

ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซีนและโซเดียมเคซีเนต  
ENCAPSULATION EFFICIENCY OF LUTEIN IN ZEIN/SODIUM  
CASEINATE



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซีนและโซเดียมเคซีเนต

ENCAPSULATION EFFICIENCY OF LUTEIN IN ZEIN/SODIUM CASEINATE

จัดทำโดย

กนกพร นิสรา

รหัสนักศึกษา 59080001

มินทร์จิตา สิทธิสุขพัฒน์

รหัสนักศึกษา 59080042

ริวินนา กาญจนะ

รหัสนักศึกษา 59080043

ได้รับการพิจารณาความเห็นชอบจาก

ปนัดดา นนทนา

13 / กรกฎาคม / 2563

(ผศ.ดร.ปนัดดา นนทนา)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	ประสิทธิภาพการห่อหุ้มทีนด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต		
ชื่อนักศึกษา	กนกพร นิสรา	รหัสนักศึกษา	59080001
	มินทร์ธิดา สิทธิสุขพัฒน์	รหัสนักศึกษา	59080042
	ริวินนา กาญจนะ	รหัสนักศึกษา	59080043
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร		
พ.ศ.	2563		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปนัดดา นนทนา		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต โดยทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการละลายซิน (ร้อยละ 60 70 80 และ 90) อัตราส่วนโดยปริมาณของลูทีนต่อซิน (1:25 1:50 1:75 และ 1:100) และการเติมโซเดียมเคซีเนต (0.5 1 1.5 และ 2 เท่าของปริมาณซินที่ใช้) ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีน ผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินเพียงอย่างเดียว จะมีค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนสูงสุดที่ร้อยละ 37.25 ที่สภาวะการผลิตที่มีการละลายซินด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 90 ร่วมกับการใช้อัตราส่วนโดยปริมาณของลูทีนต่อซินที่สูงที่สุด (1:100) เมื่อมีการนำโซเดียมเคซีเนตมาทำการห่อหุ้มลูทีนร่วมกับซิน พบว่าสามารถทำให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนเพิ่มสูงมากกว่าร้อยละ 90 ได้ โดยเมื่อปริมาณโซเดียมเคซีเนตที่เติมลงไปมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 ในการละลายซิน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนที่ได้มีค่าสูงกว่าการใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 90 ในการละลายซิน

คำสำคัญ: เอนแคปซูเลชัน ลูทีน ซิน โซเดียมเคซีเนต เอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Encapsulated Efficiency of Lutein in Zein/Sodium Caseinate	
Student name	Kanokporn Nisara	Student ID 59080001
	Riwinna Kanchana	Student ID 58080043
	Mintitar Sittisukapat	Student ID 59080042
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology	
Year	2020	
Advisor	Asst.Prof.Dr.Panadda Nonthanum	

### ABSTRACT

The objective of this research aimed to investigate the encapsulation efficiency (EE) of lutein entrapped by zein and sodium caseinate (NaCas). The effect of ethanol concentration used in zein dispersion (60, 70, 80 and 90%), the content ratio of lutein to zein (1:25, 1:50, 1:75 and 1:100), and the addition of sodium caseinate (0.5, 1, 1.5 and 2 times of zein content) on EE of lutein was studied. It was found that the EE of lutein encapsulated by zein only was highest (37.25%) when 90% ethanol was used to disperse zein and the maximum content ratio of lutein to zein (1:100) was applied. The addition of NaCas in lutein/zein encapsulation system increased the EE of lutein up to more than 90%. When higher amount of NaCas was added, the EE of lutein increased. However, it was found that EE of lutein was greater when zein was dispersed using 60% ethanol than using 90% ethanol.

Keywords: Encapsulation, Lutein, Zein, Sodium caseinate, Ethanol

## กิตติกรรมประกาศ

งานสัมมนาสำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ดร.ปณันดา นนทนา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้ช่วยให้ข้อคิด คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจและปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ตั้งแต่ต้นจนจบ ผู้ศึกษารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่รักและหวังดีต่อผู้ศึกษา ได้ให้ข้อคิด ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา จนทำให้การทำปัญหาพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้



กนกพร นิสรา

มินทร์ฐิตา สิทธิสุขพัฒน์

ริวินนา กาญจนะ

13 กรกฎาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ลูทีน (Lutein).....	3
2.2 โรคจอประสาทตาเสื่อม.....	4
2.3 ซีน (Zein).....	6
2.4 โซเดียมเคซีเนต (Sodium caseinate).....	7
2.5 การห่อหุ้มหรือเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation).....	7
2.6 ดีซอลเวชัน (Desolvation).....	8
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	11
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	11
3.2 อุปกรณ์.....	11
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	12
3.3.1 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซีน.....	12
3.3.2 การห่อหุ้มลูทีนด้วยโซเดียมเคซีเนต.....	13
3.3.3 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซีนและโซเดียมเคซีเนต.....	13
3.3.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซีน โซเดียมเคซีเนต และซีมร่วมกับ โซเดียมเคซีเนต.....	15
3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	16
4.1 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซีน.....	16
4.2 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซีนและโซเดียมเคซีเนต.....	18
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	21
บรรณานุกรม.....	22
ภาคผนวก.....	25
ภาคผนวก ก.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ก.1 การเตรียมสารละลายลูทีน ความเข้มข้น 4 มก/มล.....	26
ก.2 การเตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90 เพื่อใช้ในการละลายซิน.....	26
ก.3 การเตรียมสารละลายซิน ความเข้มข้น 2 มก/มล ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90.....	27
ก.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมเคซีเนต ความเข้มข้น 5 มก/มล.....	27
ภาคผนวก ข.....	28
ข.1 การทำกราฟมาตรฐานของลูทีนในแอนไฮดรัสเอทานอล.....	28
ภาคผนวก ค.....	30
ประวัติผู้เขียน.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ปริมาณของสารละลายลูทีน แอนไฮดรัสเอทานอลและซิน ที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้ อัตราส่วนของปริมาณลูทีนต่อซินที่แตกต่างกัน.....	12
3.2	ปริมาณของสารละลายลูทีน แอนไฮดรัสเอทานอลและโซเดียมเคซีเนต ที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้ได้อัตราส่วนของปริมาณลูทีนต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน.....	13
3.3	ปริมาณของสารละลายลูทีน แอนไฮดรัสเอทานอล ซิน และโซเดียมเคซีเนต ที่ใช้ในการ ผลิตเพื่อให้ได้อัตราส่วนของปริมาณลูทีนต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน.....	14
4.1	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายด้วยเอทา - นอลความเข้มข้นต่างๆ และใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินที่แตกต่างกัน.....	16
4.2	ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายในเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่างๆ และ ใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินที่แตกต่างกัน.....	17
4.3	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายด้วยเอทา - นอลความเข้มข้นต่างๆ และใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน...	18
4.4	ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายในเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่างๆ และใช้ อัตราส่วนของลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน.....	19
ก.1	การเตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90.....	26
ข.1	อัตราส่วนของปริมาณสารละลายลูทีนมาตรฐานกับแอนไฮดรัสเอทานอล.....	28
ค.1	ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของอัตราส่วนลูทีนต่อซิน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.2	ค่าประสิทธิภาพการท่อมูลูทินเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของอัตราส่วนลูทินต่อโซเดียมเคซีเนต.....	32
ค.3	ค่าประสิทธิภาพการท่อมูลูทินเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของอัตราส่วนลูทินต่อซีนต่อโซเดียมเคซีเนต.....	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของซีน.....	6
2.2	รูปแบบของแอนแคปซูชัน.....	8
ข.1	กราฟมาตรฐานของลูทีนในแอนไฮดรัสเอทานอล.....	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดวงตาถือเป็นอวัยวะสำคัญที่มีบทบาทและคุณค่า มากกว่าร้อยละ 80 ของสิ่งที่เรารู้ในชีวิตส่วนมาจากการมองเห็น การมองเห็นที่ชัดเจนจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิต เพราะถ้าหากปราศจากดวงตาแล้วจะทำให้ดำเนินชีวิตได้อย่างยากลำบาก ดังนั้นการเกิดโรคที่เกี่ยวกับดวงตาจึงเป็นอันตรายอย่างมาก โรคที่เกี่ยวกับดวงตามีอยู่มากมายตั้งแต่ในวัยเด็กไปจนถึงวัยผู้ใหญ่ โดยในวัยเด็กเล็กไปจนถึงวัยประถมศึกษา จะมีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องของการมองเห็นไม่ชัดเจน เนื่องจากสายตาสั้น สายตาเอียง หรือสายตายาว ในวัยรุ่นจะมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้สายตาเป็นระยะเวลานานเกินไป ส่งผลให้มีอาการปวดเบ้าตา และกล้ามเนื้อตาเกร็ง เมื่อแก่ตัวลงหรือเริ่มเข้าสู่วัยผู้สูงอายุ จะมีโรคมามากมายที่ทำให้เกิดการสูญเสียดวงตาได้ง่าย เนื่องจากผู้สูงอายุจะมีสภาพร่างกายที่เสื่อมถอยและเกิดปัญหาสุขภาพได้ง่าย ซึ่งโรคทางตาที่พบบ่อยในผู้สูงอายุ เช่น โรคต้อกระจก (Cataract), โรคต้อหิน (Glaucoma), ภาวะการผิดปกติของกระจกตารวมไปถึงโรคจอประสาทตาเสื่อม (Age-related macular degeneration, AMD) ที่นำไปสู่ภาวะตาบอด จากงานวิจัยพบว่าการบริโภคลูทีนสามารถช่วยป้องกันหรือลดความเสี่ยงของการเกิดโรคจอประสาทตาเสื่อมได้ (Dachler และคณะ, 1998; Olmedilla และคณะ, 2003; Alves-Rodrigues และ Shao, 2004)

