



การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบหมิสดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน



โดย

นางสาวอริชา เนตรบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน



โดย
นางสาวอิชา เนตรบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF FRESH WHEAT NOODLES SUPPLEMENTED WITH
COENZYME Q10



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)
Department of FOOD TECHNOLOGY
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเสริมโคเอนไซม์คิวเทน
โดย	อริษา เนตรบุตร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

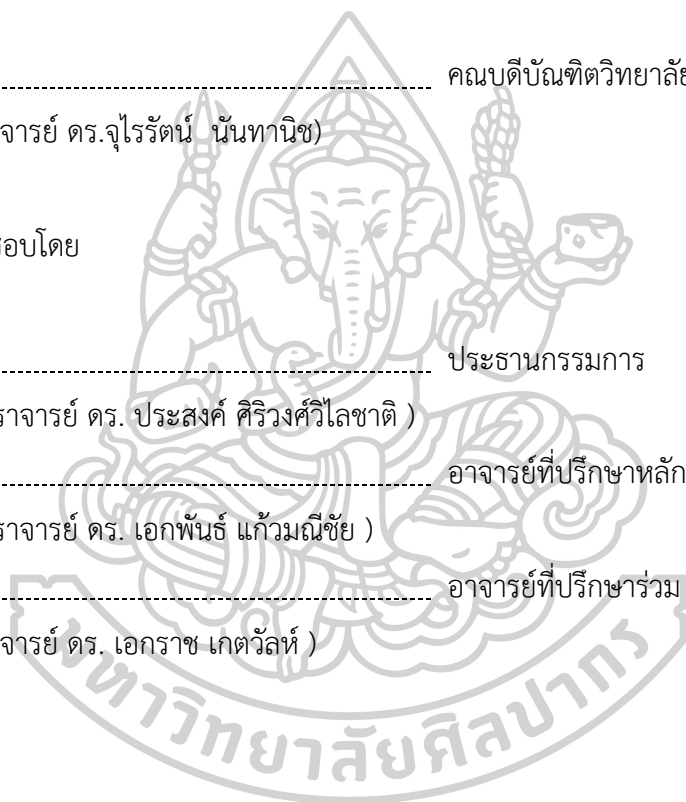
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกราช เกตวัลย์)



58403213 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : โคเอนไซม์คิวเทน / อิมัลชัน / ไมโครอิมัลชัน / แกมมาไซโคลเดกซ์ทริน / บะหมี่

นางสาว อธิชา เนตรบุตร: การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

โคเอนไซม์คิวเทน (CoQ10) เป็นสารสำคัญที่มีประโยชน์เชิงโภชนาการ ทำให้มีการเสริม CoQ10 ในผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรูปแบบที่ต่างกันของ CoQ10 ต่อคุณภาพของบะหมี่สดเสริม CoQ10 ซึ่งเติมในรูปแบบผง อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน เปรียบเทียบกับบะหมี่สูตรควบคุมที่ไม่เติม CoQ10 จากผลการวิเคราะห์พบว่า บะหมี่สดเสริม CoQ10 รูปแบบผงมีปริมาณ CoQ10 หลังการผลิตมากที่สุด เมื่อให้ความร้อนกับบะหมี่โดยการลวกได้ส่งผลให้ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่ลดลง โดยบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชันมีการสูญเสียจากการลวกสูงที่สุด หลังผ่านการย่อยในสภาวะจำลองของการย่อยในทางเดินอาหาร พบว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีชีวภาพพร้อมใช้สูงที่สุด การลวกบะหมี่ส่งผลให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า a^* และ b^* ลดลง บ่งชี้ถึงสีที่อ่อนลง การเสริม CoQ10 รูปแบบที่ต่างกันมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการลวกบะหมี่ และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวก โดยบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชันใช้เวลาในการลวกน้อยที่สุด และบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวกสูงที่สุด ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบโดยรวมแก่บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบอิมัลชันสูงที่สุด สอดคล้องกับค่า hardness และ chewiness ที่มีค่าต่ำจากการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส แสดงว่าผู้ทดสอบชอบเส้นบะหมี่ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มกว่า และทนต่อการเคี้ยวต่ำกว่า การเติม CoQ10 ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ได้ทำให้บะหมี่มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในทุก ๆ ด้านด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ที่ไม่มีการเติม CoQ10

