^4 \pm 1.18 \times 10^{4a}$ | $7.17 \times 10^6 \pm 6.73 \times 10^{6a}$ |
| CEO 0.5% | $1.43 \times 10^5 \pm 7.4 \times 10^{4a}$ | $1.02 \times 10^5 \pm 1.30 \times 10^{4a}$ | $1.73 \times 10^4 \pm 1.48 \times 10^{4a}$ | $2.39 \times 10^5 \pm 2.12 \times 10^{4a}$ | $2.83 \times 10^4 \pm 2.58 \times 10^{4a}$ | $1.69 \times 10^6 \pm 1.14 \times 10^{6a}$ |
| CEO 0.7% | $1.43 \times 10^5 \pm 7.4 \times 10^{4a}$ | $9.35 \times 10^4 \pm 1.30 \times 10^{4a}$ | $8.53 \times 10^4 \pm 8.28 \times 10^{4a}$ | $1.45 \times 10^5 \pm 2.82 \times 10^{4b}$ | $2.50 \times 10^4 \pm 0.00^a$ | $1.42 \times 10^6 \pm 9.32 \times 10^{5a}$ |
| CEO 0.9% | $1.43 \times 10^5 \pm 7.4 \times 10^{4a}$ | $1.34 \times 10^5 \pm 1.50 \times 10^{3a}$ | $4.50 \times 10^5 \pm 2.00 \times 10^{3a}$ | $2.78 \times 10^4 \pm 2.53 \times 10^{4c}$ | $2.50 \times 10^4 \pm 0.00^a$ | $4.41 \times 10^5 \pm 9.41 \times 10^{4a}$ |

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันในจำนวนออนอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระหว่างฟิล์มผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ (CEO)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเทศในฟิล์มไคโตซานผสมเจลาตินสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้งโดยเตรียมฟิล์มด้วยไคโตซานผสมเจลาตินที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย (Cinnamon Essential Oil: CEO) ที่ความเข้มข้น 0.5% , 0.7% , 0.9% และไม่เติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเป็นตัวควบคุม พบว่าเมื่อแกะฟิล์มออกจากแม่พิมพ์ ฟิล์มแต่ละตัวอย่างมีความหนาไม่เท่ากัน มีสีเหลืองเข้มขึ้นและฟองลดลงตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย การเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศไม่มีผลต่อความทึบแสงแต่มีผลให้ค่าความสว่าง L^* ค่าสีเหลือง b^* มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น และค่าสีเขียว a^* มีค่าลดลง อาจเกิดจากสีผลมาจากรงควัตถุที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหยซึ่งในน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศสีเหลือง เนื่องจากมีสารประกอบยูเจนอล นอกจากนี้การเติมน้ำมันหอมระเหยยังช่วยลดกลิ่นกรดอะซิติกที่ใช้ในการละลายไคโตซานได้

สำหรับผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม พบว่าเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศฟิล์มมีค่าความหนา ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ ค่าการละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าการต้านแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยืดตัวที่จุดขาดมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ บ่งชี้ถึงการเติมน้ำมันหอมระเหยไม่มีผลต่อความหนา การซึมผ่านของไอน้ำ การละลายน้ำ แต่มีผลต่อการต้านทานแรงดึงและการยืดตัวที่จุดขาดต่อฟิล์ม นอกจากนี้ค่าสีและความทึบแสงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของฟิล์มไคโตซานผสมเจลาติน

คุณสมบัติทางเคมีจากการวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเครื่อง Micro-XRF เพื่อดูการกระจายตัวของธาตุจากฟิล์มไคโตซานผสมเจลาตินเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ พบว่า ผลสเปกตรัมที่ได้แสดงพีคทั้งหมดเกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของธาตุ พีคที่เด่นที่สุดคือพีคของแคลเซียม (Ca) ที่ประมาณ 3.75 keV และพีคของกำมะถัน (S) ที่ประมาณ 2.45 keV สเปกตรัมที่ได้ใช้สร้าง Mapping analysis พบว่าแคลเซียมมีการกระจายตัวอยู่มากในตัวอย่าง CEO 0.7% และ CEO 0.9% เช่นเดียวกันกับกำมะถัน อาจเกิดจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยอบเชยเนื่องจากมีธาตุแคลเซียม และ กำมะถัน เป็นส่วนประกอบ ร่วมกับที่มีอยู่เดิมในฟิล์มไคโตซานผสมเจลาติน