ลูทีน (Lutein) จัดเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเหลือง ส้ม และแดง พบได้ในเลนส์ตาและจอประสาทตาโดยเฉพาะบริเวณจุดรับภาพชัด ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากออกซิเจนภายในเซลล์ และดูดซับแสงสีน้ำเงินที่เป็นอันตรายต่อจอประสาทตา ถึงแม้ว่าลูทีนจะสามารถพบได้ในดวงตา แต่ร่างกายของเรานั้นไม่สามารถสังเคราะห์สารนี้ขึ้นมาเองได้ จำเป็นต้องได้รับจากการบริโภคเท่านั้น โดยลูทีนสามารถพบได้ในผักผลไม้ที่มีสีเหลืองและสีเขียวเข้ม เช่น ข้าวโพด แครอท ฟักทอง ปวยเล้ง คะน้า ผักโขม โกจิเบอร์รี่ ถั่วลันเตา ผักกาด บล็อกโคลี่ ไข่ และในดอกดาวเรือง เป็นต้น จากผลงานวิจัยของ AREDS2 ของสถาบัน National Eye Institute ได้ทำการศึกษาคนที่ เป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม พบว่าการทานลูทีน 10 มิลลิกรัม ควบคู่กับซีแซนทีน, น้ำมันปลา, วิตามินซี อี และซิงค์ สามารถชะลอความเสี่ยงของโรคจอประสาทตาเสื่อมจากระยะเริ่มต้นไปจนถึงระยะสุดท้ายได้สูงสุดถึงร้อยละ 25 โรคจอประสาทตาเสื่อมเป็นสาเหตุหลักของการตาบอดในผู้สูงอายุ เป็นโรคที่เกิดความผิดปกติขึ้นตรงจุดกลางรับภาพของจอประสาทตา ส่วนที่ไวที่สุดของจอประสาทตา คือ แมคูลา ลูเตีย (Macula Lutea) ประกอบไปด้วยเซลล์แสงรับสีที่ช่วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการมองเห็นภาพได้ชัดยิ่งขึ้น แต่ผู้ใดที่เป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม ตัวแมคูลา ลาเตียจะถูกทำลายไปที่ละน้อย และค่อยๆ ลูกกลมอย่างช้าๆ จนส่งผลให้ตาบอดในที่สุด (Dr.lyn, 2561)

ปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีลูทีนเป็นองค์ประกอบออกสู่ท้องตลาดมากมาย แต่สมบัติความเป็นไลโปฟิลิกที่สูง (Highly lipophilic) ของลูทีน และความสามารถในการรวมตัวกันของลูทีน จะไปชะลอการย่อยและลดการดูดซึมสารลูทีนเข้าสู่ร่างกาย (Weiss และคณะ, 2008; Barrow และคณะ, 2009) การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมของลูทีนสามารถทำได้โดยการผลิตลูทีนให้มีอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตร (Vishwanathan และคณะ, 2009; Teo และคณะ, 2017) ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการกระจายตัวในน้ำของลูทีน และปกป้องลูทีนจากสภาพแวดล้อม ดังนั้น การผลิตผลิตภัณฑ์ลูทีนให้มีขนาดในระดับนาโนเมตร อาจจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมลูทีนเข้าสู่ร่างกายได้ดียิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษการผลิตลูทีนให้มีขนาดระดับอนุภาคนาโนเมตร และทำการห่อหุ้มลูทีนโดยได้ซินและโซเดียมเคซีเนต ซึ่งซินซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด มีคุณสมบัติขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี และใช้โซเดียมเคซีเนตห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่งเพื่อเพิ่มความเสถียร

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของเอทานอลและอัตราส่วนของลูทีนต่อซินที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มที่มีต่อประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนตที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มที่มีต่อประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีน

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้แนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะดวงตา เพื่อรองรับสังคมผู้สูงอายุที่กำลังเพิ่มขึ้นในเมืองไทย
- 1.3.2 ได้องค์ความรู้ของกระบวนการห่อหุ้มสารสำคัญด้วยเทคนิคที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการให้ย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ลูทีน (Lutein)

เป็นสารอาหารในกลุ่มแซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) มีลักษณะเป็นสารสีเหลือง อยู่ในจำพวกแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) มีประโยชน์ต่อดวงตา สามารถช่วยชะลออาการจอประสาทตาเสื่อม โดยจุดที่แสงตกกระทบในเซลล์รับภาพของจอประสาทตา จะเป็นบริเวณที่สารสีเหลืองหรือลูทีนอยู่หนาแน่นมากที่สุด ซึ่งจุดดังกล่าวเป็นจุดที่สำคัญมากต่อการมองเห็น หากบริเวณดังกล่าวเสื่อมหรือเสียไป อาจทำให้สูญเสียการมองเห็นหรือตาบอดได้ โดยสารลูทีนในเซลล์รับภาพของจอประสาทตานี้ จะทำหน้าที่สำคัญคือ คอยกรองแสงสีฟ้า ซึ่งเป็นอันตรายต่อจอประสาทตา และเป็นแสงที่หลีกเลี่ยงได้ยากเพราะมีอยู่ทั่วไปรอบๆ ตัวเรา ซึ่งทั้งแสงจากดวงอาทิตย์ แสงจากโทรทัศน์ แสงจากจอคอมพิวเตอร์ แสงจากหลอดไฟ เป็นต้น (WIR, 2563)

นอกจากนี้ลูทีนยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในดวงตาอีกด้วย เพราะดวงตาของมนุษย์จะมีสารอนุมูลอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเป็นตัวทำลายเซลล์รับภาพและทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับจอประสาท และถือเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญในการปกป้องจอประสาทตา โดยลูทีนจะทำงานร่วมกับกรดไขมันดีเอชเอและเอเอซึ่งมีส่วนช่วยในการเสริมสร้างพัฒนาการด้านการมองเห็นของเด็ก โดยดีเอชเอและเอเอทำหน้าที่เหมือนเป็นหลอดไฟ ส่วนลูทีนทำหน้าที่เหมือนเป็นสารเคลือบหลอดไฟไม่ให้เสื่อมเร็ว และนอกจากลูทีนจะพบมากในดวงตาของมนุษย์แล้ว ยังพบได้ในสมองในส่วนที่เกี่ยวกับการมองเห็นถึงร้อยละ 66 จึงเชื่อว่าลูทีนมีส่วนช่วยในการรับภาพและส่งต่อไปยังสมองได้ดีขึ้นอีกด้วย สารอาหารลูทีนนี้ร่างกายของมนุษย์นั้นไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาใช้เองได้ จะต้องรับประทานเข้าไปเท่านั้น (Anonymous, 2552) สามารถพบได้ในผักใบเขียว อาทิเช่น ผักคะน้า ผักโขม ผักปวยเล้ง บร็อคโคลี่ ถั่วเขียว ฟักทอง ข้าวโพด ไข่แดง เป็นต้น (Dr.Lyn, 2561)

การเลือกรับประทานลูทีนควรทานอย่างน้อย วันละ 6-10 มิลลิกรัม จะช่วยลดโอกาสการเป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม และยังช่วยชะลอการเกิดต้อกระจกได้ เพื่อให้ได้ลูทีน 10 มิลลิกรัมต่อวัน จำเป็นต้องรับประทานผักและผลไม้ในปริมาณที่พอเหมาะ เช่น ผักคะน้าจะมีลูทีนในปริมาณ 4.8 – 13.4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผักสด 100 กรัม และผักปวยเล้ง (Spinach; Spinacia Oleracea L.) จะมีลูทีน 6.5 – 13.0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผักสด 100 กรัม นอกจากนี้ยังพบได้ในไข่แดง ถึงแม้พบอยู่ในไข่แดงในปริมาณน้อย แต่ลูทีนในไข่แดงก็เป็นชนิดที่สามารถถูกนำไปใช้ได้ดี (Highly available) ไม่ควรรับประทานเกินวันละ 20 มิลลิกรัม อาจทำให้มีอาการตัวเหลือง หรือเกิดการสะสมที่ตับและไตได้ (Dr.Lyn, 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่สำคัญของลูทีน คือ ปกป้องเซลล์ประสาทตาโดยการดูดซึมแสงสีน้ำเงินและแสงอัลตราไวโอเล็ตจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นอันตรายต่อดวงตามนุษย์ และยังทำหน้าที่ในการป้องกันอนุมูลอิสระที่เกิดจากรังสียูวีจากแสงแดด การสูบบุหรี่ และช่วยลดปัญหาต้อกระจก (WIR, 2563)

## 2.2 โรคจอประสาทตาเสื่อม

จอประสาทตา (Retina) เป็นส่วนที่อยู่บริเวณหลังสุดของดวงตา เมื่อใช้สายตามองดูสิ่งของ แสงที่กระทบสิ่งของจะสะท้อนผ่านเข้ามาถึงจอประสาทตา ซึ่งจอประสาทตาสามารถเปลี่ยนแสงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งผ่านเส้นประสาทตา (Optic nerve) ไปยังสมอง ที่จอประสาทตานี้จะมีบริเวณที่ไวที่สุดของจอประสาทตา ที่เรียกว่า แมคูลา ลูเตีย (Macula lutea) แมคูลานี้จะประกอบไปด้วยเซลล์รับแสงนับล้านๆเซลล์ที่ช่วยการมองเห็นที่คมชัดตรงส่วนกลางของภาพ หากมีการทำลายของแมคูลาการมองเห็นก็จะขาดความคมชัด

โรคจอประสาทตาเสื่อม (Age-related macular degeneration (AMD)) เป็นโรคซึ่งเกิดที่บริเวณแมคูลา ลูเตีย (macula lutea) โดยเฉพาะ โรคนี้จะมีการทำลายแมคูลาไปทีละน้อย ในบางคนโรคอาจจะลุกลามเข้ามาถึง ส่งผลให้ใช้เวลานานมากกว่าที่จะสูญเสียการมองเห็น แต่สำหรับในบางคนการลุกลามของโรคเป็นไปอย่างรวดเร็วและอาจมีผลทำให้ตาบอดข้างเดียวหรือทั้งสองข้างได้ โรคนี้เป็นสาเหตุหลักของตาบอดที่เกิดขึ้นในคนที่อายุ 65 ปีขึ้นไปในประเทศทางแถบตะวันตก

โรคจอประสาทตาเสื่อมแบ่งตามความรุนแรงออกได้เป็น 2 ประเภท (วิมล, 2557)

1. โรคจอประสาทตาเสื่อมแบบแห้ง (early (or dry) AMD) เป็นรูปแบบที่พบได้มากที่สุด ในขั้นเริ่มต้นหรือขั้นปานกลาง เกิดจากการสลายตัวของเซลล์ไวแสงที่บริเวณแมคูลา พบได้ประมาณร้อยละ 90 ของผู้ป่วยโรคนี้
2. โรคจอประสาทตาเสื่อมแบบเปียก (late (or wet) AMD) เกิดจากการที่มีหลอดเลือดผิดปกติที่บริเวณหลังจอประสาทตา มีการเจริญของหลอดเลือดใต้แมคูลา หลอดเลือดใหม่ๆเหล่านี้อาจจะมีความเปราะบางและเกิดการรั่วของเลือดและของเหลวได้ทำให้แมคูลาบวมและเกิดการทำลายอย่างรวดเร็ว การทำลายนี้อาจจะทำให้เกิดแผลเป็นที่จอประสาทตาได้ ในช่วงเริ่มต้นของโรคจอประสาทตาแบบเปียกนี้ อาจทำให้มองเห็นเส้นตรงปรากฏลักษณะคล้ายคลื่น ผู้ป่วยอาจจะจะมี “จุดบอด” ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีการสูญเสียการมองเห็นภาพในบริเวณตรงกลางของภาพ พบได้ประมาณร้อยละ 10 ของผู้ป่วยโรคนี้

ปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคจอประสาทตาเสื่อม มีหลายปัจจัยที่มีส่วนทำให้ความเสี่ยงในการเกิดโรคจอประสาทตาเสื่อมเพิ่มมากขึ้น เช่น อายุ การสูบบุหรี่ ม่านตาสีอ่อน (light iris coloration) แสงแดด การ

รับประทานอาหารไม่ถูกหลักโภชนาการ และกรรมพันธุ์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าโรคจอประสาทตาเสื่อมจะเกิดกับผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย

เมื่อแสงผ่านเข้าสู่ตา แสงจะผ่านกระจกตา (cornea) และ แก้วตา (lens) ทั้งนี้กระจกตาจะสามารถกรองแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) บางส่วนไว้ได้ แสงส่วนใหญ่จะถูกส่งผ่านไปยังจอประสาทตา (retina) พบว่าในบรรดาคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้นี้ คลื่นแสงสีฟ้าซึ่งมีพลังงานสูงจะมีผลเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ (free radical) ในเซลล์ของจอประสาทตาได้สูงเป็น 100 เท่าของคลื่นแสงสีแดงซึ่งมีพลังงานต่ำ สำหรับที่จอประสาทตานี้ จะมีจุดโฟกัสที่เรียกว่า แมคูลา ลูเตีย (macula lutea) มีสารสี (macular pigment) ที่เป็นสีเหลืองซึ่งประกอบไปด้วย ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) เชื่อว่าสารประกอบทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันเพื่อป้องกันเซลล์รับแสง (photoreceptor cells) จากอันตรายจากอนุมูลอิสระที่เซลล์สร้างขึ้นเนื่องมาจากมีปริมาณออกซิเจนสูง (oxygen tension) และจากการถูกแสง นอกจากนี้สารประกอบทั้งสองนี้มีหน้าที่ในการกรองแสงสีฟ้าที่เป็นคลื่นแสงที่มีพลังงานสูง โดยจะสามารถกรองแสงสีฟ้าได้ถึงร้อยละ 40 ก่อนที่แสงจะตกถึงแมคูลา ดังนั้นจะสามารถลดสภาวะความเครียดออกซิเดชันต่อจอประสาทตาได้อย่างมีนัยสำคัญ (วิมล, 2557)

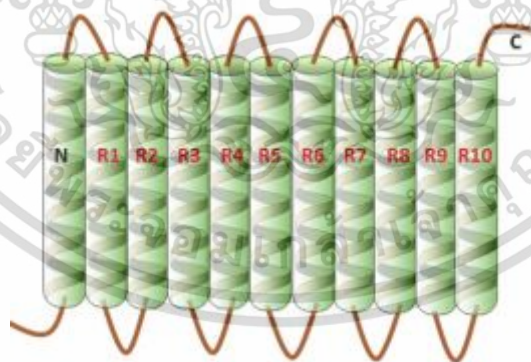
ลูทีนและซีแซนทีนเป็นแคโรทีนอยด์ 2 ตัวเท่านั้นที่พบอยู่ที่แมคูลา (macula) และที่เลนส์ของตา จากรายงานการศึกษาทางระบาดวิทยา ซึ่งเป็นการศึกษาในประชากรกลุ่มใหญ่ 12 ฉบับ แต่ส่วนใหญ่พบว่ากลุ่มคนที่รับประทานอาหารที่มีผักและผลไม้ที่มีลูทีนและซีแซนทีนสูงสุด หรือกลุ่มคนที่มีระดับลูทีนและซีแซนทีนในเลือดสูงสุด (เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ต่ำสุด) จะมีความเสี่ยงในการเกิดโรคจอประสาทตาเสื่อมน้อยกว่ามาก นอกจากนี้การศึกษาทางคลินิก (การศึกษาในคน) 7 ฉบับ พบว่าการได้รับลูทีนและซีแซนทีน ทั้งในรูปของอาหารหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร มีผลทำให้ระดับของลูทีนในเลือดและในแมคูลาสูงขึ้น และทำให้การวัดการมองเห็นดีขึ้น มีแนวโน้มในการป้องกันการเกิดโรคจอประสาทตาเสื่อม สำหรับปริมาณของลูทีนที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการมองเห็นในผู้ป่วยโรคจอประสาทตาเสื่อม ตัวอย่างเช่น ผักปวยเล้ง 150 กรัม (มีลูทีนประมาณ 14 มิลลิกรัม) หรือในรูปผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 4-7 ครั้งต่อสัปดาห์ นาน 1 ปี, ลูทีนในรูปผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในขนาด 10 มิลลิกรัมต่อวันร่วมกับสารต้านออกซิเดชัน, ลูทีนในรูปผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในขนาด 10 มิลลิกรัมต่อวัน ร่วมกับ ซีแซนทีนในขนาด 1 มิลลิกรัม เป็นต้น (วิมล, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ซีน (Zein)

ซีนเป็นโปรตีนจากธรรมชาติที่ได้จากการสกัดข้าวโพด มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลือง ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในเอทานอล จึงได้มีการนำซีนมาใช้ประโยชน์ในการขึ้นรูปฟิล์ม (ฉนวนกร และคณะ, 2562) รวมทั้งมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวห่อหุ้มสารสำคัญจำพวกไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ในกระบวนการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation)

โมเลกุลของซีนมีคุณสมบัติเป็นแอมฟิฟิลิก (Amphiphilic) คือมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นโครงสร้างของโมเลกุล (Wang และ Padua, 2010) โปรตีนซีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนชนิดไม่มีขั้ว รวมถึงกรดอะมิโนชนิดไดซัลไฟด์ ส่งผลให้โปรตีนซีนมีความไม่ชอบน้ำและเมื่อนำไปขึ้นรูปฟิล์มทำให้ได้ฟิล์มที่แข็งแรง (ฉนวนกร และคณะ, 2562) ซีนสามารถทำการละลายในเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 60-95 ซึ่งระดับความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการละลายซีนมีผลโดยตรงต่อขนาดอนุภาคของซีนที่ได้รับในสารละลายนั้นๆ (Kim และ Xu, 2008; Shukla และ Cheryan, 2001) แต่ซีนยังประสบปัญหาด้านความเสถียรเนื่องจากซีนมีจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) อยู่ที่พีเอช (pH) ประมาณ 6.2 ทำให้ซีนมีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวกันได้ง่ายในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกลาง (Paliwal และ Palakurthi, 2014) ส่งผลให้ซีนมีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ โดยมีการนำซีนมาใช้สำหรับเป็นสารก่อฟิล์มเพื่อให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยยาและสามารถใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อป้องกันความชื้นได้อีกด้วย (Lawton, 2002)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของซีน

ที่มา : Zhang และคณะ (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 โซเดียมเคซีเนต (Sodium caseinate)

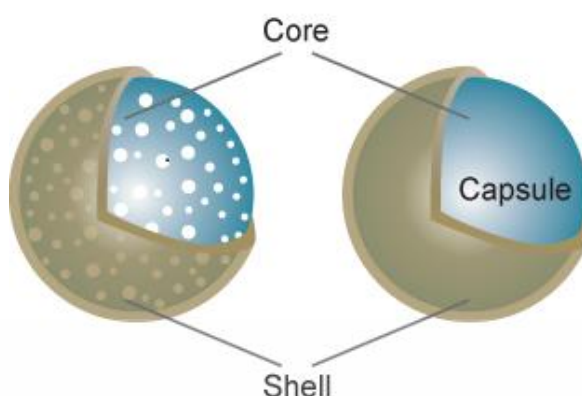
โซเดียมเคซีเนต เป็นชื่อทางชีวเคมีของเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในนมจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ผลิตขึ้นโดยการเติมกรดลงไปในนมเพื่อให้เคซีนนั้นตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริก จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อปรับให้เป็นกลาง โดยเคซีนที่เป็นกรดจะถูกชะล้างและละลายออกมา (Cavallieri และคณะ, 2009) และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ในอุตสาหกรรมอาหารและยา โซเดียมเคซีเนตมักจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์เพื่อเพิ่มความเสถียรและเป็นตัวขนส่งสารให้กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีกิจกรรมพื้นผิว (Surface activity) ที่ดีสามารถเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบได้ด้วยตัวเอง (Self-Assembly) และมีราคาที่ไม่แพง (Li และคณะ, 2018)

## 2.5 การห่อหุ้มหรือเอนแคปซูลเลชัน (Encapsulation)

เอนแคปซูลเลชัน เป็นกระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มอยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์บางๆ นี้จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมา โดยทำให้เกิดฟิล์มบางๆ รอบอนุภาคหรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชันและทำให้แห้ง ซึ่งสารสำคัญที่ต้องป้องกันในไมโครแคปซูลจะถูกเรียกว่า คอร์ (core) และผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะถูกเรียกว่าวอลล์ (wall) หรือเชลล์ (shell) ลักษณะของวอลล์ที่ดีต้องมีความสามารถแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการยึดติดกับคอร์ได้ดีโดยไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความหนืดต่ำเมื่ออยู่ในสถานะของแข็งต้องไม่ขึ้นง่าย นอกจากนี้ยังต้องมีความคงตัวสูง เพื่อจะป้องกันคอร์จากสภาพแวดล้อมต่างๆ และปลดปล่อยคอร์ได้ดี ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน จะเห็นว่าวอลล์เป็นตัวสำคัญของเทคนิคไมโครเอนแคปซูลเลชัน ดังนั้นการเลือกใช้สารที่จะนำมาทำเป็นวอลล์ จำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมทั้งต่อสารสำคัญและต่อสภาวะที่ต้องการใช้ สารที่สามารถนำมาทำเป็นวอลล์ได้มีมากมายหลายชนิดที่นิยมใช้และมีราคาไม่แพง (วิไลศรี และคณะ, 2559)

ประโยชน์สำคัญ 6 ประการจากการห่อหุ้มสารในรูปแคปซูล ได้แก่ การป้องกันสารสำคัญจากสภาวะต่างๆ เช่น ความร้อน ความชื้น และออกซิเจน รวมทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษา คุณสมบัติการปลดปล่อยสารในอัตราคงที่หรือตามที่กำหนดช่วยในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับการส่งมอบผลิตภัณฑ์ การใช้งานที่เป้าหมายเฉพาะเจาะจงเพื่อส่งสารสำคัญไปยังเป้าหมายโดยตรง เพื่อให้สามารถใช้สารในรูปแคปซูลเป็นตัวช่วยในการคัดแยกสำหรับการกำจัดผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติการไหลเวียนที่ดียิ่งขึ้นด้วยการแปลงของเหลวเป็นอนุภาคของแข็ง ซึ่งช่วยปรับปรุงการควบคุม การใช้งาน และการจัดเก็บสาร คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ดียิ่งขึ้นเพื่อป้องกันรสและ/หรือกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ และปรับปรุงลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ รวมทั้งเนื้อสัมผัส ประโยชน์เหล่านี้จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านเวชภัณฑ์ การแพทย์และเทคโนโลยีชีวภาพ เคมี เกษตรกรรม อาหารและอาหารสัตว์ ผลิตภัณฑ์เพื่อการดูแลสุขภาพ และเครื่องสำอาง เป็นต้น (Buchi, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปแบบของเอนแคปซูลชั้น  
ที่มา : Esther (2558)

