การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากนาโนอิมัลชันของสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้

A STUDY OF AN ANTIOXIDANT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF TURMERIC AND ALOE EXTRACTS NANOEMULSIONS

ชนนิกานต์ พิศาลกิตติคุณ
CHONNIKAN PISANKITTIKUL

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF AN ANTIOXIDANT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF TURMERIC AND ALOE EXTRACTS NANOEMULSIONS

CHONNIKAN PISANKITTIKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING

IN NANOMATERIAL ENGINEERING

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากนาโนอิมัลชันของสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้
Special Project Title	A study of an antioxidant and antibacterial activities of turmeric and aloe extracts nanoemulsions
นักศึกษา	นางสาว ชนนิกานต์ พิศาลกิตติคุณ
รหัสประจำตัว	58110014
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ดารินี พรหมโยธิน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	-

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร. กนกทิพย์ บุณยรัตกลิน ดร. สากล ระหงษ์ ผศ.ดร. ดารินี พรหมโยธิน	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารินี พรหมโยธิน)
หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วันที่ 20 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากนาโนอิมัลชันของสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้
นักศึกษา	นางสาว ชนนิกานต์ พิศาลกิตติคุณ
รหัสนักศึกษา	58110014
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารินี พรหมโยธิน

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการใช้สารสกัดจากสมุนไพรเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ เนื่องจากได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในด้านการรักษาอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการเตรียมและวิเคราะห์สารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดจากว่านหางจระเข้ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติทางเภสัชกรรมหลายอย่าง อาทิเช่นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและการรักษาบาดแผล อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการรักษาของขมิ้นชันได้ถูกจำกัดเนื่องจากความสามารถในการใช้ประโยชน์ชีวปริมาณการออกฤทธิ์ต่ำ การละลายในน้ำที่ไม่ดีและความไม่เสถียรทางเคมี การห่อหุ้มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจะช่วยในการปรับปรุงการดูดซึมทางชีวภาพและเพื่อป้องกันอันตรายจากสภาพแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมนาโนเอนแคปซูเลชันโดยจะเตรียมด้วยเทคนิคนาโนอิมัลชันเชิงซ้อนและสารสกัดที่ถูกห่อหุ้มจะถูกบรรจุอยู่ในสารไบโอพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยไคโตซาน และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ซึ่งตัวประสานวัฏภาคน้ำและน้ำมันคือพอลิซอร์เบต 80 และสแปน 80 เป็นสารที่ช่วยให้อิมัลชันคงตัว ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 100-600 นาโนเมตร การตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปียืนยันว่าโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เชื่อมโยงขวางกับไคโตซานที่เป็นนาโนแคปซูล และวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการวิเคราะห์การเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ต่ำกว่าสารมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซี่โทลูอีน วิเคราะห์คุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยจะอยู่ภายใต้แนวคิดการใช้สมุนไพรร่วมกันสองชนิดตามลำดับ

คำสำคัญ : นาโนเอนแคปซูเลชัน, สารสกัดขมิ้นชัน, สารสกัดว่านหางจระเข้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special project	A study of an antioxidant and antibacterial activities of turmeric and aloe extracts nanoemulsions
Student	Miss CHONNIKAN PISANKITTIKUL
Student ID	58110014
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterials Engineering
Year	2018
Special Project Advisor	Dr.Darinee Phromyothin

Abstract

Application of herbal extracts is an interesting topic due to well established and widely acknowledged to be a safe and effective treatment. The present study aims to prepare and evaluate nanoparticles including turmeric and aloe extracts that are the main biologically active components possessing several pharmaceutical activities such as antioxidant, antibacterial and wound healing. However, the therapeutic efficiency of curcumin has been limited due to low bioavailability poor aqueous solubility and chemical instability. Encapsulation of bioactive compounds has been carried out to improve bioavailability and to protect them against harm condition. In this work, nanoencapsulation prepared by multiple-nanoemulsion technique was performed to encapsulate of the extracts loaded biopolymeric containing chitosan and tripolyphosphate. Using a span80 and tween 80 as emulsifiers with an average particle size of 200-600 nm. FT-IR analysis confirmed that tripolyphosphate cross-linked with chitosan in the nanocapsules and analysis of antioxidant compared by DPPH-radical scaving activity assay showed lower value percent inhibition compared with butylated hydroxytoluene standard and analysis of antibacterial under poly-herbalism, respectively.

Keywords: Nanoencapsulation; Turmeric extract; Aloe extract

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากนาโนอิมัลชันของสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้นั้นผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษผู้มอบโอกาสประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้สอนให้รู้จักวิธีการและแนวทางในทางการแก้ปัญหา รวมถึงคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ การวางแผนงานวิจัย และความช่วยเหลือในทุกๆด้านของโครงงานพิเศษตลอดระยะเวลาที่ผ่านมารวมถึง ดร.สากล ระหงษ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษและ ดร.กนกทิพย์ บุณยรัตกลิน ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบโครงงานพิเศษให้ข้อเสนอแนะและช่วยในการแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธี ชุติไพจิตร ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ครั้งขอขอบคุณพี่ๆในห้องปฏิบัติการทดลองสำหรับความช่วยเหลือในงานวิจัย เอื้อเฟื้อสถานที่อำนวยความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือ วัสดุ และการให้คำแนะนำ แนวความคิดเห็นตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ และคณาจารย์ในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ตลอดการศึกษา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเนื้อหาความรู้จากโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางด้านวิชาการให้แก่ท่านไม่มากก็น้อยต่อไป

ชนนิกานต์ พิศาลกิตติคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ i

Abstract ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญรูป viii

สารบัญตาราง xi

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย 2

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 การทบทวนเอกสารหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สารสกัดขมิ้นชัน (Turmeric extract) 4

2.2 สารสกัดจากว่านหางจระเข้ (Alovera extract) 5

2.3 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) 6

2.3.1 นาโนเทคโนโลยีสำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับการนำส่งสารสกัด 7

2.3.2 นาโนเทคโนโลยีสำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับเภสัชโภคภัณฑ์ 7

2.4 เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) 8

2.4.1 นาโนเอนแคปซูเลชัน (Nanoencapsulation) 9

2.4.2 ส่วนประกอบของนาโนแคปซูล 10

2.4.2.1 ผนังแคปซูล (Wall material) 10

2.4.2.2 แกนใน 11

2.4.3 เทคนิคนาโนเอนแคปซูเลชัน 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3.1 ตัวอย่างการเตรียมอนุภาคนาโนในรูปแบบต่างๆที่ใช้ในเภสัชโภคภัณฑ์ 12
2.5 ชนิดของไบโอพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว....18
2.5.1 พอลิเมอร์ที่ได้จากเปลือกของสัตว์ในกลุ่ม crustacean 18
2.5.1.1 ประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรมและเทคโนโลยีนำส่งยา 19
2.5.1.2 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต 19
2.6 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ....19
2.6.1 อนุมูลอิสระ (Free radical).... 19
2.6.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant).... 20
2.6.3 การทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ 20
2.6.4 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระ 20
2.7 แอนตี้แบคทีเรีย (Antibacterial)....21
2.7.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสมุนไพรในห้องปฏิบัติการ.... 22
2.7.2 การทดสอบความไวของเชื้อต่อสารต้านจุลชีพ 22
2.7.3 การเลือกรูปแบบวิธีการทดสอบ 23
2.7.4 วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสมุนไพรในห้องปฏิบัติการ.... 24
2.7.5 Dilution Susceptibility Test หรือการทดสอบ MIC.... 24
2.7.6 Agar diffusion Test.... 24
2.7.6.1วิธีการทำ Agar Diffusion Test (disc diffusion test และ hole-plate diffusion) 24
2.8 เชื้อ *E.coli*....25
2.9 เชื้อ *Staphylococcus aureus*....27
2.10 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง....27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 34
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย....34
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 กระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยเทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) 35

3.3.1.เตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water O/W) 35

3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ... 36

3.5 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของสารสกัดผสมระหว่างขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ ด้วยวิธีดิสดิฟฟิวชั่น (Disc diffusion test)..... 37

3.6 กระบวนการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัด.....38

3.6.1 การตรวจสอบขนาดอนุภาคและความคงตัวของสาร..... 38

3.6.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation efficiency;EE) 38

3.6.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันขอโมเลกุลด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy)..... 39

3.6.4 การตรวจสอบรูปร่างและโครงสร้างของนาโนเอนแคปซูเลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope)..... 39

3.7 การตรวจสอบความสามารถฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging assay.....39

3.8 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone).....39

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล..... 41

4.1 ผลการทดลองการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle analyzer) และประสิทธิภาพในการกักเก็บ..... 41

4.2 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy)..... 45

4.3 ผลการตรวจสอบรูปร่างและโครงสร้างของนาโนเอนแคปซูเลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ หรือสเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope)..... 47

4.4 ผลการตรวจสอบความสามารถฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging assay)..... 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลการทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของสารสกัดผสมระหว่างขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ ด้วยวิธีดิสดิฟฟิวชั่น (Disc diffusion test) 56

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 73

บรรณานุกรม 75

ประวัติผู้เขียน 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างทางเคมีของขมิ้นชัน 5

2.2 โครงสร้างทางเคมีของว่านหางจระเข้ 5

2.3 สัณฐานโครงสร้างของนาโนสเปียร์และนาโนเอนแคปซูล Wall material : polymeric membrane Core material : bioactive & polymeric matrix 2 มิติ 9

2.4 สัณฐานโครงสร้างของนาโนสเปียร์และนาโนเอนแคปซูล Wall material : polymeric membrane Core material : bioactive & polymeric matrix 3 มิติ 9

2.5 ลักษณะอนุภาคนาโนแคปซูลจากพอลิเมอร์ a)อนุภาคนาโน และ b)นาโนแคปซูล 10

2.6 วัฏภาคการกระจายของอิมัลชัน 15

2.7 การคงสภาพของนาโนอิมัลชัน 17

2.8 ลักษณะโครงสร้างของไคตินและไคโตซาน 18

2.9 วิธีการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ 21

3.1 แผนผังสรุปงานการดำเนินโครงงานพิเศษ 40

4.1 กราฟเปรียบเทียบขนาดอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน 42

4.2 กราฟเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันและนาโนอิมัลชันที่ 0.5% ขมิ้นชัน ... 43

4.3 ภาพตัวอย่างกระบวนการเตรียมนาโนอิมัลชันวัฏภาคภายในที่ใช้ความเร็วรอบสูงกว่า 10,000รอบต่อนาที (a) ภาพตัวอย่างกระบวนการเตรียมนาโนอิมัลชันวัฏภาคภายในที่ใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า 10,000 รอบต่อนาที (b) ภาพตัวอย่างอนุภาคนาโนอิมัลชันมีขนาดอนุภาค 1,000± 0.2ที่ความเร็วรอบ10,000 รอบต่อนาที (c) 44

4.4 ผลการวัดสเปคตรัมของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันแสดงการเชื่อมขวางระหว่างอนุภาคไคโตซานและโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต 45

4.5 การเชื่อมขวางประจุบวกของอนุภาคนาโนไคโตซานและประจุลบโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต 46

4.6 ลักษณะของนาโนเอนแคปซุเลช้อนเชิงซ้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ด้วยกระบวนการนาโนเอนแคปซูเลชัน 47

4.7 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน 49

4.9 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน 51

4.10 กราฟเปรียบเทียบการยับยั้งอนุมูลอิสระ 53

4.11 การกระจายของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน 53

4.12 การปลดปล่อยของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน 54

4.13 สารมาตรฐาน BHT โดยการกำจัดอนุมูลอิสระ 54

4.14 นาโนเอนแคปซูเลชันทั้ง3เงื่อนไข 55

4.15 นาโนอิมัลชันเชิงซ้อนทั้ง3เงื่อนไข 55

4.16 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่1 ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด 56

4.17 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *E.coli* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง 57

4.18 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่ 1 ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และชั่วโมงสุดท้ายของการวัด 58

4.19 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *S.aureus* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง 59

4.20 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด 60

4.21 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *E.coli* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.22 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด 62

4.23 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *S.aureus* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง 63

4.24 การปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0% เชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด 64

4.25 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 % เชื้อ *E.coli* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง 65

4.26 การปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0% เชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด 66

4.27 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0% เชื้อ *S.aureus* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง 67

4.28 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน (Inhibition zone) ทั้ง 3 เงื่อนไขของเชื้อ *E.coli* 68

4.29 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน (Inhibition zone) ทั้ง 3 เงื่อนไขของเชื้อ *S.aureus* 69

4.30 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน (Inhibition zone) จากเงื่อนไขที่ดีที่สุด ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อมิลลิตร ของเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* 70

4.31 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันและอนุภาคนาโนที่ยังไม่ได้เอนแคปซูชัน จากเงื่อนไขที่ดีที่สุด ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อมิลลิตร ของเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* 71

4.32 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนที่ยังไม่ได้เอนแคปซูเลชันเป็นเวลา 28 ชั่วโมงของการวัด 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 เงื่อนไขเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ 35
3.2 การเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้นาโนเอนแคปซูเลชัน 5 เงื่อนไข 36
4.1 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการห่อหุ้มของนาโนเอนแคปซูเลชันทั้ง 3 เงื่อนไข 41
4.2 ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานเชื่อมขวางกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่ 0.5% ขมิ้นชัน 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันนี้นาโนเทคโนโลยี ที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทยทั้งในด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม เป็นต้น จากคุณสมบัติของอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถแทรกเข้าไปในระบบต่างๆทั้งทางกายภาพและชีวภาพ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มมากขึ้น ด้วยคุณสมบัตินี้เองนาโนเทคโนโลยี จึงได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยผู้ทำการวิจัยได้เล็งเห็นถึงการสร้างคุณค่าใหม่ๆให้สมุนไพรไทย ด้วยนาโนเทคโนโลยีและมุ่งหวังที่จะประยุกต์ใช้สารสกัดสมุนไพรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ให้ดียิ่งขึ้นในการดูดซึมเข้าสู่ชั้นผิวหนังเข้าสู่บริเวณชั้นผิวหนังบนสุดหรือบริเวณอื่นๆ โดยจะไม่ดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด ปัจจุบันนี้สมุนไพรไทยซึ่งรู้จักกันอย่างแพร่หลายในด้านเสริมความงามและยารักษาโรค อีกทั้งยังมีกระแสนิยมของผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงสารเคมีและหันมาให้ความสนใจผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ร่างกาย และมีความปลอดภัย มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบที่สังเคราะห์จากสารเคมีเป็นวัตถุดิบหลัก จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาค้นคว้าสมุนไพรไทยที่มีสรรพคุณและประโยชน์มากมายทางชีวภาพ รวมถึงมีสารออกฤทธิ์ตามธรรมชาติ โดยมุ่งเน้นคุณสมบัติในการยับยั้งอนุมูลอิสระ การต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยแนวคิดเรื่องการใช้สมุนไพรร่วมกันสองชนิด (Poly herbalism) เมื่อผสมสมุนไพรหลายชนิดในอัตราส่วนหนึ่ง ๆ จะทำให้ได้ผลในการรักษาที่ดีขึ้นและลดความเป็นพิษ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรักษามากขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษากระบวนการเตรียมและตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติสารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดว่านหางจระเข้ในระดับนาโน ด้วยเทคนิคนาโนอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (Oil in water in oil O/W/O) และศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารไบโอพอลิเมอร์ ประกอบไปด้วยไคโตซานและโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ที่ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน ว่านหางจระเข้อุดมไปด้วยไกลโคโปรตีน พอลิแซคคาไรด์ และมีสารสำคัญในการออกฤทธิ์ลดการอักเสบ ซึ่งจะช่วยปรับสภาพผิวลดอาการแพ้ระคายเคือง ทั้งยังให้ความชุ่มชื้นแก่ผิว เติมน้ำให้ผิว โดยเกิดผ่านคุณสมบัติในการเป็น สารฮิวเมกเตนท์ คือ ดึงดูดโมเลกุลน้ำเข้าสู่ผิวอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมีการแพร่ของสารสกัดเข้าไปในผิวหนัง โดยมีนัยสำคัญว่าผิวหนังคืออวัยวะเป้าหมายในการออกฤทธิ์ รวมเข้ากับขมิ้นชันซึ่งเป็นสารจำพวกพอลิฟีนอล โดยเหง้าของขมิ้นชันที่สกัดได้เรียกว่าสารเคอร์คูมิน (Curcumin) เป็นสารที่มีฤทธิ์มากมายเป็น สารต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชัน ต้านอักเสบ อย่างไรก็ตาม เคอร์คิวมิน มีการละลายในน้ำได้ต่ำหรือดูดซึมได้น้อย ไม่คงตัวต่อสภาวะแวดล้อม และมีความไม่เสถียร ผู้วิจัยจึงนำเทคนิคชนิดเอนแคปซูเลชันมาแก้ปัญหาข้อจำกัดเหล่านี้ ซึ่งสามารถที่จะช่วยการนำส่งสารสกัดที่สลายตัวได้ง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยให้สารสกัดออกฤทธิ์ได้ดี ช่วยให้มีความคงตัวมากขึ้น รวมถึงเพิ่มชีวปริมาณออกฤทธิ์ทางชีวภาพอีกด้วย โดยศึกษากระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้โดยจะทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นนาโนอิมัลชันเชิงซ้อน และเพิ่มความคงตัวด้วยกระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) เพื่อให้อยู่ในรูปของนาโนแคปซูลหรือที่เรียกว่านวัตกรรมการกักเก็บสมุนไพร (Encapsulation) และเติมไบโอพอลิเมอร์คือไคโตซานเชื่อมโยงกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ไว้ในวัฏภาคน้ำมันภายในและใช้อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ในการประสานวัฏภาคน้ำและน้ำมัน ซึ่งสารออกฤทธิ์สำคัญของสมุนไพรจะถูกจัดเก็บในรูปแบบของนาโนแคปซูลโดยสารสกัดว่านหางจระเข้จะอยู่ในวัฏภาคน้ำและสารสกัดขมิ้นชันจะอยู่ในวัฏภาคน้ำมัน ซึ่งจะส่งผลต่อการออกฤทธิ์ต่างๆของผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลดียิ่งขึ้นและมีคุณสมบัติพิเศษมากกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไป โดยใช้ขนาดของอนุภาค ประสิทธิภาพการกักเก็บ เป็นตัวชี้วัดการนำส่งสารสกัดในรูปแบบระบบการนำส่งภายนอกร่างกายผ่านทางผิวหนังและวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธีการวิเคราะห์การเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (DPPH radical scavenging assay) รวมถึงหาบริเวณการยับยั้งแบคทีเรีย (Inhibition zone) ด้วยวิธีการทดสอบดิสดิฟฟิวชั่น Agar Diffusion Test (Disc diffusion test)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษากระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดว่านหางจระเข้โดยทำการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดทั้งสองชนิดในการเตรียมเป็นนาโนอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ในระดับนาโน เช่น ขนาดอนุภาค คุณสมบัติการยับยั้งอนุมูลอิสระ การต้านเชื้อแบคทีเรีย

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชัน

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

เทคนิคการทำนาโนเอนแคปซูเลชันนั้นมีหลากหลายวิธีที่มีความเหมาะสมแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย ทั้งประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ การปลดปล่อยสารสกัด การเก็บรักษา โดยผู้วิจัยคาดหวังว่า สารสกัดจากขมิ้นชันและสารสกัดว่านหางจระเข้ในรูปแบบนาโนแคปซูล จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมของสารสกัดที่ออกฤทธิ์เพื่อบรรเทาอาการทางโรคผิวหนังและสามารถกัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บความชุ่มชื้นของสารสกัดสมุนไพรในรูปแบบของนวัตกรรมการนำส่งผ่านผิวหนังภายนอกร่างกาย ได้ตรงตามวัตถุประสงค์เป้าหมายจากการศึกษาที่ได้กล่าวไปข้างต้น

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดว่านหางจระเข้ โดยจะทำการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดทั้งสองชนิดในการเตรียมเป็นนาโนอิมัลชันเชิงซ้อน ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน โดยสารสกัดขมิ้นชันจะเป็นวัตถุดิบหลักในส่วนของวัฏภาคน้ำมัน สารสกัดว่านหางจระเข้ ไคโตซาน เป็นวัตถุดิบหลักในวัฏภาคน้ำ พอลิซอร์เบต ใช้ในการประสานวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำโดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลายซึ่งจะได้เป็นสารอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (Oil in water O/W) หลังจากนั้นทำเป็นอิมันชัลเชิงซ้อน (Multiple emulsion) โดยน้ำมันมิเนอรัลจะเป็นวัตถุดิบหลักของวัฏภาคน้ำมันภายนอกสุด สแปน 80 จะเป็นตัวประสานวัฏภาคซึ่งจะได้เป็นสารอิมัลชันเชิงซ้อนที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นทำการเติมโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามระหว่างประจุบวกของไคโตซานและประจุลบสารไตรพอลิฟอสเฟต เพื่อให้ได้เป็นนาโนแคปซูลที่ห่อหุ้มสารสกัดเอาไว้เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการเตรียมที่ทำให้เป็นนาโนอิมัลชันด้วยโฮโมจิไนเซอร์ (Homogenizing) นาโนแคปซูลจะมีการกระจายตัวอยู่ในน้ำมันมิเนอรัล จึงต้องทำการระเหยเพื่อนำน้ำออกและทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกนาโนแคปซูลออกจากน้ำมันมิเนอรัลและเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ได้เป็นผงออกมาจากนั้นทำการตรวจสอบขนาดอนุภาคและวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เพื่อยืนยันผลว่าโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเชื่อมโยงขวางกับไคโตซานที่เป็นนาโนแคปซูล เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วนำไปตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจะตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชัน และหาบริเวณการยับยั้งแบคทีเรีย ด้วยวิธีการทำดิสดิฟฟิวชั่น ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของสารสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยนาโนแคปซูล

1.5.2 สามารถตรวจสอบคุณสมบัติฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

1.5.3 สามารถนำไปต่อยอดใช้งานทางด้านเภสัชโภคภัณฑ์ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

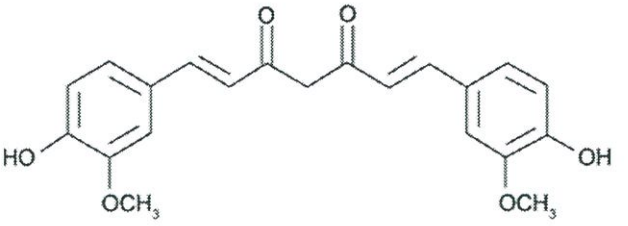
สารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดว่านหางจระเข้เป็นสารสกัดจากธรรมชาติ (Natural extracts) โดยสารสกัดทั้งสองชนิดนี้มีสารออกฤทธิ์สำคัญที่มีประสิทธิภาพมากมาย อาทิเช่น ฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและรักษาบาดแผล เป็นต้น

2.1 สารสกัดขมิ้นชัน (Turmeric extract)

ขมิ้นชันมีชื่อสามัญคือ Turmeric หรือ Curcuma มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma Longa Linn* เป็นสมุนไพรที่อยู่ในวงศ์ขิง (Zingiberaceae) มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือเป็นพรรณไม้ล้มลุก มีเหง้าอยู่ใต้ดินเนื้อในของเหง้าเป็นสีเหลือง เหลืองเข้ม จนสีแสดจัด อ้วนสั้น มีแขนงรูปทรงกระบอกแตกออกด้านข้าง 2 ด้าน มีกลิ่นฉุน ใบเดี่ยว กลางใบสีแดงคล้ำ ดอกช่อแทงออกจากเหง้า แทรกขึ้นมาระหว่างก้านใบ กลีบดอกสีเหลืองอ่อน ใบประดับสีเขียวอ่อนหรือสีนวล ใช้เป็นยาแผนโบราณตั้งแต่สมัยโบราณในประเทศในเอเชียใต้และตะวันออกกลางขมิ้นชันมีสารที่สำคัญและออกฤทธิ์เรียกว่า Curcuminoid เป็นสาร Tetrahydrodiferuloylmethane เป็นพอลิฟีนอลที่พบในเหง้าของขมิ้นชันและเมื่อสกัดออกมาจะอยู่ในรูปของของเหลว ซึ่งสารสกัดมีฤทธิ์มากมายทางการแพทย์และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารและยา เนื่องจากมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial) เชื้อรา ลดการอักเสบ ต้านอนุมูลสระ (Antioxidant) การหายของแผล (Wound healing) ขมิ้นชันไม่มีพิษเฉียบพลัน มีความปลอดภัย รวมถึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกระบวนการสร้างเม็ดสีผิวอีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากสารสกัดขมิ้นชันมีข้อจำกัดบางประการ อาทิเช่น มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Poor aqueous solubility) มีชีวปริมาณการออกฤทธิ์ต่ำ ความไม่เสถียรทางเคมี (Chemical instability) เป็นต้น[1]

ขมิ้นชันมีสูตรทางเคมีคือ (1,7-bis (4-hydroxy-3-methoxy phenyl) -1,6-heptadiene-3,5-dione) เป็นโมเลกุลสมมาตรหรือที่เรียกว่า diferuloyl methane สูตรโมเลกุลทางเคมี (Chemical formula) คือ $C_{21}H_{20}O_6$ มีน้ำหนักโมเลกุลคือ 368.385 กรัมต่อโมล[2] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

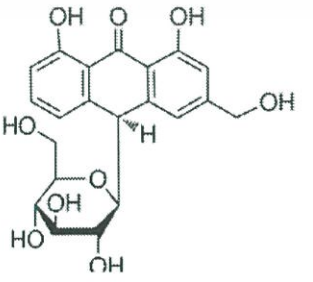


รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของขมิ้นชัน

2.2 สารสกัดจากว่านหางจระเข้ (Alovera extract)

ว่านหางจระเข้มีชื่อสามัญคือ Aloe, Aloe vera, Aloin, Barbados, Jafferabad, Star cactus ว่านหางจระเข้มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ Alo barba-densis miller และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Aloe vera (L.) Burm.f.* โดยคำว่า"อะโล" (Aloe) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกโบราณที่หมายถึงว่านหางจระเข้ ซึ่งเป็นคำที่แผลงมาจากคำว่า "Allal" ในภาษายิวที่มีความหมายว่าฝาดหรือขม ว่านหางจระเข้ปกติแล้วเป็นพืชที่ขึ้นในเขตร้อนและภายหลังได้แพร่ขยายพันธุ์ไปสู่เอเชียและยุโรปซึ่งว่านหางจระเข้มีแหล่งกำเนิดดั้งเดิมแถบชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกา โดยว่านหางจระเข้จะมีมากมายกว่า 300 สายพันธุ์ เป็นพรรณไม้ล้มลุกมีอายุหลายปี มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือลำต้นเป็นข้อปล้องสั้น มี ใบหนาและยาว อวบน้ำ แผ่นใบมีสีเขียว มีจุดยาวสีขาวอ่อนออกเรียงเวียนรอบต้น มีขอบใบหยัก มีหนามแหลมเล็ก ๆ สีขาวอยู่ห่างกัน ข้างในใบเป็นวุ้นสีเขียวอ่อน[3]กันไปได้ตามชนิดของสารนั้นๆ

ว่านหางจระเข้มีชื่อทางเคมีคือ 1,8-dihydroxy-3-(hydroxymethyl)-10-[3,4,5-trihydroxy-6-(hydroxymethyl)oxan-2-yl]-10H-anthracen-9-one และมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{21}H_{22}O_9$ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 418.398 กรัมต่อโมลดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของว่านหางจระเข้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่สำคัญในใบว่านหางจระเข้ประกอบด้วยส่วนที่อยู่ภายในสุดมีลักษณะขาวขุ่นจะเป็นเจลลี่ 99% และส่วนที่เหลือจะเป็นกรดอะมิโนจำเป็น มีสารที่สำคัญอาทิเช่น สารพอลิแซกคาไรด์ พอลิเพปไทด์และมีสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย โดยว่านหางจระเข้นั้นมีสารที่ออกฤทธิ์สำคัญมากมาย อาทิเช่น สารอะโลนิน A และ B โดยมีลักษณะเป็นยาง (Resin) ที่ติดอยู่ระหว่างเปลือก และเมือกวุ้นของว่านหางจระเข้และไกลโคโปรตีน จาการศึกษาพบสารออกฤทธิ์สำคัญเหล่านี้มีความสามารถในการการยับยั้งแบคทีเรีย ต้านอนุมูลสระ การหายของแผล และต้านมะเร็งเป็นต้น นอกจากนั้นสารสกัดว่านหางจระเข้ยังมีประสิทธิภาพในการเพิ่มชีวปริมาณการออกฤทธิ์ (Enhance bioavailability) และนักวิจัยตั้งข้อสังเกตว่า สามารถที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม (Improved the overall efficacy) อย่างไรก็ตาม สารกัดว่านหางจระเข้ ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอาจถูกจำกัดด้วยสภาพแวดล้อมที่รุนแรงในระหว่างกระบวนการผลิต[4]

2.3 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโนเทคโนโลยี หมายถึง เทคโนโลยีหรือการประยุกต์ใช้ของอนุภาคหรือสิ่งที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร โดยประมาณในช่วง 1-100 นาโนเมตร โดยสิ่งนั้นมีคุณสมบัติที่เฉพาะก่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อพิจารณาจากขนาดที่เล็กมากถึง 1 ในพันล้านส่วน จะทำให้พื้นที่ผิว (Surface area) ของสิ่งนั้นมีเพิ่มขึ้นด้วยและสามารถแทรกซึมไปในพื้นผิวได้ดี คุณสมบัติพิเศษของสารในระดับนาโนอาจแตกต่างกันไปได้ตามชนิดของสารนั้นๆ

วัสดุนาโน (Nanomaterials) หรืออนุภาคนาโน (Nanoparticles) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ การนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หรือวินิจฉัยและใช้ในการห่อหุ้มสาร เพื่อนำส่งร่างกายเป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้นาโนเทคโนโลยีได้แก่ ผลิตภัณฑ์ด้านสุขภาพต่างๆ เครื่องสำอาง ยา เวชภัณฑ์ เครื่องนุ่งห่ม สินค้าประเภทอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนั้นยังมีผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มอีกด้วย ระบบนาโนชนิดต่างๆสามารถทำหน้าที่ในการสร้างโครงสร้างใหม่และปรับปรุงฟังก์ชันการทำงานให้กับส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ เช่น นาโนไลโปโซม (Nanoliposome) นาโนอิมัลชัน (Nanoemulsion) นาโนเอนแคปซูเลชัน (Nanoencapsulation) ซึ่งแหล่งที่มาที่แตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของไบโอพอลิเมอร์และนาโนไฟเบอร์ (Nanofiber) ณ ตอนนี้วัสดุนาโนที่มีการใช้งานด้านอาหารรวมถึงสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อีกด้วย วัสดุนาโนวิศวกรรมที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถมีได้หลายประเภท ซึ่งการใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบแพคเกจอาหารเช่นนาโนซิลเวอร์ ซึ่งมีฤทธิ์ต้านจุลชีพและถูกใช้ในวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร หรือ นาโนซิลิกาซึ่งจะใช้สำหรับพื้นผิวที่สัมผัสอาหารและบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 นาโนเทคโนโลยีสำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับการนำส่งสารสกัด

นาโนเทคโนโลยีสามารถใช้เพื่อเพิ่มการจัดส่งยาสมุนไพรที่ละลายน้ำได้ไม่ดี (Enhance delivery of poorly water soluble herbal) ระบบนำส่งสารสกัดให้ตรงกับอวัยวะเป้าหมายที่ต้องการนำส่ง (Drugs targeted delivery) การปลดปล่อยโมเลกุลสมุนไพรขนาดใหญ่ การจัดส่งร่วมกับยาตั้งแต่สองตัวขึ้นไปและการสังเกตตำแหน่งของการจัดส่งยาโดยการใช้ยาสมุนไพรร่วมกับรูปแบบการถ่ายภาพ ระบบการจัดส่งที่หลากหลายได้รับการพัฒนาโดยมีเป้าหมายคือเพื่อห่อหุ้ม ซึ่งมีหลักการออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังนี้ความสัมพันธ์ระหว่างไมเซลล์ อิมัลชัน วัสดุเชิงประกอบไบโอพอลิเมอร์และลักษณะเฉพาะของระบบนำส่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึม ระบบการจัดส่งแต่ละประเภทนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย[5]

2.3.2 นาโนเทคโนโลยีสำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับเภสัชโภคภัณฑ์

นาโนเทคโนโลยีมีการใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับเภสัชโภคภัณฑ์ (Nutraceutical) และผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ไม่ดี Nutraceutical เป็นคำที่เกิดจากการผสม ระหว่างคำว่า "Nutrients" ซึ่งหมายถึง สารอาหารและ "pharmaceutics" ซึ่งหมายถึงยาโดย "Nutraceutical" หมายถึง อาหาร หรือส่วนประกอบของอาหาร ที่มีสรรพคุณซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ประโยชน์ทางยา ป้องกันโรค รักษาโรค และชะลอความชรา การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในโภชนเภสัชภัณฑ์และอาหารฟังก์ชัน ได้แก่ การนำมาใช้เป็นตัวห่อหุ้มหรือเก็บกักสารอาหารหรือสารในอาหารชนิดต่างๆไว้ในอนุภาคนาโน เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบหรือส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ โดยประโยชน์ที่ได้อาจเป็นการเพิ่มคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์หรือเป็นการเสริมหรือเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (Food fortification) รักษาความคงสภาพของสารที่ห่อหุ้มไว้ สามารถกักเก็บกลิ่นและสีของอาหาร ซึ่งอาจสูญเสียไประหว่างกระบวนการผลิตอาหารที่ผ่านการใช้พลังงานหรือความร้อนสูง นอกจากนั้นยังใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยสารเก็บกักในอนุภาคได้ด้วย ระบบนาโนซึ่งนิยมใช้ในการห่อหุ้มสารในอาหารที่สำคัญได้แก่ ไมเซลล์ (Micelle) ไลโปโซม (Liposome) อิมัลชัน (Emulsion) อนุภาคนาโนไขมันแข็ง (Solid lipid nanoparticles) เป็นต้น ซึ่งระบบนาโนดังกล่าวจะสร้างขึ้นจากกระบวนการทางเคมี โดยการทำให้เกิดการจัดเรียง (Self-assembly) ของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ในสภาวะที่เหมาะสมทำให้เกิดเป็นอนุภาคนาโนขึ้น ยกตัวอย่างเช่น

1.) ไมเซลล์ เป็นระบบซึ่งเกิดจากโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวหรือสารก่ออิมัลชัน มารวมตัวกันเป็นอนุภาคลักษณะทรงกลม โดยที่ผิวจะมีการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวแบบเป็นชั้นเดียว (Monolayer) โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนหัวของโมเลกุลที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic head) เข้าสู่ตัวกลางซึ่งเป็นน้ำ และหันส่วนท้ายของโมเลกุลที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Lipophilic tail) ออกจากตัวกลาง (น้ำ) ไมเซลล์สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มการละลายของสารที่ละลายน้ำได้น้อยให้สามารถละลายได้ง่ายขึ้น โดยเก็บกักสารนั้นไว้ภายในอนุภาคไมเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ไลโปโซม เป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายไมเซลล์ แต่มีการจัดเรียงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเป็นสองชั้น (Bilayer) วัตถุดิบในการเตรียมไลโปโซมมักนิยมใช้ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ผสมกับคอเลสเตอรอล (Cholesterol)

3.) อิมัลชัน เป็นระบบที่มีสองวัฏภาค (Phase) คือน้ำและน้ำมัน โดยอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจะมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมและมีการจัดเรียงโมเลกุลของสารก่ออิมัลชันที่พื้นผิวภายในอนุภาคจะเป็นน้ำมัน ในขณะที่ส่วนตัวกลาง (Medium) ที่ล้อมรอบอนุภาคอยู่จะเป็นน้ำ อิมัลชันชนิดนี้จะใช้สำหรับเพิ่มการละลายของสารที่ละลายได้น้อยในน้ำ ในทางกลับกันอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันจะใช้สำหรับการห่อหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำ ขนาดของอนุภาคอิมัลชันโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนแต่ถ้ามีขนาดอนุภาคเล็กลงอยู่ในช่วงประมาณ 200 นาโนเมตรหรือน้อยกว่า อาจเรียกว่า นาโนอิมัลชันได้ สารสำคัญที่นิยมเก็บกักไว้ภายในอนุภาคนาโนมักเป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายตัวอย่างเช่น วิตามินชนิดละลายในไขมัน การเก็บกักสารดังกล่าวไว้ในอนุภาคนาโน จะช่วยเพิ่มความคงตัวและการดูดซึมของสารนั้นเข้าสู่ร่างกาย ส่งผลให้ชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ของสารนั้นในร่างกายเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้หลังการเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานแล้ว อนุภาคนาโนจะแพร่ผ่านเซลล์เยื่อบุผิวลำไส้ (Enterocytes) โดยวิธีที่เรียกว่า transcellular หรือ transcytosis และอาจอาศัยตัวรับ (Receptor) บนผิวเซลล์ในการผ่านเข้าสู่เซลล์ร่างกาย กระบวนการเพิ่มความสามารถในการผ่านเข้าสู่เซลล์ของอนุภาคนาโนทำได้โดยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของพื้นผิวอนุภาคได้แก่การใช้พอลิเมอร์บางชนิด เช่น ไคโตซาน ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นบวกอย่างอ่อนทำให้เกิดแรงกระทำทางประจุ (Ionic interaction) กับเซลล์เยื่อบุผิวซึ่งมีประจุเป็นลบส่งผลให้อนุภาคนาโนผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายขึ้น[6]

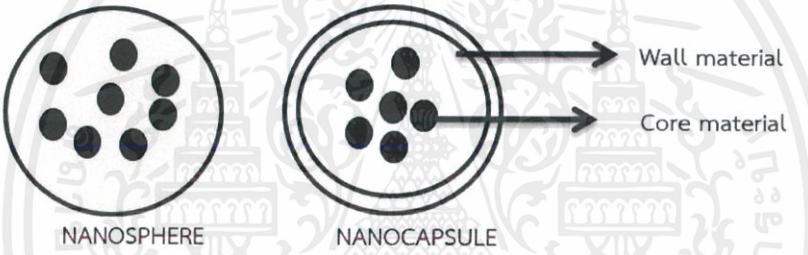
2.4 เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)

กระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารจะถูกห่อหุ้มด้วยสารชนิดอื่นสารที่ถูกห่อหุ้มคือ (Core material) หรือถูกยึดจับไว้ (Entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวแต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปเช่น Internal Phase สารที่นำมาห่อหุ้มจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating โดยสารที่ถูกห่อหุ้มจะสามารถปกป้องสารวัตถุออกฤทธิ์จากสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารบางชนิดไวต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งเอนแคปซูเลชัน สามารถชะลอการเสื่อมเสียของสารทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น หรือสามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารได้ โดยการห่อหุ้มจะใช้สารไบโอพอลิเมอร์มาห่อหุ้ม ซึ่งมีหลากหลายชนิด เช่น โปรตีน กัม ไคโตซาน มอลโตเดกซ์ตริน ซึ่งสารที่ได้กล่าวมานั้นมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ ไม่เป็นพิษ[7]

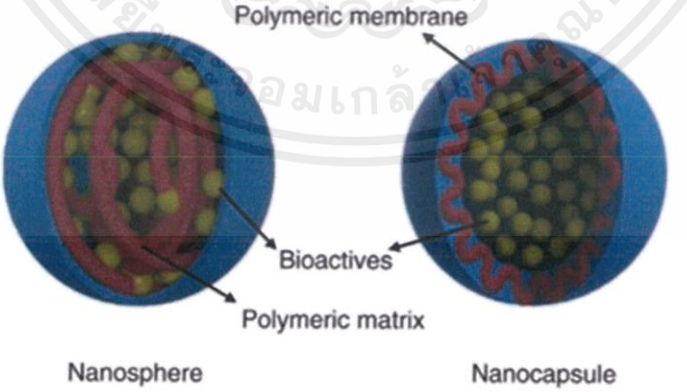
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 นาโนเอนแคปซูเลชัน (Nanoencapsulation)

เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการห่อหุ้มหรือบรรจุสารทางชีวภาพในขนาดนาโนซึ่งจะสามารถนำส่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไปยังบริเวณต่างๆที่เป็นอวัยวะเป้าหมายภายในร่างกายได้ ด้วยเหตุนี้นาโนแคปซูล จึงมีศักยภาพในการเพิ่มความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้และปรับปรุงการปลดปล่อยสารควบคุมรวมถึงสามารถกำหนดเป้าหมายได้อย่างแม่นยำของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระดับที่สูงกว่าการเอนแคปซูล อนุภาคนาโนเป็นอนุภาคขนาดคอลลอยด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ถึง 1,000 นาโนเมตร ทั้งแคปซูลนาโนและนาโนสเปียร์ นาโนแคปซูลเป็นระบบ vesicular ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพถูกจำกัด ไว้ในโพรงที่ล้อมรอบด้วยเมมเบรนพอลิเมอร์เฉพาะ ในขณะที่นาโนสเปียร์เป็นระบบเมทริกซ์ ที่สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกระจายตัวสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 นาโนเอนแคปซูเลชัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษารวมถึงมีความเฉพาะเจาะจงในการนำส่งสารไปยังเป้าหมายที่ต้องการ



รูปที่ 2.3 สัณฐานโครงสร้างของนาโนสเปียร์และนาโนเอนแคปซูล Wall material : polymeric membrane Core material : bioactive & polymeric matrix 2มิติ [12]



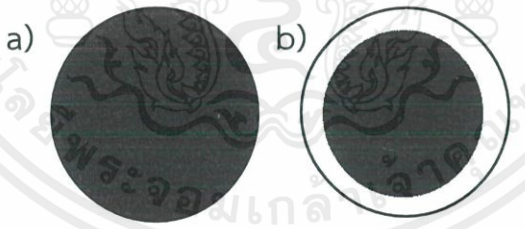
รูปที่ 2.4 สัณฐานโครงสร้างของนาโนสเปียร์และนาโนเอนแคปซูล Wall material : polymeric membrane Core material : bioactive & polymeric matrix 3มิติ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ส่วนประกอบของนาโนแคปซูล

2.4.2.1 ผนังแคปซูล (Wall material)

ห่อหุ้มส่วนแกนใน หรือที่เรียกกว่า (Core-shell-Encapsulation) ในรูปแบบของพอลิเมอร์ ระบบนำส่งประเภทสารพอลิเมอร์ (Polymer-based nanosystems) จากการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนแคปซูลสามารถเตรียมได้จากพอลิเมอร์หลาย ๆ ชนิดซึ่งสารออกฤทธิ์สำคัญจะถูกกักเก็บได้หลากหลายรูปแบบ เช่น กระจายอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) ถูกกักเก็บอยู่ในแกนกลางของอนุภาค ถูกดูดซับหรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ ดังนั้นอนุภาคที่ได้จะมีความคงรูป (Rigid) มากกว่าระบบอื่น ๆ พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้เตรียมมีทั้งแบบที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable polymers) และแบบที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Nondegradable polymers) อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโนควรเข้ากันได้ทางชีวภาพโดยไม่ก่อให้เกิดสารพิษและไม่เป็นแอนติเจนต่อร่างกายรวมถึงควรย่อยสลายได้ ซึ่งพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์มีคุณสมบัติดังกล่าวโดยพอลิเมอร์ธรรมชาติที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการเตรียมอนุภาคนาโนพอลิเมอร์ อาทิเช่น ไคโตซาน เจลาตินโซเดียมอัลจิเนต อัลบูมิน เป็นต้น ในส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์อาทิเช่น พอลิแลกทิส (PLA) พอลิไกลโคลิท (PGA) พอลิแลกทิสโตไกโคลิท (PLGA) พอลิเมธิลเมทาคริเลต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิกรดอะคริลิค พอลิอะคริลาไมด์ พอลิเอทิลีนไกลคอล ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละตัวนั้นจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปโดยอนุภาคนาโนจากพอลิเมอร์จะสามารถแทรกผ่านลึกลงไปในชั้นผิวหนังได้จะใช้ช่องทางผ่านทางรูขุมขน[8]ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะอนุภาคนาโนแคปซูลจากพอลิเมอร์ a)อนุภาคนาโน และ b)นาโนแคปซูล

องค์ประกอบของวัสดุผนังในอุดมคติควรแสดงลักษณะต่อไปนี้

1.สามารถใช้งานได้ง่ายในระหว่างการห่อหุ้ม

2.ไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุที่จะห่อหุ้มทั้งในระหว่างการประมวลผลและในการจัดเก็บเป็นเวลานาน

3.ความสามารถในการปลดปล่อยตัวทำละลายหรือวัสดุอื่นๆที่ใช้ในระหว่างกระบวนการห่อหุ้มอย่างสมบูรณ์ภายใต้การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ความสามารถในการให้การป้องกันสูงสุดกับวัสดุที่ใช้งานกับสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน ความร้อนแสง ความชื้น

5.ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับวัสดุแกนในที่ใช้งานอยู่

6.ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น น้ำ เอทานอล

2.4.2.2 แกนใน

กระจายตัวอยู่ภายในสารทีเป็นผนัง (แกนในเป็นสารประกอบทางเภสัชโภคภัณฑ์ที่มีทั้งแบบ ไลโปพิลิก (Lipophilic) และไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) สำหรับการทำเป็นนาโนแคปซูล สารประกอบไฮโดรฟิลิก จะมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ แต่ไม่ละลายในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ ในขณะเดียวกันที่สารไลโปพิลิกไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถละลายได้ในไขมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ สารประกอบไฮโดรฟิลิก นาโนเอนแคปซูล ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก พอลิฟีนอล และอื่นๆ สารประกอบไลโปฟิลิก ได้แก่ ไลโคปีน เบต้าแคโรทีน เป็นต้น ดังนั้น การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในโภชนเภสัชภัณฑ์ เช่นการนำมาใช้เป็นตัวห่อหุ้มหรือกักเก็บสารที่สำคัญไว้ในอนุภาคนาโน โดยวิธีนี้สามารถรักษาและคงสภาพของสารที่ห่อหุ้มไว้ได้ สามารถกักเก็บสารสำคัญเอาไว้ได้ซึ่งอาจจะสูญเสียในระหว่างกระบวนการหรือพลังงานที่ใช้ความร้อนสูง นอกจากนั้นยังใช้ในการควบคุมการปล่อย ปล่อยสารที่เก็บกักในอนุภาคได้ทำให้มีประสิทธิภาพออกฤทธิ์ของสารไปยังอวัยวะเป้าหมายได้อย่างปลอดภัย[9]

2.4.3 เทคนิคนาโนเอนแคปซูเลชัน

ปัจจัยทางเคมีฟิสิกส์หลายอย่างส่งผลต่อการปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อาทิเช่น รูปร่างและขนาดของพาหะ อัตราการสลายตัว ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแคปซูล สารต่างๆเช่นคาร์โบไฮเดรตโปรตีนและไขมันสามารถใช้เป็นพาหะนำส่งได้ การใช้คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนถูกจำกัด เนื่องจากความต้องการรักษาทางเคมีและทางความร้อนที่ซับซ้อน รวมถึงความยากลำบากในการควบคุมสภาวะเหล่านี้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้ไขมัน เนื่องจากความเป็นพิษต่ำและประสิทธิภาพที่สูง จึงจำเป็นต้องเลือกเทคนิคการห่อหุ้มที่เหมาะสมตามขนาดที่ต้องการคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของวัสดุแกนกลางและวัสดุผนัง เทคนิคการห่อหุ้มนาโนสามารถทำได้ทั้งจากบนลงล่าง (Top-down) หรือจากล่างขึ้นบน (Bottom-up) สำหรับการพัฒนาวัสดุนาโน

วิธีการจากบนลงล่าง ขนาดของอนุภาคจะลดลงในระหว่างกระบวนการห่อหุ้มซึ่งใช้เพื่อพัฒนาวัสดุนาโนและเป็นวิธีการที่ใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำเพื่อลดขนาดและการสร้างโครงสร้างสำหรับการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนที่ต้องการ เช่น เครื่องมือทางกายภาพ ไมโครฟูอิดิส (Microfluidizer) โฮโมจิไนส์ (High homogenizer) หรือทางเคมี เช่น การระเหยตัวทำละลายแบบอิมัลชัน (Emulsification–solvent evaporation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการจากล่างขึ้นบน ขนาดอนุภาคจะเพิ่มขึ้น เช่น วัสดุจะถูกสร้างขึ้นโดยการประกอบตัวเองและการจัดระเบียบโมเลกุลของตัวเอง ซึ่งปัจจัยที่มีผล ได้แก่ ความเป็นกรดเบส (pH) อุณหภูมิ ความเข้มข้นและค่าความแรงไอออน (Ionic strength) อาทิเช่น เทคนิคการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid) การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) และกระบวนการอาศัยหลักการทางเคมี (Coacervation)

เทคนิคทั้งสองเหล่านี้เหมาะสมกับการนำส่งสารชีวภาพซึ่งสามารถใช้สำหรับห่อหุ้มสารประกอบทางชีวภาพที่ไม่ชอบน้ำ และชอบน้ำได้หลายชนิด อย่างไรก็ตามเทคนิค การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อน การระเหยตัวทำละลายแบบอิมัลชันเหมาะสำหรับสารไลโปฟิลิก[10]

2.4.3.1 ตัวอย่างการเตรียมอนุภาคนาโนในรูปแบบต่างๆที่ใช้ในเภสัชโภคภัณฑ์

2.4.3.1.1 เทคนิคอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification)

เทคนิคอิมัลซิฟิเคชันนั้นใช้สำหรับห่อหุ้มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งเป็นแบบสารละลายน้ำได้โดยอยู่ในรูปแบบ นาโนอิมัลชันประกอบด้วยของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายกัน ขนาดตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 นาโนเมตร ซึ่งมีความเสถียรภาพเหมาะที่จะนำไปทำเป็นแคปซูล โดยสามารถห่อหุ้มและนำส่งด้วยอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำและน้ำในน้ำมัน ซึ่งชนิดน้ำในน้ำมันจะถูกนำมาใช้เพื่อห่อหุ้มสารที่ละลายน้ำได้ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่บรรจุอยู่ภายในเอนแคปซูเลชัน อาทิเช่น สารพอลิฟีนอล และสามารถทำให้นาโนอิมัลชัน แห้งโดยใช้เทคนิคการอบแห้งที่แตกต่างกัน อาทิเช่น การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งหรือการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) นอกเหนือจากการใช้นาโนอิมัลชันโดยตรงในสถานะของเหลว นาโนอิมัลชันมีความเสถียรของพลังงานจลน์สูง ขนาดหยด การจัดเตรียมนาโนอิมัลชันต้องใช้พลังงานจำนวนมาก เนื่องจากระบบที่ไม่สมดุล วิธีการผสมอิมัลชันโดยใช้พลังงานสูงเช่นการกวนแรงเฉือนสูง (High shear stirring) โฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง และไมโครฟลูอิไดเซอร์ โดยทั่วไปจะใช้สำหรับการก่อตัวของนาโนอิมัลชัน วิธีการเหล่านี้ให้พลังงานที่มีอยู่ในเวลาที่สั้นที่สุดและมีการรวมที่เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด ผลิตขนาดหยดที่เล็ก

2.4.3.1.2 เทคนิคการระเหยตัวทำละลายแบบอิมัลชัน (Emulsification–solvent evaporation)

เป็นการปรับปรุงเทคนิคการระเหยของตัวทำละลายซึ่งรวมถึงอิมัลซิไฟเออร์ของสารละลายพอลิเมอร์ในเฟสน้ำ หลังจากนั้นตัวทำละลายจะระเหยและตกตะกอนโดยพอลิเมอร์ยังคงเป็นเช่นเดิมขนาดของอนุภาคสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการปรับอัตราการปั่นกวน ชนิดและปริมาณของสารกระจายความหนืดของเฟสและอุณหภูมิ โฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง และไมโครฟลูอิไดเซอร์ถูกนำไปใช้เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคเล็กๆ พอลิเมอร์ที่ใช้บ่อยคือ พอลิแลคติดเอซิด (PLA) เอทิลเซลลูโลส เซลลูโลสอะซิเตท เพื่อที่จะผลิตขนาดอนุภาคขนาดเล็กมักจะทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง และไมโครฟลูอิไดเซอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสำหรับการสร้างนาโนแคปซูลขนาด 100 นาโนเมตรและต่ำกว่า นาโนแคปซูลที่ผลิตโดยเทคนิคนี้เป็นทรงกลมที่มีปริมาณการโหลดยาสูงและการห่อหุ้มประสิทธิภาพประมาณ 75–96% พร้อมการปลดปล่อยที่ยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการดูดซับที่เพิ่มขึ้น อนุภาคนาโนที่เตรียมโดยเทคนิคนี้มีเสถียรภาพที่ดี อย่างไรก็ตามความเสถียรของนาโนอิมัลชันขึ้นอยู่กับชนิดของเทคนิคการผสมอิมัลชันที่ใช้ เช่นโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง และไมโครฟลูอิไดเซอร์ ขนาดของหยดนาโนจะถูกกำหนดส่วนใหญ่โดยอิมัลซิไฟเออร์ และต้องมีการจำกัดวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม

2.4.3.1.3 เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคายน้ำของวัสดุที่ไวต่อความร้อนทั้งหมดและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการทำแห้งสำหรับการเก็บรักษาความร้อนในระยะยาวในระยะยาวปัจจุบันเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำจัดน้ำออกจากนาโนแคปซูลโดยไม่ต้องเปลี่ยนโครงสร้างและรูปร่าง

การห่อหุ้มด้วยวิธีนี้การทำให้สารละลายอิมัลชันที่อยู่แกนใน (Core) แห้ง ซึ่งจะเหมาะสำหรับสารที่เสื่อมง่ายและไวต่อปฏิกิริยาเคมี โดยการเอนแคปซูลจะเกิดระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็งจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งซึ่งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงเพราะจะสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าเอนแคปซูเลชันเทคนิคอื่น และลดความดันให้ต่ำกว่าความดันปกติในขณะที่อุณหภูมิเป็น 0 หรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ดังนั้นข้อดีของเทคนิคนี้คือ การเก็บรักษาที่ยาวนานกว่าเทคนิคอื่น สารละลายที่มีแกนในและสารห่อหุ้มเป็นสารที่ไม่เสถียรในสารละลายน้ำอาจถูกห่อหุ้มด้วยวิธีนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือต้นทุนกระบวนการที่มีราคาแพง ซึ่งขั้นตอนการทำคือเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบที่ต้องการให้เหมาะสม เช่นการลดขนาดจากนั้นเข้าสู่กระบวนการสามขั้นตอนดังนี้ 1. การแช่เยือกแข็งทำการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งควรเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่นิยมใช้กันหลายวิธีอาทิเช่น การแช่เยือกแข็งแบบใช้ลมเป่า และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด 2. การทำให้แห้งขั้นต้น (Primary drying) เป็นการลดปริมาณน้ำโดยการระเหิด น้ำแข็งให้เป็นไอโดยการลดความดันบรรยากาศเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระดับสุญญากาศควรต่ำกว่า 132 มิลลิปาสคาล ซึ่งการระเหิดของชั้นน้ำแข็งจะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระเหิดไปเป็นไอทำให้บริเวณนี้กลายเป็นชั้นแห้ง จากนั้นระเหิดชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ ระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการระเหิดขึ้นกับขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด 3. การทำให้แห้งขั้นที่สอง (Secondary drying) เมื่อทำให้แห้งขั้นต้นสมบูรณ์น้ำแข็งจะละลายไปหมดจะมีความชื้นหลงเหลืออยู่จึงต้องทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อดึงความชื้นที่เหลือออกถึงระดับความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา และรักษาขนาดของอนุภาคในช่วงนาโนเมตรได้ ต่ำกว่า 400 นาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

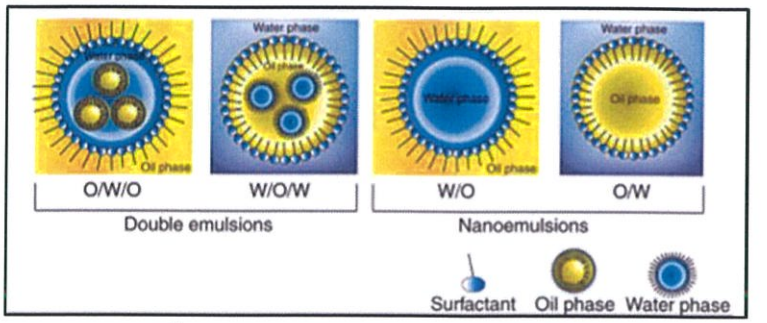
เมตร และมีค่าน้อยมากที่ใกล้ถึง 800 นาโนเมตร ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิคนี้เหมาะสำหรับการเคลือบนาโนมากขึ้นในการศึกษาส่วนใหญ่พอลิเมอร์เช่น ไคโตซานใช้เป็นวัสดุผนัง[11]

2.4.3.1.4 เทคนิคการทำนาโนอิมัลชัน (Nanoemulsion)

จากเทคนิคที่แตกต่างกันในการเอนแคปซูเลชัน เช่นทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ได้รูปแบบผง (Powder) ข้อดีของนาโนอิมัลชันคือส่งผลต่อความคงตัวและความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ซึ่งได้รับการรายงานอย่างกว้างขวางในวรรณกรรม นาโนอิมัลชันเหมาะสำหรับการนาโนแคปซูลซึ่งจะทำหน้าที่เป็นระบบห่อหุ้มนำส่งยาที่มีขนาดนาโนเมตร (Nanocarriers) ซึ่งมีความสามารถในการปรับปรุงการละลายน้ำและการป้องกันจากสภาพแวดล้อมโดยนาโนอิมัลชันที่เป็นตัวมีสองชนิดหลัก คือ น้ำมันในน้ำ และน้ำในน้ำมัน (Water in oil W/O) และมีอิมัลชันเชิงซ้อน โดยเฟสจะมีการกระจายขนาดน้อยกว่า 500 นาโนเมตร หยดอนุภาคมีความเสถียรและต้องใช้พลังงานสูงเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคเล็ก

อิมัลชันหมายถึงระบบเนื้อผสม ที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย สองชนิดที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ของเหลวชนิดที่หนึ่งจะกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆในของเหลวอีกชนิด โดยทั่วไปการกระจายตัวของของเหลวชนิดหนึ่งในอีกชนิดหนึ่งนั้นจะไม่เรียกว่าอิมัลชันนอกจากว่าการกระจายตัว ในระบบดังกล่าวจะมีความคงตัวของอนุภาคในเวลานานพอสมควรเท่านั้น จึงจะเรียกว่าอิมัลชันระยะความคงตัวอาจจะขึ้นอยู่ตั้งแต่ 2-3 นาทีหรือมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการนำไปใช้งาน ของเหลวหรือวัฏภาคที่มีการกระจายตัวอยู่เป็นหยดอนุภาคเล็กๆในตัวกลางอื่นเรียกว่าของเหลวชั้นภายใน (Internal phase) ส่วนวัฏภาคที่เป็นตัวกลางที่ให้วัฏภาคภายในเกิดการกระจายตัวเรียกว่าของเหลวชั้นภายนอก (External phase) จากการที่มีสองวัฏภาคนี้เอง อิมัลชันก็จะแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้แก่การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมัน และอีกประเภทคือการกระจายตัวของอนุภาคน้ำในวัฏภาคภายนอกที่เป็นน้ำมัน โดยคุณสมบัติของอิมัลชันที่มีขั้วสูงหรือไฮโดรฟิลิกจะจัดอยู่ในประเภทของชั้นน้ำส่วนของเหลวที่มีขั้วต่ำหรือไม่มีขั้วเลยจะจัดอยู่ในประเภทของไฮโดรโฟบิกจัดอยู่ในประเภทของน้ำมันนอกจากนี้ระบบอิมัลชันยังสามารถทำเป็นระบบที่เรียกว่าอิมัลชันเชิงซ้อน ที่การมีการกระจายตัวของอนุภาคน้ำในวัฏภาคตัวกลางที่เป็นน้ำมัน โดยชั้นน้ำมันก็จะกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆภายนอกสุดที่เป็นวัฏภาคน้ำอีกชั้นหนึ่ง (Water in Oil in water emulsion W/O/W) และอิมัลชันที่การมีการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันในวัฏภาคตัวกลางที่เป็นน้ำโดยชั้นน้ำก็จะกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆภายนอกสุดที่เป็นวัฏภาคน้ำมันอีกชั้นหนึ่ง [12] ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วัฏภาคการกระจายของอิมัลชัน[12]

1. การเตรียมอนุภาคนาโนในรูปแบบ นาโนอิมัลชัน

นาโนอิมัลชันเป็นระบบที่ประกอบด้วยน้ำมัน น้ำและสารลดแรงตึงผิวในปริมาณสูง มี ลักษณะเป็นของเหลวใสที่มีความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์สูง ขนาดของหยดอนุภาคในตำรับมักมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร หรือ ขนาดอนุภาคปกติคือ 100-1000 นาโนเมตร สามารถคงรูปอยู่ได้จากผิวฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้คือกลุ่มสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactants) และกลุ่มสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบ (Zwitterionic surfactants) ตัวยาหรือสารสำคัญที่มีคุณสมบัติชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำสามารถนำส่งด้วยระบบนี้ได้ สารลดแรงตึงผิวสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันที่อยู่ระหว่างเซลล์ของผิวหนัง ทำให้สามารถเพิ่มการซึมผ่านของตัวยาหรือสารสำคัญผ่านผิวหนังและในส่วนของวัฏภาคน้ำมัน สามารถทำให้เกิดการปกคลุมผิวเมื่อทาลงบนผิวหนังโดยทำให้ผิวหนังมีความชุ่มชื้นสูงขึ้น ส่วนหยดอนุภาคอิมัลชันจะยุบตัวหรือหลอมไปกับส่วนประกอบของผิวหนังสำหรับการประยุกต์ใช้นาโนอิมัลชันทางเวชสำอาง[13] ประยุกต์ใช้นาโนอิมัลชันเพื่อช่วยเพิ่มการดูดซึมของสารสำคัญผ่านผิวหนัง หยดของเหลวที่มีขนาดเล็กของนาโนอิมัลชันทำให้มีพื้นที่ผิวที่มากและเกิดการสะสมบนผิวอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้กระบวนการแทรกซึมของสารสำคัญเข้าสู่ผิวหนังเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ดังตัวอย่าง Kong และคณะพัฒนานาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ จากกรดไฮยาลูรอนเพื่อนำส่งสารสำคัญที่ชอบละลายในน้ำมัน (Lipophilic ingredient) ผ่านผิวหนัง[14]

2. เทคนิคนาโนอิมัลชันเชิงซ้อน

อิมัลชันสองชั้น (Double emulsion) หรืออาจเรียกว่า อิมัลชันเชิงซ้อน ประกอบด้วยวัฏภาคภายในเป็นหยดของเหลวต่างชนิดซ้อนกันและกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคภายนอก เทคนิคอิมัลชันสองชั้นเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการเอนแคปซูเลชันทั้งชนิดที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ รวมถึงผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและอาหาร ในอุตสาหกรรมยานิยมใช้เทคนิคนี้เพื่อห่อหุ้มตัวยาสำคัญที่ชอบน้ำซึ่งมักมีปัญหาการแพร่ของยาจากวัฏภาคภายในออกไปสู่วัฏภาคภายนอกเมื่อใช้เทคนิคอิมัลชันเดี่ยว (Single emulsion) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกักเก็บยา (Encapsulation efficiency) ต่ำ อิมัลชันสองชั้นที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชันคืออิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water in oil in water emulsion) โดยตัวยาสำคัญจะกระจายหรือละลายและถูกกักเก็บไว้ในวัฏภาคน้ำภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเตรียมได้หลายวิธี ได้แก่ (1) การเตรียมอิมัลชันสองขั้นตอน (2) การเตรียมอิมัลชันโดยใช้วิธีเมมเบรนอิมัลซิฟิเคชัน (3) การเตรียมอิมัลชันโดยใช้เครื่องไมโครฟลูอิดิกส์ ทั้งนี้แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันรวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในทางเภสัชกรรม ดังนั้นสำหรับการนำไปใช้งานสำหรับการนาโนเอนแคปซูเลชัน คือการปกป้องสารแกนในและควบคุมการปลดปล่อยตามที่ต้องการ ซึ่งการนำไปใช้งาน เป็นระบบการจัดส่งยาที่มุ่งเน้นที่ปล่อยยาอย่างเฉพาะเจาะจงเมื่อตัวยามาถึงจุดที่ต้องการนำส่งในร่างกาย การนาโนแคปซูลช่วยให้ตัวยาได้รับการปล่อยออกสู่ร่างกายอย่างช้าๆและ สารเคลือบสามารถปรับแต่งเพื่อกำหนดอัตราการจัดส่ง หรือ เพิ่มอายุการเก็บรักษาและความเสถียรของผลิตภัณฑ์เช่นวิตามินก็ได้เช่นเดียวกัน[15]