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์ม โดยวิธี disc diffusion และ วิธี JIS Z 2801:2000 พบว่า ฟิล์ม CEO 0.9% สามารถยับยั้งเชื้อได้สูงสุด โดยสามารถยับยั้งได้ทั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ โดยวิธี disc diffusion ยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* TISTR 2370, *M. luteus* TISTR 3274 และ *S. aureus* TISTR 746 ได้สูงสุด มีโซนการยับยั้ง 2.82 , 2.69 และ 2.54 มิลลิเมตร ตามลำดับ และวิธี JIS Z 2801:2000 ยับยั้งเชื้อ *E. coli* TISTR 074 และ *S. aureus* ยับยั้ง

TISTR 746 และ *P. aeruginosa* TISTR 2370 ได้สูงสุด มีร้อยละการยับยั้ง 51.46 , 43.20 และ 14.75 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกึ่งแข็งบรรจุฟิล์ม ในระยะเวลา 15 วัน ที่ 4 องศาเซลเซียส ตรวจสอบผลโดยการนับจำนวนโคโลนี 30-300 โคโลนี พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันที่ 0 , 3 , 6 , 9 , 12 และ 15 จำนวนเชื้อวันที่ 0 ถึง วันที่ 6 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ มีความเสถียรสำหรับการเก็บรักษา กึ่งแข็ง แต่วันที่ 9 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน ซึ่งฟิล์ม CEO 0.9% มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุด อาจเกิดจากฟิล์มที่ผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.9% เริ่มเสียสภาพ และเสียสภาพทั้งหมดในวันที่ 15 ซึ่งเสื่อมสภาพช้ากว่าฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.4 ที่มีอายุการเก็บรักษา 10 วัน เนื่องจากซินนามัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เสื่อมสภาพช้ากว่า ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพ เช่น ความหนา และการซึมผ่านของไอน้ำ อาจมีส่วนเพราะการส่งผ่านความชื้นระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในของผลิตภัณฑ์อาหาร ส่งผลโดยตรงกับคุณภาพผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บรักษา สรุปได้ว่าฟิล์มโคโตซานผสมเจลาตินที่มีน้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือกใหม่ ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยในการจัดการปัญหาขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้วัสดุธรรมชาติในฟิล์มยังช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มเพิ่มด้วยวิธีอื่นๆ เช่น SEM, XRD
2. ควรศึกษาผลกระทบของแผ่นฟิล์มต่อผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เช่น กลิ่นจากฟิล์มมีผลทำให้กลิ่นของอาหารแห้งเปลี่ยนไป หรือ สีจากแผ่นฟิล์มแพร่สู่ผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เป็นต้น
3. ควรประเมินประสิทธิภาพสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค เช่น สี กลิ่น ของแผ่นฟิล์มมีผลต่อการนำไปใช้ของผู้บริโภคหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ 2564. การใช้ประโยชน์ของโคโตแซนในการยืดอายุของอาหารและเครื่องดื่ม. เข้าสืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2567. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://shorturl.at/yO5JJ>
- คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ม.ป.ป. อบเชย. เข้าสืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2567. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://apps.phar.ubu.ac.th/thaicrudedrug/main.php?action=viewpage&pid=149>
- เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ , กุลวดี กุลสุนทร และจุฑามาศ จินตนา. 2557. สมบัติและผลของการต้านเชื้อราของฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากส้มต่ออายุการเก็บรักษาเค้กเนยกลั่นส้ม. วารสารเกษตร. 30(3): 305 - 314
- ปิ่นธนา เลิศสถิตชนกร, กรองกาญจน์ มนตรี, จารุวรรณ บรรจง, เบญจวรรณ สำรวล และศิริณา โคตรจันทร์. 2555. ฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำมันจากเปลือกอบเชยเทศ. วิทยาศาสตร์ทางเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. การทำแห้ง. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. *Bacillus subtilis*. เข้าสืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2567. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6203/bacillus-subtilis>
- มยุรา ปรารณาเปลี่ยน. 2547. Biobased food packaging. วารสารสถาบันอาหาร. 6(34) : 11 – 15.
- มณฑาทิพย์ ยუნฉลาด. 2535. ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร. 22(1)
- วิภาดา มุรินทร์นพมาศ. 2537. หลักการแปรรูปและถนอมอาหาร. ศูนย์ส่งเสริมการทำผลงานวิชาการ. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- วรรณ ศรีนุดตระกูล. 2553. เปลือกกุ้งและกระดองปูสู่โคโตซาน. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ
- วัชรวิดี ลิ้มสกุล , ธงชัย สุธีรศักดิ์ , เสาวลักษณ์ รอดเจริญ และปวีรบรรต วรรณงาม. 2563. สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มโคโตซานผสมน้ำมันหอมระเหยจากเทพทาโร. คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ศนิ จิระสถิต. 2560. จุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร. วิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา
- ศูนย์ปฏิบัติการทดสอบ. 2019. เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่สำคัญ. เข้าสืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2567. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://shorturl.at/DoKW3>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข. 2557. *Escherichia coli*. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัย
วิทยาศาสตร์สาธารณสุข