## 2.6 ดีซอลเวชัน (Desolvation)

กระบวนการดีซอลเวชัน เป็นกระบวนการที่จะนำไปสู่การจัดน้ำ (Dehydration) ของโปรตีนและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนจากยึดไปเป็นขดลวด กลุ่มอะมิโนของโปรตีนสามารถเชื่อมขวางกัน (Crosslinked) เพื่อทำให้อนุภาคนาโนมีความหนาแน่นมากขึ้นและป้องกันการเกาะตัว (Coacervated) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้โดยมีการเติมสารละลายดีซอลเวชัน (Desolvating) เช่น แอลกอฮอล์หรืออะซิโตน ผสมลงในสารละลายที่มีพอลิเมอร์กระจายตัวอยู่ ทำให้เกิดการเหนียวนำไปพอลิเมอร์ที่กระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายเกิดการรวมตัวกัน

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Feng และ Lee (2016) ได้ทำการศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำที่มีการใช้ซินในระบบ โดยมีการเติมโซเดียมเคซีเนตลงไป ในการเตรียมอิมัลชันจะทำการเติมน้ำมันคาโนลาลงในสารละลายซิน ซึ่งพบว่าเมื่อมีการใช้ซินเพียงอย่างเดียวจะทำให้โมเลกุลของซินมีแนวโน้มเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนบริเวณพื้นผิวน้ำมัน เมื่อมีการเติมโซเดียมเคซีเนตลงไป ในปริมาณที่เพียงพอ พบว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวน้ำมัน โดยโซเดียมเคซีเนตจะไปปกคลุมโมเลกุลของซินและป้องกันการรวมตัวกันของซินทำให้ลักษณะพื้นผิวดูเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ซินที่ผสมกับโซเดียมเคซีเนตมีการดูดซับบนพื้นผิวของหยดน้ำมันได้ดีขึ้น จึงทำให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

Donsi และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มเอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลตด้วยซิน และโซเดียมเคซีเนตรวมถึงเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วย จากผลการทดลองพบว่าค่าศักย์ซีต้าเมื่อนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นมาห่อหุ้มเอพิกลโลคาเทซิน กัลเลตจะมีค่าอยู่ระหว่าง +25 และ +30 มิลลิโวลต์ โดยถ้าค่าศักย์ซีต้ามีค่าเป็นบวกหรือลบน้อยๆจะทำให้ไม่เกิดความเสถียรภาพในการกระจายตัวหรือเกิดการรวมตัวกัน แต่เมื่อมีการเติมโซเดียมเคซีเนตลงไปผสมกับขึ้นมาทำการห่อหุ้มเอพิกลโลคาเทซิน กัลเลตจะทำให้เกิดประจุตรงข้ามที่ผิว จะมีค่าศักย์ซีต้าอยู่ระหว่าง -42 และ -30 มิลลิโวลต์ ซึ่งเมื่อค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบมากๆ จะเกิดการหักล้างต่อกันทำให้เกิดเสถียรภาพในการกระจายตัว ความแตกต่างของค่าศักย์ซีต้าจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มเอพิกลโลคาเทซิน กัลเลตมีความเสถียรที่แตกต่างกัน จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope) พบว่าเมื่อนำขึ้นมาห่อหุ้มเอพิกลโลคาเทซิน กัลเลตทำให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มจะไม่เสถียร แต่เมื่อมีการใช้ซินร่วมกับโซเดียมเคซีเนตจะทำให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น เนื่องจากโซเดียมเคซีเนตมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการห่อหุ้มเอพิกลโลคาเทซิน กัลเลตทำให้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

Nouri และ Rafati (2017) ได้ทำการศึกษากระบวนการ Desolvation โดยในการทดลองจะศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมเอทานอล ต่อขนาดของอนุภาคนาโน ซึ่งได้มีการนำอัตราส่วนต่างๆ ของเอทานอลนำมาเติมในสารละลาย HSA (Human Serum Albumin) จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ขนาดของอนุภาคนาโนลดลง เนื่องจากกระบวนการ Desolvation เป็นกระบวนการที่มีการเติม Desolvating agent ลงไปเพื่อเป็นการขจัดน้ำของโปรตีนที่มีอยู่ในสารละลาย HSA ส่งผลให้โครงสร้างของโปรตีนเกิดการหดตัว จึงทำให้กลุ่มอะมิโนของโปรตีนสามารถเชื่อมขวางกันเพื่อทำให้อนุภาคนาโนมีความหนาแน่นมากขึ้นและป้องกันการเกาะตัวกัน

Li และคณะ (2018) ได้ทำการเตรียมอนุภาคของฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต โดยนำสารละลายฟูโคแซนทิน มาเติมลงในสารละลาย 75 เปอร์เซ็นต์เอทานอล (มีซินผสมอยู่) จะได้สัดส่วนระหว่างซินต่อฟูโคแซนทินที่แตกต่างกัน ทำการเขย่าสารละลายเป็นเวลา 5 นาที และตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที กำจัดเอทานอลภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่าการตกตะกอนของฟูโคแซนทิน เมื่อมีการเติมสารละลายเอทานอล ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างฟูโคแซนทิน จะมีรูปร่างที่ไม่เป็นระเบียบ มีขนาดใหญ่มากกว่า 200 นาโนเมตร โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างฟูโคแซนทินจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมซิน เมื่อสัดส่วนของซินเพิ่มขึ้น การตกตะกอนจะลดลง สัดส่วนซินต่อฟูโคแซนทินที่ 20:1 (w/w) จะทำให้ไม่เกิดตะกอนอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นอนุภาคจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม อนุภาคของฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต ที่สัดส่วน 10:1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีสัดส่วนของซินสูงขึ้น ประสิทธิภาพการห่อหุ้มก็จะสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Li และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาความเสถียรของฟูโคแซนทิน โดยนำฟูโคแซนทิน (ไม่ถูกห่อหุ้ม) และฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต มาบรรจุในหลอด และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน หรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่ไม่มีแสง จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของฟูโคแซนทินที่หลงเหลือในตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต ยังคงมีปริมาณฟูโคแซนทินหลงเหลืออยู่เกือบ 100% แต่ฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมเคซีเนตอย่างเดียว จะเหลือฟูโคแซนทินประมาณ 85% โดยฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซิน อย่างเดียว จะเหลือฟูโคแซนทินประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฟูโคแซนทินที่อยู่อย่างอิสระ ไม่ถูกห่อหุ้ม จะมีปริมาณฟูโคแซนทินจะลดลงถึง 94 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าฟูโคแซนทินที่อยู่อย่างอิสระ ไม่ถูกห่อหุ้ม จะหลงเหลือฟูโคแซนทินในปริมาณ 12.82 เปอร์เซ็นต์ และ 0.67 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บไว้ 4 วัน และ 9 วัน ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบฟูโคแซนทินที่อยู่อย่างอิสระ กับฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยโปรตีน ฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มจะสลายตัวช้าลงมากกว่า โดยฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินและโซเดียมเคซีเนตจะเหลือฟูโคแซนทิน 72.32 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมเคซีเนตอย่างเดียว จะเหลือฟูโคแซนทิน 53.76 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บไว้ 16 วัน ในระหว่างการเก็บรักษา ซินได้เกิดการตกตะกอนในสารละลาย ทำให้ไม่สามารถบันทึกอัตราการเก็บรักษาของฟูโคแซนทินไว้ได้ การทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าโปรตีนช่วยป้องกันฟูโคแซนทินจากการเกิดออกซิเดชันและการสลายตัว นอกจากนี้ซินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินโซเดียมเคซีเนต ยังมีการป้องกันฟูโคแซนทินที่ดีกว่าการใช้ซินหรือโซเดียมเคซีเนตเพียงอย่างเดียว

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

Lutein (Pharmaceutical Secondary Standard), Sigma-aldrich, U.S.A

Lutein 20% SAF, FloraGLO, France

Zein, Sigma-aldrich, U.S.A

Casein sodium salt from bovine milk, Sigma-aldrich, U.S.A

##### 3.1.2 สารเคมี

Ethanol absolute anhydrous, AR grade, Carlo erba, France

#### 3.2 อุปกรณ์

กระบอกตวง: 100 mL, Favorit, Malaysia

ขวดแก้ว: 50 mL, W948, Wellgrow glass industry, Thailand

ขวดดูแรน: 250 mL, Duran wheaton kimble, Germany

ขวดดูแรน: 1000 mL, Duran wheaton kimble, Germany

ปิเกตอร์: 25 mL, Simax, Germany

ปิเกตอร์: 100 mL, Simax Germany

ปิเกตอร์: 250 mL, Simax Germany

ปิเกตอร์: 600 mL, Simax Germany

ปิเกตอร์: 1000 mL, Simax Germany

ไมโครปิเปต: 20-200  $\mu$ L, Pipetman, Gilson, France

ไมโครปิเปต: 100-1000  $\mu$ L, Pipetman, Gilson, France

ไมโครปิเปต: 1-10 mL, Proline Plus, Finland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดทดลอง: 16x150 mm, Pyrex, Mexico

เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic stirrer): C-MAG HS7, IKA, Germany

เครื่องเขย่าสาร: Vortex-genie 2, Scientific industries, U.S.A

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์: UV-1800, Shimadzu, Germany

เครื่องเหวี่ยงแยก: 5804r, Eppendorf, Germany

ถาดพอยล์เหลี่ยม: [(80x70)x(58x48)x39] mm, รุ่น 4330, Star product, Thailand

อ่างส่งคลื่นความถี่สูง: E 100 H, Elma, Germany

หลอดทดลอง: 16x150 mm, Pyrex, Mexico

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซีน

1. นำสารละลายลูทีนที่มีความเข้มข้น 4 มก/มล (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.1) ปริมาตร 5 มล (นำไปเจือจางด้วยแอนไฮดรัสเอทานอล (Anhydrous ethanol) ในอัตราส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 3.1) จากนั้นเทลงในสารละลายซีนที่มีความเข้มข้น 2 มก/มล ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90 (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.2 และ ก.3) ปริมาตร 50 มล ในสภาวะที่มีการกวนด้วยเครื่องกวนที่มีความแรงระดับ 2.5 เป็นเวลา 20 วินาที