3.การเตรียมอิมัลชันสองขั้นตอนสำหรับอิมัลชันเชิงซ้อน

ชนิดน้ำมันในน้ำ ประกอบไปด้วยขั้นตอนแรกการเตรียมอิมัลชันโดยการทำให้เกิดอิมัลซิฟิเคชัน ซึ่งในขั้นตอนแรกจะทำให้เป็นน้ำมันในน้ำก่อน หลังจากนั้นจะทำให้เป็นน้ำมันในน้ำในน้ำมัน โดยจะใช้อิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมคือมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำในการเตรียม และทำการโฮโมจิไนซ์ เพื่อให้อนุภาคมีขนาดเล็ก โดยจะใช้เครื่องมือทางเชิงกลเข้าช่วยโดยโฮโมจิไนซ์ จะไม่รุนแรงเท่าสภาวะแรกเพราะอาจจะทำให้ขั้นตอนแรกที่เตรียมอิมัลชันอาจแตกออกได้โดยจะเติมอิมัลซิไฟเออร์ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ [16]

4.กลุ่มประสานวัฏภาคระหว่างน้ำมันและน้ำ

สแปน 80 โดยจะเป็นเอสเทอร์ ระหว่าง ซอร์บิทอลและแอนไฮไดร์ดของกรดโอเลอิก ไม่สามารถละลายน้ำได้สแปน 80 จะอยู่ในสถานะของเหลวซึ่งนิยมใช้เป็นสารทำให้เปียก

พอลิซอร์เบต 80 เป็นสารอนุพันธ์ระหว่างพอลิเอทิลีนออกไซด์ พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) และซอร์บิทอลเอสเทอร์ เข้ากับได้ดีกับน้ำนิยมใช้เป็นสารก่ออิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำเรียกกันว่าพอลิซอร์เบต นิยมใช้ทางเภสัชเนื่องจากค่าไฮโดรฟิลิก ไลโปฟิลิกบาลานซ์ (HLB) มากกว่า15[17]

5.เทคนิคการก่ออิมัลชันโดยใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง

การเตรียมเป็นอิมัลชันขนาดหยดอนุภาคเล็กในระดับนาโน ซึ่งต้องใช้พลังงานสูงเพราะนาโนอิมัลชันไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ในกระบวนการอิมัลชัน พารามิเตอร์ที่สำคัญคืออุณหภูมิ ความดัน จำนวนรอบที่ใช้ในการปั่นผสมระหว่างวัฏภาคน้ำและน้ำมัน ซึ่งเทคนิคนี้จะมีการกระจายขนาดอนุภาคที่แคบและมีประสิทธิภาพสำหรับสารไม่ทนความร้อน แต่มีข้อจำกัดคือระหว่างกระบวนการต้องมีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ความเย็น

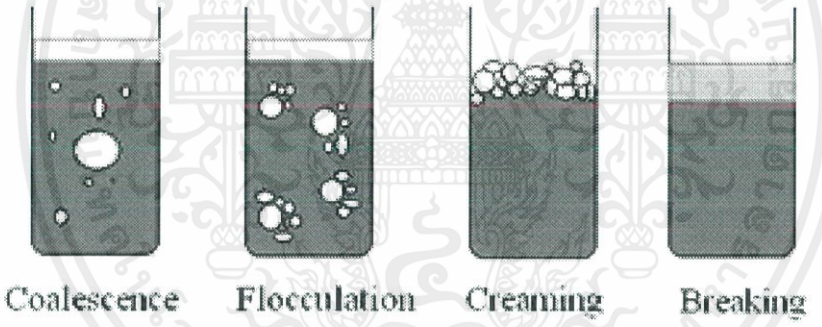
6.การคงสภาพของนาโนอิมัลชัน

ความคงตัวของอิมัลชันเนื่องจากว่าอิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพราะระบบต้องการพลังงานอิสระในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างของเฟสน้ำมันและเฟสน้ำ ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้นโดยน้ำมันจะอยู่ส่วนบนซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นต่ำและชั้นล่างจะเป็นส่วนน้ำที่มีความหนาแน่นสูงกว่า ซึ่งปัญหาของความไม่คงตัวของนาโน จะเกิดจากความสามารถในการละลายของหยดอนุภาคขนาดใหญ่และเล็กมีความแตกต่างกันทำให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่ของเหลวจากภายในของเหลวสู่ภายนอกซึ่งตรงกับทฤษฎี Ostward ripening ควรจะทำให้เกิดการรวมกันของหยดอนุภาคจนเกิดการแยกวัฏภาคของอิมัลชัน ในทางปฏิบัตินั้นการรวมตัวจะลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นโดยโดยความไม่คงตัวของอิมัลชันทางกายภาพ

- การแยกชั้นเป็นครีม (Creaming) ซึ่งอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคของน้ำมันจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยตัวขึ้นสู่ข้างบนเกิดเป็นชั้นครีมขึ้นดังนั้นจะเกิดความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอนุภาคที่กระจายตัวและของเหลวที่ล้อมรอบ
- การเกาะกลุ่มกันของอนุภาค (Flocculation) เกิดการเกาะกลุ่มตั้งแต่อนุภาคตั้งแต่สอง ชนิดขึ้นไปซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิมัลชันทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น
- การรวมตัวกันของอนุภาค (Coalescence) การที่อนุภาคตั้งแต่สองอนุภาคขึ้นไปรวมตัวกันส่งผลให้อิมัลชันแยกเป็นชั้นครีมหรือตกตะกอนได้เร็วขึ้นและเร่งในการแยกชั้นน้ำมันในชนิดน้ำมันในน้ำ
- การเปลี่ยนเฟส (Phase inversion) การเปลี่ยนเฟสเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำไปเป็นน้ำในน้ำมันซึ่งเป็นเฟสที่ไม่ต้องการเพราะจะส่งผลต่อลักษณะต่างๆ อาทิเช่น เนื้อสัมผัส ความคงตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การคงสภาพของนาโนอิมัลชัน[18]

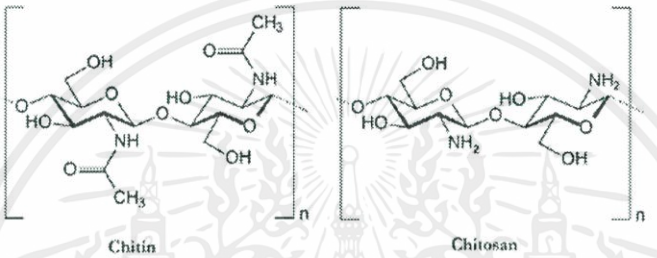
7.การรักษาความคงตัวอิมัลชันโดยการเติมสารลดแรงตึงผิว

การเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือ อิมัลซิไฟเออร์ จะทำให้อนุภาคเฟสที่กระจายมีขนาดเล็กลง แรงตึงผิวเป็นสารที่มีผลต่อพื้นผิวหรือพื้นที่ระหว่างผิวโดยเป็นตัวช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำกับน้ำมันที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งชั้นน้ำมันจะลอยอยู่เหนือชั้นน้ำเสมอ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวลงไปวัฏภาคภายในระหว่างน้ำและน้ำมัน จะถูกขจัดไปทำให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ สารลดแรงตึงผิวจะประกอบไปด้วยสองส่วนคือส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำคือเรียกกันว่าส่วนที่ชอบน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวจะไปเชื่อมระหว่างสองเฟสที่แตกต่างกันให้รวมเข้ากันได้ การรักษาความคงตัวของอิมัลชันในระยะยาวจะใช้สารที่ทำให้เกิดความคงตัวที่เป็นไบโอพอลิเมอร์ซึ่งไคโตซาน กัม จะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเพราะเป็น อิมัลซิฟายเออร์ โมเลกุลขนาดใหญ่ของไบโอพอลิเมอร์จะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ชนิดของไบโอพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว

พอลิเมอร์มีคุณสมบัติในการเพิ่มความคงตัวและลดแรงตึงผิว นอกจากนั้นยังสามารถใช้เตรียมระบบการนำส่งยาที่ซับซ้อนได้ในด้านเภสัชกรรม พอลิเมอร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้โดยเป็นสารชีววัตถุออกฤทธิ์หรือเป็นบรรจุภัณฑ์หรือเป็นส่วนประกอบในตำรับได้ โดยพอลิเมอร์แบ่งออกเป็นสองชนิดหลักๆคือพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติเช่นไคโตซาน เจลาติน เพคติน พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์เช่นเซลลูโลส พอลิคาร์บอเนต พอลิเมอร์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการเตรียมเภสัชภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ไคโตซานเชื่อมโยงกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงสร้างของไคตินและไคโตซาน[43]

2.5.1 พอลิเมอร์ที่ได้จากเปลือกของสัตว์ในกลุ่ม crustacean

พอลิเมอร์ที่ได้จากเปลือกของสัตว์ในกลุ่ม crustacean เช่น เปลือกของกุ้ง ปู แต่เนื่องจากไคตินมีคุณสมบัติละลายน้ำยากทำให้นำไปประยุกต์ใช้ไม่สะดวก จึงนิยมเตรียมไคตินให้อยู่ในรูปไคโตซาน โดยเรียกขบวนการเตรียมไคโตซานนี้ว่าการปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ไคโตซานสามารถละลายได้ดีในตัวกลางที่เป็นกรด

- มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 – 1,000,000
- ลักษณะภายนอก : มีลักษณะเป็นแผ่นสีขาวหรือสีครีม ไม่มีกลิ่น บางครั้งอาจอยู่ในรูปผงหรือเส้นใย
- หน้าที่สารเคลือบ (Coating agent) สารช่วยแตกตัว (Disintegrant) สารก่อฟิลม์ (Film-forming agent) สารเกาะติดเยื่อเมือก (Mucoadhesive) สารยึดเกาะ (Tablet binder) สารเพิ่มความหนืด (Viscosity-increasing agent)[19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 ประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรมและเทคโนโลยีนำส่งยา

มีการนำไคโตซานมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ เครื่องสำอางและอาหารเสริมควบคุมน้ำหนัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยยาได้ โดยไคโตซานจะสร้างเจลเพื่อชะลอการปลดปล่อยยาและยังมีคุณสมบัติเกาะติดเยื่อเมือก ทำให้ระบบนำส่งเกาะติดอยู่ในระบบทางเดินอาหารได้นานขึ้น อีกทั้งยังมีสามารถเตรียมเภสัชภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เช่น ยาเม็ด เคลือบฟิล์ม เจล ไมโครพาร์ทิเคิล และไลโปโซม ข้อดีของไคโตซานคือไม่เป็นพิษ เพราะเป็นไบโอพอลิเมอร์จากธรรมชาติ เป็นสารที่มีการย่อยสลายทางชีวภาพ เข้ากันได้กับร่างกายของสิ่งมีชีวิต มีคุณสมบัติทางชีวภาพจากหมู่ฟังก์ชันของ อะมิโนและไฮดรอกซิล เป็นไฮโดฟิลิก ไม่ละลายในน้ำแต่จะสามารถละลายได้ดีขึ้นในกรดต่างๆเช่นกรดอะซิติก

2.5.1.2 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

ในการศึกษาใช้สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารเชื่อมขวาง ในขณะเดียวกันก็สามารถปรับปรุงความเสถียรทางเคมีของเมมเบรนไคโตซาน กลไกการเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและ สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ที่สารละลายกรด สารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตทั้งโปรตอน และมัลติไตรพอลิฟอสเฟตไอออนมีอยู่ในสารละลาย กลุ่มเอไมด์ อิสระบนโมเลกุลของไคโตซานจะถูกโปรตอน เมื่อไคโตซานสัมผัสกับสารละลายกรด จากนั้นกลุ่มเอไมด์ ที่มีโปรตอนในโมเลกุลของไคโตซานที่แตกต่างกันหรือเดียวกันสามารถถูกเชื่อมขวางโดยประจุสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต หลายประจุลบ

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เชื่อมโยงข้ามกับสารละลายไคโตซานที่ละลายในกรดอะซิติก อนุภาคนาโนของไคโตซานที่มีประจุบวกเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มอะมิโนของไคโตซานกับกลุ่มฟอสเฟตที่มีประจุลบโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต การกระจายตัวของอนุภาคและเสถียรภาพของอนุภาคนาโนไคโตซานเชื่อมโยงกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผสมไคโตซานเชื่อมโยงกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และการวัดความถ่วงจำเพาะรวมทั้งความเข้มข้นของไคโตซานความเข้มข้นของการกำจัดหรือลดหมู่อะซิติล (Deacetylation) และน้ำหนักโมเลกุล ขนาดของอนุภาคนาโนยังมีความไวต่อค่ากำลังไอออนิกและค่าความเป็นกรดด่าง ที่อนุภาคนาโนสำหรับการเตรียมอนุภาคนาโนของไคโตซานเชื่อมโยงข้ามกับไตรพอลิฟอสเฟตอาจช่วยให้สามารถควบคุมการกระจายขนาดได้อย่างดีและทำให้ง่ายขึ้นสำหรับการผลิตขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรม [20]

2.6 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.6.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

โมเลกุล หรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมาก จึงจัดว่าเป็น โมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดย สามารถตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ (Electron spin resonance ESR) โมเลกุลหรือไอออนชนิดนี้เป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เช่นซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Superoxide anion radical : O2-) ไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical : HO) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Peroxide radical :ROO) เป็นต้น

2.6.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านออกซิเดชันหรืออาจเรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่ สามารถยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุ ของการเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) สารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็นสามชนิด คือ ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Scavenging antioxidant) การทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (Chain breaking antioxidation)

2.6.3 การทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้วอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมี เสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยาอื่นต่อไป นอกจากนี้อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเหล่านั้น ลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึงสองเท่า โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในธรรมชาติได้แก่ สารที่มีสารฟีนอลิกเป็นสารประกอบ เช่น ขมิ้นชัน ว่านหางจระเข้ องุ่น เป็นต้นและสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ เช่น บิวทิเลตไฮดรอกซีแอนิโอล BHA (Butylated hydroxyanisole) และสารบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน BHT (Butylated hydroxytoluene) เป็นต้น

2.6.4 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระ

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชันของโมเลกุล หรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว โดยวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ 2, 2-azobis (3-ethylbenzothialzoline-6sulfonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และอื่น ๆใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นต้านการนออกซิเดชันในผักและผลไม้และสมุนไพรชนิดต่างๆ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระ ด้วยสาร DPPH assay หรือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถใน การต้านออกซิเดชัน ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-Diphenyl-1picrylhydrazyl เป็น stable radical ในตัวทำละลายเอทานอลซึ่งสารละลายนี้มีสีม่วงและจะมีดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาว คลื่น 517 นาโนเมตร[21] โดย DPPH จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species ได้ดังสมการ

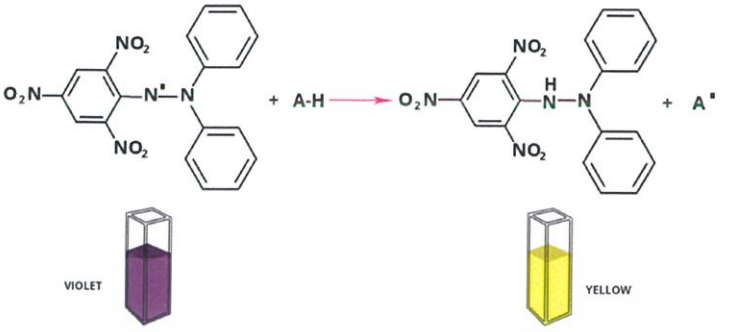
$$DPPH + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A$$

$$DPPH + R \longrightarrow DPPH\text{-}R$$

ซึ่งจะรายงานผลการทดลอง เป็นค่า 50 เปอร์เซ็นต์ inhibitory concentration (IC50) คือ เพื่อให้ทราบระดับความเข้มข้นของสารที่มีพิษต่อเซลล์หรือยับยั้งเชื้อโรคได้ 50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายถึง ปริมาณสาร ต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH เหลืออยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือหาค่า effective concentration (EC50) หมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH เหลืออยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วิธีการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ[22]

จากการรายงานของจันทร์เพ็ญและรุ้งตะวัน [23] เรื่องการต้านสารอนุมูลอิสระในสารสกัดว่านหางจระเข้ในส่วนที่เป็นวุ้นหรือสารสกัดจากว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีลดภาวะออกไซด์เกิน (Oxidative stress) และเพิ่มระดับกลูต้าไทโอน (Glutathione) ในการบาดเจ็บของตับจนใกล้เคียงระดับปกติได้และมีการทดลองการนำครีมว่านหางจระเข้มาใช้กับแผลในหนูทดลองพบว่าช่วยในการสมานแผลดีกว่าปกติในกลุ่มควบคุม

Renolds & Dweck ได้รายงานการศึกษาว่าสารประกอบฟีนอลมีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติจากผลไม้ผักสมุนไพร ว่านหางจระเข้ เป็นสมุนไพรที่มีความชุ่มฉ่ำยาวนานเจลที่พบในใบว่านหางจระเข้อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเช่น วิตามิน เกลือแร่ กรดอะมิโนเอนไซม์น้ำตาลและสารต้านอนุมูลอิสระ ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลปิด (Lipid peroxidation) และลดภาวะออกไซด์เกิน (Oxidative stress) ด้วยผลประโยชน์ต่อสุขภาพ การนำสารสกัดจากว่านหางจระเข้มาตรวจสอบด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) โดยสารสกัดว่านหางจระเข้จะถูกเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานบิวทิวไฮดรอกซีโทลูอีน พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและพบว่าความสามารถในการยับยั้ง DPPH radical ลดลงควบคู่ไปกับการเพิ่มพอลิฟีนอล นอกจากนั้นยังมีการค้นพบว่าสารสกัดว่านหางจระเข้ที่มีน้ำอยู่ในระบบอิมัลชันมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง[24]

2.7 แอนตี้แบคทีเรีย (Antibacterial)

รายงานวิจัยหลายเรื่องที่รายงานถึงฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของสมุนไพร ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ด้วยเหตุนี้เองสมุนไพรจึงยังคงเป็นรากฐานของการแพทย์สมัยใหม่ ทั้งนี้ในการที่จะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารหรือยาใด ๆ มาใช้กับสัตว์ทดลองต้องคำนึงถึงจรรยาบรรณและจริยธรรมการทดลองในสัตว์เป็นสำคัญด้วย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาฤทธิ์ในการการยับยั้ง

แอนตี้แบคทีเรียคือสารออกฤทธิ์ในวงแคบสามารถทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์แบบจำเพาะเจาะจงทำให้เลือกทำลายเฉพาะส่วนที่ต้องการเท่านั้น ส่วนใหญ่จะสร้างจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลกติกซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ได้การยอมรับว่าเป็นแบคทีเรียที่ปลอดภัย (Generally recognized as safe bacteria; GRAS status) ด้วยวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่นิยมที่สุดคือวิธีดิสดิฟฟิวชั่น (Disc diffusion method) เป็นการทดสอบในเชิงคุณภาพสามารถบอกผลได้ว่าเชื้อมีความไวต่อการทดสอบหรือไม่การทดสอบ ด้วยวิธีนี้จะไม่เหมาะกับเชื้อที่เจริญช้าและเชื้อจุลินทรีย์ ที่ไม่ใช้อากาศในการดำรงชีพ[25]

หลักการทั่วไปคือการทำให้สารสกัดสมุนไพรที่มีในแผ่นกระดาษกรองที่เตรียมไว้ก่อนที่จะซึมไปในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้ กระจายเชื้อ (Spread) ในจำนวนที่เหมาะสมหลังจากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงให้เชื้อเจริญเติบโต อ่านผลการทดสอบที่ได้โดยการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง เป็นลักษณะโซนวงใส วิธีการนี้โดยทั่วไปมักทำในการทดสอบสมุนไพรเพียงความเข้มข้นเดียวและใช้เป็นการตรวจการออกฤทธิ์ต้านเชื้อของสมุนไพรในเบื้องต้นนอกจากนี้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณใสที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความไวของเชื้อที่ทดสอบ และอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลากหลายประการเช่นขนาดโมเลกุลของสารสกัดสมุนไพรความสามารถในการละลายหรือซึมไปในอาหารเลี้ยงเชื้อของสมุนไพรอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อ ภาวะความเป็นกรดด่างและส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อตลอดจนระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงเชื้อสำหรับแหล่งรองรับสมุนไพรที่ใช้มักใช้เป็นกระดาษซับวงกลม (Filter dish paper) หรืออาจเป็นหลุมที่เจาะลงในเนื้อวุ้น (Agar)

2.7.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสมุนไพรในห้องปฏิบัติการ

ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพ คือความสามารถในการยับยั้งการเจริญ (Microbiostatic) และมีความสามารถในการฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal) การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสมุนไพร คือการทดสอบความไวของเชื้อต่อสารต้านจุลชีพที่มีอยู่ในสมุนไพร

2.7.2 การทดสอบความไวของเชื้อต่อสารต้านจุลชีพ

The National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดวิธีการทดสอบความไวของเชื้อต่อสารต้านจุลชีพเป็นวิธีมาตรฐานไว้ โดยมีขั้นตอนที่ชัดเจนตามชนิดของเชื้อ รวมถึงเชื้อดื้อยาที่เป็นปัญหา อาหารเลี้ยงเชื้อความหนาของอาหารเลี้ยงเชื้อการเตรียมเชื้อในการทดสอบ อุณหภูมิ เวลา และสภาวะในการบ่มเพาะเชื้อตลอดจนการอ่านและแปรผล ดังนั้นห้องปฏิบัติการต้องปฏิบัติตามแบบแผนอย่างถูกต้องทุกขั้นตอน จึงจะทำให้ผลการทดสอบความไวต่อสารต้านจุลชีพเชื่อถือได้และทำให้การอ่านและแปรผลถูกต้อง

(Minimal inhibitory concentration) MIC

เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของยาที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อหน่วยที่ใช้โดยทั่วไป คือไมโครกรัม (g) ต่อมิลลิลิตร (ml) หรือหน่วยสากล (IU, international unit) ต่อมิลลิลิตร ค่าMIC นี้ สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาใช้เป็นค่าเปรียบเทียบเพื่อดูความไวของเชื้อหนึ่ง ๆ ต่อยาต้านจุลชีพหลาย ๆ ชนิด หรือความไวของเชื้อหลาย ๆ ชนิดต่อยาหนึ่ง ๆ และรวมทั้งเพื่อประเมินค่าอื่นที่เกี่ยวข้องกับยาหรือแปรผลของยาต่อเชื้อในการทดสอบเพื่อหาค่า MIC ยา ควรได้รับการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงทุกสองเท่า ไปเรื่อย ๆ (2-fold serial dilution)

(Minimal lethal concentration) MLC

เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของยาที่สามารถฆ่าทำลายเชื้อ (หรือมีเชื้อเจริญไม่เกินกำหนด) หากเชื้อทดสอบเป็นแบคทีเรียอาจใช้คำที่จำเพาะเจาะจงกว่า คือ MBC (Minimal bactericidal concentration) แต่ถ้าเป็นรา อาจใช้คำว่า MFC (Minimal fungicidal concentration) ยาต้านจุลชีพที่มีวิถีการออกฤทธิ์เป็นชนิดฆ่าทำลาย (Microbicidal) จะมีค่า MIC และMLC เหมือนหรือใกล้เคียงกัน ไม่เกินหนึ่งหรือสองความเข้มข้น ; MLC/MIC ≤4) วิธีทดสอบความไวของเชื้อต่อยามีหลายวิธี หากเชื้อทดสอบเป็นแบคทีเรียและรา สามารถทำได้ทั้งในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Broth medium) และอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Agar medium) โดยมีวิธีหลักอยู่ สองรูปแบบ คือ (1) dilution susceptibility test และ (2) agar diffusion test

2.7.3 การเลือกรูปแบบวิธีการทดสอบ

ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างที่สำคัญ คือ

1. ลักษณะของงาน เช่น เป็นงานวิจัยงานตรวจสอบในห้องปฏิบัติการที่ทำเป็นประจำหรือนาน ๆ ทำครั้ง งานที่ต้องรู้ค่า MBC ดังตัวอย่างงานตรวจสอบในห้องปฏิบัติการที่นาน ๆ ทำครั้ง และแต่ละครั้งมีจำนวนเชื้อที่ทดสอบน้อย จะนิยมใช้ agar diffusion test เพื่อตัดปัญหาต้องเตรียมและเก็บสารละลายของตัวยาที่ต้องใช้ใน dilution test ขณะที่งานที่ต้องการรู้ค่า MBCของตัวยาจะนิยมใช้ broth dilution test

2. ชนิดของเชื้อทดสอบ เช่น เชื้อที่เจริญหรือเลือกเฟ้นการใช้อาหารมาก (Fastidious dilution test) จะนิยมใช้ broth dilution test ขณะที่เชื้อซึ่งต้องเจริญบนเลือดหรือไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobe) มักใช้ agar diffusion test หรือเชื้อที่มีอัตราการเจริญไม่คงที่ควรเลือกdilution test

3. จำนวนเชื้อทดสอบ เช่น มีจำนวนเชื้อทดสอบมากและต้องการหาค่า MIC จะนิยมทำagar dilution test

4. ชนิดของยาทดสอบ เช่น ตัวยาแพร่กระจาย (Diffuse) ใน agar medium ไม่ดีจะนิยมหาค่า MIC ด้วยวิธี dilution test เป็นต้น

5. จำนวนยาทดสอบ เช่น มีตัวยาจำนวนมากแต่มีเชื้อจำนวนน้อย จะนิยมใช้ agar diffusion test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสมุนไพรในห้องปฏิบัติการ

ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพ คือ ความสามารถในการยับยั้งการเจริญ (Microbiostatic) หรือความสามารถในการฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal) การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสมุนไพร คือการทดสอบความไวของเชื้อต่อสารต้านจุลชีพที่มีอยู่ในสมุนไพร

2.7.5 Dilution Susceptibility Test หรือการทดสอบ MIC

การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี dilution test จะเป็นการทดสอบในเชิงปริมาณ เพราะสามารถทราบค่าความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพรที่ทำลายเชื้อได้ นิยมใช้ทดสอบเชื้อที่เจริญได้ช้า ใช้ทดสอบยืนยันผลด้วยวิธี diffusion ที่ให้ความไวปานกลางหรือดื้อยา เพื่อว่าจะสามารถใช้สารสกัดสมุนไพรนั้นในจำนวนสูง ๆ ได้และใช้ทดสอบความไวของเชื้อจุลินทรีย์ ที่ไม่ใช้อากาศในการดำรงชีพ (Anaerobe)

2.7.6 Agar diffusion Test

วิธีที่ใช้แพร่หลายมากที่สุด คือ Disc diffusion method (Kirby-Bauer) เนื่องจากสะดวกประหยัด และใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ วิธีนี้เป็นการทดสอบในเชิงคุณภาพสามารถบอกผลได้ว่าเชื้อมีความไวต่อการทดสอบหรือไม่ไม่อาจทราบค่า MIC หรือ MLC ได้ จึงไม่เหมาะในการทดสอบเชื้อที่เจริญช้า และเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศในการดำรงชีพ หลักการทั่วไปคือการทำให้สารสกัดสมุนไพรที่มีในแผ่นกระดาษกรอง ที่เตรียมไว้ซึมไปในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้กระจายเชื้อ ในจำนวนที่เหมาะสม แล้วนำไปเพาะเลี้ยงให้เชื้อเจริญเติบโต อ่านผลการทดสอบโดยการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้ง ซึ่งจะเห็นเป็นวงใสไม่มีโคโลนีเชื้อรอบๆ แผ่นกระดาษกรองความสามารถในการยับยั้งเชื้อแปรตามขนาดของการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง วิธีการนี้โดยทั่วไปมักทำการทดสอบสมุนไพรเพียงความเข้มข้นเดียว และใช้เป็นการตรวจกรองฤทธิ์ต้านเชื้อของสมุนไพรในเบื้องต้น นอกจากขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณใสที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความไวของเชื้อที่ทดสอบแล้ว ยังอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ขนาดโมเลกุลของสารสกัดสมุนไพร ความสามารถในการละลายหรือซึมไปในอาหารเลี้ยงเชื้อของสมุนไพรอัตราการเจริญของเชื้อภาวะความเป็นกรด-ด่าง และส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อตลอดจนระยะเวลาในการเพาะเชื้อสำหรับแหล่งรองรับสมุนไพร (Drug reservoir) ที่ใช้มักใช้เป็นกระดาษซับวงกลม (Filter paper dish) หรืออาจเรียกว่า dish sensitivity test หรืออาจเป็นหลุมที่เจาะลงในเนื้อวุ้น

2.7.6.1วิธีการทำ Agar Diffusion Test (disc diffusion test และ hole-plate diffusion)

เตรียมเชื้อเพื่อใช้ในการทดสอบโดยเพิ่มจำนวนเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลววัดความขุ่นของเชื้อเพื่อให้ได้จำนวนเชื้อแบคทีเรียที่เหมาะสมกับการทดสอบแล้วกระจายเชื้อ ให้ทั่ว จุ่มกระดาษกรองปลอดเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ในสารละลายสกัดสมุนไพร และวางลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อควรทำกลุ่มควบคุม คือกระดาษกรองปลอดเชื้อที่จุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวทำละลายสมุนไพรด้วย หรืออาจใช้วิธีการเจาะหลุม (hole – plate diffusion) (เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร.) แล้วหยดสารละลายสมุนไพรลงไปประมาณ 40 ไมโครลิตร/หลุม บ่มเพาะเชื้อนาน 24 ชั่วโมง แล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้ง โดยเทียบกับกลุ่มควบคุมบวกที่ใช้ยาปฏิชีวนะททราบปริมาณยาที่แน่นอน การแปรผลของวิธีนี้จะสามารถบอกได้เพียงว่าสมุนไพรที่ความเข้มข้นนั้น ๆ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้มากหรือน้อยตามขนาดของบริเวณใสเทานั้น และอาจใช้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อที่เกิดจากยาปฏิชีวนะมาตรฐานก็ได้

ข้อสังเกต

- สมุนไพรที่ละลายเพื่อใช้ในการทดสอบต้องทำให้ปลอดเชื้อโดยการกรองผ่าน filter membrane ขนาด 0.2 หรือ 0.45 มิลลิเมตร

- สมุนไพรที่เป็นน้ำมันจะทำให้การอ่านผลยาก

- ก่อนนำวุ้นมาใช้ในการทดสอบควรนำ plate ไปทำให้แห้ง ไม่มีหยดน้ำ หรือ ไอน้ำโดยอาจนำไปวางในตู้ เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส หรือในตู้ laminar flow ไม่เกิน 30 นาที ตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อโดยนำไปใส่ตู้บ่มเชื้อ

- การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่จะนำมาใช้ ควรมาจาก 1 โคโลนีมาสเตรก (Streak) ให้เจริญ เมื่อเชื้อเจริญแล้ว แล้วใช้ก้านสำลีปลอดเชื้อจุ่มเชื้อขึ้นมาปาดให้ทั่ววุ้นและตั้งทิ้งไว้ไม่ให้ชื้น ประมาณ 15 นาทีที่อุณหภูมิห้อง

- Standard incubation times โดยทั่วไปแบงออกเป็นสองช่วงเวลา ได้แก่ 24-28 ชั่วโมง และ44 - 48 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเจริญของเชื้อ)

- การทดสอบด้วยวิธี hole - plate diffusion (Brantner et al., 1994).อาจได้ฤทธิ์ที่สูงกว่า (larger activity) วิธี disc diffusion (Lennette, 1985; Essawi and Srour, 2000) ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของสารที่ทดสอบมาก [26]

การศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดหยาบจาก Aloe barbadensis Miller (Aloe vera) ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือก *Bacillus subtilis, Salmonella typhi, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Proteus vulgaris, Aspergillus fumigatus, Candida albicans* และ *Penicillium sps.*ด้วยวิธีการดิฟฟิวชั่น โดยข้อดีของวิธีนี้ คือ ง่าย ประหยัด และสามารถตรวจตัวอย่างได้คราวละจำนวนมากและเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ประเมินผลจากบริเวณในการต้านแบคทีเรีย พบว่าสารสกัดจากเชื้อราจากว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียในแบคทีเรียที่ผ่านการทดสอบทุกชนิด และพื้นที่สูงสุดในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* สูงสุด[27]