สถาบันอาหาร. ม.ป.ป. *Salmonella*. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์วิจัยและประเมินความเสี่ยงด้าน
อาหารปลอดภัย

สุธีมนต์ คำคุ้ม. 2566. **ไมโครพลาสติกอยู่ในอาหารของเราอยู่ในอาหารได้อย่างไร.**
กรุงเทพมหานคร : บริษัท เนชั่น กรุ๊ป (ไทยแลนด์) จำกัด (มหาชน)

สุพิมพ์พรรณ เทพปัญญา. ม.ป.ป. **ผลกระทบไมโครพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพมหานคร :
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สุภาวดี บุญทา. ม.ป.ป. **ไคโตซานและไตรเมธิลไคโตซานกับการใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรม.** คณะ
เภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

สมหวัง เล็กจิริง และชนิษฐา จินารักษ์. 2562. **ผลของน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อคุณสมบัติของ
ฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มไคโตซาน.** วารสาร
วิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 19: 4

สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ. ม.ป.ป. **Microbial Factsheet.** เข้าสืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2567.
[Online]. เข้าถึงได้จาก [https://foodsafety.anamai.moph.go.th/th/waterquality/
download/?did=204441&id=72149&reload=](https://foodsafety.anamai.moph.go.th/th/waterquality/download/?did=204441&id=72149&reload=)

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. ม.ป.ป. **อบเชยเทศ.** กรุงเทพมหานคร : ศูนย์วนวัฒนวิจัยภาคเหนือ
Ahmad T., Ismail A., Ahmad S.A., Khalil K.A., Kumar Y., Adeyemi K.D. and Sazili A.Q.
2017. **Recent advances on the role of process variables affecting gelatin
yield and characteristics with special reference to enzymatic extraction.**
Food Hydrocolloids. 63 (2017): 85-96.

Al-Mijalli S.H., Mrabti H.N., Hachlafi N.E., Kamili T.E., Elbouzidi A., Abdallah E.M., Flouchi
R., Assaggaf H., Qasem A., Zengin G., Bouyahya A. and Chahdi F.O. 2023.
**Integrated analysis of antimicrobial, antioxidant, and phytochemical
properties of *Cinnamomum verum*: A comprehensive In vitro and In silico
study.** Biochemical Systematics and Ecology. 110 (2023): 104700.

Baskaran. S.B., Amalaradjou M.A.R., Hoagland T. and Venkitanarayanan K. 2010.
**Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice and apple cider by
trans-cinnamaldehyde.** Food Microbiology. 141 (2010): 126-129.

Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez J.A. and Vázquez M. 2017. **Polysaccharide-based
films and coatings for food packaging: A review.** Food Hydrocolloids. 68 (2017):

136-148. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chang W., Liu F., Sharif H.R., Huang Z., Goff H.D. and Zhong F. 2019. **Preparation of chitosan films by neutralization for improving their preservation effects on chilled meat.** *Food Hydrocolloids*. 90(2019): 50-61.
- Dutta P.K., Tripathi S., Mehrotra G.K. and Dutta J. 2009. **Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications.** *Food Chemistry*. 114 (2009): 1173-1182.
- Göksen G., Fabra M.J., Ekiz H.I. and López-Rubio A. 2020. **Phytochemical-loaded electrospun nanofibers as novel active edible films: Characterization and antibacterial efficiency in cheese slices.** *Food Control*. 112 (2020): 107133.
- Hashim S.B.H., Tahir H.E., Mahdi A.A., Zhang J., Zhai X., Al-Maqtari Q.A., Zhou C., Mahunu G.K., Xiaobo Z. and Jiyong S. 2024. **Enhancement of a hybrid colorimetric film Incorporating *Origanum compactum* essential oil as antibacterial and monitor chicken breast and shrimp freshness.** *Food Chemistry*. 432 (2024): 137203.
- Jamróz E., Cabaj A., Tkaczewska J., Kawecka A., Krzysciak P., Szuwarzynski M., Mazur T. and Juszczak L. 2023. **Incorporation of curcumin extract with lemongrass essential oil into the middle layer of triple-layered films based on furcellaran/chitosan/gelatin hydrolysates – In vitro and in vivo studies on active and intelligent properties.** *Food Chemistry*. 402 (2023): 134476.
- Karkar B., Patir I., Eyüboğlu S. and Şahin S. 2023. **Development of an edible active chitosan film loaded with *Nigella sativa* L. extract to extend the shelf life of grapes.** *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 50: 102708.
- Kaskatepe B., Merve Eylül Kiyimaci M.E., Suzuk S., Erdem S.A., Cesur S. and Yildiz S. 2016. **Antibacterial effects of cinnamon oil against carbapenem resistant nosocomial *Acinetobacter baumannii* and *Pseudomonas aeruginosa* isolates.** *Industrial Crops and Products*. 81: 191-194.
- Khan S., Shu Y., Li C., Liang T. and Zhang Z. 2023. **The influence of forsythia essential oil and ZnO nanoparticles on the physicochemical properties of ASKG-based film and its effect on the preservation of meat quality.** *Food Bioscience*. 56: 103239.
- Khanjari A., Esmaeili H. and Hamed M. 2023. **Shelf life extension of minced squab using poly-lactic acid films containing *Cinnamomum verum* essential oil.** *International Journal of Food Microbiology*. 385 (2023): 109982.