**ตารางที่ 3.1** ปริมาตรของสารละลายลูทีน แอนไฮดรัสเอทานอลและซีน ที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้อัตราส่วนของปริมาณลูทีนต่อซีนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนของ ลูทีน : ซีน (มก : มก)	ปริมาตร (มล)		ปริมาตรสารละลายซีนใน เอทานอล ความเข้มข้น ร้อยละ 60 – 90 (มล)
	สารละลายลูทีนใน เอทานอล	แอนไฮดรัสเอทานอล	
1 : 25	1	4	50
1 : 50	0.5	4.5	50
1 : 75	0.333	4.668	50
1 : 100	0.25	4.75	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำส่วนผสมที่ได้เทลงใส่ภาตพอยล์ โดยหนึ่งภาตจะใส่สารปริมาตร 20 มล จากนั้นนำไปวางภายใต้เครื่องดูดควัน (Hood) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าตัวอย่างจะแห้ง เพื่อระเหยเอทานอลและน้ำออก
3. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

### 3.3.2 การห่อหุ้มลูทินด้วยโซเดียมเคซีเนต

1. นำสารละลายลูทินที่มีความเข้มข้น 4 มก/มล (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.1) ปริมาตร 10 มล (นำไปเจือจางด้วยแอนไฮดรัสเอทานอล (Anhydrous ethanol) ในอัตราส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 3.2) จากนั้นเทลงในสารละลายโซเดียมเคซีเนต ที่มีความเข้มข้น 5 มก/มล (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.4) ปริมาตร 20 มล ในสภาวะที่มีการกวนด้วยเครื่องกวนที่มีความแรงระดับ 2.5 เป็นเวลา 20 วินาที

**ตารางที่ 3.2** ปริมาตรของสารละลายลูทิน แอนไฮดรัสเอทานอลและโซเดียมเคซีเนต ที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้อัตราส่วนของปริมาณลูทินต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนของ ลูทิน : ซีน (มก : มก)	ปริมาตร (มล)		ปริมาตรสารละลาย โซเดียมเคซีเนตในน้ำ (มล)
	สารละลายลูทินใน เอทานอล	แอนไฮดรัสเอทานอล	
1 : 25	2	8	20
1 : 50	1	9	20
1 : 75	0.665	9.335	20
1 : 100	0.5	9.5	20

2. นำส่วนผสมที่ได้เทลงใส่ภาตพอยล์ โดยหนึ่งภาตจะใส่สารปริมาตร 20 มล จากนั้นนำไปวางภายใต้เครื่องดูดควัน (Hood) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าตัวอย่างจะแห้ง เพื่อระเหยเอทานอลและน้ำออก
3. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

### 3.3.3 การห่อหุ้มลูทินด้วยซีนและโซเดียมเคซีเนต

1. นำสารละลายลูทินที่มีความเข้มข้น 4 มก/มล (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.1) ปริมาตร 5 มล (นำไปเจือจางด้วยแอนไฮดรัสเอทานอล (Anhydrous ethanol) ในอัตราส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 3.2) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเทลงในสารละลายซีน ที่มีความเข้มข้น 2 มก/มล ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90 (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.2 และ ก.3) ปริมาตร 50 มล ในสภาวะที่มีการกวนด้วยเครื่องกวนที่มีความแรงระดับ 2.5 เป็นเวลา 20 วินาที

2. เทสารละลายลูทีนที่ทำการผสมกับซีน ลงในสารละลายโซเดียมเคซีเนต ที่มีความเข้มข้น 5 มก/มล (วิธีการเตรียมอยู่ในภาคผนวก ก.4) ปริมาตร 20 มล ในสภาวะที่มีการกวนด้วยเครื่องกวนที่มีความแรงระดับ 2.5 เป็นเวลา 20 วินาที

**ตารางที่ 3.3** ปริมาตรของสารละลายลูทีน แอนไฮดรัสเอทานอล ซีน และโซเดียมเคซีเนต ที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้ได้อัตราส่วนของปริมาณลูทีนต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนของ ลูทีน : ซีน : โซเดียมเคซีเนต (มก : มก)	ปริมาตร (มล)		ปริมาตร สารละลายซีน (มล)	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมเคซีเนต ในน้ำ (มล)
	สารละลายลูทีน ในเอทานอล	แอนไฮดรัส เอทานอล		
1 : 25 : 12.5	1	4	50	20
1 : 25 : 25	0.5	4.5	50	20
1 : 25 : 37.5	0.333	4.667	50	20
1 : 25 : 50	0.25	4.75	50	20
อัตราส่วนของ ลูทีน : ซีน : โซเดียมเคซีเนต (มก : มก)	ปริมาตร (มล)		ปริมาตร สารละลายซีน (มล)	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมเคซีเนต ในน้ำ (มล)
	สารละลายลูทีน ในเอทานอล	แอนไฮดรัส เอทานอล		
1 : 50 : 25	1	4	50	20
1 : 50 : 50	0.5	4.5	50	20
1 : 50 : 75	0.333	4.667	50	20
1 : 50 : 125	0.25	4.75	50	20
1 : 75 : 37.5	1	4	50	20
1 : 75 : 75	0.5	4.5	50	20
1 : 75 : 112.5	0.333	4.667	50	20
1 : 75 : 150	0.25	4.75	50	20
1 : 100 : 50	1	4	50	20
1 : 100 : 100	0.5	4.5	50	20
1 : 100 : 150	0.333	4.667	50	20
1 : 100 : 200	0.25	4.75	50	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำส่วนผสมที่ได้เทลงใส่ภาตพอยล์ โดยหนึ่งภาตจะใส่สารปริมาตร 20 มล จากนั้นนำไปวางภายใต้เครื่องดูดควัน (Hood) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าตัวอย่างจะแห้ง เพื่อระเหยเอทานอลและน้ำออก
3. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

### 3.3.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซิน โซเดียมเคซีเนต และซีมร่วมกับโซเดียมเคซีเนต

1. ชูดตัวอย่างแห้งที่ได้จากการระเหยน้ำและเอทานอลจากภาตพอยล์ 5 มิลลิกรัม มาผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ทำการ Vortex ส่วนผสม ด้วยระดับความแรง 5 เป็นเวลา 3 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนผสมด้วยเครื่องเซนติฟิวส์ (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 15000 xg ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
4. แยกส่วนใส (Supernatant) ที่มีลูทีนอิสระ (Free Lutein) ละลายอยู่ ออกจากส่วนที่เป็นตะกอน
5. นำส่วนใสไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดยูวีแบบลำแสงคู่ รุ่น UV – 1800 (UV-1800 Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 446 นาโนเมตร
6. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณลูทีนอิสระของตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานลูทีนในแอนไฮดรัสเอทานอล

$$\text{ประสิทธิภาพการเอนแคปซูล (%) = \frac{\text{ปริมาณลูทีนเริ่มต้น} - \text{ปริมาณลูทีนอิสระ}}{\text{ปริมาณลูทีนเริ่มต้น}} \times 100$$

### 3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT หรือ DUNCAN) และ Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซิน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซิน ที่มีการละลายในเอทานอลที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (เอทานอลร้อยละ 60 70 80 และ 90) และมีค่าอัตราส่วนโดยปริมาณของลูทีนต่อซินที่แตกต่างกัน (1 : 25 1 : 50 1 : 75 และ 1 : 100) พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอล อัตราส่วนโดยปริมาณของลูทีนต่อซินและอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยส่งผลให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4.1) โดยการใช้ความเข้มข้นเอทานอลในความเข้มข้นที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น (ตารางที่ 4.2) เมื่อปริมาณของซินที่ใช้ห่อหุ้มลูทีนมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีค่าที่สูงขึ้น ทั้งนี้การใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด (ร้อยละ 90) ร่วมกับการใช้ซินเพื่อห่อหุ้มลูทีนในปริมาณสูงที่สุด (1 : 100) จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินมีค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 37.25

**ตารางที่ 4.1** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายด้วยเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ และใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินที่แตกต่างกัน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3613.904 <sup>a</sup>	15	240.927	33.560	.000
Intercept	20873.353	1	20873.353	2907.565	.000
EtOH	643.884	3	214.628	29.897	.000
RatioLZ	2593.117	3	864.372	120.403	.000
EtOH * RatioLZ	376.903	9	41.878	5.833	.000
Error	229.727	32	7.179		
Total	24716.984	48			
Corrected Total	3843.631	47			

a. R Squared = .940 (Adjusted R Squared = .912)

โครงสร้างของซินประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิก เมื่อมีการใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 90) มาใช้ในการละลายซิน ส่งผลให้ระบบมีความไม่มีขั้วที่สูงกว่าการใช้เอทานอล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นต่ำมาใช้ในการละลายซิน ซึ่งสัดส่วนของความไม่มีขี้ที่สูงกว่าในระบบอาจส่งผลให้ซินที่กระจายตัวอยู่ในระบบสามารถไปห่อหุ้มลูทีนที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูงได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เอทานอลความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 60) ที่มีความมีขี้ที่สูงมากกว่าในระบบ

นอกจากนี้เมื่อมีการใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 70-90 มาละลายซิน พบว่าสารละลายซินที่ได้มีความใส อาจเนื่องจากซินมีการกระจายตัวที่สูงในตัวทำละลาย เมื่อเทียบกับการใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่พบว่าสารละลายซินที่ได้มีความขุ่น เนื่องจากเอทานอลร้อยละ 60 มีความมีขี้สูง อาจไปทำให้ซินเกิดการรวมตัวกัน ทำให้มีการกระจายตัวที่ต่ำ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีแนวโน้มที่ต่ำกว่า โดยผลจากงานวิจัยของ Nouri และ Rafati (2017) ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมเอทานอลต่อขนาดอนุภาคนาโนของ Human serum albumin (HSA) พบว่าเมื่ออัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ขนาดของอนุภาคนาโนของ Human serum albumin (HSA) มีค่าลดลง

ที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลเดียวกัน เมื่อพิจารณาถึงผลของอัตราส่วนลูทีนต่อซินที่มีต่อประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีน พบว่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของซินที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Li และคณะ (2018) ที่พบว่าเมื่อมีสัดส่วนของซินสูงขึ้น ประสิทธิภาพการห่อหุ้มของพู่โคแซนทินด้วยซินและโซเดียมเคซีเนตก็จะสูงขึ้นด้วย