2.8 เชื้อ *E.coli*

Escherichia coli เขียนย่อว่า *E. coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) รูปร่างเป็นแท่ง (Rod shape) ไม่สร้างสปอร์ เจริญได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน อยู่ในวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Enterobacteriaceae และเป็นแบคทีเรียที่จัดอยู่ในกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform) ประเภท fecal coliform ซึ่งเป็นโคลิฟอร์มที่พบในอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น จึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สุขลักษณะของอาหารและน้ำ *E.coli*ส่วนใหญ่ไม่ใช่จุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) แต่บางชนิดที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (Food poisoning) หรือเรียก Enterovirulent Escherichia coli group (EEC group) Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC),Enteropathogenic *E. coli* (EPEC),Enterohemorrhagic E. coli (EHEC) หรือ *E. coli* 0157:H7,Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC)เป็นต้น *E. coli* ซึ่งทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ อาการทั่วไปคือ ท้องร่วง ปวดท้อง ไข้ต่ำ คลื่นไส้ และ อ่อนเพลีย การติดเชื้อหรือแสดงอาการต่อเมื่อได้รับเชื้อเข้าไปประมาณ 100 ล้าน ถึง 10 พันล้านเซลล์ โดยระหว่างการเจริญจะสร้างสารพิษที่ทำให้เกิดการหลั่งของของเหลว (Fluid secretion) แหล่งที่พบคือน้ำที่ปนเปื้อน แล้วไปปนเปื้อนต่อในอาหาร หรือจากคนป่วยที่สัมผัสหรือปรุงอาหาร ถ้ารับเชื้อเข้าไปมาก จะมีอาการภายใน 24 ชั่วโมง ทั้งนี้การระบาดมีไม่บ่อยนัก หากมีการปฏิบัติทางสุขลักษณะที่ดี ปัจจุบันการวิเคราะห์เชื้อตัวนี้ในอาหารทำได้โดยใช้ gene probe ซึ่งใช้เวลา 3 วัน หรือใช้วิธีทดสอบสารพิษโดยทั่วไป ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 7 วัน Enteropathogenic *E. coli* (EPEC)เป็น *E.coli* ชนิดที่ถือว่าเป็นเชื้อโรคที่ระบาดโดยมีความรุนแรงที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการขับสารพิษทั่วไปของ EEC ชนิดอื่น EPEC แพร่ไปในคนและสัตว์หลายชนิด เช่น วัวควาย และหมู มักเป็นโรคที่เป็นกับเด็ก ทำให้อุจจาระร่วงเป็นน้ำหรือเป็นเลือด คล้ายกับอาการที่เกิดจากเชื้อ Shigella ซึ่งเรียกว่า ชิกะทอกซิน (Shigatoxin) ด้วยเช่นกัน ปริมาณเชื้อที่ก่อโรค อาจในปริมาณต่ำ อาหารที่พบเชื้อนี้คือ เนื้อวัวและเนื้อไก่ดิบ และจากน้ำปนเปื้อนที่นำมาชงนมให้เด็ก และหากเด็กติดเชื้อนี้ อาจทำให้เกิดการขาดน้ำ และอัตราการเสียชีวิต อาจสูงถึงร้อยละ 50 ในประเทศ โรคที่สาม Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) หรือ *E. coli* 0157:H7

พิษที่สร้างโดย *E. coli* 0157:H7 เป็นประเภท verotoxin ที่คล้ายกับ shigatoxin ที่สร้างโดย Shigella dysenteriae ทำให้เกิดความเสียหายให้แก่เยื่อบุของลำไส้ ความรุนแรงคือทำให้เกิดลำไส้ใหญ่อักเสบจนตกเลือด (Hemorrhagic colitis) อาการคือ ปวดท้องรุนแรง อุจจาระร่วงเป็นตอนแรก แต่กลายเป็นมูกเลือดต่อมา อาจมีอาเจียนบ้าง และมีไข้ต่ำหรือไม่มี อาหารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เนื้อบดหรือแฮมเบอร์เกอร์ดิบหรือไม่ค่อยสุก นอกจากนี้ยังอาจพบในหน่ออัลฟัลฟา น้ำผลไม้ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ไส้กรอกหมูปนเนื้อวัว (Dry-cured salami) ผักกาดหอม เนื้อสัตว์ป่า (Game meat) และน้ำนมดิบ บางครั้งคนไข้อาจมีอาการจากการมีสารในปัสสาวะปะปนในเลือด (Hemolytic uremic syndrome: HUS) ที่มีลักษณะพิเศษคืออาจทำให้ไตวายถาวรได้ Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) ทำให้เกิดอาการคล้ายของโรคบิดจากเชื้อ Shigella dysenteriae หรือบิดมีตัว (Bacillary dysentery) ทำให้ท้องร่วงโดยมีเลือดหรือมูกในอุจจาระของผู้ที่ติดเชื้อ ปริมาณเชื้อที่ทำให้เกิดอาการ ประมาณ 10 เซลล์ (เท่ากับ Shigella) อาหารที่เกี่ยวข้อง ยังไม่ชัดเจน แต่มีรายงานว่าเกี่ยวกับเนื้อแฮมเบอร์เกอร์และน้ำนมที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เวลาฟักตัว ประมาณ 12 ถึง 72 ชั่วโมง[28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เชื้อ *Staphylococcus aureus*

สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส *(Staphylococcus a*ureus เขียนย่อว่า *S. aureus)* เป็นแบคที่เรีย (bacteria) ชนิดหนึ่งในสกุล (Guneus*) Staphylococcus* อยู่ในวงศ์ (Family) *Micrococcaceae staphyloccus aureus* เป็นแบคทีเรียก่อโรค (Pathogen) ที่สำคัญในอาหาร แบคทีเรียชนิดนี้ย้อมติดสีแกรมบวก (Gram positive bacteria) มีรูปร่างเป็นทรงกลม (Coccus) อยู่รวมกันเป็นพวงคล้ายพวงองุ่น ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนไหว .ให้ผลบวกในการทดสอบ และในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะสลายน้ำตาลกลูโคสให้กรดอินทรีย์ จัดอยู่ในกลุ่ม facultative anaerobe คือเจริญได้ในที่มีอากาศและไม่มีอากาศ แต่เจริญได้ดีกว่าในสภาวะที่มีอากาศ *Staphylococcus aureus* สร้างสารพิษ (Toxin) ชนิดเอนทีโรทอกซิน (Enterotoxin) สารพิษที่สร้างมีสมบัติพิเศษ คือ ทนความร้อน

Staphylococcus aureus ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ชนิด Intoxication ซึ่งเกิดจากบริโภคอาหารที่มีสารพิษ Enterotoxin ที่เชื้อสร้างขึ้น ปนเปื้อนในปริมาณน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม จะสามารถทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยได้ มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียน เป็นตะคริวในช่องท้องและอ่อนเพลีย ผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการปวดศีรษะ เป็นตะคริวที่กล้ามเนื้อและมีการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตเป็นระยะๆ รวมทั้งอาจมีการเต้นของชีพจรผิดปกติ ซึ่งโดยทั่วไปอาการจะดีขึ้นภายใน 2-3 วัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพความต้านทานสารพิษของร่างกาย ปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อในอาหารและปริมาณสารพิษที่สร้างขึ้นในอาหาร รวมทั้งสภาพร่างกายโดยทั่วไปของผู้ที่ได้รับเชื้อด้วย[28]

2.10 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการรวมกันของสารสกัดจากธรรมชาติเพื่อประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ได้รับความนิยมสูงสุดอย่างหนึ่งคือว่านหาจระเข้ ผลของการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันแสดงให้เห็นว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ทางเคมีระหว่าง ว่านหางจระเข้กับขมิ้นชัน กล้องจุลทรรศน์จะแสดงการกระจายตัว เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดจากว่านหางจระเข้อย่างละชนิดและเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดจากว่านหางจระเข้ประยุกต์รวมกัน โดยเมื่อใช้สารต้านอนุมูลอิสระในการทดลอง พบว่า มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เหนือกว่าการใช้สารสกัดเพียงแค่แค่ชนิดเดียวและการทดสอบการต้านออกซิเดชันเพื่อตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay บ่ม ขมิ้นชันที่บรรจุในว่านหางจระเข้ (CLA) มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ที่เหนือกว่าถึง 86.30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารสกัดขมิ้นชันเพียงอย่างเดียวที่มีฤทธิ์ลดลงถึง 77.15 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดว่านหางจระเข้เพียงอย่างเดียวมีฤทธิ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 44.36 เปอร์เซ็นต์[29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nataporn Sowasod และคณะได้ทำการศึกษาสารสกัดจากขมิ้นชันนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยใช้ไคโตซานและทำการเชื่อมโยงข้ามกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต โดยใช้เทคนิคการระเหยแบบอิมัลชัน ตัวทำละลายหลายวิธีซึ่งจะสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารได้และจะทำการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างไคโตซานและ วิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size distribution) โดยอัตราส่วนของน้ำต่อเฟสน้ำมันมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของไคโตซานซึ่งเป็นอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวสแปน 80 และพอลิซอร์เบต 80 และความเข้มข้นของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต นาโนแคปซูลในอิมัลชันในรูปแบบอิมัลชัน พบว่านาโนเอนแคปซูเลชันที่อัตราส่วนของเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน (4: 1) และความเข้มข้นของไคโตซานที่ความเข้มข้น 2- 3 เปอร์เซ็นต์ สารลดแรงตึงผิวในส่วนผสม สแปน80 และพอลิซอร์เบต 80 (50/50) และ (60 /40) (ปริมาตร/ปริมาตร) ความเข้มข้นโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต 1.5 เปอร์เซ็นต์ (มวล/ปริมาตร) และผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผลผลิตของห่อหุ้มหีบห่อมีค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย 253.8-415.2 นาโนเมตร และผลผลิตของการเอนแคปซูเลชันคือ 18.56-96.28 เปอร์เซ็นต์ (มวล/มวล) งานนี้บอกกล่าวว่า ควรปรับขนาดและผลผลิตให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มเงื่อนไขการสังเคราะห์[30]

จากการศึกษาเทคโนโลยีการห่อหุ้มถูกนำมาเพื่อป้องกันสารประกอบของว่านหางจระเข้จากการย่อยสลายโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หรือ การทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อเพิ่มการเก็บรักษา ซึ่งจะห่อหุ้มด้วยพอลิเอไมด์ (Polyamide) ใช้เทคนิคระเหยแบบอิมัลชัน (Emulsion-diffusion) แล้วตามด้วยเทคนิคการทำให้แห้งที่จุดเยือกแข็ง วิธีการนี้มักต้องใช้อุณหภูมิต่ำมากหรือสุญญากาศหรือตัวทำละลายรุนแรงซึ่งอาจเพิ่มความซับซ้อนในกระบวนการได้ และการสังเคราะห์นาโนแคปซูลที่ทำจากพอลิเอทิลีนไกลคอล (Triblock PEG) และพอลิบิวทิลเอทิลีน (PBA) ที่มีสารสกัดว่านหางจระเข้บรรจุอยู่เป็นระบบที่เรียกว่าระบบนำส่ง (Vesicular Based system) โดยสารสกัดว่านหางจระเข้ที่บรรจุอยู่ข้างในเรียกว่า แกน สามารถกระจายตัวได้และจะล้อมรอบด้วยเมมเบรนสารพอลิเมอร์โดยจะมีการเตรียมด้วยเทคนิคอิมัลชัน-ดิฟฟิลชั่น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความเข้มข้นของพอลิเมอร์ อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันต่อพอลิเมอร์ สารสกัด และสารลดแรงตึงผิว พบว่าความเข้มข้นต่ำ (ว่านหางจระเข้ และพอลิเมอร์) จะได้นาโนแคปซูลขนาดเล็กและการสังเคราะห์นาโนเอนแคปซูเลชัน ยังพบอีกว่าความเข้มข้นของพอลิเมอร์ไม่มีอิทธิพลต่อขนาดโดยรวมของนาโนเอนแคปซูเลชัน แต่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อขนาดของอนุภาค โดยในระบบการจัดส่งสารสกัดว่านหางจระเข้ระดับนาโนเมตรจะช่วยปรับปรุงการห่อหุ้มและปลดปล่อยสารกัดว่านหางจระเข้ รวมถึงกักเก็บคุณสมบัติของสารกัดว่านหางจระเข้ไว้ โดยเฉพาะและนอกจากนั้นยังแก้ปัญหาจากข้อจำกัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายน้ำที่ไม่ดีดังนั้นว่านหางจระเข้จึงเป็นทางเลือกที่สมบูรณ์แบบในการยกระดับคุณสมบัติทางเภสัชจลนศาสตร์และรักษาระบบที่ต้องการจัดส่งสารสกัดที่ต้องการ [31]

Arunpandian และคณะได้รายงานการนำว่านหางจระเข้มาประยุกต์ใช้เข้ากับนาโนเทคโนโลยี โดยว่านหางจระเข้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรมทางด้านการแพทย์ และทางด้านเครื่องสำอาง โดยใช้ว่านหางจระเข้เป็นสารตั้งต้นซึ่งจะใช้ในรูปแบบของ สารสกัดว่านหางจระเข้และมีแนวคิดใหม่ๆที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้สารกัดว่านหางจระเข้เข้ากับนาโนเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลทางเคมีและทางชีวภาพ การนำวัสดุทางชีวภาพซึ่งเป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการช่วยหรือแทนที่ระบบที่ต้องการในร่างกายมาใช้ประโยชน์ในระดับโครงสร้างนาโนซึ่งมีหลายอย่างที่น่าสนใจหนึ่งในนั้นคือ นาโนเอนแคปซูเลชัน การประยุกต์ใช้ระหว่างวัสดุทางชีวภาพและสารสกัดจากว่านหางจระเข้สำหรับการรักษาบาดแผลหรือระบบจัดส่งยาโดยนักวิจัยมีการตั้งข้อสังเกตเพิ่มเติมว่าว่านหางจระเข้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้งหมดระบบการนำส่งสารสกัดในรูปแบบนาโนเอนแคปซูเลชัน เพื่อช่วยในการรักษาบาดแผลระบบการนำส่งสารกัดว่านหางจระเข้นับว่าเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความน่าสนใจที่ได้รับความก้าวหน้าอย่างมากและมีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วในไม่กี่ปีที่ผ่านมาซึ่งสามารถช่วยในการควบคุมการปลดปล่อยสารกัดได้อย่างมีเสถียรภาพและจัดส่งสารสกัดอย่างจำเพาะเจาะจงเพื่อให้การรักษาเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพรวมถึงการเพิ่มชีวปริมาณการออกฤทธิ์อีกด้วย[32]

Freiberg & Zhu รายงานว่าความสามารถในสารออกฤทธิ์ถูกจำกัด เนื่องจากสภาวะที่รุนแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปพารามิเตอร์การแปรรูปเช่นอุณหภูมิแสงและค่าความเป็นกรดด่างจะทำให้องค์ประกอบทางชีวเคมีเหล่านี้ลดลงอย่างรุนแรงนอกจากนี้สภาวะต่างๆในระหว่างเก็บรักษาเมื่อสัมผัสกับแสงและออกซิเจนอย่างไรก็ตามนาโนเอนแคปซูลจะช่วยป้องกันสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงและขนาดของอนุภาคและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อการปลดปล่อยสารประกอบ

Nallamuthu, Parthasa-rathi และ Khanum รายงานว่า การวัดการแพร่กระจายของคอลลอยด์และความสม่ำเสมอ ซึ่งขึ้นอยู่กับดัชนีการกระจายตัว (PDI) จึงมีความสัมพันธ์กันระหว่างศักย์ไฟฟ้าแบบจลนพลศาสตร์และ ค่าการกระจายตัวจะน้อยกว่า 0.1 แสดงถึงความสม่ำเสมอด้วยเหตุนี้การกระจายขนาดอนุภาคจะดีขึ้นและมีค่าศักย์ซีตาที่ ± 30 มิลลิโวลต์ เป็นค่ามาตรฐานสำหรับนาโนอิมัลชันที่เสถียรภาพที่มีแนวโน้มน้อยกว่าสำหรับการรวมอนุภาค

จากการศึกษานี้เพื่อประเมินสมบัติทางสัณฐานวิทยาและทางเคมีกายภาพและการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้จาก Aloe vera gel ที่ใส่ PLGA NP ไบโอพอลิเมอร์ไม่มีผลกระทบต่อศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระของว่านหางจระเข้ Mathew et al.ซึ่งคล้ายกันเกี่ยวกับศักยภาพสารต้านอนุมูลอิสระสำหรับสารสกัดขมิ้นชัน โหลด PLGA NP และจาการทดลองแสดงให้เห็นถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญ ($p<0.05$) ของ นาโนเอนแคปซูเลชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของอนุภาคนาโน ค่าเฉลี่ยของ PLGA NP ที่ปลดปล่อยอยู่ที่ 103 นาโนเมตรซึ่งมีนัยสำคัญ ($p <0.05$) [33]

จากการศึกษาขมิ้นชันจะถูกกักเก็บไว้ด้วยเอนแคปซูเลชัน โดยใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายและจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการห่อหุ้มด้วยไบโอพอลิเมอร์โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการห่อหุ้มไม่ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระขมิ้นชัน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชัน มีความคล้ายคลึงกันมากทั้งก่อนและหลังการห่อหุ้มห่อหุ้มด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน [34]

การศึกษามีจุดมุ่งหมายเพื่อสกัดสารและประเมินฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียจากสารสกัดจากพืชสองชนิดคือสารสกัดทั้งขมิ้นและว่านหางจระเข้ โดยใช้วิธี disc diffusion และ well agar diffusion ในการตรวจสอบโดย ผลการศึกษาคือสารสกัดยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Ph5.2-5.5) สูตรดังกล่าวมีเสถียรภาพในระหว่างการศึกษาความคงตัวตามแนวทาง ICH (25 ± 2 ° C / 65 ± 5% RH) และ 40 ± 2 ° C / 75 ± 5% RH) โดยการทดสอบสารออกฤทธิ์ด้วยวิธีสเปกโตรโครสโคปี (UV-Spectrophotometry) จะได้สารสกัดขมิ้นชัน มีความเข้มข้น 59.70 เปอร์เซ็นต์เมื่อผสมสารสกัดว่านหางจระเข้ไปจะเพิ่มเป็น 59.78 เปอร์เซ็นต์ สรุปว่าการค้นพบครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสูตรยาปฏิชีวนะแบบใหม่มีความเสถียร และจากการศึกษาคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในหลอดทดลองของสารสกัดเอทานอลของใบเจลลาวีเรียพบว่ามีการใช้งานกับแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคได้มากที่สุดแม้ในปริมาณที่ต่ำมากซึ่งงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดเรื่อง poly-herbalism คือพืชทั้งสองชนิดคือว่านหางจระเข้และขมิ้นชันมีการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในการแพทย์แผนปัจจุบันโดยเฉพาะเพื่อรักษาโรคผิวหนังและมีราคาไม่แพงรวมถึงไม่มีหลักฐานว่าแบคทีเรียมีความต้านทานต่อสารสกัดจากพืชดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรักษามากขึ้นองค์ประกอบทางพฤกษเคมีที่ใช้งานได้ของพืชแต่ละชนิดไม่เพียงพอโดยสารสกัดทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อให้บรรลุผลการรักษาที่พึงประสงค์ เมื่อผสมสมุนไพรหลายชนิดในอัตราส่วนหนึ่ง ๆ จะทำให้ได้ผลในการรักษาที่ดีขึ้นและลดความเป็นพิษ สารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ต้านเชื้อ *E. coli* [35]

การเตรียมอนุภาคนาโนของไคโตซานได้จัดทำขึ้นโดยใช้เทคนิคใหม่ในการทำไอออนเจลโดยใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารเชื่อมขวาง อนุภาคนาโนของไคโตซานซึ่งจะมีความเสถียรอย่างน้อยในช่วง 25 วันที่อุณหภูมิ 4 หรือ 25 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยนี้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารเชื่อมขวาง อนุภาคนาโนของไคโตซานจะ ส่งผลต่อปัจจัยการกำหนดสูตร (ความเข้มข้นของไคโตซานและสารละลายไตรพอลิฟอสเฟต ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสองชนิด อัตราส่วนปริมาตรน้ำหนักโมเลกุลไคโตซาน) และค่าพารามิเตอร์กระบวนการ[36]

การศึกษาครั้งนี้มีความพยายามที่จะเอาชนะความไม่แน่นอนในระหว่างการประมวลผลและปัญหาการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพของสารสกัดขมิ้นชันด้วยเทคโนโลยีนาโนแคปซูลและมีประสิทธิภาพการห่อหุ้ม คือ 90.56 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์นาโนอิมัลชันที่เตรียมไว้มีอนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 141.6 ± 15.4 นาโนเมตรและประจุอนุภาคคือ6.9 ± 0.2 มิลลิโวลต์ การศึกษาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าสารสกัดถูกปลดปล่อยออกมาช้าๆจาก นาโนอิมัลชันซึ่งควรเพิ่มชีวปริมาณการออกฤทธิ์และ ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดลดลงจาก 3.53 ± 0.11 mM Trolox / mg เป็น 3.33 ± 0.02 mM Trolox / mg ความเข้มข้นของไอออนิกที่แตกต่างกัน และค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 3.0 ถึง 7.0 การศึกษานี้มีนัยสำคัญในการสร้างและออกแบบระบบออกฤทธิ์ทางชีวภาพแบบห่อหุ้ม[37]

การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านจุลชีพธรรมชาติจำเป็นต้องมีระบบการจัดส่งที่เหมาะสมเพื่อที่สามารถพัฒนาโครงสร้างนาโนที่ได้ ซึ่งสามารถใช้วิธีการนาโนเอนแคปซูลได้หลากหลายวิธีเช่นการทำให้แห้งที่จุดเยือกแข็งหรือการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นวิธีที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารและยาโดยจะมีการป้องกันสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการปลดปล่อยสารควบคุม งานวิจัยนี้ยังศึกษาถึงอิทธิพลของเทคนิคการนาโนแคปซูลที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ หรือ ต้านเชื้อจุลินทรีย์ การเลือกวิธีการห่อหุ้มที่เหมาะสมมีความสำคัญ การเพิ่มการเก็บรักษาหรือการลดการใช้งานทางชีวภาพขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มสารที่หุ้มห่อหุ้มและไบโอพอลิเมอร์ที่ห่อหุ้ม การห่อหุ้มจะนำไปสู่การรักษาสมบัติหลักการทางชีวภาพเพื่อเพิ่มการดูดซึม การลดความผันผวนและความคงตัวทางเคมีและความร้อนเพิ่มขึ้น การตรวจสอบหลักการออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากค่าความเป็นกรดด่างการป้องกันการสูญเสียรสชาติ กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์การปลดปล่อยสารควบคุมโดยการปลดปล่อยสารควบคุมการปลดปล่อยตัวทำละลายไลโปฟิลิก ที่เป็นของเหลวมีความสามารถในการละลายและการดูดซึมทางชีวภาพรวมทั้งประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประสิทธิภาพในการจัดส่งได้รับการปรับปรุงโดยการลดขนาดอนุภาคนาโน เนื่องจากพื้นที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยของปริมาตร นาเอนแคปซูเลชันได้รับการยืนยันว่าสามารถส่งเสริมหรือรักษาสารไบโอพอลิเมอร์พร้อมกับการจัดส่งที่มีการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามนาโนเอนแคปซูเลชันบางครั้งไปลดลงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากมีผลของสารที่ห่อหุ้มไว้กับพอลิเมอร์ โดยระบบนำส่งในระดับนาโนเมตรจะควบคุมลักษณะของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและอนุภาคนาโน การปรากฏตัวของกลุ่มผิว อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง ในระหว่างการประมวลผลอัตราการปลดปล่อย ระดับของการดูดซึมชั้นผิวหนังของไบโอพอลิเมอร์ในรูปแบบห่อหุ้ม[38]

จุดมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้คือการเตรียมและกำหนดลักษณะของนาโนเอนแคปซูเลชันที่บรรจุขมิ้นชันโดยมีโซเดียมเคซีนและกัมอาราบิคโดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย Box-Behnken design เพื่อสำรวจความเข้มข้นโซเดียมเคซีน (0.1-0.3 wt%) และกัมอาราบิค (0.5-1 wt%), ทวีน 20 ความเข้มข้น (0-0.2 wt%) และ pH(4.8-5.2) ซึ่งขนาดอนุภาคระยะห่างและประสิทธิภาพการห่อหุ้ม เมื่อใช้วิธีการทางกราฟฟิคพบว่าโซนเตรียมที่เหมาะสมเป็นโซเดียมเคซีนมีความเข้มข้น 0.24-0.28 wt% กัมอาราบิคคามเข้มข้นเข้มข้น 0.59-0.87 wt% ทวีน 20 ความเข้มข้น 0.13-0.2wt% และค่า pH 5.04-5.11 ในโซนที่เหมาะสมนี้ขนาดและช่วงของอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 80 นาโนเมตรและ 0.6 ตามลำดับและประสิทธิภาพการห่อหุ้มของนาโนเอนแคปซูเลชันมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ มีการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลงพื้นผิวการตอบสนองพบว่าปัจจัยทั้งสี่ที่ศึกษาทั้งหมด (ความเข้มข้นของ โซเดียมเคซีน กัมอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราบิค ทวีน 20 และค่า pH) มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดอนุภาคช่วงและกระบวนการที่เหมาะสม เงื่อนไขที่กำหนดโดย RSM มีดังนี้: โซเดียมเคซีน.24-0.28 wt%, กัมอาราบิค 0.59-0.87 wt%, ทวีน 20 0.13-0.2 wt% และpH 5.04-5.11 โดยรวมแล้วเทคนิคนี้นำเสนอหลายอย่างข้อดีเช่นกระบวนการสูงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงอุปกรณ์เช่นโฮโมจิไนเซอร์ นอกจากนี้ ทวีน 20 สามารถแก้ไขข้อ จำกัดของโปรตีนพอลิแซคคาไรด์คอมเพล็กซ์ เช่นลดลงขนาดอนุภาคและช่วงของระบบและปรับปรุงความเสถียรของระบบนาโนเอนแคปเซลูชัน เหล่านี้อาจมีประโยชน์เป็นระบบการจัดส่งสารอาหารสำหรับการใช้งานในการทำงานผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่มีค่า pH ต่ำ[39]

ว่านหางจระเข้เป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ในการรักษาบาดแผลได้อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของการห่อหุ้มสมุนไพรในการจัดส่งยาจะดีกว่าการใช้โดยตรงเนื่องจากการควบคุมโดยตรง ในงานวิจัยนี้ นาโนแคปซูลทราการคาน กัม มีสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์สมานแผล ภาพ FESEM ระบุว่านาโนแคปซูล นั้นถูกสร้างขึ้นด้วยรูปทรงกลมและขนาดเฉลี่ย 55–60 นาโนเมตร สัญญาณของอะลูมิเนียมในรูปแบบ EDX ของผลิตภัณฑ์การสมานแผลที่เตรียมไว้ยืนยันการทำงานร่วมกันระหว่างอลูมิเนียมไอออนและทราการคาน กัม มีประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 91 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการโหลดเท่ากับ 16.1 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของวิธีไมโครอิมัลชันที่ใช้แล้วในการห่อหุ้มของว่านหางจระเข้ลงในทราการคาน กัม มีการทดสอบยาต้านจุลชีพของนาโนแคปซูลมีการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดีโดยมีการลดลงของจุลินทรีย์ที่ 84 91 และ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเชื้อ *E. coli, S. aureus* และ *C. albicans* ตามลำดับ นอกจากนี้พิษต่อเซลล์ของผลิตภัณฑ์การรักษาบาดแผลที่เตรียมไว้กับเซลล์ไฟโบรบลาสต์ ของมนุษย์ที่ระบุไว้ยังคงรักษาลักษณะของเซลล์ในรูปกระสวยโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจาก 24 ชั่วโมงกับเซลล์ที่มีชีวิต 98 เปอร์เซ็นต์ นาโนแคปซูลที่เตรียมไว้แสดงอัตราการย้ายที่ยอมรับได้ของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ของมนุษย์ในจุดต่าง ๆ ที่เลือกตามการตรวจหารอยขีดข่วน โดยรวมแล้ววัสดุหลักรวมถึง ทราการคาน กัม เป็นวัสดุผนังและสารสกัดจากว่านหางจระเข้เป็นวัสดุหลักที่เข้ากันได้ย่อยสลายได้และปลอดภัยที่จะใช้กับผิวโดยไม่มีผลข้างเคียงใด ๆ[40]

การศึกษาครั้งนี้ระบบการส่งมอบที่ใช้เคซีนสองประเภท ได้แก่ r-CM และ CNP ได้รับการพัฒนาและใช้สำหรับการห่อหุ้มเควอซิติน และขมิ้นชันมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำและมีความเสถียรทากายภาพและเคมี นาโนเอนแคปซูเลชันช่วยในการละลายและการป้องกันสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ผลการวิจัยพบว่าคุณสมบัติสุดท้ายของระบบการจัดส่งที่โหลดพอลิฟีนอลนั้นได้รับอิทธิพลโดยลักษณะการเชื่อมของลิแกนด์ทั้งสองกับ Na-Cas การกระจายขนาดอนุภาคของ r-CM ได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้น Na-Cas เริ่มต้นและ การเปลี่ยนแปลงในความหนืดสัมพัทธ์ระหว่างการประกอบใหม่ของกระบวนการยืนยันการก่อตัวของโครงสร้างไมเซลล์ทั้งสองประเภท ดังนั้นระบบเอนแคปซูเลชันมีประสิทธิภาพการกักเก็บสูงและการปกป้องทางชีวภาพผลการศึกษาครั้งนี้อาจช่วยในการออกแบบเหตุผลของระบบการจัดส่งโปรตีนที่ใช้สำหรับเภสัชณโภคภัณฑ์ โดยปริมาณสารสัมพันธ์ของเคอร์ซิตินและเคอร์คูมินเท่ากับ 0.96 และ 0.78 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ casein micelles ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบใหม่ (r-CMs) มีขนาดเล็กกว่าของ casein nanoparticles (CNPs) ผลของการการบรรจุเควอซิติน ในการเพิ่มขนาดอนุภาคของ r-CMs นั้นสูงกว่าการโหลดของเคอร์คิวมิและประสิทธิภาพการดักจับของแกนด์ทั้งสองสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ทั้ง CNP และ r-CM ช่วยปรับปรุงเสถียรภาพทางเคมีของฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญ[41]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการตกตะกอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเตรียมการขนาดอนุภาคนาโนเคอร์คูมิน และเพื่อควบคุมลักษณะของพวกเขาโดยการกำหนดอิทธิพลของกระบวนการและตัวทำละลายต่อคุณสมบัติของโซลิดสเตตของอนุภาคนาโนเคอร์คูมิน ผลของการทดลองต่าง ๆพารามิเตอร์ของขนาดอนุภาคถูกตรวจสอบโดยใช้การกระเจิงของแสงแบบไดนามิกสัณฐานวิทยาของอนุภาคศึกษาโดยใช้ SEM หาปริมาณยาในอนุภาคนาโนเสถียรโดยใช้ HPLC เหลือหาค่าความชื้นภายหลังการทำแห้งโดยใช้วิธี Karl Fischer และสถานะของแข็งตรวจสอบคุณสมบัติโดยใช้ DSC, TGA, FTIR และ powder-XRD ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีค่าสูง การโหลดยาและบรรจุยาในรูปแบบสัณฐาน ขนาดอนุภาคของขมิ้นชันที่เตรียมไว้พบอนุภาคนาโนในช่วง 100-200 นาโนเมตร การศึกษาการปลดปล่อยตัวยาในหลอดทดลองบ่งชี้ว่ามีความยั่งยืนรายละเอียดการปล่อยขมิ้นชันจากอนุภาคนาโน การตกตะกอนของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสัณฐาน อนุภาคนาโนเคอร์คูมินที่มีขนาดและรูปร่างสามารถควบคุมได้โดยใช้เจลาตินเป็นตัวทำให้เสถียร อนุภาคนาโนเคอร์คูมิไลต์แบบไลโอฟิลที่มี D-sorbitol เนื่องจากไลโปโปรตีนจะมีการกระจายตัวที่ดีและพบว่าอัตราการปลดปล่อยเคอร์คิวมินในหลอดทดลองเร็วขึ้นถึง 4 สี่เท่าเมื่อเทียบกับเคอร์คูมิน ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ การทดสอบที่ 2-8 องศาเซลเซียสและสภาพแวดล้อม แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความเสถียรนานสูงสุด 6 เดือนในการการเก็บรักษา[42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเตรียมเป็นอิมัลชันเชิงซ้อนและกักเก็บสารสกัดด้วยเอนแคปซูเลชันซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ที่เหมาะสมโดยมีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุด มีบริเวณการยับยั้งแบคทีเรียโดยมีบริเวณที่ชัดเจน และขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กสุด