- Kong I., Degraeve P. and Pui L.P. 2022. **Polysaccharide-Based Edible Films Incorporated with Essential Oil Nanoemulsions: Physico-Chemical, Mechanical Properties and Its Application in Food Preservation.** Food. 11: 555.
- Kundrat. L. 2015. **Environmental isolate case files: *Micrococcus luteus*.** เข้าสืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2567. [Online]. <https://blog.microbiologics.com/environmental-isolate-casefiles-micrococcus-luteus/>
- Lee J., Choi I. and Han J. 2021. **Mathematical modeling of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark oil release from agar/PVA biocomposite film for antimicrobial food packaging: The effects of temperature and relative humidity.** Food Chemistry. 363: 130306.
- Lian H., Peng Y., Shi J. and Wang Q. 2019. **Effect of emulsifier hydrophilic-lipophilic balance (HLB) on the release of thyme essential oil from chitosan films.** Food Hydrocolloids. 97: 105213.
- Liu Y., Liu R., Shi J., Zhang R., Tang H., Xie C., Wang F., Han J. and Jiang L. 2023. **Chitosan/esterified chitin nanofibers nanocomposite films incorporated with rose essential oil: Structure, physicochemical characterization, antioxidant and antibacterial properties.** Food Chemistry: X. 18: 100714.
- Luo Q., Hossen M.A., Zeng Y., Dai J., Li S., Qin W. and Liu Y. 2022. **Gelatin-based composite films and their application in food packaging.** Food Engineering. 313: 110762.
- Nazurah R.N.F., Noranizan M.A., Nor-Khaizura M.A.R. and Hanani Z.A.N. 2022. **The potential of chitosan-based film with curry leaf essential oil as natural insect-repellent food packaging.** Food Packaging and Shelf Life. 34: 100993.
- Nilsen-Nygaard J., Strand S.P., Vårum KM., Draget .K. and Nordgård C.T. 2015. **Chitosan: Gels and Interfacial Properties.** Polymers. 7: 552-579.
- Nisar M.F., Khadim M., Rafiq M., Chen J., Yang Y., and Wan C.C. 2021. **Pharmacological Properties and Health Benefits of Eugenol: A Comprehensive Review.** Oxid Med Cell Longev. 2497354.
- Pandey M.K., Suskil M.V., Chitren R., Al-Odat O., Jonnalagadda S.C. and Aggarwal B.B. 2022. **Cancer on fire: role of inflammation in prevention and treatment.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่ผ่านการตรวจสอบและได้รับการรับรองโดยสภาวิจัยแห่งชาติ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ Inflammation and Oxidative Stress, 605-626. ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rao P.V., and Gan S.H. 2014. **Cinnamon: A Multifaceted Medicinal Plant**. Hindawi, 642942
- Rather J.A., Akhter N., Ashraf Q.S., Mir S.A., Makroo H.A., Majid D., Barba F.J., Khaneghah A.M. and Dar B.N. 2022. **A comprehensive review on gelatin: Understanding impact of the sources, extraction methods and modifications on potential packaging applications**. Food Packaging and Shelf Life. 34: 100945.
- Santos P., Zabot G.L., Meireles M.A.A., Mazutti M.A. and Martínez J. 2016. **Synthesis of eugenyl acetate by enzymatic reactions in supercritical carbon dioxide**. Biochemical Engineering.
- Shen Y, Ni Z.N., Thakur K., Zhang J.G., Fei Hu F. and Wei Z.J. 2021. **Preparation and characterization of clove essential oil loaded nanoemulsion and pickering emulsion activated pullulan-gelatin based edible film**. Biological Macromolecules. 181: 528-539.
- Singh N., Rao A.S., Nandal A., Kumar S., Yadav S.S., Ganaie S.A. and Narasimhan B. 2021. **Phytochemical and pharmacological review of *Cinnamomum verum* J. Presl-a versatile spice used in food and nutrition**. Food Chemistry. 338: 127773.
- Silva F.F.M., Monte F.J.Q., Lemos T.L.G., Nascimento P.G.G., Costa A.K.M. and Paiva L.M.M. 2018. **Eugenol derivatives: synthesis, characterization, and evaluation of antibacterial and antioxidant activities**. BMC Chemistry. 34: 12.
- Süloğlu A.K., Koçkaya E.A. and Selmanoğlu G. 2022. **Toxicity of benzyl benzoate as a food additive and pharmaceutical agent**. Toxicology and Industrial Health. 38: 4.
- Tang and Gillevet . 2003. **Reclassification of ATCC 9341 from *Micrococcus luteus* to *Kocuria rhizophila***. Int J Syst Evol Microbiol. 53: 995-997.
- Tresina P.S., Selvam M.S., Doss A. and Mohan V.R. 2022. **Chapter 3 - Antidiabetic bioactive natural products from medicinal plants**. Studies in Natural Products Chemistry. 75: 75-118.
- Utcharyakiat I., Surassmo S., Jaturanpinyo M., Khuntayaporn P. and Chomnawang M.T. 2016. **Efficacy of cinnamon bark oil and cinnamaldehyde on anti-multidrug resistant *Pseudomonas aeruginosa* and the synergistic effects in combination with other antimicrobial agents**. Mahidol University.