**ตารางที่ 4.2** ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายในเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่างๆ และใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	อัตราส่วนลูทีนต่อซิน (มก:มก)			
	1 : 25	1 : 50	1 : 75	1 : 100
60	2.31 ± 1.01 <sup>a</sup>	10.44 ± 1.39 <sup>ab</sup>	16.60 ± 3.70 <sup>b</sup>	32.14 ± 1.07 <sup>cd</sup>
70	16.78 ± 2.69 <sup>b</sup>	19.14 ± 5.06 <sup>c</sup>	20.58 ± 1.90 <sup>bc</sup>	26.69 ± 2.63 <sup>c</sup>
80	13.96 ± 1.58 <sup>ab</sup>	17.12 ± 2.29 <sup>b</sup>	24.19 ± 1.71 <sup>bc</sup>	31.07 ± 3.67 <sup>cd</sup>
90	13.90 ± 2.83 <sup>ab</sup>	23.37 ± 2.90 <sup>bc</sup>	28.11 ± 2.60 <sup>cd</sup>	37.25 ± 2.53 <sup>d</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การห่อหุ้มลูทีนด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต

จากการศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต ที่มีการละลายในเอทานอลที่มีความเข้มข้นที่ต่างกัน (เอทานอลร้อยละ 60 70 80 และ 90) และมีการเติมโซเดียมเคซีเนตลงไปในปริมาณเป็น 0.5 1 1.5 และ 2 เท่าของปริมาณซินที่ใช้ในการห่อหุ้มลูทีน พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอล ปริมาณโซเดียมเคซีเนตและอิทธิพลร่วม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4.3) โดยการใช้ความเข้มข้นเอทานอลที่ต่ำที่สุด (ร้อยละ 60) ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีแนวโน้มที่สูงกว่า การใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด (ร้อยละ 90) โดยในการใช้เอทานอลที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีค่าสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของโซเดียมเคซีเนตที่ใช้มีค่าเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายด้วยเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ และใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนตที่ต่างกัน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	39821.622 <sup>a</sup>	63	632.089	31.243	.000
Intercept	1127992.132	1	1127992.132	55754.333	.000
EtOH	3536.301	3	1178.767	58.264	.000
RatioLZ	1559.893	3	519.964	25.701	.000
RatioLZNaCas	27546.211	3	9182.070	453.851	.000
EtOH * RatioLZ	2470.447	9	274.494	13.568	.000
EtOH * RatioLZNaCas	660.650	9	73.406	3.628	.000
RatioLZ * RatioLZNaCas	1507.678	9	167.520	8.280	.000
EtOH * RatioLZ * RatioLZNaCas	2540.443	27	94.090	4.651	.000
Error	2589.628	128	20.231		
Total	1170403.382	192			
Corrected Total	42411.250	191			

a. R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .909)

โซเดียมเคซีเนตเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ที่มีค่า HLB สูง เท่ากับ 14 โมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำหรือส่วนที่มีขั้วมากกว่าส่วนที่ไม่มีขั้ว เมื่อใช้กับเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 60) ซึ่งมีความมีขั้วสูง อาจจะทำให้โซเดียมเคซีเนตสามารถกระจายตัวในระบบได้ดี ทำให้สามารถทำหน้าที่เป็น Surface-active agent ได้ดี ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงผลของการเติมโซเดียมเคซีเนตที่มีต่อประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีน พบว่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ซินเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Donsi และคณะ (2017) ที่ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มเอพิกัลโลคาเทชิน กัลป์เลตด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต พบว่าเมื่อมีการใช้ซินร่วมกับโซเดียมเคซีเนตจะทำให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มการสำคัญดังกล่าวมีค่ามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Li และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาความเสถียรของฟูโคแซนทิน และพบว่าฟูโคแซนทินที่ถูกห่อหุ้มด้วยซินและโซเดียมเคซีเนต มีความเสถียรมากกว่าฟูโคแซนทินที่มีการใช้ซินหรือโซเดียมเคซีเนตเพียงอย่างเดียว

ในส่วนของการใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนจะมีค่าแตกต่างกัน ถ้าสัดส่วนของโซเดียมเคซีเนตเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Feng และ Lee (2016) ได้ทำการดัดแปลงพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ซินด้วยโซเดียมแคลซีเนต เพื่อรักษาความเสถียรของฟิโคเคอริงอีมีลชันน้ำมันในน้ำ พบว่า เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของซินต่อโซเดียมเคซีเนตเป็น 10:3 และ 10:4 ทำให้เกิดความเสถียรของฟิโคเคอริง

**ตารางที่ 4.4** ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ละลายในเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่างๆ และใช้อัตราส่วนของลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนตที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของ	อัตราส่วนลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนต (มก:มก:มก)			
เอทานอล	1 : 25 : 12.5	1 : 25 : 25	1 : 25 : 37.5	1 : 25 : 50
(ร้อยละโดยปริมาตร)				
60	79.17 ± 1.75 <sup>a</sup>	80.15 ± 1.51 <sup>ab</sup>	85.36 ± 3.84 <sup>b</sup>	92.86 ± 1.63 <sup>cd</sup>
70	52.71 ± 4.80 <sup>b</sup>	78.73 ± 2.55 <sup>c</sup>	80.60 ± 1.36 <sup>bc</sup>	81.68 ± 2.53 <sup>c</sup>
80	64.92 ± 1.68 <sup>ab</sup>	86.44 ± 0.86 <sup>b</sup>	88.71 ± 0.41 <sup>bc</sup>	92.21 ± 2.84 <sup>cd</sup>
90	57.19 ± 3.77 <sup>ab</sup>	69.96 ± 2.60 <sup>bc</sup>	74.64 ± 3.70 <sup>cd</sup>	79.69 ± 2.33 <sup>d</sup>
ความเข้มข้นของ	อัตราส่วนลูทีนต่อซินต่อโซเดียมเคซีเนต (มก:มก:มก)			
เอทานอล	1 : 50 : 25	1 : 50 : 50	1 : 50 : 75	1 : 50 : 125
(ร้อยละโดยปริมาตร)				
60	62.76 ± 3.32 <sup>a</sup>	85.80 ± 8.89 <sup>ab</sup>	88.50 ± 2.86 <sup>b</sup>	92.65 ± 0.73 <sup>cd</sup>
70	58.62 ± 4.44 <sup>b</sup>	71.85 ± 3.36 <sup>c</sup>	76.22 ± 1.74 <sup>bc</sup>	82.79 ± 2.57 <sup>c</sup>
80	49.49 ± 9.32 <sup>ab</sup>	69.26 ± 2.53 <sup>b</sup>	73.57 ± 7.48 <sup>bc</sup>	90.24 ± 0.41 <sup>cd</sup>
90	24.10 ± 1.85 <sup>ab</sup>	66.77 ± 2.34 <sup>bc</sup>	78.94 ± 7.93 <sup>cd</sup>	79.01 ± 4.64 <sup>d</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ	อัตราส่วนลูทินต่อซีแซนทีนต่อโซเดียมเคซีเน็ต (มก:มก:มก)			
เอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	1 : 75 : 37.5	1 : 75 : 75	1 : 75 : 112.5	1 : 75 : 150
60	59.59 ± 8.77 <sup>a</sup>	81.77 ± 4.54 <sup>ab</sup>	90.09 ± 4.25 <sup>b</sup>	90.76 ± 1.43 <sup>cd</sup>
70	76.00 ± 3.96 <sup>b</sup>	86.90 ± 6.25 <sup>c</sup>	84.95 ± 5.33 <sup>bc</sup>	90.70 ± 4.31 <sup>c</sup>
80	56.14 ± 1.76 <sup>ab</sup>	67.82 ± 9.09 <sup>b</sup>	75.99 ± 2.66 <sup>bc</sup>	91.49 ± 3.69 <sup>cd</sup>
90	55.38 ± 3.61 <sup>ab</sup>	71.80 ± 5.25 <sup>bc</sup>	74.15 ± 3.38 <sup>cd</sup>	84.20 ± 6.05 <sup>d</sup>

ความเข้มข้นของ	อัตราส่วนลูทินต่อซีแซนทีนต่อโซเดียมเคซีเน็ต (มก:มก:มก)			
เอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	1 : 100 : 50	1 : 100 : 100	1 : 100 : 150	1 : 100 : 200
60	57.90 ± 4.60 <sup>a</sup>	81.77 ± 7.22 <sup>ab</sup>	90.69 ± 2.42 <sup>b</sup>	92.56 ± 2.08 <sup>cd</sup>
70	51.15 ± 1.82 <sup>b</sup>	80.39 ± 3.83 <sup>c</sup>	82.91 ± 8.50 <sup>bc</sup>	97.31 ± 1.14 <sup>c</sup>
80	56.56 ± 9.96 <sup>ab</sup>	84.21 ± 5.54 <sup>b</sup>	93.08 ± 2.37 <sup>bc</sup>	99.15 ± 0.63 <sup>cd</sup>
90	52.52 ± 3.71 <sup>ab</sup>	77.82 ± 6.63 <sup>bc</sup>	86.00 ± 1.78 <sup>cd</sup>	88.15 ± 4.21 <sup>d</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซิน โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของเอทานอล (ร้อยละ 60 70 80 และ 90) ที่ใช้ในการละลายซิน และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของลูทีนต่อซิน พบว่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2 - 37 ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเมื่อใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 90 ในการละลายซิน จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนที่ได้มีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เมื่ออัตราส่วนลูทีนต่อซินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนสูงขึ้นอีกด้วย

เมื่อมีการนำโซเดียมเคซีเนตมาทำการห่อหุ้มลูทีนร่วมกับซิน พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนได้ ซึ่งค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนด้วยซินร่วมกับโซเดียมเคซีเนตจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24 - 99 เมื่อมีการใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60 จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มมีค่าสูงกว่าการใช้เอทานอลร้อยละ 90 และถ้าสัดส่วนของโซเดียมเคซีเนตมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทีนสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้

5.2.2 ควรมีการศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาของลูทีน เช่น แสงแดด ต่อความมั่นคงของผลิตภัณฑ์ที่ได้