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

(1) สารสกัดขมิ้นชัน และ สารสกัดว่านหางจระเข้
(2) ไคโตซาน
(3) ไตรพอลิฟอสเฟต (Tripolyphosphate)
(4) ดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH)
(5) บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene; BHT)
(6) พอลิซอร์เบต 80 (Polysorbate 80 tween 80)
(7) สแปน 80 (Sorbitan monooleate span 80)
(8) เอทานอล (Ethanol)
(9) น้ำมันมิเนอรัล (Mineral oil)
(10) กรดอะซิติก (Acetic acid)
(11) ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

(1) บีกเกอร์
(2) ไมโครปิเปต
(3) ช้อนตักสารสแตนเลส
(4) กระดาษกรอง เบอร์1
(5) เครื่องชั่งสารดิจิตัล
(6) แท่งคนสาร
(7) เครื่องเขย่าสาร (vortex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (homogenizer)

(9) กระบอกตวงสาร

(10) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)

(11) เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR Spectrometer)

(12) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)

(13) เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)

(14) เครื่อง Visible and Ultraviolet Spectrophotometer

(15) เครื่อง pH meter

(16) กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ หรือสเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope)

(17) เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

3.3 กระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยเทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (Oil in water in oil O/W/O) และเพิ่มความคงตัวด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อให้อยู่ในรูปของนาโนเอนแคปซูเลชัน

3.3.1.เตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water O/W)

เตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยเตรียมส่วนผสมเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นวัฏภาคน้ำมันส่วนที่สองเป็นวัฏภาคน้ำโดยกำหนดเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขดังนี้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (1) วัฏภาคน้ำมัน

เงื่อนไข	ปริมาณขมิ้นชัน (เปอร์เซ็นต์)
1	0.33
2	0.5
3	1.0

(1) วัฏภาคน้ำมัน: สารสกัดขมิ้นชันที่เตรียมได้จากเงื่อนไขจะอยู่ในวัฏภาคน้ำมัน

วัฏภาคน้ำ : สารสกัดว่านหางจระเข้ 7.5 กรัม พอลิเมอร์ไคโตซาน 3 กรัมละลายในกรดอะซิติก 2 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เติมทวีน 80 7.5 กรัม นำไปเข้ากระบวนการปั่นกวนสารแบบแอนะล็อก (Homogeniziation dispersing) ที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสารเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 30 นาทีและเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสาร 10,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที

(2) อิมัลชันน้ำมันในน้ำสมบูรณ์

นำอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจากข้อ 3.3.1.มาผสมกับเฟสน้ำมันภายนอกได้เป็นอิมัลชันเชิงซ้อน

(3) วัฏภาคน้ำมันภายนอก เตรียมน้ำมันมิเนอรัล 570 กรัม และสแปน 80 30 กรัมนำไปเข้ากระบวนการปั่นกวนสารแบบแอนะล็อกที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสารเป็นเวลา 30 นาที และเครื่อง โฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสาร 10,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที

(4) ผสม อิมัลชันน้ำมันในน้ำและวัฏภาคน้ำมันภายนอกและนำไปเข้ากระบวนการปั่นกวนสารแบบแอนะล็อกที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสารเป็นเวลา 30 นาทีและเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสาร 10,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน สมบูรณ์

(5) เติมสารไตรพอลิฟอสเฟต เพื่อให้เกิดการเชื่อมขวางกับไคโตซาน

(6) ปั่นกวนสารแบบแอนะล็อก ที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสารเป็นเวลา 30 นาทีและเครื่อง โฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงสาร 10,000 เป็นเวลา 15 นาที

(7) นาโนแคปซูลอิมัลชันเชิงซ้อน ไบโอพอลิเมอร์ ไคโตซานจะเกิดการเชื่อมโยงกับสารไตรพอลิฟอสเฟต

(8) ทำการระเหยสารละลายเอทานอลและกรดอะซิติกออกที่ 50 องศาเซลเซียส 30 นาที

(9) เข้าสู่กระบวนการปั่นเหวี่ยงด้วย (Centrifuge) 12,000 รอบต่อ 60 นาที

(10) ทำการเทน้ำมันแก้วออกแล้วล้างด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ 3 ครั้งเพื่อให้ได้เป็นนาโนแคปซูลที่ปราศจากน้ำมันมิเนอรัล

(11) เข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้อยู่ในรูปของนาโนเอนแคปซูเลชันที่มีลักษณะเป็นผง

3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay

3.4.1 เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร

3.4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานบิวทิเลเตดไฮดรอกซีโทลูอีน ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร

3.4.3 เตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้นาโนเอนแคปซูเลชันตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 การเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้นาโนเอนแคปซูเลชัน 5 เงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไข	ขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์	ขมิ้นชัน0.5 เปอร์เซ็นต์	ขมิ้นชัน 1.0 เปอร์เซ็นต์	สารละลายมาตรฐาน
1.	25 µg/ml	25 µg/ml	25 µg/ml	25 µg/ml
2.	50 µg/ml	50 µg/ml	50 µg/ml	50 µg/ml
3.	75 µg/ml	75 µg/ml	75 µg/ml	75 µg/ml
4.	100 µg/ml	100 µg/ml	100 µg/ml	100 µg/ml
5.	250 µg/ml	250 µg/ml	250 µg/ml	250 µg/ml

3.4.4 เตรียมสารละลายเอทานอลเป็นตัวควบคุมแบลงค์ (Blank control)

3.4.5 นำสารสกัดที่เตรียมจาก 3.4.3 ที่ความเข้มข้นต่างกันตัวอย่างละ 2 มิลลิลิตรหลังจากนั้นเติม DPPH ลงไป 2 มิลลิลิตรทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex)

3.4.6 ทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์

3.3.7 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโกปี (Visible and Ultraviolet Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

3.3.8 นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระได้จากสมการ

3.3.9 นำค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ได้แต่ละความเข้มข้นมาหาค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลองซ้ำ

3.3.10 คำนวณหาร้อยละของการยับยั้งจากสูตรต่อไปนี้

$$\frac{[\text{Abs517control} - \text{Abs517 test sample x}]}{\text{Abs517control}} \times 100$$

3.3.11 เปรียบเทียบค่าที่ได้กับสารละสารละลายมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซี่โทลูอีน

3.3.12 ดูผลการปลดปล่อยของนาโนเอนแคปซูเลชันเพื่อดูประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยมีระยะเวลาในการจัดเก็บผลเป็น 1, 3, 5 และ7 วัน

3.5 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของสารสกัดผสมระหว่างขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ ด้วยวิธีดิสดิฟฟิวชั่น (Disc diffusion test)

3.5.1 เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นอาหารเหลว (Nutrient Borth) ที่ความเข้มข้น 9 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำปลอดประจุ แบ่งใส่หลอดทดลอง 4 มิลลิลิตร

3.5.2 นำวุ้น มาละลายที่ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร/ปริมาตร ในอาหารเหลวหลังจากการแบ่งใส่หลอดทดลองในข้อที่ (1) ให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟจนวุ้นละลาย

3.5.3 นำอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวและอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่ใส่วุ้นไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่องออโต้เคฟที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

3.5.4 นำอาหารเหลวที่ใส่วุ้นมาเทลงบนเพลสเลี้ยงเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 เลือก โคโลนีเดี่ยว (Isolate colony) ที่มีลักษณะเหมือนกันและ เขี่ยโคโลนีของเชื้อ *E.coli* นำมาใส่ในอาหารเหลวบ่มในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

3.5.6 ใช้สำลีปราศจากเชื้อ (Cotton swab) จุ่มเชื้อ *E.coli* โดยปาด (Swab) ข้างหลอดเพื่อป้องกันการได้รับเชื้อ ที่มากเกินไปสเตรกเชื้อลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละจานเลี้ยงเชื้อ (Plates) ที่จะทดสอบ

3.5.7 นำกระดาษกรองมาวางลงบนเพลสที่มีเชื้อ *E.coli* แล้ว

3.5.8 วางจานที่เตรียมไว้ลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ให้ครบ 4 จุด ตามด้วย การปิเปต (Pipette) สารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ที่ 50 ไมโครลิตร ที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้ 0.5, 0.1, 0.05, 0.01, 0.005, 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับให้ครบ 3 ตำแหน่ง โดยจะมี 1 ตำแหน่งจะใส่น้ำดีไอทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม (control) หลังจากนั้นนำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 18-24 ชั่วโมง

3.5.9 อ่านผลโดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณที่ถูกยับยั้ง (Clear zone) แบคทีเรีย บนอาหารเลี้ยงเชื้อโดย วัดหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.6.0 ดูผลการปลดปล่อยของนาโนเอนแคปซูเลชันเพื่อดูประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียโดยมีระยะเวลาในการวัดโซนการยับยั้งที่กระจายมากขึ้นเป็นเวลา 0, 6, 12, 18, 24, 26, 28, ชั่วโมง ตามลำดับ

3.6 กระบวนการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัด

3.6.1 การตรวจสอบขนาดอนุภาคและความคงตัวของสาร

การวัดขนาดอนุภาคและการกระจายของอนุภาค จะสามารถประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพได้โดยจะใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค ในการวัดขนาดอนุภาคอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำและชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอิมัลชันจะอยู่ในช่วง 100-600 นาโนเมตร และนาโนเอนแคปซูเลชันขนาดอนุภาคเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 1-1000 นาโนเมตร

3.6.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation efficiency;EE)

นำตัวอย่างนาโนเอนแคปซูเลชันที่โดยเหวี่ยงแยกเอาเศษน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ 12,000 รอบเป็นเวลา 30 นาทีหลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วเข้าสูตรสมการดังต่อไปนี้

$$EE\% = \left(\frac{\text{weight of turmeric}}{\text{weight of feeding turmeric}} \times 100\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันขอโมเลกุลด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy)

เป็นเทคนิคในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุล โดยข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างทางโมเลกุลพันธะเคมีในโมเลกุลของสารจะดูดกลืนพลังงานที่ค่าความยาวคลื่นหนึ่ง ข้อมูลนี้จะถูกประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์ ที่เรียกว่าฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งจะคำนวณพลังงานของแต่ละความยาวคลื่นและแปลผลออกมาเป็นสเปกตรัม เนื่องจากสารแต่ละชนิดให้สเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะจึงต้องนำมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารที่มีอยู่ในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการพิสูจน์และบ่งชี้ชนิดของสารโดยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีจะยืนยันกลุ่มแอมโมเนียมของไคโตซานจะเชื่อมโยงข้ามกับสารไตรพอลิฟอสเฟต

3.6.4 การตรวจสอบรูปร่างและโครงสร้างของนาโนเอนแคปซูเลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope)

ตรวจสอบรูปร่างของอนุภาคและสัณฐานของอนุภาคเพื่อดูองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะสำคัญที่ปรากฏ

3.7 การตรวจสอบความสามารถฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging assay

%DPPH radical scavenging=[(Abs control-Abs sample)/ Abs control]x100

เมื่อ Abs control=ค่าการดูดกลืนแสงของDPPH

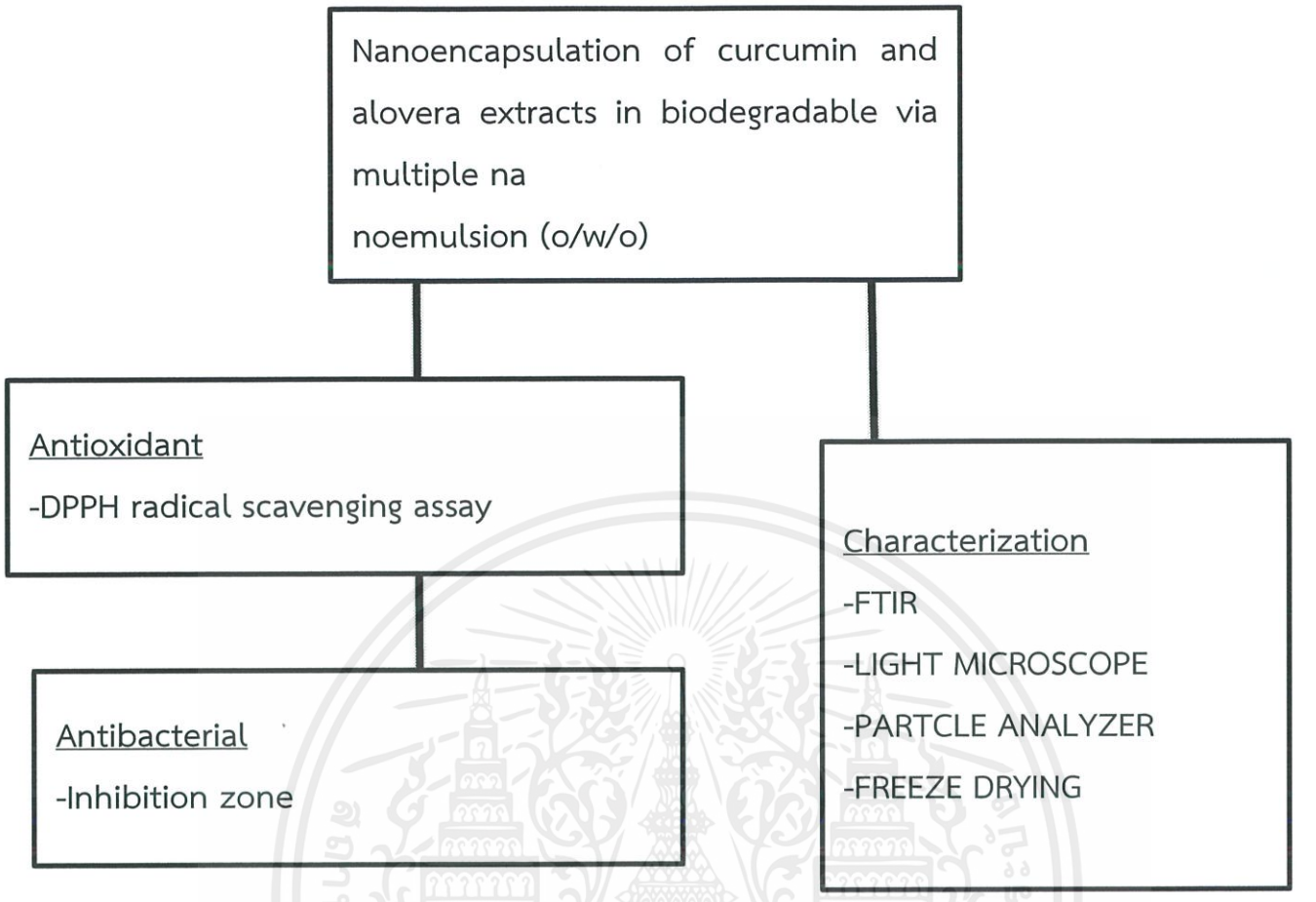
Abs sample=ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

และทำการรายงานผลการทดลอง เป็นค่า 50 เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (IC_{50}) จากการคำนวณหาค่า IC_{50} จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งและความเข้มข้นของสารสกัดเพื่อให้ทราบปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงเหลืออยู่ 50 เปอร์เซ็นต์

3.8 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone)

อ่านผลโดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณที่ถูกยับยั้งบริเวณการยับยั้งบนอาหารเลี้ยงเชื้อวัดหน่วยเป็นมิลลิเมตรโดยการทดสอบในเชิงคุณภาพ สามารถบอกผลได้ว่า เชื้อมีความไวต่อการทดสอบหรือไม่ ซึ่งการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งจะเห็นเป็นวงใสไม่มีโคโลนีเชื้อรอบๆ กระดาษกรอง กระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยเทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน และเพิ่มความคงตัวด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อให้อยู่ในรูปของนาโนเอนแคปซูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปงานการดำเนินโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในบทนี้ กล่าวถึงผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองโดยการหาปริมาณสารสกัดขมิ้นชันที่เหมาะสมที่สุดจาก 3 เงื่อนไขเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติ การทดสอบหาบริเวณยับยั้งแบคทีเรีย การวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยพิจารณาเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากประสิทธิภาพการยับยั้งที่ดีที่สุด รวมถึงตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกักเก็บที่ดีที่สุด และดูเสถียรภาพจากประสิทธิภาพการปลดปล่อย การตรวจสอบขนาดอนุภาคและความคงตัวของสาร การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี การตรวจสอบรูปร่างและนาโนเอนแคปซูเลชัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ จากกระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยเทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน และเพิ่มความคงตัว และการเก็บรักษาให้ยาวนาน ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อให้อยู่ในรูปของนาโนเอนแคปซูเลชัน

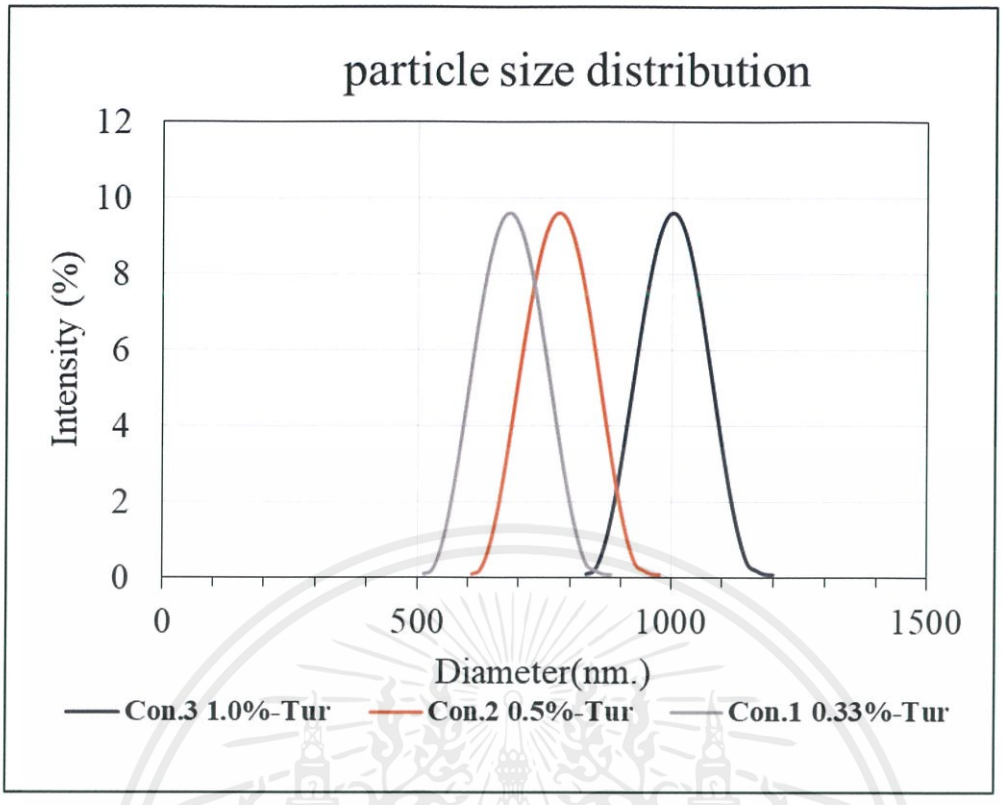
4.1 ผลการทดลองการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle analyzer) และประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานเชื่อมขวางกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

จากการกำหนดเงื่อนไขโดยการเลือกใช้สารสกัดขมิ้นชันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในส่วนของวัฏภาคน้ำมันโดยโดยแบ่งเป็นทั้งหมด 3 เงื่อนไข ดังต่อไปนี้ ได้แก่เงื่อนไขแรกสารสกัดขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เงื่อนไขที่สองสารสกัดขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเงื่อนไขสุดท้ายสารสกัดขมิ้นชัน 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยในทุกๆเงื่อนไขจะใช้ปริมาณส่วนประกอบอื่นๆในอัตราส่วนที่เท่ากัน ใช้โฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 30 นาที ใช้กระบวนการไฮเชียร์โฮโมจีไนเซอร์ความเร็วหมุนรอบในการปั่นกวนสาร 10,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที โดยจะทำการหาประสิทธิภาพการห่อหุ้มที่ดีที่สุดจากทั้ง 3 เงื่อนไข ซึ่งเงื่อนไขที่ดีที่สุดจะแสดงประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงสุด โดยจะคำนวณหาได้จากสมการประสิทธิภาพในการห่อหุ้ม

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการห่อหุ้มของนาโนเอนแคปซูเลชันทั้ง 3 เงื่อนไข

ปริมาณขมิ้นชัน (เปอร์เซ็นต์)	ขนาดอนุภาค (นาโนเมตร)	ดัชนีการกระจายตัว (PDI)	ประสิทธิภาพการห่อหุ้มเฉลี่ย (%EE ± SD)
เงื่อนไข 1.) 0.33	741.2	0.409	70±2.10
เงื่อนไข 2.) 0.5	800.2	0.506	80±3.10
เงื่อนไข 3.) 1.0	1002.4	0.607	74±1.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



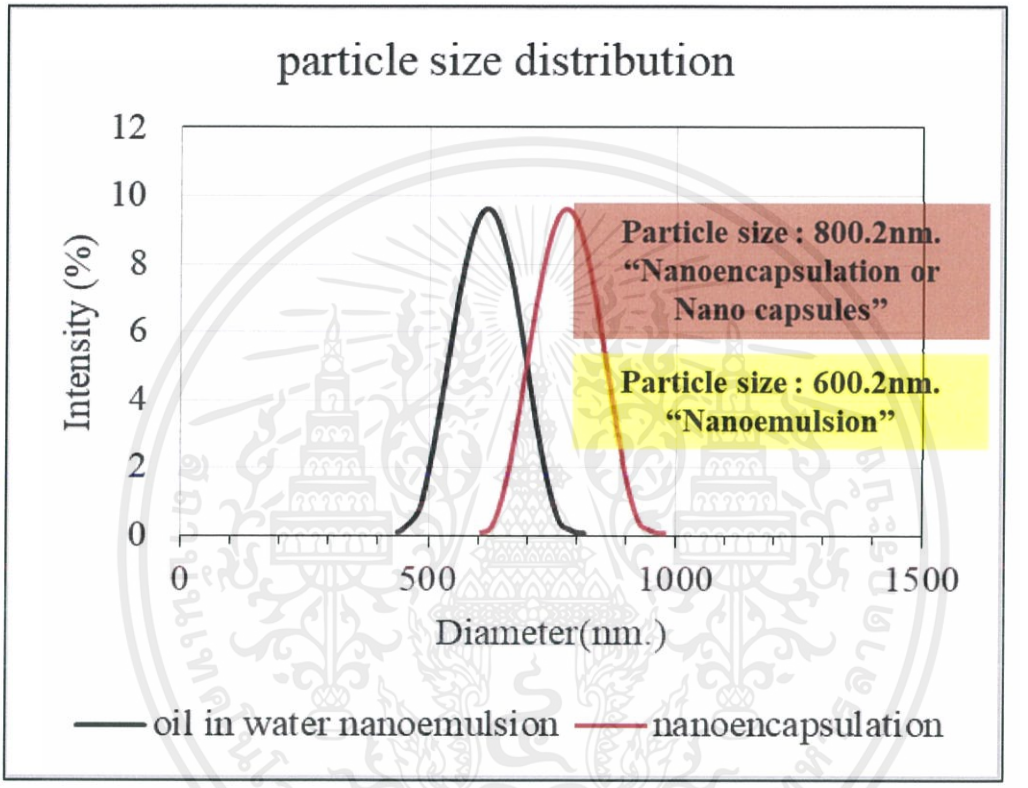
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบขนาดอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน

จากรูปที่4.1 แสดงให้เห็นขนาดนาโนเอนแคปซูเลชันที่ผ่านกระบวนการไฮเซียร์โฮโมจีไนเซอร์ ซึ่งเงื่อนไขแรกจะแสดงขนาดอนุภาค 741.2 นาโนเมตร มีดัชนีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.409 และมีประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 70±2.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีขนาดอนุภาคต่ำที่สุดจากทั้งหมด 3 เงื่อนไข อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขแรกมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มที่ต่ำที่สุด เงื่อนไขที่สองจะแสดงขนาดอนุภาค 800.2 นาโนเมตร มีดัชนีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.506 และมีประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 80±3.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดจากทั้งสามเงื่อนไข และเงื่อนไขสุดท้ายจะแสดงขนาดอนุภาค 1002.4 นาโนเมตร มีดัชนีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.607 และมีประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 74±1.32 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ผลพบว่า เงื่อนไขที่สองนั้นให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มมากที่สุด สูงถึง 80±3.10 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นจึงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ขมิ้นชัน ส่งผลต่อขนาดอนุภาค และการกระจายตัว เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มจะขึ้นอยู่กับ ขนาดอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยประสิทธิภาพการห่อหุ้มอนุภาคขนาดใหญ่สามารถลดลงได้จากการบวมของไคโตซานในเฟสน้ำและไม่สามารถเอนแคปซูเลชันสารสกัดทั้งหมดที่อยู่ภายในไว้ได้หมดจึงทำให้มีประสิทธิภาพการห่อหุ้มต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานเชื่อมขวางกับโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่0.5% ขมิ้นชัน

ปริมาณขมิ้นชัน (เปอร์เซ็นต์)	ขนาดอนุภาค (นาโนเมตร)	ดัชนีการกระจายตัว (PDI)	ประสิทธิภาพการห่อหุ้มเฉลี่ย (%EE ± SD)
เงื่อนไข 2.) 0.5	800.2	0.506	80±3.10



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันและนาโนอิมัลชันที่0.5% ขมิ้นชัน

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นขนาดอนุภาคของนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่สองซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด โดยมีขนาดอนุภาคเป็น 800.2 นาโนเมตร ดัชนีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.506 และมีประสิทธิภาพการห่อหุ้ม 80±3.10เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะอยู่ในช่วงนาโนเอนแคปซูเลชัน 1-1000 นาโนเมตร และนาโนอิมัลชันที่อยู่ภายในนาโนเอนแคปซูเลชัน ซึ่งผ่านกระบวนการการสังเคราะห์จะมีขนาดอนุภาค 600.2 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า เนื่องจากในกระบวนการทำเป็นนาโนเอนแคปซูเลชัน ต้องทำเป็นนาโนอิมัลชันก่อน จึงทำให้นาโนอิมัลชันที่อยู่ภายในมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะใช้เวลาในการปั่นเหวี่ยงสารเป็นเวลา 30 นาที และไฮเชียร์โฮโมจิไนเซอร์เป็นเวลา 30 นาที ด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียม ซึ่งหากใช้เวลาน้อยกว่านี้สารสกัดในการเตรียมเป็นนาโนอิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นคือมีขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

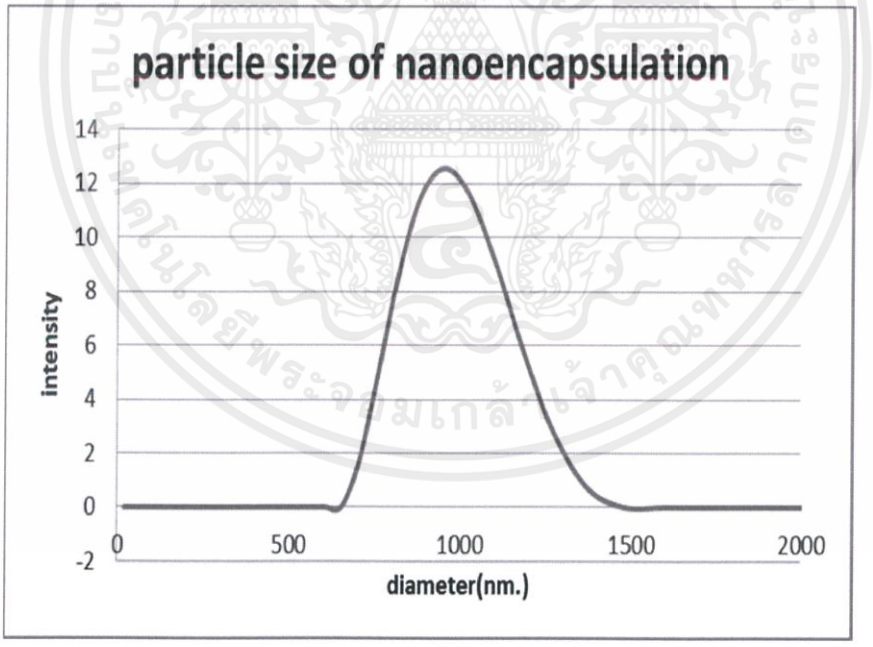
เฉลี่ยมากกว่า 1,000 นาโนเมตร และหากใช้ความเร็วรอบสูงกว่านี้สารสกัดจะเกิดการไหม้เกิดขึ้น โดยกระบวนการเตรียมนี้จะมีค่า pH ในการทดลองเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 6-7 ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมต่อสภาพผิวของคนเราที่มีความเป็นกรดอ่อนๆถึงปานกลางนั่นเอง



(ภาพ a ความเร็วรอบ> 10,000 รอบต่อนาที)



(ภาพ b ความเร็วรอบ <10,000 รอบต่อนาที)

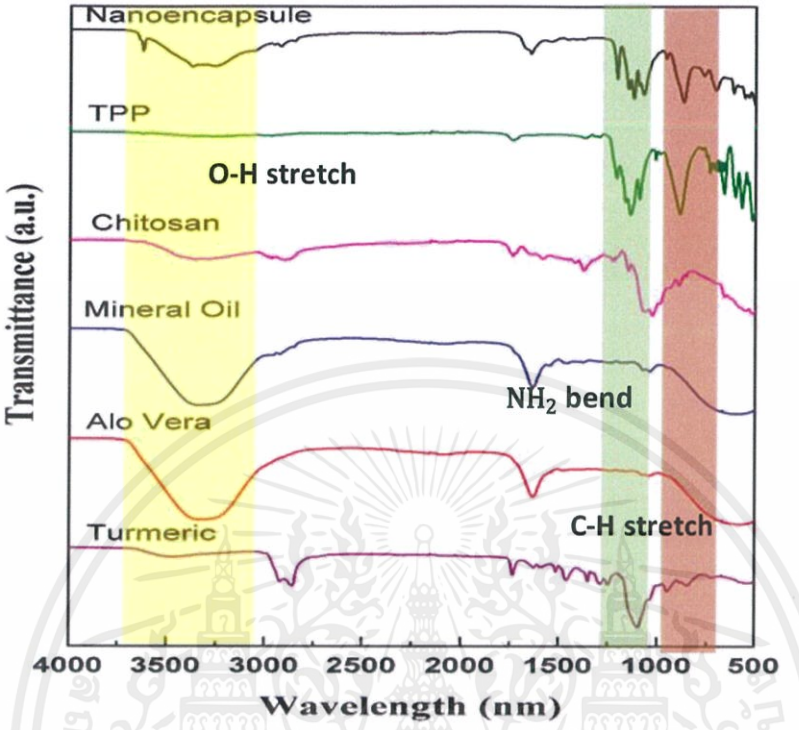


(ภาพ c แสดงภาพตัวอย่างอนุภาคนาโนอิมัลชันมีขนาดอนุภาค 1,000 $\pm$ 0.2)

รูปที่ 4.3 ภาพตัวอย่างกระบวนการเตรียมนาโนอิมัลชันวัฏภาคภายในที่ใช้ความเร็วรอบสูงกว่า 10,000รอบต่อนาที (a) ภาพตัวอย่างกระบวนการเตรียมนาโนอิมัลชันวัฏภาคภายในที่ใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า10,000 รอบต่อนาที (b) ภาพตัวอย่างอนุภาคนาโนอิมัลชันมีขนาดอนุภาค 1,000± 0.2ที่ความเร็วรอบ10,000 รอบต่อนาที (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy)