เอกสารนี้ Vasconcelos N.G., Croda J. and Simionatto S. 2018. **Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents**. Microbial Pathogenesis. 120: 198-203. การนำไปใช้

- Wang J., Su B., Jiang H., Cui N., Yu Z., Yang Y. and Sun Y. 2020. **Traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of the genus *Cinnamomum* (Lauraceae).** *Fitoterapia*. 146: 104675.
- Wang B., Yan S., Gao W., Kang X., Yu B., Liu P., Guo L., Cui B. and El-Aty A.M.A. 2021. **Antibacterial activity, optical, and functional properties of corn starch-based films impregnated with bamboo leaf volatile oil.** *Food Chemistry*. 357: 129743
- Wu J., Ge S., Liu H., Wang S., Chen S., Wang J., Li J. and Zhang Q. 2014. **Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin-chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation.** *Food Packaging and Shelf Life*. 2: 7-16
- Yumnam M., Marak P.R., Gupta A.K., Rather M.A. and Mishra P. 2013. **Effect of pomelo peel essential oil on the storage stability of a few selected varieties of freshwater fish.** *Agriculture and Food Research*. 11: 100472.
- Yuwono M., Siswandono , Hafid A.F., Poernomo A.T., Agil M., Indrayanto G. and Ebel S. 2002. **Eugenol.** *Analytical Profiles of Drug Substances and Excipients*. 29: 149-177
- Zhang B., Liu Y., Peng H., Lin Y. and Cai K. 2023. **Effects of ginger essential oil on physicochemical and structural properties of agar - sodium alginate bilayer film and its application to beef refrigeration.** *Meat Science*. 198 (2023): 109051.
- Zhang H., Zhang W., Yang A., Liu Y., Jiang Y., Huang S. and Su J. 2014. **Inhibitory Effects of Citral, Cinnamaldehyde, and Tea Polyphenols on Mixed Biofilm Formation by Foodborne *Staphylococcus aureus* and *Salmonella Enteritidis*.** *Food Protection*. 77 (2014): 927-933.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