## บรรณานุกรม

- วิมล ศรีสุข. 2557. กินอะไร...ชะลอจอประสาทตาเสื่อม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [https:// pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/189/ชะลอจอประสาทตาเสื่อมต้องกินอะไร/](https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/189/ชะลอจอประสาทตาเสื่อมต้องกินอะไร/). 11 มิถุนายน 2563.
- วีไลศรี ลิ้มปพยอม., โกเมศ สัตยารุช., อภนิษฐ พิศาลวัชรินทร์และวิมลวรรณ วัฒนวิจิตร. 2559. การวิจัยและพัฒนาการเพิ่มมูลค่าขมิ้นชันด้วยนาโนเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- Alves-Rodrigues, A., and Shao, A. 2004. The science behind lutein. Toxicology Letters. 150: 57-83.
- Anonymous. 2552. สาร "ลูทีน" กับจอประสาทตา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.doctor.or.th/ask/detail/5878>. 11 มิถุนายน 2563.
- Barrow, C.J., Nolan, C. and Holub, B.J. 2009. Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. Journal of Functional Foods. 1: 38-43.
- Buchi. 2562. การห่อหุ้มในรูปแคปซูล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.buchi.com/th-th/products-solutions/spray-drying-encapsulation/microencapsulation>. 27 ตุลาคม 2562.
- Cavallieri, A.L.F., Fialho, N.A.V. and Cunha, R.L. 2011. Sodium Caseinate and K-Carrageenan Interactions in Acid Gels: Effect of Polysaccharide Dissolution Temperature and Sucrose Addition. International Journal of Food Properties. 14: 251-263.
- Dachtler, M., Kohler, K. and Albert, K. 1998. Reversed-phase high-performance liquid chromatographic identification of lutein and zeaxanthin stereoisomers in bovine retina using a C30 bonded phase. Journal of Chromatography B. 720: 211-216.
- Donsi, F., Voudouris, P., J. Veen, S. and P. Velikov, K. 2017. Zein-based colloidal particles for encapsulation and delivery of epigallocatechin gallate. Food Hydrocolloids. 63: 508-517
- Dr.lynn. 2561. ลูทีนคืออะไร? พร้อมวิธีรับประทาน ฉบับเข้าใจง่าย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.drlynn.co.th/ลูทีนคืออะไร/>. 29 มิถุนายน 2563.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Esther. 2558. Encapsulation ในเครื่องสำอาง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://beautyingredient.blogspot.com/2015/05/esther-active-ingredient-esther-counter.html>. 11 มิถุนายน 2562.
- Feng, Y. and Lee, Y. 2016. Surface modification of zein colloidal particles with sodium caseinate to stabilize oil-in-water pickering emulsion, *Food Hydrocolloids*. 56: 292-302.
- Kim, S. and Xu, J. 2008. Aggregated formation of zein and its structural inversion in aqueous ethanol. *Journal of Cereal Science*. 47: 1-5.
- Lawton, J.W. 2002. Zein: A History of Processing and Use. *Cereal Chem*. 79(1): 1-18.
- Li, H., Xu, Y., Sun, X., Wang, S., Wang, J., Zhu, J., Wang, D. and Zhao, L. 2018. Stability, bioactivity, and bioaccessibility of fucoxanthin in zein-caseinate composite nanoparticles fabricated at neutral pH by antisolvent precipitation. *Food Hydrocolloids*. 84: 379-388.
- Nouri, A., and Rafati, Hasan. 2017. Preparation and characterization of paclitaxel-loaded human serum albumin (HSA) Nanoparticles using desolvation technique; effect of manufacturing parameters on particle characteristics. *Journal of Bionanoscience*. 11: 276-283.
- Olmedilla, B., Granado F., Blanco, I. and Vaquero, M. 2003. Lutein, but not  $\alpha$ -tocopherol, supplementation improves visual function in patients with age-related cataracts: a 2-y double-blind, placebo-controlled pilot study. *Nutrition*. 19: 21-24.
- Paliwal, R. and Palakurthi, S. 2014. Zein in controlled drug delivery and tissue engineering. *Journal of controlled release*. 189: 108-122.
- Shukla, R. and Cheryan, M. 2001. Zein: the industrial protein from corn. *Industrial crops and products*. 13: 171-192.
- Teo, A., Lee, S.J., Goh, K.K.T. and Wolber, F.M. 2017. Kinetic stability and cellular uptake of lutein in WPI-stabilised nanoemulsions and emulsions prepared by emulsification and solvent evaporation method. *Food Chemistry*. 221: 1269-1276.
- Vishwanathan, R., Wilson, T.A. and Nicolosi, R.J. 2009. Bioavailability of a nanoemulsion of lutein is greater than a lutein supplement. *Nano Biomed Eng*. 1: 57-73.

Wang, Y. and Padua, G. W. 2010. Formation of zein microphases in ethanol-water. Langmuir. 26: 12897-12901.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารเคมีในการวิเคราะห์

#### ก.1 การเตรียมสารละลายลูทีน ความเข้มข้น 4 มก/มล

1. ชั่งลูทีนในน้ำมัน (วัตถุดิบ) ปริมาณ 60 มิลลิกรัม
2. เติมแอนไฮดรัสเอทานอล (Anhydrous Ethanol) ปรับปริมาตรเป็น 15 มิลลิลิตร
3. นำไป Sonicate ด้วยเครื่อง Sonicator Bath ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที
4. แบ่งตัวอย่างบางส่วน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณลูทีนเริ่มต้นในตัวอย่าง โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดยูวี แบบลำแสงคู่ รุ่น UV-1800 (UV-1800 Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 446 นาโนเมตร

#### ก.2 การเตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90 เพื่อใช้ในการละลายขึ้น

ผสมแอนไฮดรัสเอทานอลกับน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) เข้าด้วยกัน ให้มีปริมาตรรวมเป็น 200 มล โดยอัตราส่วนที่ใช้ผสม แสดงดังตาราง ก.1

ตารางที่ ก.1 การเตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90

ความเข้มข้นของเอทานอล (ร้อยละ)	แอนไฮดรัสเอทานอล (มล)	ปริมาตร Deionized water (มล)
60	120	200
70	140	200
80	160	200
90	180	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 การเตรียมสารละลายขึ้น ความเข้มข้น 2 มก/มล ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90

1. ชั่งขึ้น 400 มก
2. เติมสารละลายเอทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 60, 70, 80 และ 90) ทำการปรับปริมาตรให้เป็น 200มล
3. ทำการ Sonicate ด้วย Ultrasonic bath เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน

### ก.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมเคซีเนต ความเข้มข้น 5 มก/มล

1. ชั่งโซเดียมเคซีเนต 500 มก
2. เติมน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ปรับปริมาตรเป็น 100 มล ตั้งส่วนผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
3. ทำการ Sonicate ด้วย Ultrasonic bath เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน

## ภาคผนวก ข

### กราฟมาตรฐานของลูทีน

#### ข.1 การทำกราฟมาตรฐานของลูทีนในแอนไฮดรัสเอทานอล

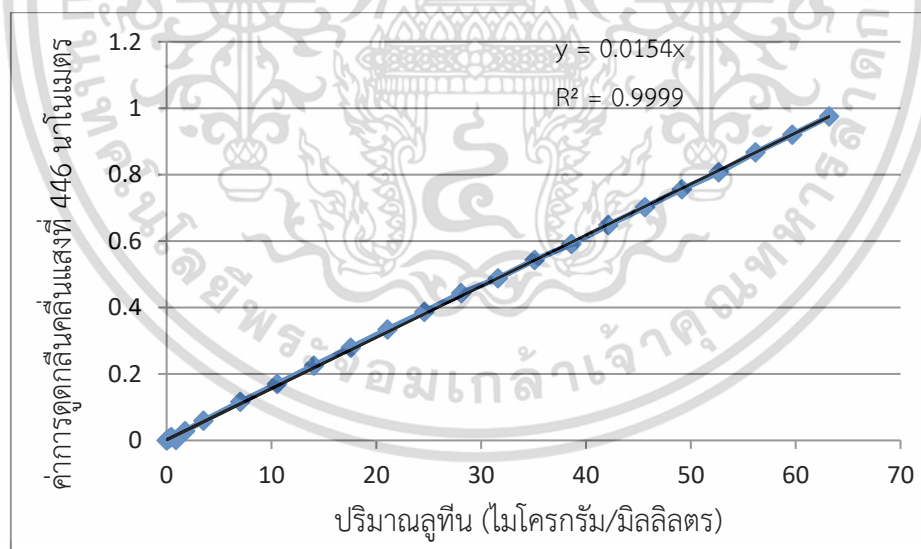
1. ชั่งสารลูทีนมาตรฐาน 7.02 มก
2. ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรด้วยแอนไฮดรัสเอทานอลให้เป็น 100 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายที่ได้ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เพื่อนำมาเป็น Stock solution
4. นำ Stock solution (จากข้อ 3) มาเตรียมเป็นสารละลายลูทีนความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้อัตราส่วนตามตารางที่ ข.1
5. นำสารละลายที่เตรียมไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดยูวี แบบลำแสงคู่ รุ่น UV – 1800 (UV-1800 Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 446 นาโนเมตร
6. สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของลูทีนและค่าการดูดกลืนแสง และหาสมการจากความสัมพันธ์ดังกล่าว

#### ตารางที่ ข.1 อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายลูทีนมาตรฐานกับแอนไฮดรัสเอทานอล

หลอดที่	ความเข้มข้นเป้าหมาย (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรลูทีนมาตรฐานจาก Stock solution (มิลลิลิตร)	ปริมาตรแอนไฮดรัสเอทานอล (มิลลิลิตร)
1	0.00000	0.0000	10.0000
2	0.21060	0.0300	9.9700
3	0.43875	0.0625	9.9375
4	0.87750	0.1250	9.8750
5	1.75500	0.2500	9.7500
6	3.51000	0.5000	9.5000
7	7.02000	1.0000	9.0000
8	10.53000	1.5000	8.5000
9	14.04000	2.0000	8.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	17.55000	2.5000	7.5000
11	21.06000	3.0000	7.0000
12	24.57000	3.5000	6.5000
13	28.08000	4.0000	6.0000
14	31.59000	4.5000	5.5000
15	35.10000	5.0000	5.0000
16	38.61000	5.5000	4.5000
17	42.12000	6.0000	4.0000
18	45.63000	6.5000	3.5000
19	49.14000	7.0000	3.0000
20	52.65000	7.5000	2.5000
21	56.16000	8.0000	2.0000
22	59.67000	8.5000	1.5000
23	63.18000	9.0000	1.0000



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของลูทีนในแอนไฮดรัสเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทินและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.1 ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มลูทินเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของอัตราส่วนลูทินต่อซีซี