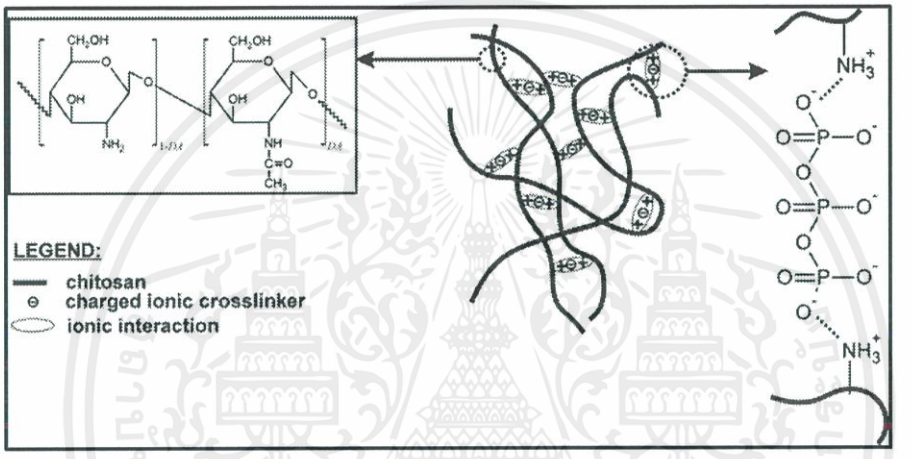


รูป 4.4 ผลการวัดสเปคตรัมของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันแสดงการเชื่อมขวางระหว่างอนุภาคไคโตซานและโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

ไคโตซานได้รับการยืนยันโดยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี จากการศึกษาผลการวัดหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี สเปคตรัมของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันที่แสดงในภาพที่ 4.4 พบว่ามีพีคไคโตซานขึ้นที่ตำแหน่ง 3450.75 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ซึ่งตรงกับช่วงยาวคลื่นที่ 3500-3300 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร แสดงการเชื่อมกันของหมู่พันธะแบบยืด O-H และหมู่พันธะเอไมด์ NH_2แบบการโค้ง อนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันจะแสดงพีคขึ้นที่ 3450.75 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 3460.09 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ซึ่งพีคจะมีการกระจายและกว้างขึ้นที่ 3460.09 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ตรงกับช่วงความยาวคลื่นที่ 3500-3300 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ซึ่งจะบ่งบอกหมู่ไฮดรอกซิลที่เพิ่มขึ้น ในตำแหน่งที่ 2950.41 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร เป็นพีคที่เกิดการยืดของสายC-H ในนาโนเอนแคปซูเลชัน พีคที่ตำแหน่ง 1640.53 และ 1580.71 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ของหมู่พันธะเอไมด์ NH_2แบบการโค้งและC=Oที่เชื่อมกันอยู่ในโมเลกุลของอนุภาคไคโตซาน เปลี่ยนเป็น 1638.86 และ1571.84 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ซึ่งจะตรงกับความยาวคลื่นที่1650-1630 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร และจะตรงกับความยาวคลื่นที่ 1580-1570 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ตามลำดับ และมีพีคที่ตำแหน่ง 1150.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

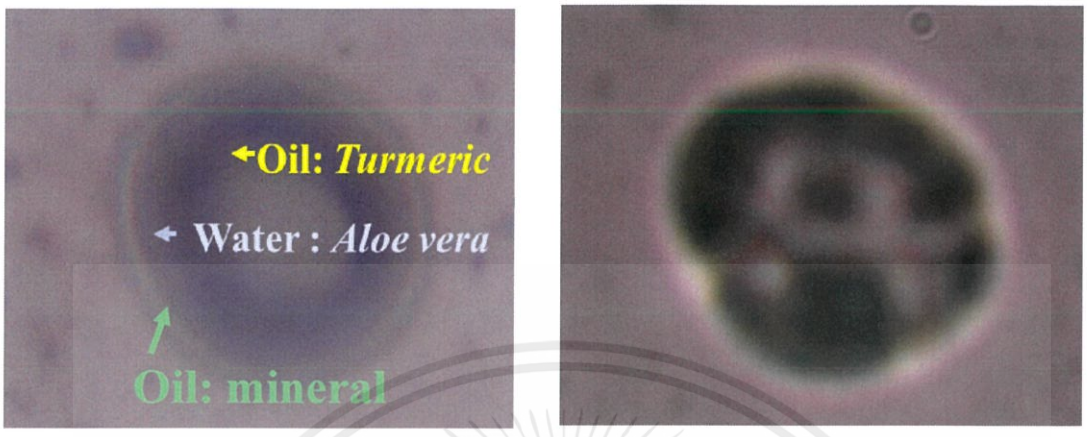
เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ขึ้นมาซึ่งตรงกับความยาวคลื่นช่วง 1200-1150 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร แสดงว่าเกิดการเชื่อมโยงกันเกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟตของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตกับหมู่อะมิโนของไคโตซาน นอกไปจากนั้นนาโนเอนแคปซูเลชันหลังจากกระบวนการการระเหยตัวทำละลายแบบอิมัลชัน ยังแสดงพีคของขมิ้นชันที่ตำแหน่งพีคที่ 1200.54 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร และจะตรงกับความยาวคลื่นที่ 1400-1000 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร พีคของว่านหางจระเข้จะแสดงพีคที่ 3300.42 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตรจะตรงกับความยาวคลื่นที่ 3400-3300 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร ของหมู่พันธะ N-H แบบยืด พีคของน้ำมันมิเนอรัลจะแสดงพีคที่ 3300.56 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตร จะตรงกับความยาวคลื่นที่ 3400-3300 เศษหนึ่งส่วนเซนติเมตรของหมู่พันธะ N-H แบบยืด



รูปที่4.5 การเชื่อมขวางประจุบวกของอนุภาคนาโนไคโตซานและประจุลบโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต [44]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการตรวจสอบรูปร่างและโครงสร้างของนาโนเอนแคปซูเลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ หรือสเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope)



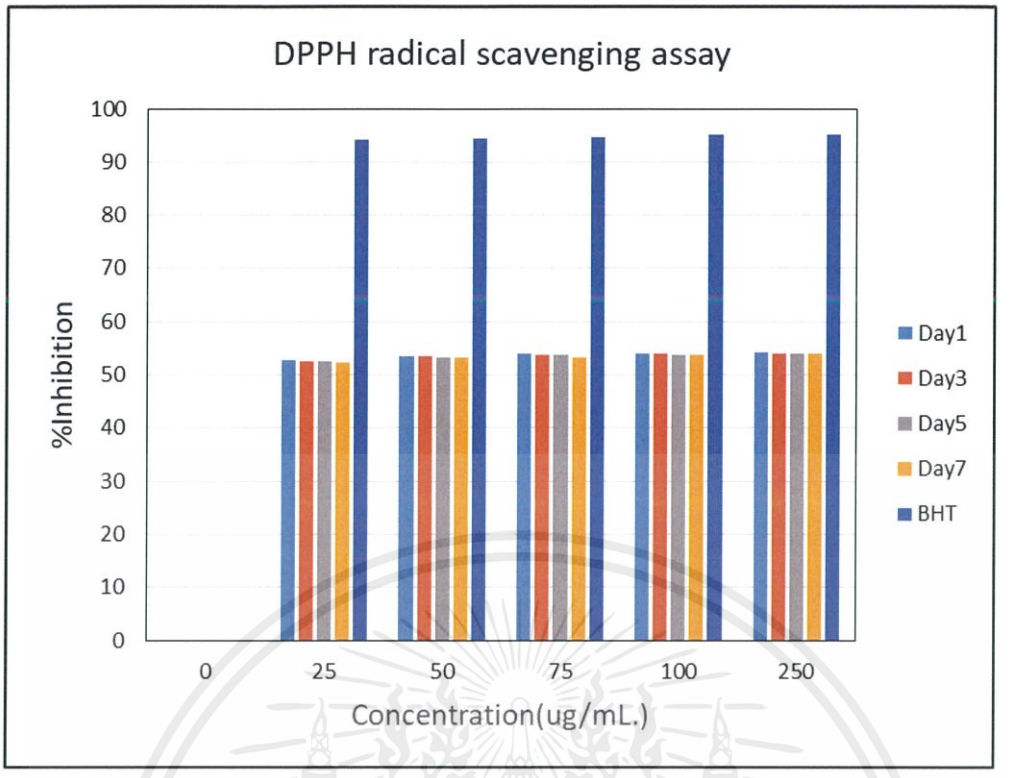
รูปที่ 4.6 ลักษณะของนาโนเอนแคปซูเลชันเชิงซ้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ด้วยกระบวนการนาโนเอนแคปซูเลชัน

กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ โดยจากรูปจะแสดงให้เห็นอนุภาคนาโนอิมัลชันซึ่งเป็นสารที่อยู่ภายในเอนแคปซูเลชัน ที่ประกอบด้วยกันสามวัฏภาคอย่างชัดเจนคือ วัฏภาคภายนอกสุดคือน้ำมันมิเนอรัลและถัดมาชั้นด้านในคืออนุภาคนาโนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยวัฏภาคน้ำมันภายในสุดคือสารสกัดขมิ้นชันจะถูกล้อมรอบด้วยวัฏภาคนอกชั้นกลาง คือสารสกัดว่านหางจระเข้ซึ่งสามารถมองเห็นชั้นได้อย่างชัดเจน และแสดงสัณฐานวิทยาของนาโนอิมัลชันซึ่งเป็นสารที่อยู่ภายในเอนแคปซูเลชัน ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน โดยจากรูปจะแสดงให้เห็นอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันที่มีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลมที่ภายนอกจะถูกห่อหุ้มสารไบโอพอลิเมอร์คืออนุภาคไคโตซานส่วนภายในคืออิมัลชันเชิงซ้อนซึ่งแสดงดังรูปอย่างชัดเจน

4.4 ผลการตรวจสอบความสามารถฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging assay)

โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน ซึ่งมีทั้งหมด 3เงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรกมีปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เงื่อนไขที่สองสารสกัดขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเงื่อนไขสุดท้ายสารสกัดขมิ้นชัน 1.0 เปอร์เซ็นต์ และดูระยะเวลาในการปลดปล่อยเป็นเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน

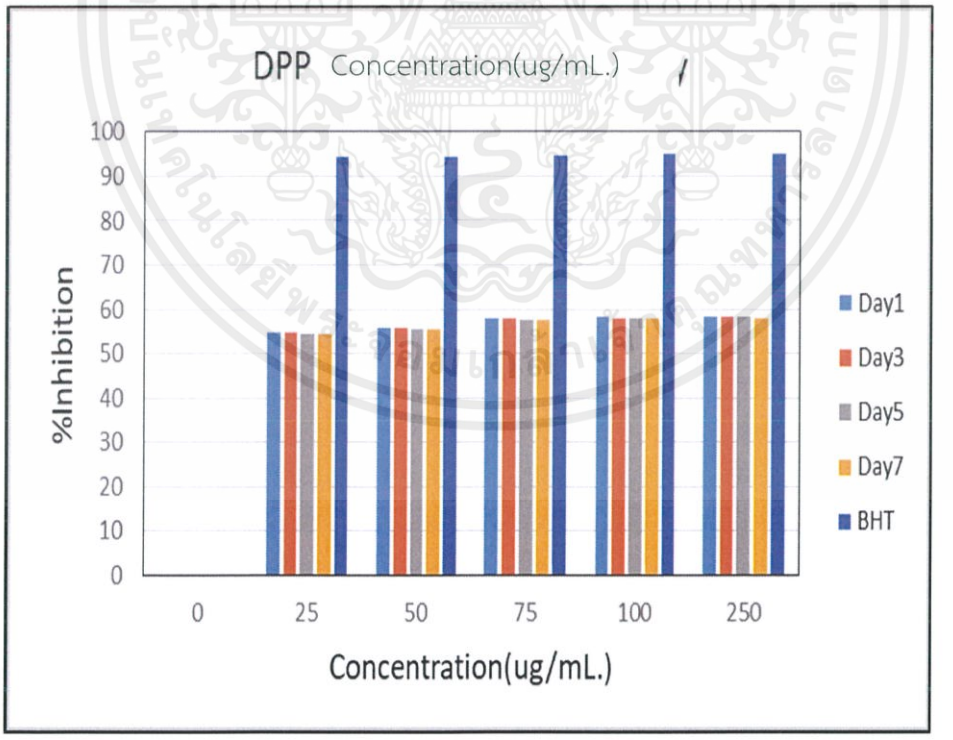
จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอยู่มากกว่า 50เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ซึ่งเงื่อนไขที่ 1. มีปริมาณขมิ้นชันน้อยที่สุดคือ 0.33 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดคือ 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งอยู่ที่ 52.73 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสูงสุดคือ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งอยู่ที่ 54.21 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน สารมาตรฐานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงถึง 94.30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน

Con.1 0.33 %-Tur	1 Day	3 Days	5 Days	7 Days
25	52.73	52.63	52.52	52.42
50	53.73	53.47	53.36	53.26
75	53.89	53.78	53.68	53.15
100	54	53.89	53.78	53.68
250	54.21	54.10	54	53.89
BHT	94.30	94.30	94.30	94.30

จากตารางแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากการจัดเก็บเพื่อดูระยะเวลาในการปลดปล่อยพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปเสถียรภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อยตามลำดับ อย่างไรก็ตามสารมาตรฐานซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ยังมีเสถียรภาพคงเดิม



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

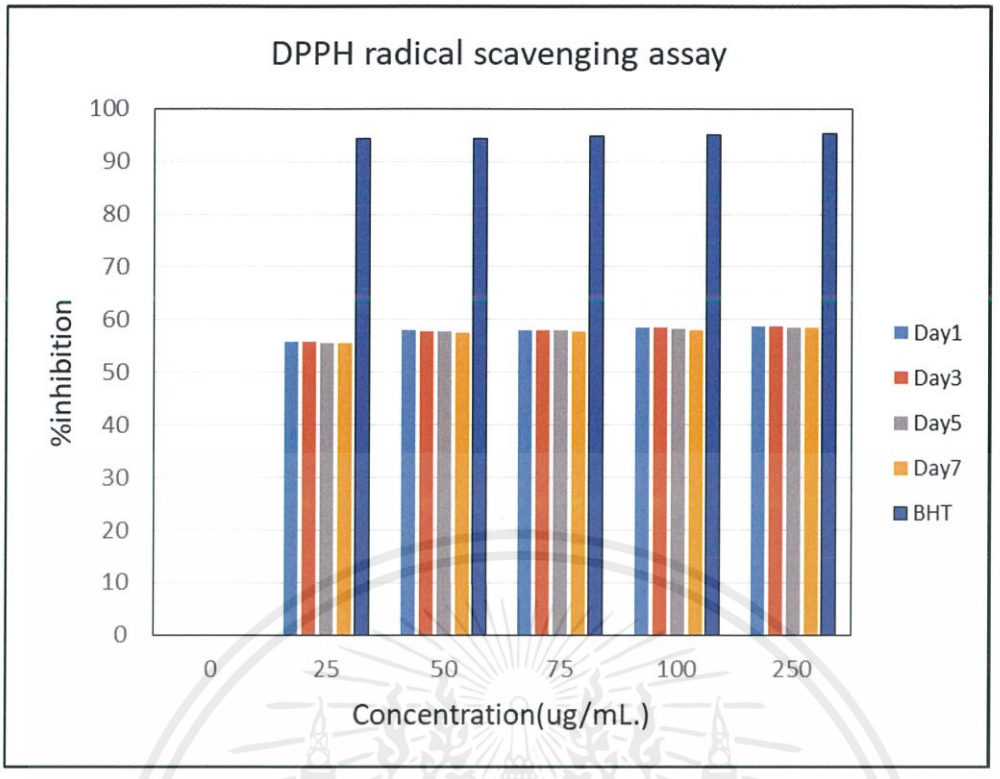
จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอยู่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ซึ่งเงื่อนไขที่ 2 มีปริมาณขมิ้นชันคือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดคือ 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งอยู่ที่ 54.73 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสูงสุดคือ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งอยู่ที่ 58.42 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน สารมาตรฐานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงถึง 94.30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ7 วัน

Con.2 0.5 %-Tur	1 Day	3 Days	5 Days	7 Days
25	54.73	54.63	54.52	54.42
50	55.78	55.68	55.57	55.47
75	57.89	57.78	57.68	57.57
100	58.21	58.10	58.00	57.89
250	54.42	58.31	58.21	58.10
BHT	94.30	94.30	94.30	94.30

จากตารางแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากการจัดเก็บเพื่อดูระยะเวลาในการปลดปล่อยพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปเสถียรภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อยตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สารมาตรฐานซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ยังคงมีเสถียรภาพคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน

จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอยู่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ซึ่งเงื่อนไขที่ 3 มีปริมาณขมิ้นชันมากที่สุดคือ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดคือ 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งอยู่ที่ 55.78 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสูงสุดคือ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการยับยั้งอยู่ที่ 58.73 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน สารมาตรฐานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงถึง 94.30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

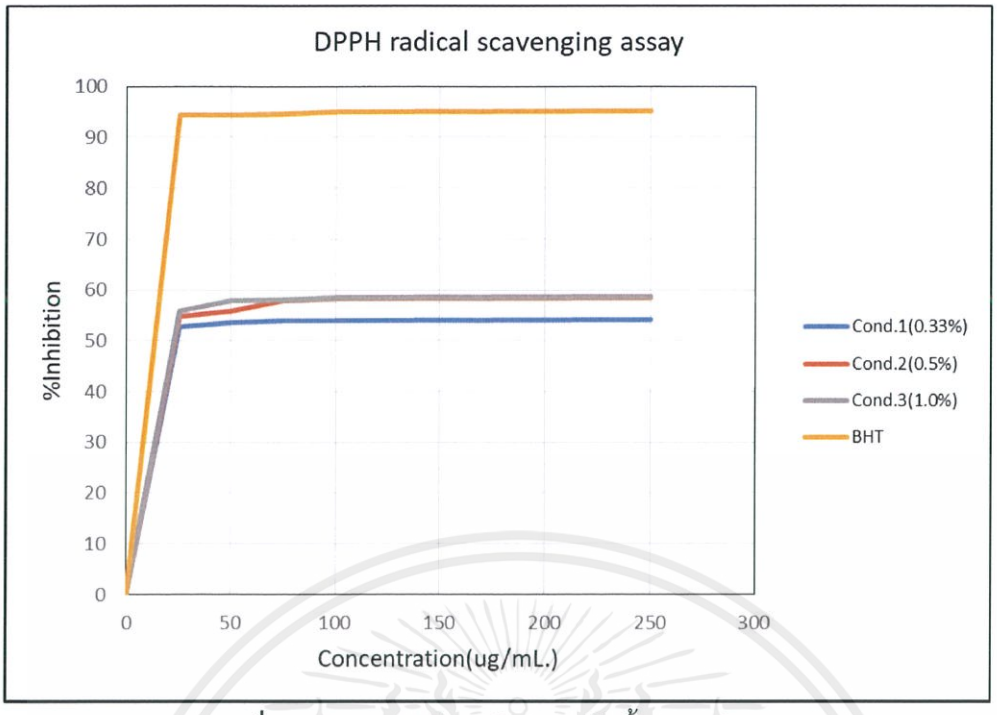
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเงื่อนไขที่ 3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHT ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน

Con.3 1.0 %-Tur	1 Day	3 Days	5 Days	7 Days
25	55.78	55.68	55.47	55.47
50	57.89	57.78	57.68	57.57
75	58.10	58	57.89	57.78
100	58.42	58.31	58.21	58.10
250	58.73	58.63	58.52	58.42
BHT	94.30	94.30	94.30	94.30

จากตารางแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 25-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากการจัดเก็บเพื่อดูระยะเวลาในการปลดปล่อยพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปเสถียรภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อยตามลำดับ อย่างไรก็ตามสารมาตรฐานซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ยังมีเสถียรภาพคงเดิม

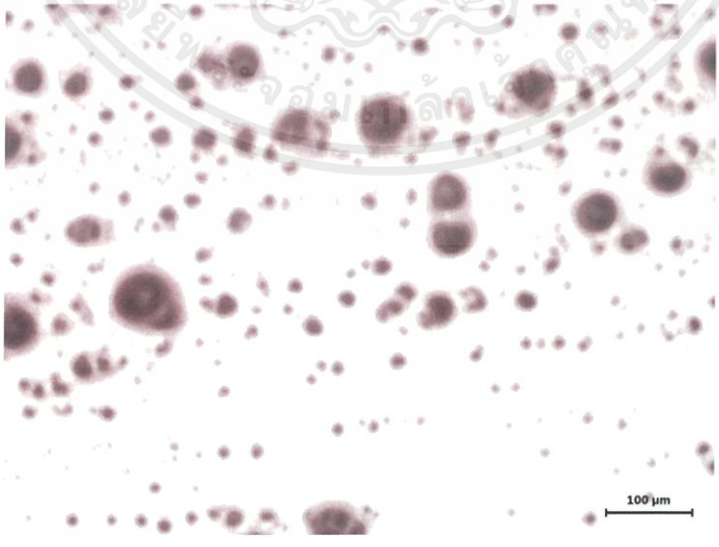
ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทั้งสามเงื่อนไข เมื่อเวลาผ่านไป นาโนเอนแคปซูเลชันยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระอยู่ จากการปลดปล่อยของนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยเสถียรภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่สารมาตรฐานเมื่อเวลาผ่านไปยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเท่าเดิม เสถียรภาพยังคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบการยับยั้งอนุมูลอิสระ

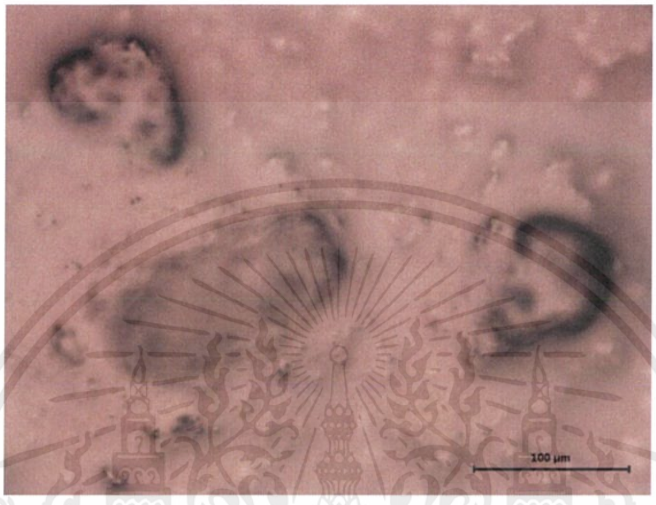
จากรูปพบว่า เงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระมากที่สุดคือเงื่อนไขที่สาม ซึ่งมีปริมาณขมิ้นชันมากที่สุดคือ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกันกับเงื่อนไขที่สอง ซึ่งมีปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้งเกือบถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และเงื่อนไขที่หนึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่ำสุด เนื่องจากปริมาณขมิ้นชันน้อยที่สุดคือ 0.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารมาตรฐานจะแสดงประสิทธิภาพยับยั้งมากที่สุด สูงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นกราฟจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การกระจายของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษารูปร่างลักษณะทางกายภาพของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ โดยรูปภาพที่ 4.11 แสดงการกระจายของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ที่สเกล 100 ไมโครเมตร ซึ่งอนุภาคจะมีลักษณะทรงกลมกระจายอยู่ทั่วกระจกสไลด์โดยต้องเตรียมโดยการหยดสารอิมัลชันที่เตรียมได้จากการสังเคราะห์ลงบนกระจกสไลด์ปิดด้วยแผ่นกระจกก่อนการตรวจวัด



รูปที่ 4.12 การปลดปล่อยของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน

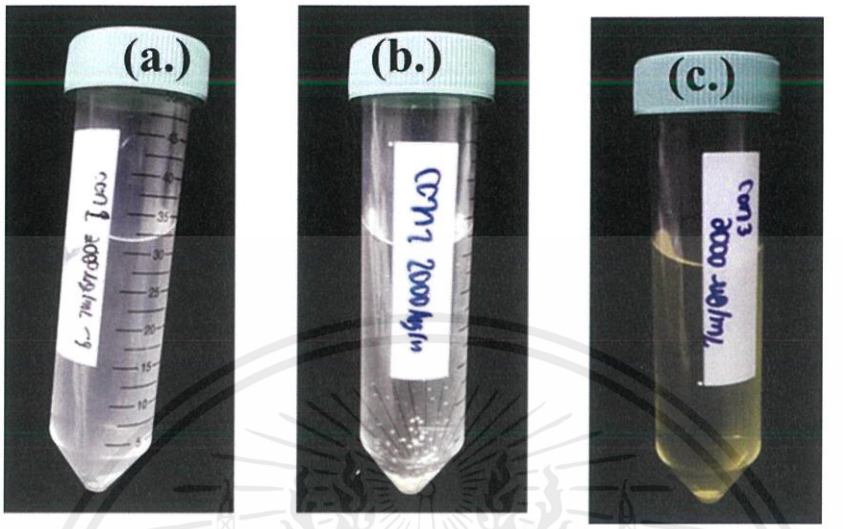
ภาพการปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ซึ่งหลังจากเวลาผ่านไป นาโนเอนแคปซูเลชันจะมีการปลดปล่อยสารภายในและแตกออกมาจากอนุภาคนาเอนแคปซูเลชันทรงกลม



รูปที่ 4.13 สารมาตรฐาน BHT โดยการกำจัดอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต่อต้านอนุมูลอิสระสีจะเปลี่ยนจากสีม่วงเข้มเป็นสีเหลืองอ่อน ตรวจจับ ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ที่ 517 นาโนเมตร หลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.14 นาโนเอนแคปซูเลชันทั้ง3เงื่อนไข

เงื่อนไขที่1 ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 %



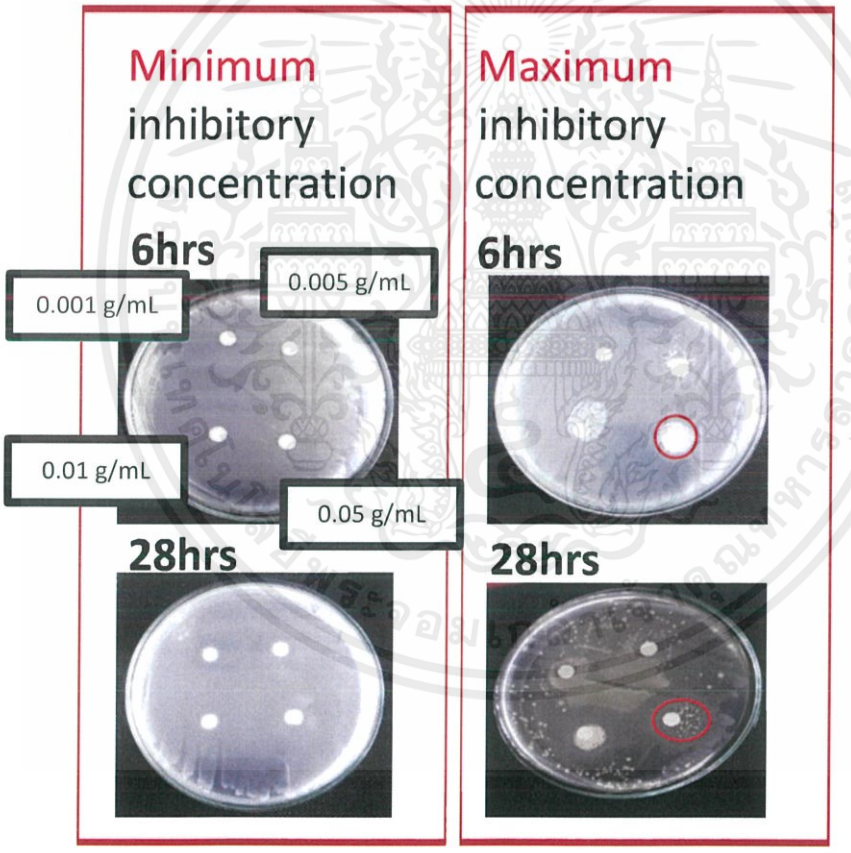
รูปที่ 4.15 นาโนอิมัลชันเชิงซ้อนทั้ง3เงื่อนไข

เงื่อนไขที่1 ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของสารสกัดผสมระหว่างขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ ด้วยวิธีดิสดิฟฟิวชั่น (Disc diffusion test)

แสดงภาพการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันเงื่อนไขที่1คือปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยเชื้อ *E.coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบและ *S.aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก เมื่อเวลาผ่านไป บริเวณการยับยั้งแบคทีเรียจะแผ่กว้างขึ้นเนื่องจากอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันค่อยๆมีการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือสารสกัดว่านหางจระเข้และสารสกัดขมิ้นชันที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่ความเข้มข้นต่ำๆจะไม่สามารถมองเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจน และทุกๆจานเลี้ยงเชื่อต้องมีตัวควบคุมคือ น้ำปราศจากไอออน โดยเชื้อ *S.aureus* จะแสดงบริเวณการยับยั้งแผ่กว้างกว่าเชื้อ *E.coli* โดยจะทำการวัดทุกๆ 6ชั่วโมง และหลังจาก 24 ชั่วโมง จะวัดถี่ขึ้นทุกๆ2ชั่วโมง โดยเป็นเวลารวมกัน 28 ชั่วโมง

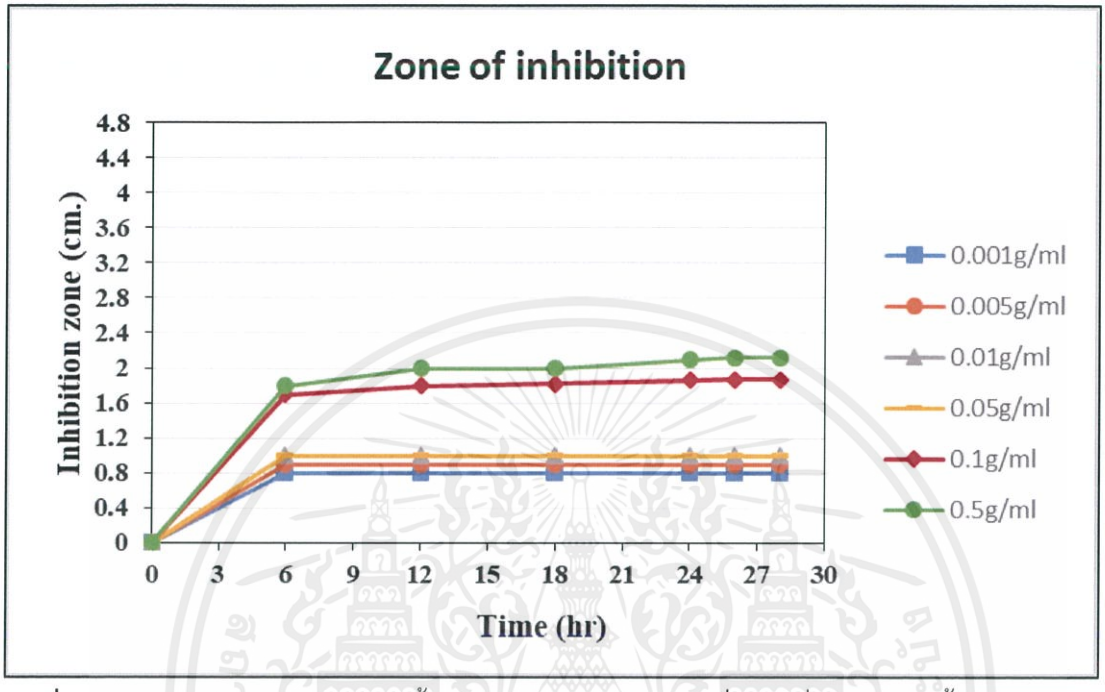


รูปที่ 4.16 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่1 ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด

จากรูปพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบเวลาแรกที่เริ่มวัด 6ชั่วโมงแรกและเวลาสุดท้าย 28 ชั่วโมง พบว่าไม่เห็นความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรียที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชัดเจน เนื่องจากความเข้มข้นต่ำมาก แต่ที่ความเข้มข้นสูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมีการปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณในการยับยั้งเริ่มแผ่กว้างขึ้นจนถึง 28 ชั่วโมง