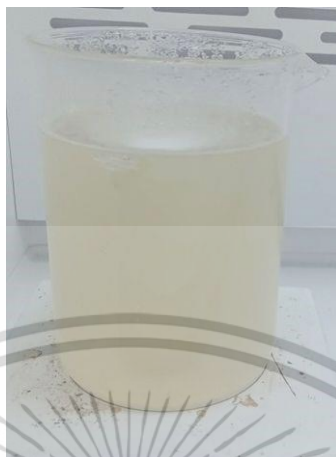


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

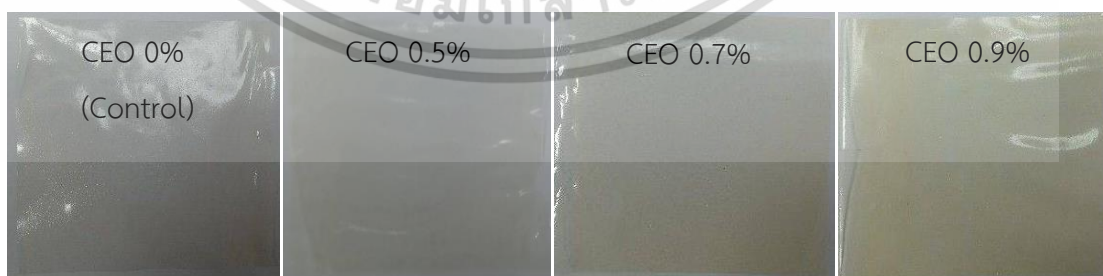
ภาพประกอบการทดลอง



รูปที่ ก-1 สารละลายฟิล์มโคโตซานผสมเจลาติน



รูปที่ ก-2 สารละลายฟิล์มก่อน(1)และหลัง(2)ใส่น้ำมันหอมระเหยอบเชยเทศ
(Cinnamon Essential Oil: CEO)ในแต่ละความเข้มข้น

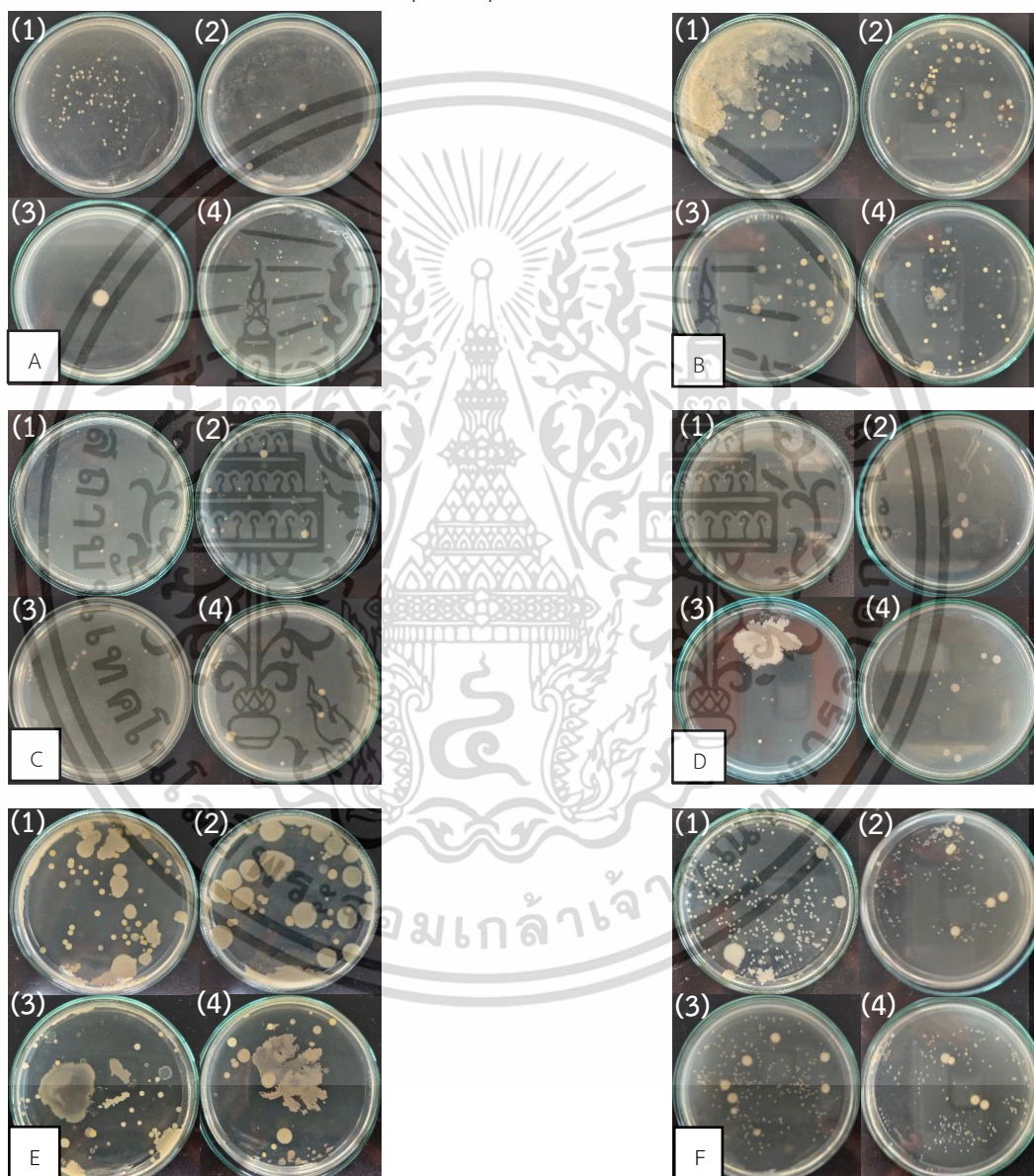


รูปที่ ก-3 แผ่นฟิล์มขนาด 8*8 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 การทดลองใช้ฟิล์มโคโตซาน-เจลาตินผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชย(Cinnamon Essential Oil: CEO) ความเข้มข้นต่างกันเป็นบรรจุภัณฑ์กึ่งแห้ง