58403213 : Major (FOOD TECHNOLOGY)

Keyword : Coenzyme Q10 emulsion microemulsion γ -cyclodextrin noodles

MISS ATICHA NETRAPUTRA : DEVELOPMENT OF FRESH WHEAT NOODLES SUPPLEMENTED WITH COENZYME Q10 THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR EAKAPHAN KEOWMANEECHAI, Ph.D.

Coenzyme Q10 (CoQ10) is a substance that has nutritional benefits. It is used as a supplement in food products. Therefore, this research aims to study the effects of different forms of CoQ10 on the quality of fresh noodles supplemented with CoQ10. CoQ10 was added into the noodles in forms of powder, emulsion, microemulsion and gamma-cyclodextrin complex comparing to the control noodles without CoQ10 addition. The results demonstrated that the noodles supplemented with CoQ10 powder had the highest CoQ10 content. The amount of CoQ10 was decreased after blanching, especially, the noodles supplemented with CoQ10 microemulsion. The noodles supplemented with CoQ10 emulsion showed the highest bioavailability indicating higher stability to the digestion condition than the other forms. After blanching, the L* values increased while the a* and b* values decreased corresponding to weaker colors of the noodles. CoQ10 supplement preparations affected cooking time and cooking loss in noodle blanching. The noodles supplemented with CoQ10 emulsion and microemulsion needed shortest cooking times. The noodles supplemented with CoQ10 emulsion had the highest cooking loss. The results from sensory evaluation showed that the noodles supplemented with CoQ10 microemulsion and emulsion got the highest overall preference scores consistent with the lowest hardness and chewiness from the texture analysis. It seemed that the panels liked softer and less chewy noodles. The CoQ10 supplement forms did not adversely affect the sensory scores of the noodles when compared to the noodles without CoQ10 supplement.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. เอกราช เกตวัลท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และให้การ
สนับสนุนในทุกๆ ด้าน พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางไปสู่ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ
และให้การสนับสนุนด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านที่ให้ความสะดวก ช่วยอำนวยความสะดวก และประสานงาน ในการทำ
วิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อธิชา เนตรบุตร



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บะหมี่ (noodle).....	4
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของบะหมี่.....	4
2.1.2 ชนิดของบะหมี่.....	4
2.1.3 วัตถุดิบในการผลิตบะหมี่.....	7
2.1.4 วิธีการผลิตบะหมี่.....	10
2.2 โคเอนไซม์ควิเทน (CoQ10).....	11
2.2.1 การสังเคราะห์ CoQ10 ในร่างกาย.....	17
2.2.2 การดูดซึมและเมตาบอลิซึมของ CoQ10.....	19

2.2.3 ประโยชน์ของ CoQ10.....	20
2.3 เอนแคปซูลเลชัน (encapsulation).....	21
2.3.1 กระบวนการเอนแคปซูลเลชัน.....	24
2.3.2 ระบบอิมัลชัน.....	27
2.3.3 ไมโครอิมัลชัน.....	29
2.3.4 สารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเดกซ์ทริน.....	29
2.4 การประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูลเลชัน CoQ10.....	32
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	37
3.1 วัตถุประสงค์.....	37
3.2 สารเคมี.....	37
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	38
3.4 วิธีการศึกษา.....	38
3.4.1 การเตรียม CoQ10.....	38
3.4.2 การเตรียมบะหมี่เสริม CoQ10.....	39
3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณของ CoQ10 ในบะหมี่ โดยวิธี high performance liquid chromatography (HPLC).....	39
3.4.4 การวิเคราะห์ชีวภาพพร้อมใช้ (bioavailability) ของ CoQ10 ในบะหมี่.....	40
3.4.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบะหมี่เสริม CoQ10.....	41
3.4.6 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค.....	43
3.4.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	43
บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์.....	44
4.1 ปริมาณ CoQ10 ในผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริม CoQ10.....	44
4.2 ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก.....	45
4.3 ชีวภาพพร้อมใช้ (bioavailability) ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10.....	46