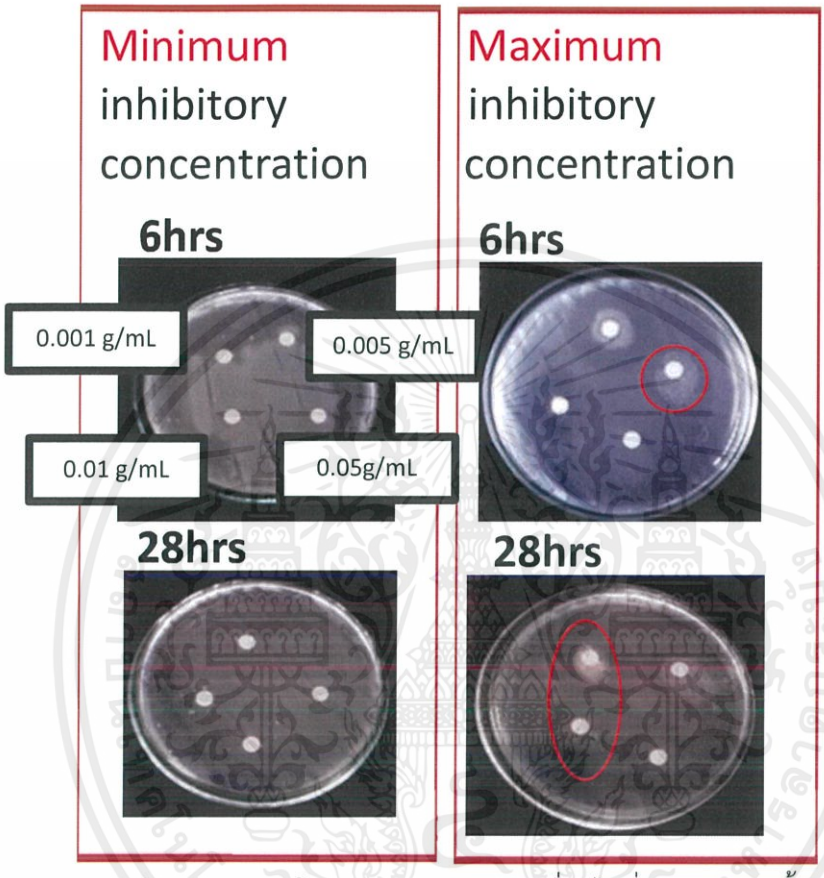


รูปที่ 4.17 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *E.coli* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

จากกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.5 0.1 0.05 0.01 0.005 0.001กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัด ซึ่งความเข้มข้นที่ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตรเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้ โดยความเข้มข้นที่. 0.05 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มมีบริเวณการยับยั้งเกิดขึ้น และเสถียรยาวจนถึง 28 ชั่วโมงของการวัด ซึ่งมีบริเวณการยับยั้งคงที่ 1.1 1.0 0.9 0.8 เซนติเมตร ตามลำดับ เป็นบริเวณในการยับยั้งค่าใกล้เคียงกัน และที่ความเข้มข้น 0.5 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัดอย่างชัดเจน และมีแนวโน้มบริเวณการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โดยจะเริ่มเพิ่มมากขึ้นหลังจากผ่านไป 12 ชั่วโมง ความเข้มข้นที่ 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร จะเริ่มมีความเสถียรยาวจนถึง 28 ชั่วโมงของการวัด ซึ่งมีบริเวณการยับยั้งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นที่สูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร จะมีบริเวณการยับยั้งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป24. ชั่วโมง จะเห็นได้ว่ามีบริเวณในการยับยั้งสูงกว่า 2 เซนติเมตร ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปของเชื้อ *Ecoli* ในเงื่อนไขที่1รูปที่ 4.16 คือที่สารความเข้มข้นต่ำ การยับยั้งจะเห็นได้ไม่ชัดเจน แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

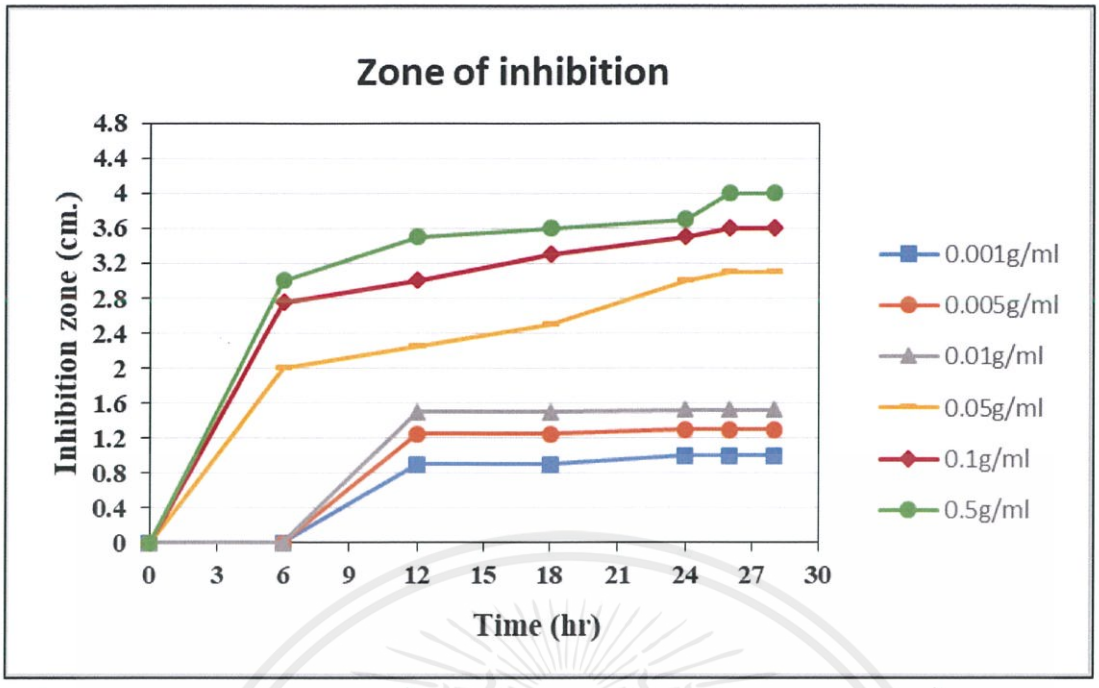
ขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นสูงเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจนกว่า



รูปที่ 4.18 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่ 1 ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และชั่วโมงสุดท้ายของการวัด

จากรูปพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบเวลาแรกที่เริ่มวัด 6ชั่วโมงแรกและเวลาสุดท้าย 28 ชั่วโมง พบว่าบริเวณการยับยั้งอาจจะยังเห็นไม่ชัดเจน แต่ที่ความเข้มข้นสูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6ชั่วโมงแรกเริ่มมีการปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณในการยับยั้งเริ่มแผ่กว้างขึ้นจนเห็นได้ชัดเจน และเมื่อ 28 ชั่วโมงแสดงบริเวณการยับยั้งสูงสุด ซึ่งจะเห็นบริเวณการยับยั้งที่แผ่กว้างขึ้นดังรูปอย่างชัดเจนจนมีการชนกันของโซนใส หรือโซนบริเวณในการยับยั้ง

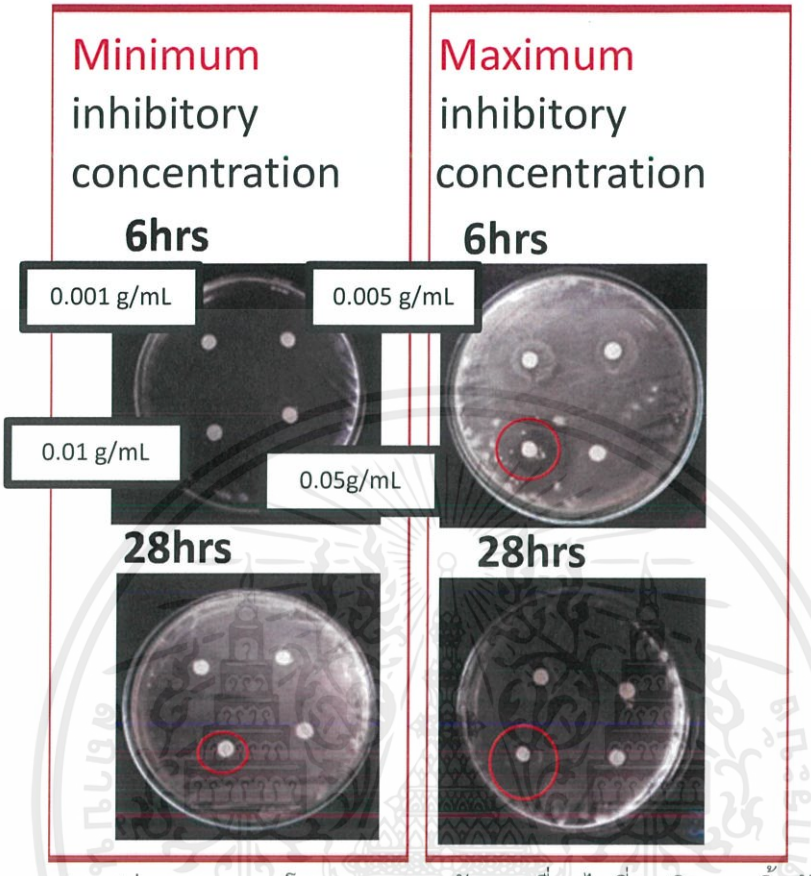
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่1.ปริมาณขมิ้นชัน 0.33 % เชื้อ *S.aureus* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

จากกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.5 0.1 0.05 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัด ซึ่งความเข้มข้นที่ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตรเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *S.aureus* ได้ โดยความเข้มข้นที่. 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง เริ่มมีบริเวณการยับยั้งเกิดขึ้น และเสถียรยาวจนถึง 28 ชั่วโมงของการวัด ซึ่งมีบริเวณการยับยั้งที่1.5 1.2 0.9 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งความเข้นข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง มีแนวโน้มการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อย และที่ความเข้มข้น 0.5 0.1 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัดอย่างชัดเจน และมีแนวโน้มบริเวณการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่ามีบริเวณในการยับยั้งที่ 28 ชั่วโมง สูงถึง 4.0 3.6 2.9 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยความเข้มข้นที่สูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร จะมีบริเวณการยับยั้งมากที่สุด จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง บริเวณการยับยั้งจะเพิ่มมากขึ้นจาก 3.6 เซนติเมตร ไป 4.0 เซนติเมตร ที่เวลา 28 ชั่วโมง ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปของเชื้อ *S.aureus* ในเงื่อนไขที่ 1 รูปที่ 4.18 คือสารความเข้มข้นต่ำ การยับยั้งจะเห็นได้ไม่ชัดเจน แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัด ที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันเช่นเดียวกันกับความเข้มข้นสูงเมื่อเวลาผ่านไป จะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจนกว่า และประสิทธิภาพการแผ่กว้างจนมีการชนกันของโซนใสหรือบริเวณการยับยั้ง ซึ่งหมายถึงบริเวณการยับยั้งที่มากที่สุดที่ไม่สามารถวัดต่อไปได้

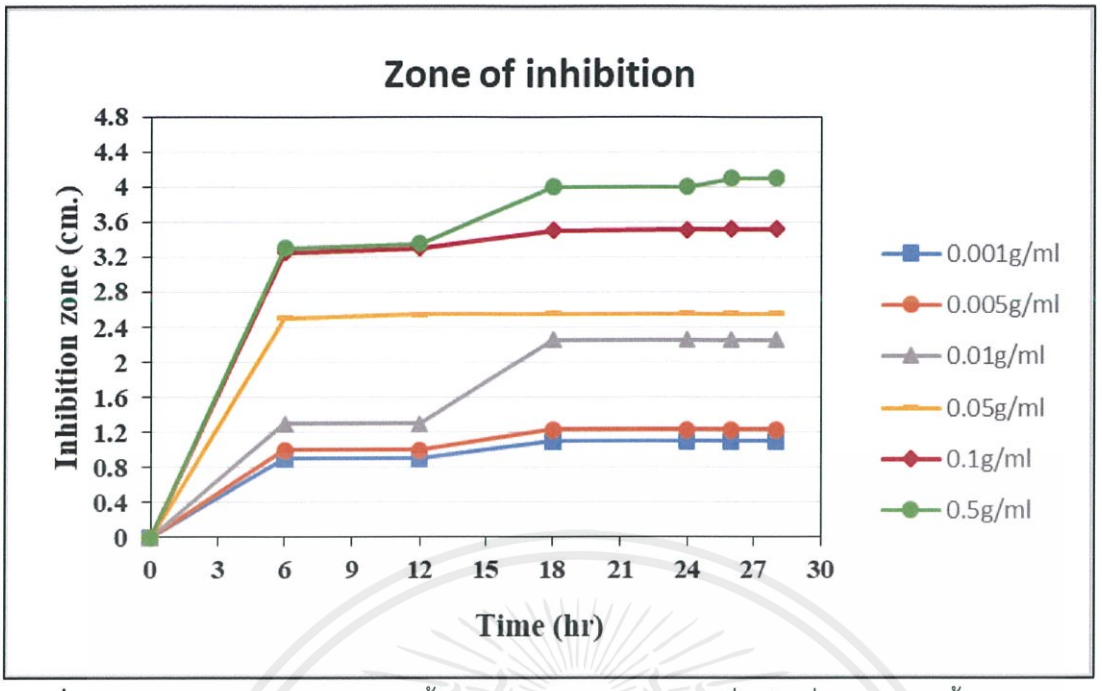
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด

จากรูปพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบเวลาแรกที่เริ่มวัด 6ชั่วโมงแรกและเวลาสุดท้าย 28 ชั่วโมง พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรีย แต่ที่ความเข้มข้นสูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมีการปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณในการยับยั้งเริ่มแผ่กว้างขึ้นจนเวลา 28 ชั่วโมงแสดงบริเวณการยับยั้งสูงสุด ซึ่งจะเห็นบริเวณการยับยั้งที่แผ่กว้างขึ้นดังรูป

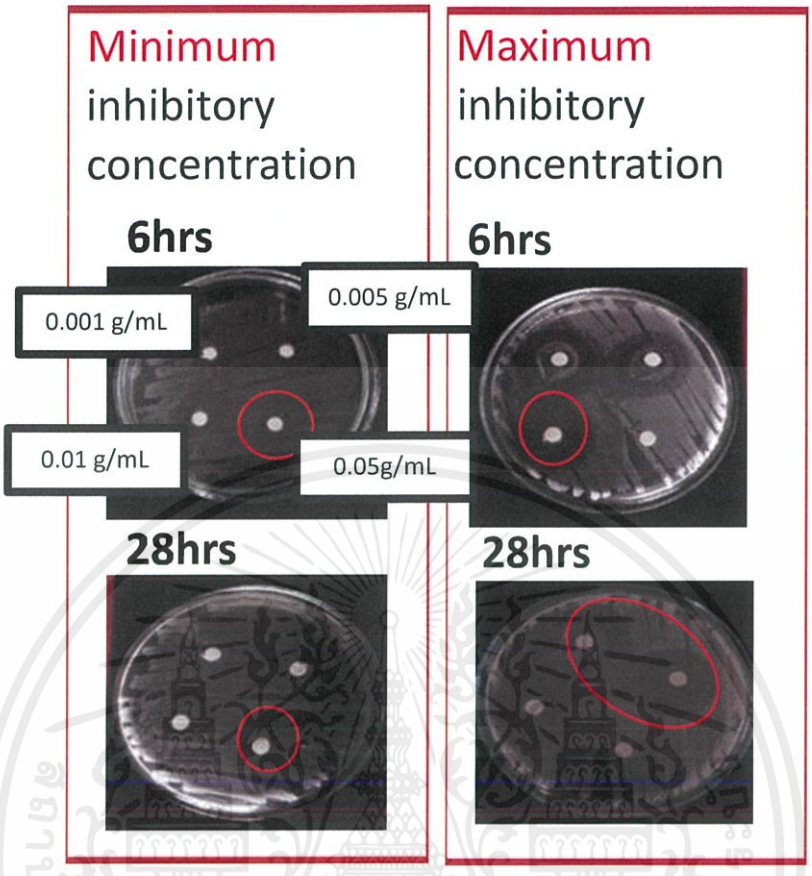
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *E.coli* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

จากกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.5 0.1 0.05 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัด ซึ่งความเข้มข้นที่ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้ โดยความเข้มข้นที่. 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มมีบริเวณการยับยั้งเกิดขึ้นและเสถียรเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง กราฟมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่ง 18 ชั่วโมงเริ่มมีความเสถียรยาวไปจนถึง 28 ชั่วโมง โดยบริเวณการยับยั้งคงที่ที่เวลา 18 ชั่วโมง คือ 1.2 1.1 เซนติเมตร ตามลำดับ เป็นบริเวณในการยับยั้งค่าใกล้เคียงกัน และที่ความเข้มข้น 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตรเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัดอย่างชัดเจน และมีความเสถียรไปจนถึง 28 ชั่วโมง แสดงบริเวณการยับยั้งงอยู่ที่ 2.5 เซนติเมตร ความเข้มข้นที่ 0.5 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัดและเสถียรยาวจนถึง 12 ชั่วโมงของการวัด หลังจากนั้นกราฟจะมีแนวโน้มการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยความเข้มข้นที่สูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 24. ชั่วโมง จะเห็นได้ว่ามีบริเวณในการยับยั้งสูงกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปของเชื้อ *Ecoli* ในเงื่อนไขที่ 2 รูปที่ 4.20 คือสารความเข้มข้นต่ำพบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรีย และเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นสูงเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันแต่ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจนกว่า

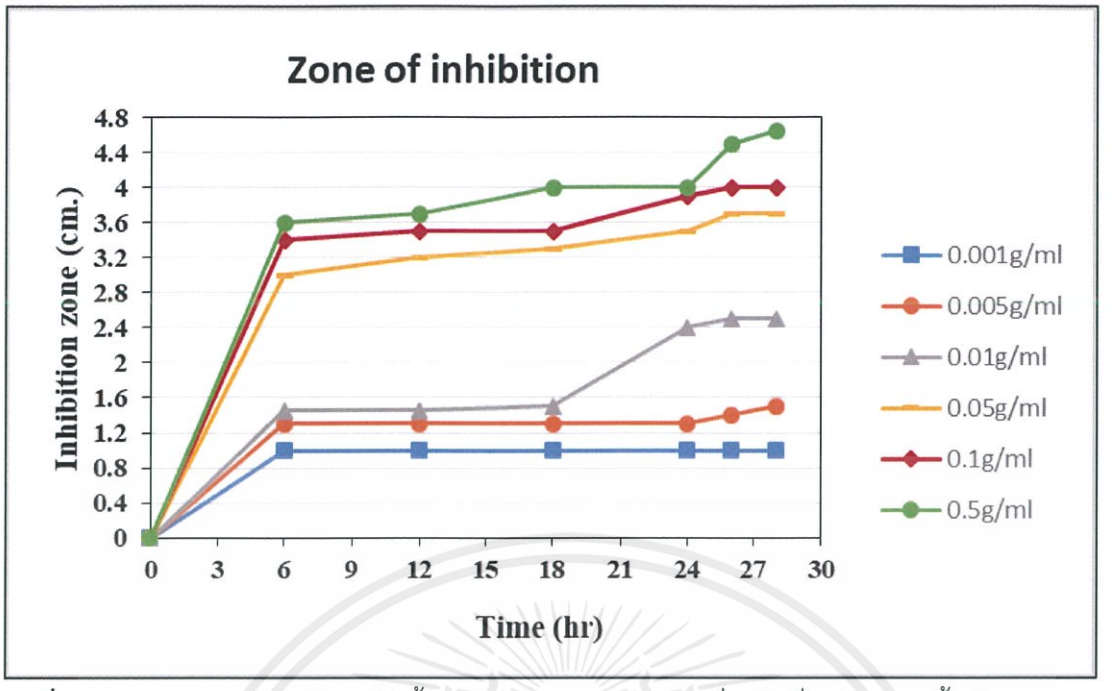
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด

จากรูปพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบเวลาแรกที่เริ่มวัด 6ชั่วโมงแรกและเวลาสุดท้าย 28 ชั่วโมง พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรียอย่างเห็นได้ชัด และที่ความเข้มข้นสูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมีการปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณในการยับยั้งเริ่มแผ่กว้างขึ้นจนเมื่อ 28 ชั่วโมงแสดงบริเวณการยับยั้งสูงสุด ซึ่งจะเห็นบริเวณการยับยั้งที่แผ่กว้างขึ้นดังรูปอย่างชัดเจนจนมีการชนกันของโซนใสหรือโซนบริเวณในการยับยั้ง

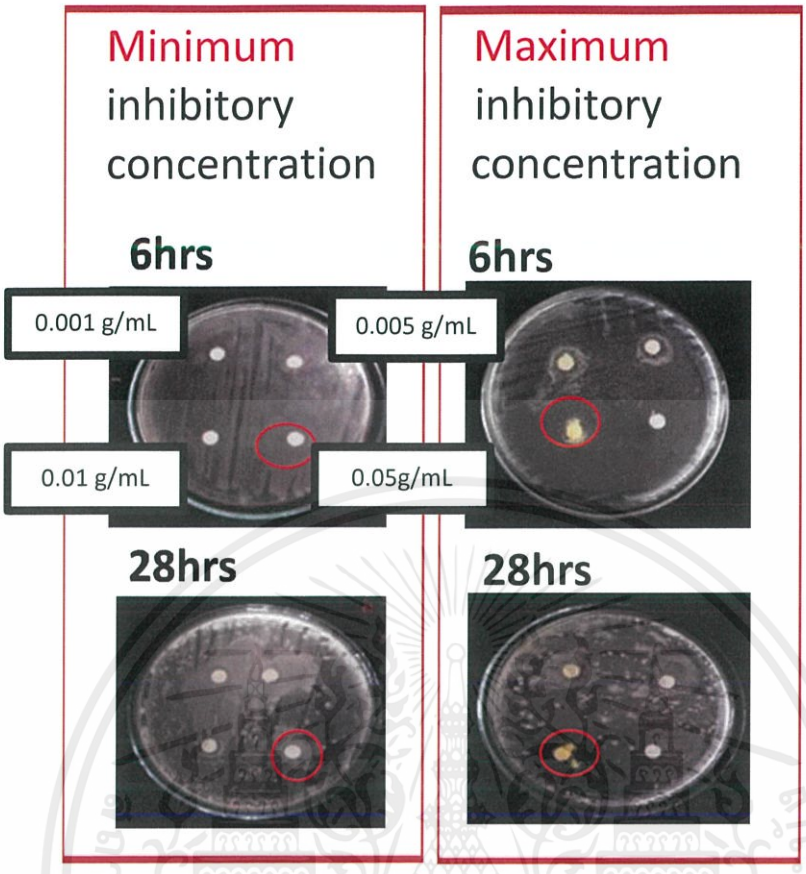
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่2.ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % เชื้อ *S.aureus* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

จากกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.5 0.1 0.05 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัด ซึ่งความเข้มข้นที่ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *S.aureus* ได้ โดยความเข้มข้นที่. 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มแสดงบริเวณการยับยั้ง และเสถียรยาวจนถึง 28 ชั่วโมงของการวัด ซึ่งมีบริเวณการยับยั้งที่ 1.0 เซนติเมตร ความเข้มข้น 0.005 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น และที่ความเข้มข้น 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง กราฟมีแนวโน้มการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ความเข้มขึ้นที่ 0.5 0.1 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยความเข้มข้นที่สูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร จะมีบริเวณการยับยั้งมากที่สุด จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง บริเวณการยับยั้งจะเพิ่มมากขึ้นจาก 4.0 เซนติเมตร ไป 4.8 เซนติเมตร ที่เวลา 28 ชั่วโมง ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปของเชื้อ *S.aureus* ในเงื่อนไขที่ 2 รูปที่ 4.22 คือสารความเข้มข้นต่ำ พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรีย และเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นสูงเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจนกว่า และประสิทธิภาพการแผ่กว้างจนมีการชนกันของของโซนใส หรือโซนบริเวณในการยับยั้ง

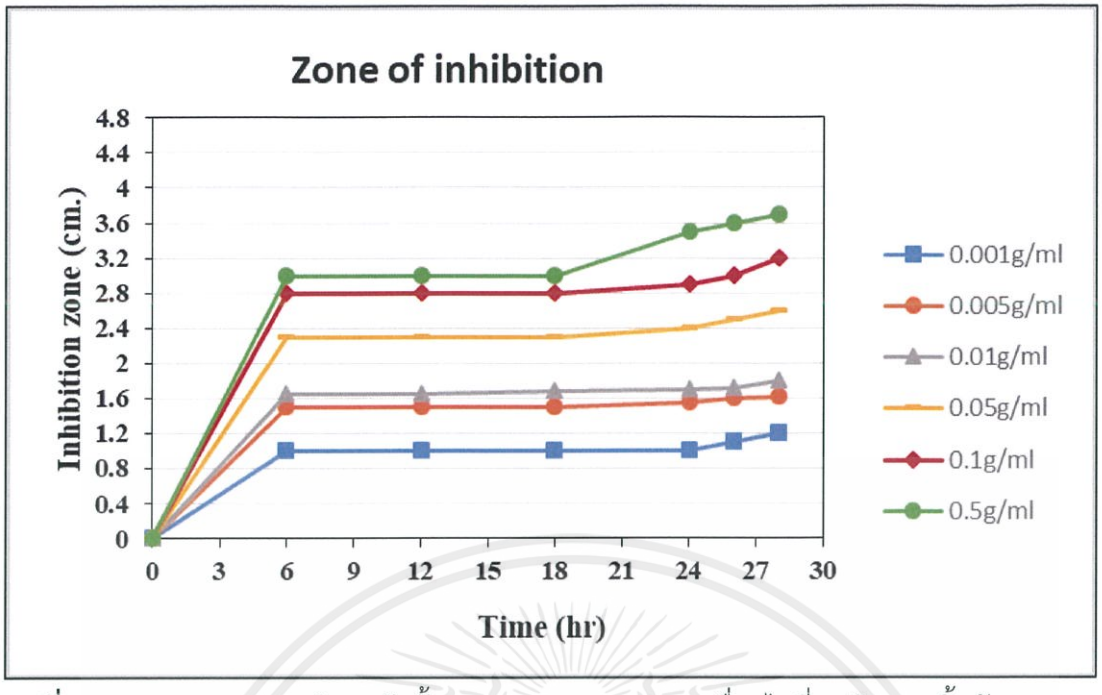
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0% เชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด

จากรูปพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบเวลาแรกที่เริ่มวัด 6ชั่วโมงแรกและเวลาสุดท้าย 28 ชั่วโมง พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรีย แต่ที่ความเข้มข้นสูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมีการปลดปล่อยอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณในการยับยั้งเริ่มแผ่กว้างขึ้นจนเมื่อ 28 ชั่วโมงแสดงบริเวณการยับยั้งสูงสุด ซึ่งจะเห็นบริเวณการยับยั้งที่แผ่กว้างขึ้นดังรูป

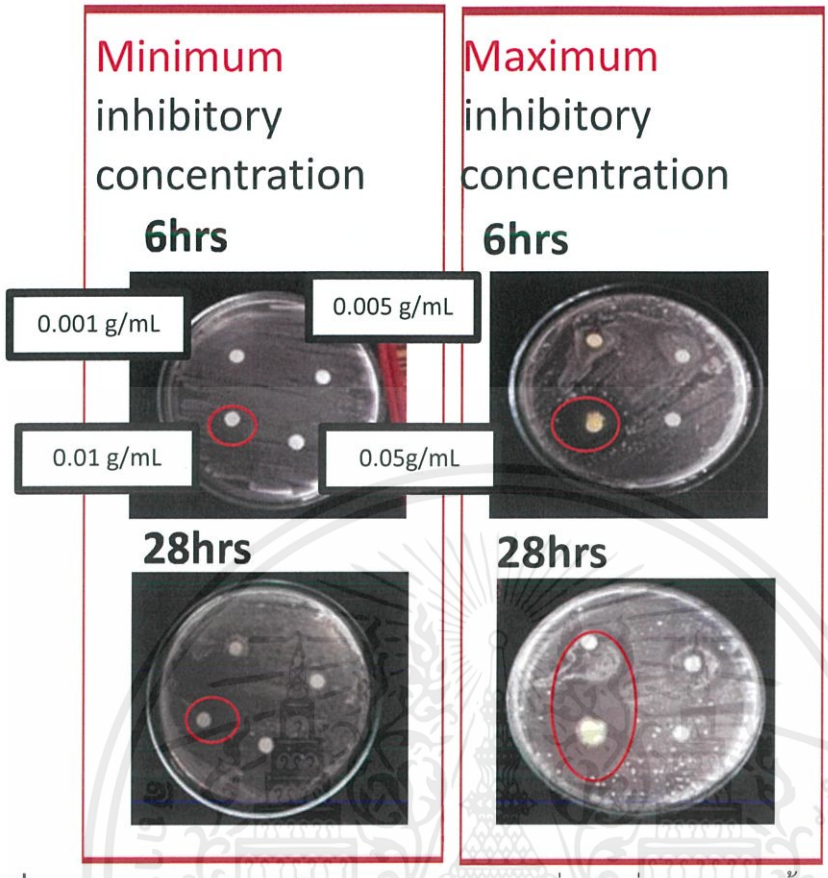
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 % เชื้อ *E.coli* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

จากกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.5 0.1 0.05 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัด ซึ่งความเข้มข้นที่ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้ โดยความเข้มข้นที่ 0.1 0.05 .0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มมีบริเวณการยับยั้งเกิดขึ้นและเสถียรเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง หลังจาก 18 ชั่วโมง กราฟมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากบริเวณการยับยั้ง 3.0 ไปยัง บริเวณการยับยั้ง 3.6 เซนติเมตร ตามลำดับที่เวลา 28 ชั่วโมง ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปของเชื้อ *Ecoli* ในเงื่อนไขที่ 3 รูปที่ 4.24 คือสารความเข้มข้นต่ำ พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรีย และเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นสูง เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจนกว่า

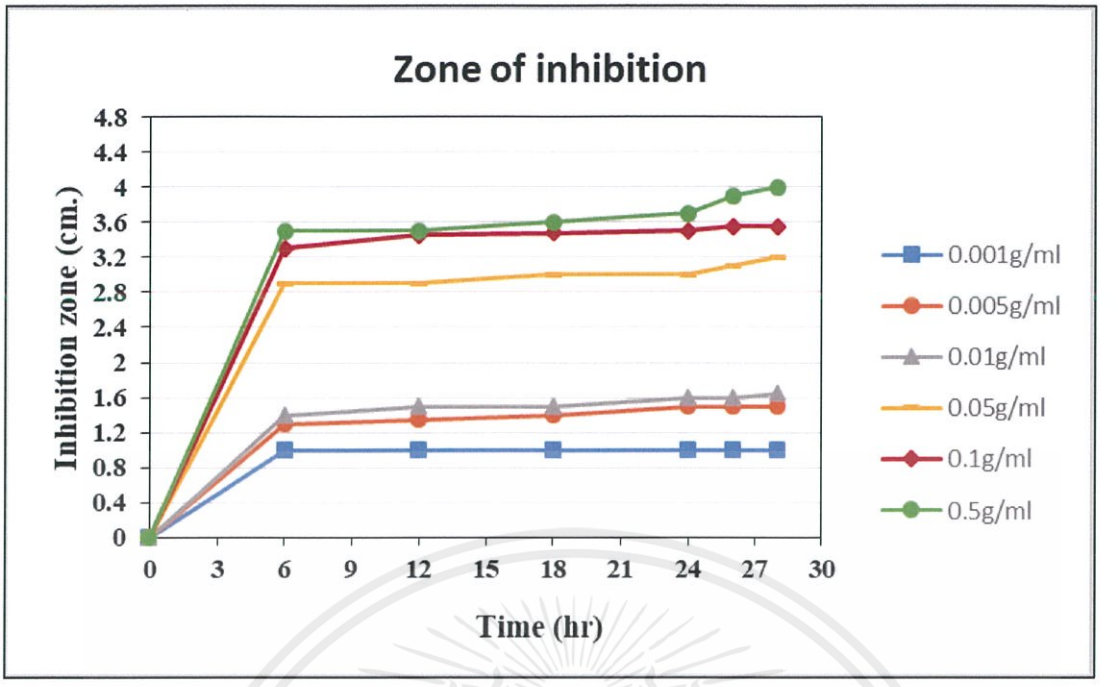
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 การปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชันของเงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0% เชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแรกของการวัด และ ชั่วโมงสุดท้ายของการวัด

จากรูปพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบเวลาแรกที่เริ่มวัด 6 ชั่วโมงแรกและเวลาสุดท้าย 28 ชั่วโมง พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรียอย่างเห็นได้ชัด และที่ความเข้มข้นสูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมีการปลดปล่อยนาโนเอนแคปซูเลชัน เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณในการยับยั้งเริ่มแผ่กว้างขึ้นจนเมื่อ 28 ชั่วโมงแสดงบริเวณการยับยั้งสูงสุด ซึ่งจะเห็นบริเวณการยับยั้งที่แผ่กว้างขึ้นดังรูปอย่างชัดเจนจนมีการชนกันของโซนใสหรือโซนบริเวณในการยับยั้ง