ความเข้มข้นของ เอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	อัตราส่วน ลูทินต่อซีซี (มก : มก)	ครั้ง	ประสิทธิภาพการ ห่อหุ้มลูทิน (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการ ห่อหุ้มลูทินเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานเฉลี่ย
60	1 : 25	1	3.42	2.31	1.01
		2	1.44		
		3	2.07		
	1 : 50	1	11.24	10.44	1.39
		2	8.83		
		3	11.25		
	1 : 75	1	13.54	16.60	3.70
		2	15.56		
		3	20.71		
	1 : 100	1	33.25	32.14	1.01
		2	32.06		
		3	31.11		
70	1 : 25	1	12.16	13.96	1.58
		2	14.62		
		3	15.10		
	1 : 50	1	16.29	17.12	2.29
		2	15.36		
		3	19.71		
	1 : 75	1	25.16	24.20	1.72
		2	25.20		
		3	22.21		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1 : 100	1	27.53	31.07	3.67
		2	34.85		
		3	30.83		
80	1 : 25	1	10.72	13.90	2.83
		2	16.15		
		3	14.83		
	1 : 50	1	24.19	23.37	2.90
		2	20.15		
		3	25.77		
	1 : 75	1	30.10	28.11	2.60
		2	29.07		
		3	25.17		
	1 : 100	1	34.42	37.25	2.53
		2	39.30		
		3	38.03		
90	1 : 25	1	14.26	16.78	2.69
		2	16.47		
		3	19.61		
	1 : 50	1	16.02	19.14	5.07
		2	16.41		
		3	24.98		
	1 : 75	1	19.46	20.58	1.90
		2	19.51		
		3	22.77		
	1 : 100	1	23.77	26.69	2.63
		2	27.44		
		3	28.86		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ค่าประสิทธิภาพการทอหุ้มลูทีนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของอัตราส่วนลูทีนต่อโซเดียมเคซีเนต

อัตราส่วน ลูทีนต่อโซเดียมเคซีเนต (มก : มก)	ครั้ง	ประสิทธิภาพการ ทอหุ้มลูทีน (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการทอหุ้ม ลูทีนเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เฉลี่ย
1 : 25	1	95.56	97.37	1.57
	2	98.19		
	3	98.36		
1 : 50	1	96.08	97.84	1.53
	2	98.60		
	3	98.84		
1 : 75	1	98.35	98.46	0.18
	2	98.35		
	3	98.67		
1 : 100	1	98.40	98.81	0.35
	2	98.99		
	3	99.01		

ตารางที่ ค.3 ค่าประสิทธิภาพการทอหุ้มลูทีนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของอัตราส่วนลูทีนต่อซีเนต

ความเข้มข้นของ เอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	อัตราส่วน ลูทีนต่อซีเนต โซเดียมเคซีเนต (มก : มก)	ครั้ง	ประสิทธิภาพการ ทอหุ้มลูทีน (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการ ทอหุ้มลูทีนเฉลี่ย (ร้อยละ)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานเฉลี่ย
60	1 : 25 : 12.5	1	81.00	79.17	1.75
		2	79.00		
		3	77.51		
	1 : 25 : 25	1	81.69	80.15	1.51
		2	78.68		
		3	80.08		
1 : 25 : 37.5	1	86.31	85.36	3.84	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเรา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		2	88.64	92.86	1.63
		3	81.14		
	1 : 25 : 50	1	93.54		
		2	94.04		
		3	91.00		
70	1 : 25 : 12.5	1	51.00	52.71	4.80
		2	49.00		
		3	58.13		
	1 : 25 : 25	1	80.33	78.73	2.55
		2	75.79		
		3	80.07		
	1 : 25 : 37.5	1	80.65	80.60	1.36
		2	79.22		
		3	81.94		
	1 : 25 : 50	1	78.98	81.68	2.53
		2	82.05		
		3	84.00		
80	1 : 25 : 12.5	1	66.00	64.92	1.67
		2	63.00		
		3	65.76		
	1 : 25 : 25	1	85.78	86.44	0.86
		2	87.42		
		3	86.13		
	1 : 25 : 37.5	1	88.44	88.71	0.41
		2	88.51		
		3	89.19		
	1 : 25 : 50	1	88.98	92.21	2.84
		2	93.34		
		3	94.30		
90	1 : 25 : 12.5	1	53.30	57.19	3.77
		2	60.82		
		3	57.46		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1 : 25 : 25	1	67.00	69.96	2.60
		2	71.00		
		3	71.88		
	1 : 25 : 37.5	1	74.83	76.64	3.70
		2	70.85		
		3	78.25		
	1 : 25 : 50	1	77.00	79.69	2.33
		2	81.00		
		3	81.07		
60	1 : 50 : 25	1	59.00	62.76	3.32
		2	64.00		
		3	65.28		
	1 : 50 : 50	1	87.43	85.80	8.89
		2	93.76		
		3	76.21		
	1 : 50 : 75	1	85.30	88.50	2.86
		2	89.40		
		3	90.81		
	1 : 50 : 125	1	93.17	92.65	0.73
		2	92.96		
		3	91.81		
70	1 : 50 : 25	1	54.00	58.62	4.44
		2	59.00		
		3	62.86		
	1 : 50 : 50	1	68.74	71.85	3.36
		2	75.42		
		3	71.38		
	1 : 50 : 75	1	75.17	76.22	1.74
		2	75.26		
		3	78.22		
	1 : 50 : 125	1	80.22	82.79	2.57
		2	82.79		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		3	85.36		
80	1 : 50 : 25	1	40.98	49.49	9.32
		2	48.05		
		3	59.45		
	1 : 50 : 50	1	67.00	69.26	2.53
		2	72.00		
		3	68.78		
	1 : 50 : 75	1	67.88	73.57	7.48
		2	70.78		
		3	82.04		
	1 : 50 : 125	1	90.15	90.24	0.41
		2	90.69		
		3	89.89		
90	1 : 50 : 25	1	21.97	24.10	1.85
		2	25.00		
		3	25.33		
	1 : 50 : 50	1	65.12	66.77	2.34
		2	65.75		
		3	69.45		
	1 : 50 : 75	1	70.21	78.94	7.93
		2	80.90		
		3	85.70		
	1 : 50 : 125	1	73.69	79.01	4.64
		2	82.23		
		3	81.12		
60	1 : 75 : 37.5	1	51.00	59.59	8.77
		2	59.24		
		3	68.53		
	1 : 75 : 75	1	81.77	81.77	4.54
		2	86.31		
		3	77.23		
	1 : 75 : 112.5	1	91.11	90.09	4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		2	85.42	90.76	1.43	
		3	93.74			
	1 : 75 : 150	1	90.82			
		2	92.16			
		3	89.31			
70	1 : 75 : 37.5	1	72.57	76.00	3.96	
		2	75.10			
		3	80.33			
	1 : 75 : 75	1	83.95	86.90	6.25	
		2	82.66			
		3	94.08			
	1 : 75 : 112.5	1	79.03	84.95	5.33	
		2	86.45			
		3	89.37			
	1 : 75 : 150	1	94.08	90.70	4.31	
		2	92.16			
		3	85.85			
	80	1 : 75 : 37.5	1	54.13	56.14	1.76
			2	57.41		
			3	56.88		
1 : 75 : 75		1	78.32	67.82	9.09	
		2	62.71			
		3	62.44			
1 : 75 : 112.5		1	75.48	75.99	2.67	
		2	78.87			
		3	73.62			
1 : 75 : 150		1	92.72	91.49	3.69	
		2	94.40			
		3	87.34			
90		1 : 75 : 37.5	1	51.21	55.38	3.61
			2	57.43		
			3	57.50		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1 : 75 : 75	1	70.64	71.80	5.25
		2	77.53		
		3	67.23		
	1 : 75 : 112.5	1	78.03	74.15	3.38
		2	72.61		
		3	71.81		
	1 : 75 : 150	1	85.35	84.20	6.05
		2	89.60		
		3	77.66		
60	1 : 100 : 50	1	62.49	57.90	4.60
		2	53.29		
		3	57.92		
	1 : 100 : 100	1	82.31	81.77	7.22
		2	88.70		
		3	74.30		
	1 : 100 : 150	1	92.41	90.69	2.42
		2	91.73		
		3	87.92		
	1 : 100 : 200	1	94.63	92.56	2.08
		2	90.48		
		3	92.57		
70	1 : 100 : 50	1	53.08	51.15	1.82
		2	50.89		
		3	49.47		
	1 : 100 : 100	1	84.80	80.39	3.83
		2	77.93		
		3	78.44		
	1 : 100 : 150	1	90.75	82.91	8.50
		2	84.10		
		3	73.88		
	1 : 100 : 200	1	96.00	97.31	1.14
		2	98.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		3	97.93		
	1 : 100 : 50	1	56.00	56.56	9.96
		2	66.79		
		3	46.90		
	1 : 100 : 100	1	88.92	84.21	5.54
		2	85.61		
		3	78.10		
	1 : 100 : 150	1	94.07	93.08	2.37
		2	90.37		
		3	94.79		
	1 : 100 : 200	1	99.72	99.15	0.63
		2	98.48		
		3	99.24		
90	1 : 100 : 50	1	51.60	52.52	3.71
		2	49.36		
		3	56.60		
	1 : 100 : 100	1	84.96	77.82	6.36
		2	72.75		
		3	75.74		
	1 : 100 : 150	1	87.68	86.00	1.78
		2	84.14		
		3	86.18		
	1 : 100 : 200	1	83.31	88.15	4.21
		2	90.96		
		3	90.18		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ – นามสกุล กนกพร นิสรา
- วัน เดือน ปี เกิด 24 มิถุนายน 2539
- ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ปี 1-6 จากโรงเรียนเทศบาลวัดเสมาเมือง  
จังหวัดนครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ปี 1-6 จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดนคร -  
ศรีธรรมราช
- ประสบการณ์การทำงาน ผ่านการฝึกงานฝ่ายการผลิตและควบคุมคุณภาพ จากบริษัทผลิตภัณฑ์อาหารกว้าง-  
และผลงานวิจัย ไพศาล จำกัด(มหาชน)
- ชื่อ – นามสกุล มินทร์จิตา สิริสุขพัฒน์
- วัน เดือน ปี เกิด 1 กรกฎาคม 2541
- ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ปี 1-2 จากโรงเรียนกัณฑ์วรรณ จังหวัดปทุม-  
ธานี
- สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ปี 3-6 จากโรงเรียนสารสาสน์วิเทศบางบัวทอง  
จังหวัด นนทบุรี
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ปี 1-6 จากโรงเรียนคณะราษฎรบำรุงปทุมธานี  
จังหวัด ปทุมธานี
- ประสบการณ์การทำงาน ผ่านการฝึกงานฝ่ายผลิต ฝ่ายควบคุมคุณภาพ และฝ่ายประกันคุณภาพ จากบริษัท  
และผลงานวิจัย ศรีน่านาพร มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (มหาชน) จังหวัดราชบุรี
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล รวิณา กาญจนะ

วัน เดือน ปี เกิด 30 พฤศจิกายน 2540

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ปี 1-6 จากโรงเรียนวัดดอนไก่อี้อยู่ จังหวัด เพชรบุรี

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ปี 1-6 จากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบุรี จังหวัด เพชรบุรี

ประสบการณ์ทำงาน ผ่านการฝึกงานฝ่ายผลิต ฝ่ายควบคุมคุณภาพ และฝ่ายประกันคุณภาพ จากบริษัท

และผลงายวิจัย ศรีนันทพร มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (มหาชน) จังหวัดราชบุรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้