รูปที่ 5-5 แสดงจำนวนโคโลนีจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0(A) ถึง วันที่ 15(F) โดยใช้ระดับการเจือจางของสารแขวนลอยเชื้อที่ 10^{-2} ทำการทดสอบกับฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยความเข้มข้นที่ร้อยละ 0(ตัวควบคุม) (1), เอกสารนี้เป็น 0.5 (2), 0.7 (3), และ 0.9 (4)ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ สารละลาย และวิธีการเตรียม

1. Trypticase Soy Agar (TSA)

ส่วนประกอบ

| | | |
|--------------------|------|-----------|
| Trypticase peptone | 15 | กรัม |
| Phytone peptone | 5 | กรัม |
| Sodium chloride | 5 | กรัม |
| วุ้น | 15 | กรัม |
| น้ำกลั่น | 1000 | มิลลิลิตร |

วิธีการเตรียม

ผสมส่วนผสมทุกชนิดในน้ำกลั่น ให้ความร้อนและคนจนวุ้นละลาย ต้ม 1 นาที แบ่งใส่ขวด นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที pH สุดท้าย 7.3 ± 0.2

2. Mueller-Hinton agar (MHA)

ส่วนประกอบ

| | | |
|---------------------------|------|-----------|
| Mueller-Hinton agar (MHA) | 38 | กรัม |
| วุ้น | 15 | กรัม |
| น้ำกลั่น | 1000 | มิลลิลิตร |

วิธีการเตรียม

ผสมส่วนผสมทุกชนิดในน้ำกลั่น ให้ความร้อนและคนจนวุ้นละลาย ต้มจนกระทั่งส่วนประกอบเป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งใส่ขวด นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3. Normal saline (0.85% NaCl)

ส่วนประกอบ

| | | |
|----------|------|-----------|
| NaCl | 8.5 | กรัม |
| น้ำกลั่น | 1000 | มิลลิลิตร |

วิธีการเตรียม

ผสม NaCl ละลายในน้ำกลั่น แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่ 121°C เป็นเวลา 15 นาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. McFarland standard No. 0.5

ส่วนประกอบ

| | | |
|------------------------------------------|-----|-----------|
| Conc.H ₂ SO ₄ 1% | 995 | มิลลิลิตร |
| BaCl ₂ .2H ₂ O 1 % | 5 | มิลลิลิตร |

วิธีการเตรียม

ดูด Conc.H₂SO₄ มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร แล้วชั่งสาร BaCl₂ 1 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลาย H₂SO₄ ที่ปรับปริมาตรแล้วมา 995 มิลลิลิตร และสารละลาย BaCl₂ ที่ปรับปริมาตรแล้วมา 5 มิลลิลิตร ผสมและคนให้เข้ากัน ก็จะได้สารละลาย McFarland standard No. 0.5 ที่ บรรจุใส่หลอดฝาเกลียวปิดฝาให้สนิทกันการระเหย แล้วเก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิ 2- 30 องศาเซลเซียส ก่อนใช้งานต้องเขย่าเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 ความหนา

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.024 | 3 | 0.008 | 0.919 | 0.474 |
| Within Groups | 0.069 | 8 | 0.009 | | |
| Total | 0.093 | 11 | | | |

1.2 ค่าความต้านทานแรงดึง (TS) และการยืดตัวที่จุดขาด (EAB)

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| TS | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.061 | 3 | 0.020 | 2.499 | 0.134 |
| Within Groups | 0.066 | 8 | 0.008 | | |
| Total | 0.127 | 11 | | | |
| EAB | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.003 | 3 | 0.001 | 3.372 | 0.075 |
| Within Groups | 0.002 | 8 | 0.000 | | |
| Total | 0.005 | 11 | | | |

1.3 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ(WVP)

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.465 | 3 | 0.155 | 0.041 | 0.988 |
| Within Groups | 29.962 | 8 | 3.745 | | |
| Total | 30.427 | 11 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ค่าการละลายน้ำ (WS)

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 407.89 | 3 | 135.965 | 1.128 | 0.394 |
| Within Groups | 964.038 | 8 | 120.505 | | |
| Total | 1371.932 | 11 | | | |