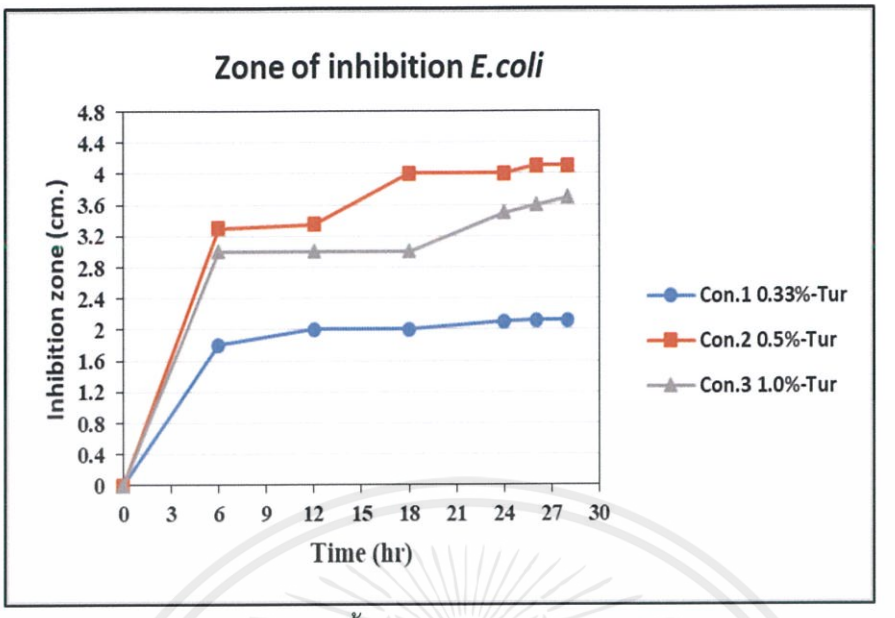
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 การทดสอบหาบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ของเงื่อนไขที่3.ปริมาณขมิ้นชัน 1.0% เชื้อ *S.aureus* เป็นเวลา 28 ชั่วโมง

จากกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน โดยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.5 0.1 0.05 0.01 0.005 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการวัด ซึ่งความเข้มข้นที่ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *S.aureus* ได้ โดยความเข้มข้นที่. 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มแสดงบริเวณการยับยั้ง และเสถียรยาวจนถึง 28 ชั่วโมงของการวัด ความเข้มข้น 0.005 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง มีแนวโน้มการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น และที่ความเข้มข้น 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง แนวโน้มการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น ความเข้มขึ้นที่ 0.5 0.1 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยความเข้มข้นที่สูงที่สุด 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร จะมีบริเวณการยับยั้งมากที่สุด จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง บริเวณการยับยั้งจะเพิ่มมากขึ้นจาก 3.6 เซนติเมตร ไป 4.0 เซนติเมตร ที่เวลา 28 ชั่วโมง ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปของเชื้อ *S.aureus* ในเงื่อนไขที่ 3 รูปที่ 4.26 คือที่สารความเข้มข้นต่ำ พบว่าเริ่มมีความแตกต่างของการยับยั้งแบคทีเรีย และเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นสูงเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นบริเวณการยับยั้งชัดเจนขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดที่อยู่ภายในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงจะเห็นบริเวณการยับยั้งได้ชัดเจนกว่า และประสิทธิภาพการแผ่กว้างจนมีการชนกันของของโซนใส หรือโซนบริเวณในการยับยั้ง

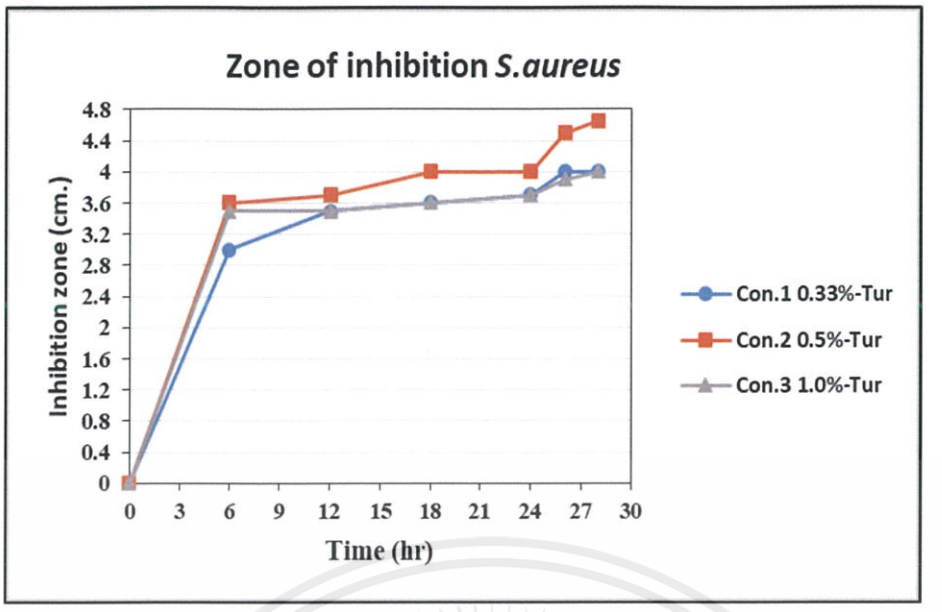
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน (Inhibition zone) ทั้ง 3 เงื่อนไขของเชื้อ *E.coli*

จากรูปแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขทั้งหมด 3 เงื่อนไข ประกอบไปด้วย เงื่อนไขที่ 1 คือปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของเชื้อ*E.coli* ที่ความเข้มข้นที่สูงที่สุด ประสิทธิภาพการยับยั้งมากที่สุด คือ ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพยับยั้งมากที่สุดคือ เงื่อนไขที่ 2 โดยเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงแรก แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งและจะเสถียรเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 12 ชั่วโมง จากนั้นจะเริ่มมีประสิทธิภาพการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง และเริ่มเข้าสู่ช่วงเสถียร ซึ่งประสิทธิภาพจะเพิ่มแค่เพียงเล็กน้อย แสดงบริเวณการยับยั้งสูงถึง 4 เซนติเมตร ที่เวลา 28 ชั่วโมง ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 28 ชั่วโมง อนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันจะมีการปลดปล่อยประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจาก สารสกัดขมิ้นชัน โดยจะทำการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง บริเวณการยับยั้งจะแพร่มากขึ้นจนถึงจุดที่ไม่สามารถวัดต่อไปได้ หรือที่มีการชนกันของโซนใสนั่นเอง โดยทั้งสามเงื่อนไขกราฟมีแนวโน้มในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเงื่อนไขที่ 2 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากปริมาณขมิ้นชันที่ใส่ไป 0.5 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าเงื่อนไขที่ 3 จะมีปริมาณขมิ้นชันมากที่สุดคือ 1.0 เปอร์เซ็นต์ แต่กลับมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเงื่อนไขที่สองนั้น คาดว่าระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ไม่สามารถเอนแคปซูเลชันสารสกัดขมิ้นชันทั้งหมดได้ และปริมาณสารสกัดที่มากเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพถูกจำกัดลงได้

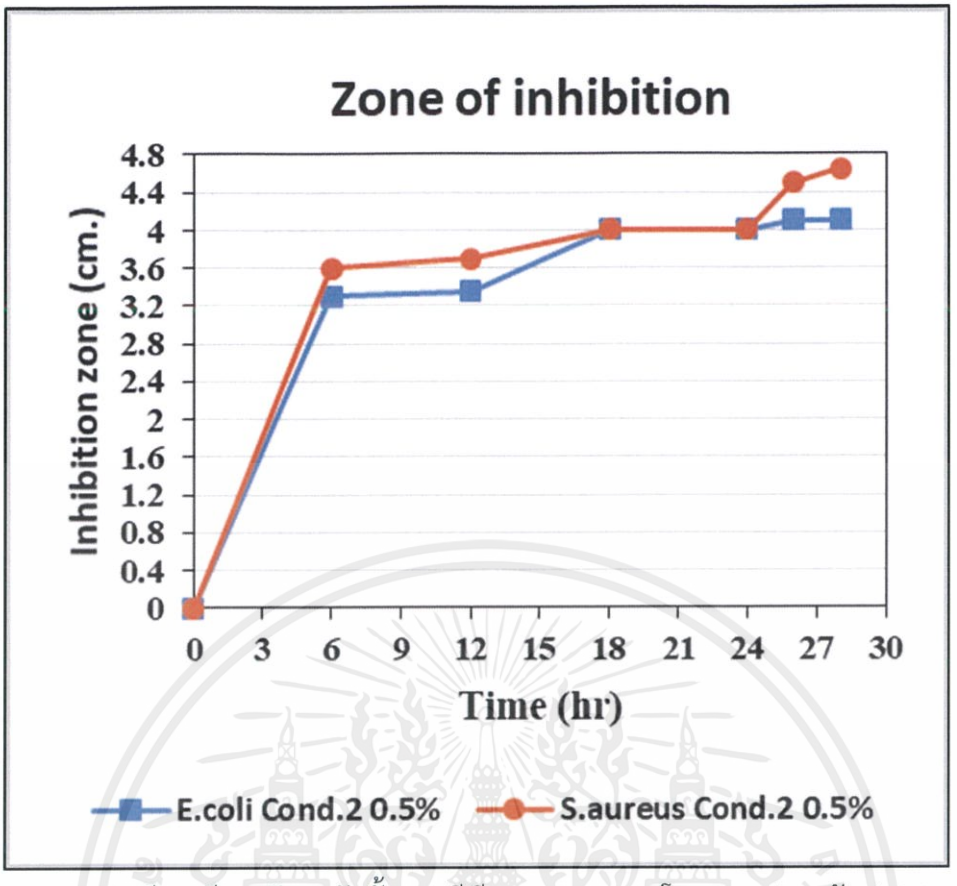
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน (Inhibition zone) ทั้ง 3 เงื่อนไขของเชื้อ *S.aureus*

จากรูปแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขทั้งหมด 3 เงื่อนไข ประกอบไปด้วย เงื่อนไขที่1คือปริมาณขมิ้นชัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ เงื่อนไขที่ 2 ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเงื่อนไขที่ 3 ปริมาณขมิ้นชัน 1.0เปอร์เซ็นต์ ของเชื้อ *S.aureus* ที่ความเข้มข้นที่สูงที่สุด ประสิทธิภาพการยับยั้งมากที่สุดคือความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพยับยั้งมากที่สุดคือ เงื่อนไขที่ 2 โดยเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงแรก แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง เริ่มเข้าสู่ช่วงเสถียร และเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนจากบริเวณการยับยั้ง 4.0 เซนติเมตร ไปยัง 4.8 เซนติเมตรที่เวลา 28 ชั่วโมง ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 28 ชั่วโมง อนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันจะมีการปลดปล่อยประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากสารสกัดขมิ้นชัน โดยจะทำการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง บริเวณในการยับยั้งจะแพร่มากขึ้นจนถึงจุดที่ไม่สามารถวัดต่อไปได้ หรือที่มีการชนกันของโซนใสนั่นเอง โดยทั้งสามเงื่อนไขกราฟมีแนวโน้มในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเงื่อนไขที่ 2 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากปริมาณขมิ้นชันที่ใส่ไป 0.5 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าเงื่อนไขที่ 3 จะมีปริมาณขมิ้นชันมากที่สุดคือ 1.0 เปอร์เซ็นต์ แต่กลับมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเงื่อนไขที่สองนั้น คาดว่าระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ไม่สามารถเอนแคปซูเลชันสารสกัดขมิ้นชันทั้งหมดได้ และปริมาณสารสกัดขมิ้นชันที่มากเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพถูกจำกัดลงได้

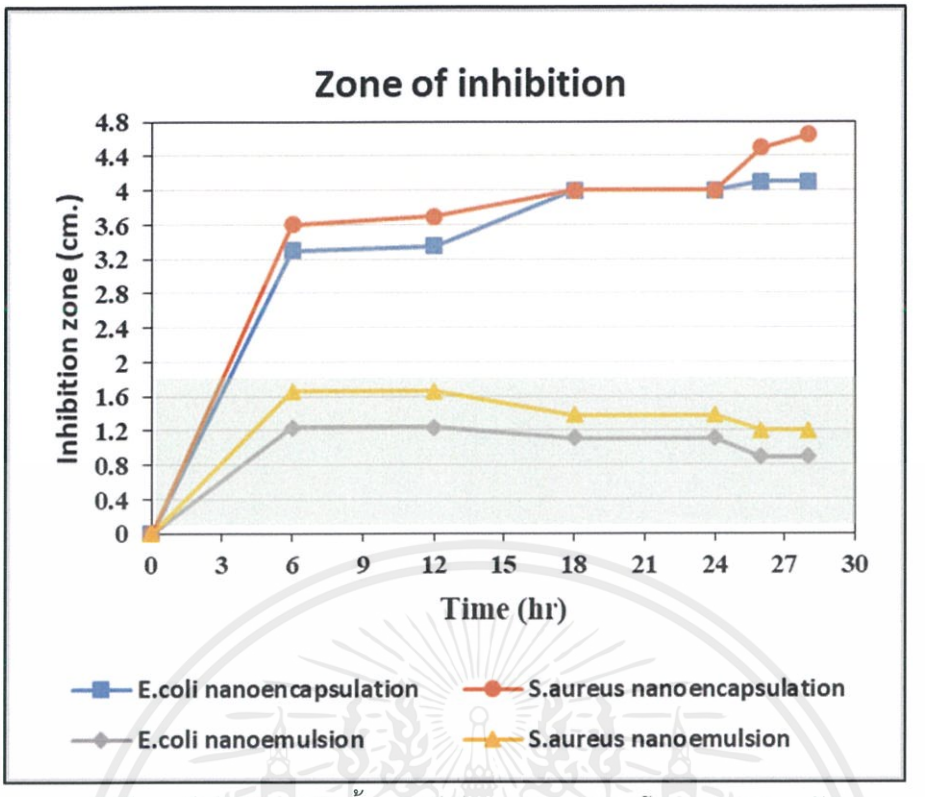
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน (Inhibition zone) จากเงื่อนไขที่ดีที่สุด ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อมิลลิตร ของเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus*

จากรูปพบว่า เชื้อ *S.aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงกว่าเชื้อ *E.coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งสารสกัดขมิ้นชันมีฤทธิ์ยับยั้งทั้ง เชื้อ *S.aureus และ* เชื้อ *E.coli* ซึ่งทั้งสองเป็นเชื้อที่ไวต่อการทดสอบ โดย เชื้อ *S.aureus* จะเริ่มมีการยับยั้งเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยที่เวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมงเชื้อทั้งสองตัวมีบริเวณการยับยั้งที่เท่ากันคือ บริเวณการยับยั้ง 4 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป เชื้อ *S.aureus* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งมากกว่าจนถึงเวลาที่ 28 ชั่วโมง มีบริเวณการยับยั้งสูงกว่าเชื้อ *E.coli* ถึง 0.7 เซนติเมตร โดยเชื้อ *S.aureus* มีบริเวณการยับยั้ง 4.7 เซนติเมตร และเชื้อ *E.coli* มีบริเวณการยับยั้ง 4 เซนติเมตร เนื่องจากเชื้อ *S.aureus* เป็นเชื้อที่ไวต่อการยับยั้งของสารสกัดขมิ้นชัน

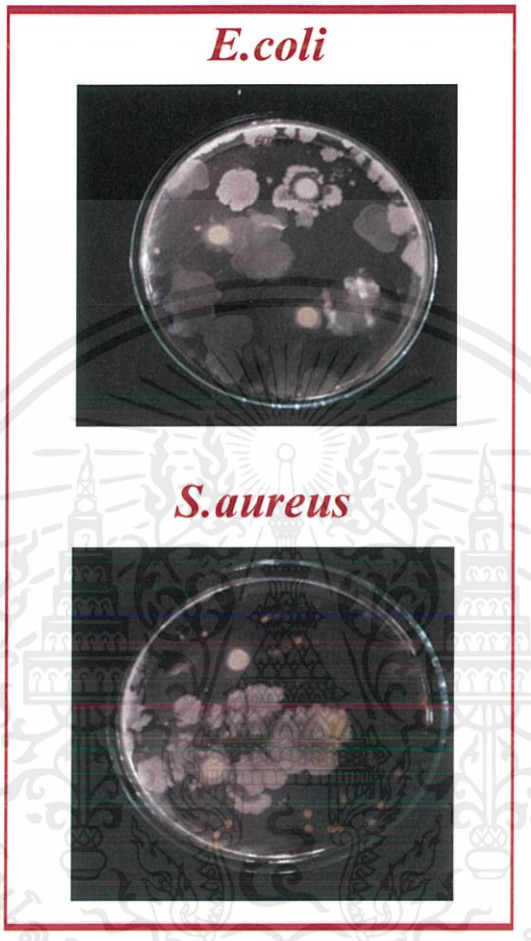
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบบริเวณยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันและอนุภาคนาโนที่ยังไม่ได้เอนแคปซูชัน จากเงื่อนไขที่ดีที่สุด ปริมาณขมิ้นชัน 0.5 % ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อมิลลิตร ของเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus*

จากรูป อนุภาคนาโนที่ยังไม่ได้เอนแคปซูเลชัน จะเตรียมเป็นนาโนอิมัลชัน พบว่า ทั้งเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* มีประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงแรก จะมีประสิทธิภาพยับยั้งสูงที่สุด มีบริเวณการยับยั้งของเชื้อ *E.coli* 1.2 เซนติเมตร และเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพจะลดลงเรื่อยๆตามลำดับ เมื่อเวลา 28 ชั่วโมงประสิทธิภาพจะยับยั้งต่ำสุด คือ 0.8 เซนติเมตร และ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงแรก จะมีประสิทธิภาพยับยั้งสูงที่สุด มีบริเวณการยับยั้งของเชื้อ *S.aureus* 1.6 เซนติเมตร และเมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพจะลดลงเรื่อยๆตามลำดับ เมื่อเวลา 28 ชั่วโมง ประสิทธิภาพจะยับยั้งต่ำสุด คือ 1.2 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันพบว่า เชื้อ *S.aureus* จะเริ่มมีการยับยั้งเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นโดยที่เวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมงเชื้อทั้งสองตัวมีบริเวณการยับยั้งที่เท่ากันคือ บริเวณการยับยั้ง 4 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป เชื้อ *S.aureus* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งมากกว่า จนถึงเวลาที่ 28 ชั่วโมง มีบริเวณการยับยั้งสูงกว่าเชื้อ *E.coli* ถึง 0.7 เซนติเมตร โดยเชื้อ *S.aureus* มีบริเวณการยับยั้ง 4.7 เซนติเมตร และเชื้อ *E.coli* มีบริเวณการยับยั้ง 4 เซนติเมตร เนื่องจากเชื้อ *S.aureus* เป็นเชื้อที่ไวต่อการยับยั้งของสารสกัดขมิ้นชัน ดังนั้นกระบวนการในการเอนแคปซูเลชัน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียยาวนานขึ้น อีกทั้งยังมีความเสถียรภาพอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 การปลดปล่อยอนุภาคนาโนที่ยังไม่ได้เอนแคปซูเลชันเป็นเวลา 28 ชั่วโมงของการวัด

จากภาพเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 28 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการยับยั้งจะลดต่ำลงเรื่อยๆจนไม่สามารถวัดได้เนื่องจากมีการโตของแบคทีเรียเกิดขึ้น ในบริเวณที่เคยยับยั้งได้ ทั้งเชื้อ *E.coli* และ เชื้อ *S.aureus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเตรียมสารสกัดขมิ้นชันและว่านหางจระเข้ด้วยเทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน และเพิ่มความคงตัวด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อให้อยู่ในรูปของนาโนเอนแคปซูเลชัน และตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของนาโนเอนแคปซูเลชัน ได้แก่ ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน ขนาดอนุภาค คุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย คุณสมบัติในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการวิจัยเบื้องต้น เริ่มจากทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของสารสกัดขมิ้นชันในวัฏภาคน้ำมันของอิมัลชันซึ่งในขั้นต้นได้ประกอบไปด้วย3เงื่อนไข โดยประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้ มีปริมาณขมิ้นชัน 0.33 0.5 1.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูงที่สุดคือเงื่อนไขที่2 มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูงถึง 80± 3.10 และมีขนาดอนุภาคที่ 801±02 นาโนเมตร จากการเตรียมทั้งหมด 3 เงื่อนไขเมื่อพิจารณาคุณสมบัติในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่มีเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่ออัตราความเข้มข้นของสารมากขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มขึ้นตามลำดับและเมื่อพิจารณาการเสถียรภาพและการปลดปล่อยโดดการจัดเก็บเป็นวัน พบว่าที่เวลาผ่านไป 1 3 5 และ 7 วันค่อยๆมีประสิทธิภาพลดลงเพียงเล็กน้อยแต่ยังมีประสิทธิภาพมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากการวัดประสิทธิภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระนั้นสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ 3 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณขมิ้นชันมากที่สุด และการยับยั้งแบคทีเรียจะทำการวัดทุกๆ 6 12 18 24 26 28 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* โดยเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพบริเวณการยับยั้งกว้างมากขึ้นเป็นผลมาจากการปลดปล่อยสารสกัดในอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชัน ซึ่งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* บริเวณการยับยั้งกว้างกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* เนื่องจากความไวของเชื้อ *S.aureus* ต่อสารสกัดขมิ้นชัน จากการวัดประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียนั้นสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่ 2 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียมากที่สุดทั้งสองชนิด *E.coli* และ *S.aureus* โดยมีความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งได้คือ 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งประสิทธิภาพในการยั้งจากการเปรียบเทียบอนุภาคนาโนที่ได้รับการเอนแคปซูเลชัน จะมีประสิทธิภาพการยับยั้งอย่างมีเสถียรภาพ และเมื่อพิจารณาการปลดปล่อยด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเมื่อผ่านไปสิบวันอนุภาคมีการปลดปล่อยโดยสารภายในจะแตกออกมาอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งต่างกับอนุภาคนาโนที่ยังไม่ได้เอนแคปซูเลชัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำลง และนำอนุภาคนาโนเอนแคปซูเลชันมาวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่าอนุภาคไคโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซาน มีหมู่พันธะอะมิโนมีการเชื่อมขวางกันกับหมู่พันธะฟอสเฟตซึ่งทำหน้าที่เป็นผนังสารห่อหุ้มสารอิมัลชันเชิงซ้อนอยู่ภายใน ซึ่งเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นลักษณะสามชั้นคือประกอบไปด้วยชั้นวัฏภาคภายนอกสุดคือน้ำมันมิเนอรัล วัฏภาคภายในคือสารสกัดขมิ้นชัน วัฏภาคภายนอกคือว่านหางจระเข้

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อสามารถนำไปพัฒนาสู่การใช้งานจริงด้วยการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านผิวหนังซึ่งอาจจะใช้หนังหมูมาทดสอบประสิทธิภาพของนาโนเอนแคปซูเลชันว่ามีประสิทธิภาพในการรักษาแผล หรือ รักษาโรคผิวหนังเช่นโรคสะเก็ดเงิน เพราะสารสกัดขมิ้นชันและสารสกัดว่านหางจระเข้จัดเป็นสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพสูงทางการแพทย์ โดยเมื่อผสมสารสกัดทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันจะมีประสิทธิภาพในการรักษามากกว่าการใช้เพียงอย่างเดียว และควรพัฒนาให้มีขนาดอนุภาคเล็กซึ่งอยู่ในช่วง 200-600 นาโนเมตร จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นโดยสามารถใช้โปรแกรมทางสถิติเพื่อให้ได้ค่าที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Hussain, Z.; Thu, H. E.; Ng, S.-F.; Khan, S.; Katas, H., Nanoencapsulation, an efficient and promising approach to maximize wound healing efficacy of curcumin: A review of new trends and state-of-the-art. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 2017, 150, 223-241.

[2] [Online]. Available : https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/969516

[3] [Online]. Available : https://medthai.com/ว่านหางจระเข้/

[4] Kassama, L. S.; Misir, J., Physicochemical Properties and Control Release of Aloe Vera (Aloe barbadensis Miller) Bioactive Loaded Poly (Lactic Co-Glycolide Acid) Synthesized Nanoparticles. Advances in Chemical Engineering and Science 2017, 7 (04), 333.

[5] Pisoschi, A. M.; Pop, A.; Cimpeanu, C.; Turcuş, V.; Predoi, G.; Iordache, F s with antioxidant and antimicrobial activity-A critical view. European journal of medicinal chemistry 2018.

[6] [Online]. Available : www.med.cmu.ac.th

[7] [Online]. Available : book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf

[8] [Online]. Available : https://www.pharmacy.mahidol.ac.th.

[9] Suganya, V.; Anuradha, V., Microencapsulation and nanoencapsulation: A review. Int. J. Pharm. Clin. Res 2017, 9 (3), 233-239.

[10] Zamanifar, P.; Shirazinejad, A., NANO-ENCAPSULATION APPROACH OF FOODBIOACTIVE COMPONENTS. the food industry 15, 39.

[11] Nayak, B.; Nanda, A.; Bhat, M. A., Integrating Biologically-inspired Nanotechnology Into Medical Practice. IGI Global: 2016.

[12] Jafari, S. M., An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. In Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries, Elsevier: 2017; pp 1-34.

[13] ปี พ.ศ. 2549 “อิมัลชันทางเภสัชกรรม” คณะเภสัชศาสตร์และโรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากi พิมพ์ครั้งที่ 1

[14] [Online]. Available : www.pharmacy.mahidol.ac.th

[15] ปี พ.ศ. 2561 “Drug encapsulation by double emulsion technique”.ภญ. ลลิลทิพย์ สุทธาพิทักษ์สกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[16] Cinar, K., A review on nanoemulsions: preparation methods and stability. Trakya Univ. J. Eng. Sci 2017, 18, 73-83.

[17] Pradhan, M.; Rousseau, D., A one-step process for oil-in-water-in-oil double emulsion formation using a single surfactant. Journal of colloid and interface science 2012, 386 (1), 398-404.

[18] Kale, S. N.; Deore, S. L., Emulsion micro emulsion and nano emulsion: a review. Systematic Reviews in Pharmacy 2017, 8 (1), "Pharmaceutical polymers"

[19] [Online]. Available : www.pharm.buu.ac.th

[20] Liu, C.; Bai, R.; Nan, L. In Sodium tripolyphosphate (TPP) crosslinked chitosan membranes and application in humic acid removal, AlChe Annual Meeting, Conference Proceedings, Chem & Biomol, 2004.

[21] Ak, T.; Gülçin, İ., Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. Chemico-biological interactions 2008, 174 (1), 27-37.

[22] [Online]. Available : http://www.damocos.co.kr/damo/language/english/lab_paper3.php

[23] Janpen Tangjitjareonkun1 Roongtawan Supabphol. "Application of Aloe Vera on Wound Healing." Journal of Medicine and Health Sciences(Vol.22 No.3 December 2015) Department of Basic Sciences and Physical Education, Faculty of Science, Kasetsart University, Si Racha Campus 2 Department of Physiology, Faculty of Medicine, Srinakharinwirot University

[24] Kassama, L. S.; Misir, J., Physicochemical Properties and Control Release of Aloe Vera (Aloe barbadensis Miller) Bioactive Loaded Poly (Lactic Co-Glycolide Acid) Synthesized Nanoparticles. Advances in Chemical Engineering and Science 2017, 7 (04), 333.

[25] [Online]. Available : www.nctfoodshop.com

[26] [Online]. Available : vet.kku.ac.th

[27] Malar, T. R. J. J.; Johnson, M.; Beaulah, S. N.; Laju, R.; Anupriya, G.; Ethal, T. R. J. J., Anti-bacterial and antifungal activity of Aloe vera gel extract. International Journal of Biomedical and Advance Research 2012, 3 (3), 184-187.

[28] [Online]. Available : www.foodnetworksolution.com

[29] Kitture, R.; Ghosh, S.; More, P. A.; Gaware, S.; Datar, S.; Chopade, B. A.; Kale, S., Curcumin-loaded, self-assembled aloevera template for superior antioxidant activity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and trans-membrane drug release. Journal of nanoscience and nanotechnology 2015, 15 (6), 4039-4045.

[30] Nataporn S.,Tawatchai C.,Wiwut T., center of excellence in particle technology, department of chemical engineering chulalongkorn university., Nanoencapsulation of Curcumin in Biodegradable Chitosan via multiple emulsion/solvent evaporation

[31] Torres-Giner, S.; Wilkanowicz, S.; Melendez-Rodriguez, B.; Lagaron, J. M., Nanoencapsulation of aloe vera in synthetic and naturally occurring polymers by electrohydrodynamic processing of interest in food technology and bioactive packaging. Journal of agricultural and food chemistry 2017, 65 (22), 4439-4448.

[32] Balaji, A.; Vellayappan, M. V.; John, A. A.; Subramanian, A. P.; Jaganathan, S. K.; 1.SelvaKumar, M.; bin Mohd Faudzi, A. A.; Supriyanto, E.; Yusof, M., Biomaterials based nano-applications of Aloe vera and its perspective: a review. RSC Advances 2015, 5 (105), 86199-86213.

[33] Kassama, L. S.; Misir, J., Physicochemical Properties and Control Release of Aloe Vera (Aloe barbadensis Miller) Bioactive Loaded Poly (Lactic Co-Glycolide Acid) Synthesized Nanoparticles. Advances in Chemical Engineering and Science 2017, 7 (04), 333.

[34] Silva-Buzanello, R. A. d.; Souza, M. F. d.; Oliveira, D. A. d.; Bona, E.; Leimann, F. V.; Cardozo Filho, L.; Araújo, P. H. H. d.; Ferreira, S. R. S.; Gonçalves, O. H., Preparation of curcumin-loaded nanoparticles and determination of the antioxidant potential of curcumin after encapsulation. Polímeros 2016, 26 (3), 207-214.

[35] Kassem Alzomor, A.; Noman, N.; Al-Akhali, L. a.; Al-Qubati, A.; Al-Shawafi, A.; Al-Serry, A.; Al-Zedaar, S., Development of Anti-bacterial Ointment from Two Extracts of Curcuma longa L. and Aloe vera L. 2017; Vol. 17, p 1-13.

[36] Sari, T.; Mann, B.; Kumar, R.; Singh, R.; Sharma, R.; Bhardwaj, M.; Athira, S., Preparation and characterization of nanoemulsion encapsulating curcumin. Food Hydrocolloids 2015, 43, 540-546.

[37] Hassani, S.; Laouini, A.; Fessi, H.; Charcosset, C., Preparation of chitosan–TPP nanoparticles using microengineered membranes–Effect of parameters and encapsulation of tacrine. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 2015, 482, 34-43.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[38] Pisoschi, A. M.; Pop, A.; Cimpeanu, C.; Turcuş, V.; Predoi, G.; Iordache, F., Nanoencapsulation techniques for compounds and products with antioxidant and antimicrobial activity-A critical view. European journal of medicinal chemistry 2018.

[39] Sheikhzadeh, M Alizadeh, M Rezazad,H Hamed., Nanoencapsulation of curcumin by sodium caseinate and gum Arabic. Agro FOOD Industry Hi Tech 2015, vol. 26(6)

[40] Ghayempour, S.; Montazer, M.; Rad, M. M., Encapsulation of Aloe Vera extract into natural Tragacanth Gum as a novel green wound healing product. International journal of biological macromolecules 2016, 93, 344-349.

[41] Ghayour, N.; Hosseini, S. M. H.; Eskandari, M. H.; Esteghlal, S.; Nekoei, A.-R.; Gahruie, H. H.; Tatar, M.; Naghibalhossaini, F., Nanoencapsulation of quercetin and curcumin in casein-based delivery systems. Food hydrocolloids 2019, 87, 394-403.

[42] Yadav, D.; Kumar, N., Nanonization of curcumin by antisolvent precipitation: process development, characterization, freeze drying and stability performance. International journal of pharmaceutics 2014, 477 (1-2), 564-577.

[43] [Online]. Available : https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-chitin-and-chitosan_fig1_275038413

[44] Gierszewska, M., & Ostrowska-Czubenko, J. (2016). Equilibrium swelling study of crosslinked chitosan membranes in water, buffer and salt solutions. Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives, 21, 55-62.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)	นางสาวชนนิกานต์ พิศาลกิตติคุณ
ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Chonnikan Pisankittikul
วัน-เดือน-ปีเกิด	29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2539
สถานที่เกิด	ตรัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	50/143 หมู่บ้านสตาร์แลนด์ อ.เมือง จ.ตรัง-92000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนทิวไผ่งาม กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2561 สำเร็จการศึกษาในระดับชั้นปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (ว. ศ.บ.) วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้