1.5 ค่าสีและความทึบแสง

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| L | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 160.029 | 3 | 53.343 | 330.195 | <0.001 |
| Within Groups | 1.292 | 8 | 0.162 | | |
| Total | 161.322 | 11 | | | |
| a | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 35.713 | 3 | 11.904 | 78.181 | <0.001 |
| Within Groups | 1.218 | 8 | 0.152 | | |
| Total | 36.931 | 11 | | | |
| b | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 116.227 | 3 | 38.742 | 864.783 | <0.001 |
| Within Groups | 0.358 | 8 | 0.045 | | |
| Total | 116.585 | 11 | | | |
| Transparency | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.024 | 3 | 0.008 | 0.919 | <0.001 |
| Within Groups | 0.069 | 8 | 0.009 | | |
| Total | 0.093 | 11 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion

| ANOVA | | | | | |
|-----------------------|----------------|----|-------------|--------|--------|
| <i>K. rhizophila</i> | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 13.749 | 3 | 4.586 | 24.625 | <0.001 |
| Within Groups | 1.489 | 8 | 0.186 | | |
| Total | 15.237 | 11 | | | |
| <i>S. aureus</i> | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | | 3 | | | |
| Within Groups | | 8 | | | |
| Total | | 11 | | | |
| <i>B. subtilis</i> | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 8.170 | 3 | 2.723 | 0.937 | 0.467 |
| Within Groups | 23.263 | 8 | 2.908 | | |
| Total | 31.434 | 11 | | | |
| <i>E. coli</i> | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 2.712 | 3 | 0.904 | 11.558 | 0.003 |
| Within Groups | 0.626 | 8 | 0.078 | | |
| Total | 3.338 | 11 | | | |
| <i>P. aeruginosa</i> | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 14.803 | 3 | 4.934 | 17.255 | <0.001 |
| Within Groups | 2.288 | 8 | 0.286 | | |
| Total | 17.091 | 11 | | | |
| <i>S. typhimurium</i> | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.229 | 3 | 0.076 | 1.852 | 0.216 |
| Within Groups | 0.330 | 8 | 0.041 | | |
| Total | 0.559 | 11 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติไปลงนิตยสารใหม่ไปให้ประโยชน์ด้วยการทำ
ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น กรุณาอย่าให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกึ่งแห้ง(TVA)

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|--------------|--------|-------|
| วันที่ 0 | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 0.00 | 3 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| Within Groups | 43432082666 | 4 | 10858020667 | | |
| Total | 43432082666 | 7 | | | |
| วันที่ 3 | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 4196375000.0 | 3 | 1398791666.7 | 1.321 | 0.384 |
| Within Groups | 4235500000.0 | 4 | 1058875000.0 | | |
| Total | 8431875000.0 | 7 | | | |
| วันที่ 6 | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 13205306820 | 3 | 4401768939.9 | 1.158 | 0.429 |
| Within Groups | 15201415294 | 4 | 3800353823.6 | | |
| Total | 28406722114 | 7 | | | |
| วันที่ 9 | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 53370865010 | 3 | 17790288337 | 18.716 | 0.008 |
| Within Groups | 3802127311.6 | 4 | 950531827.91 | | |
| Total | 57172992322 | 7 | | | |
| วันที่ 12 | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 899125000.00 | 3 | 299708333.33 | 0.748 | 0.577 |
| Within Groups | 1602250000.0 | 4 | 400562500.00 | | |
| Total | 2501375000.0 | 7 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| วันที่ 15 | | | | | |
| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 5.549E+13 | 3 | 1.850E+13 | 0.780 | 0.564 |
| Within Groups | 9.489E+13 | 4 | 2.372E+13 | | |
| Total | 1.504E+14 | 7 | | | |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2567

ข้าพเจ้า นางสาวณัฐพร บริบูรณ์สุข รหัสประจำตัว 63050475

นางสาวปิยะรัตน์ พูลสุข รหัสประจำตัว 63050500

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม ภาควิชาชีววิทยา ขอรับรอง
ว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย ผลของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อฟิล์มย่อยสลายได้

จากไคโตซานผสมเจลาติน

ชื่อภาษาอังกฤษ The Effects of Cinnamon Essential Oil on Biodegradable Films Made
from Chitosan with Gelatin

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น และได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้ว โดยใช้โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ ทั้งนี้ได้ตรวจสอบความเหมือนของเนื้อหา 3.59% และได้
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับ
สมบูรณ์แล้ว

ลงชื่อ.....**ณัฐพร บริบูรณ์สุข**.....

(นางสาวณัฐพร บริบูรณ์สุข)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....**ปิยะรัตน์ พูลสุข**.....

(นางสาวปิยะรัตน์ พูลสุข)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.วรกฤต วรนนทกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษศึกษา
ของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลง
ชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ..........

(ผศ.ดร.วรกฤต วรนนทกิจ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาอาจารย์ที่ปรึกษา ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้