4.4 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10.....	48
4.4.1 คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10.....	48
4.4.2 คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก	49
4.4.3 คุณภาพบะหมี่หลังการลวก.....	51
4.4.4 ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์	52
4.4.5 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10	53
4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	57
บทที่ 5 สรุป.....	58
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก การหากราฟมาตรฐาน CoQ10.....	61
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น.....	62
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส.....	63
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	64
ภาคผนวก จ ภาพประกอบงานวิจัย.....	65
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลผลิตภัณฑ์ CoQ10.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ประวัติผู้เขียน	83

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การแบ่งชนิดเส้นบะหมี่ตามขนาดของเส้น.....	5
ตารางที่ 2 การแบ่งชนิดเส้นบะหมี่ตามกระบวนการผลิต.....	6
ตารางที่ 3 ปริมาณ CoQ10 ในอาหาร.....	12
ตารางที่ 4 วัสดุที่เหมาะสมในการทำเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร.....	22
ตารางที่ 5 กระบวนการผลิตเอนแคปซูเลชัน.....	24
ตารางที่ 6 คุณสมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน.....	31
ตารางที่ 7 งานวิจัยเกี่ยวกับการเอนแคปซูเลชัน CoQ10.....	32
ตารางที่ 8 ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่สดเสริม CoQ10.....	44
ตารางที่ 9 ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่ลวกเสริม CoQ10.....	46
ตารางที่ 10 ชีวภาพพร้อมใช้ของบะหมี่เสริม CoQ10.....	47
ตารางที่ 11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริม CoQ10.....	48
ตารางที่ 12 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 หลังการลวก.....	50
ตารางที่ 13 คุณภาพบะหมี่หลังการลวก.....	52
ตารางที่ 14 ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์บะหมี่.....	53
ตารางที่ 15 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10.....	55
ตารางที่ 16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	56

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตและชนิดของบะหมี่.....	11
ภาพที่ 2 โครงสร้าง Coenzyme Q10.....	12
ภาพที่ 3 การสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนในร่างกาย.....	18
ภาพที่ 4 ประเภท reservoir type.....	23
ภาพที่ 5 การติดตั้งแผ่น baffles กั้นในระบบอิมัลชัน.....	28
ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของไซโคลเดกซ์ทริน.....	29
ภาพที่ 7 ผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริมCoQ10.....	49
ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมCoQ10ที่ผ่านการลวก.....	51
ภาพภาคผนวก 1 กราฟมาตรฐานCoQ10.....	61
ภาพภาคผนวก 2 หัววัด P/50.....	63
ภาพภาคผนวก 3 หัววัด Spaghetti tensile grips.....	63
ภาพภาคผนวก 4 เครื่อง HPLC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ CoQ10.....	65
ภาพภาคผนวก 5 เอนแคปซูเลชัน CoQ10.....	65
ภาพภาคผนวก 6 โครมาโตแกรมของบะหมี่สดเสริมCoQ10.....	66
ภาพภาคผนวก 7 โครมาโตแกรมของบะหมี่ลวกเสริมCoQ10.....	67
ภาพภาคผนวก 8 โครมาโตแกรมชีวภาพพร้อมใช้ของบะหมี่ลวกเสริมCoQ10.....	68
ภาพภาคผนวก 9 กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความต้านทานต่อการดึงขาดของผลิตภัณฑ์ บะหมี่ลวก.....	69
ภาพภาคผนวก 10 กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็ง และค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้าของ ผลิตภัณฑ์บะหมี่ลวก.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

บะหมี่เป็นอาหารหลักชนิดหนึ่งที่มีการบริโภคอย่างแพร่หลายของชาวเอเชีย โดยแบ่งสาส์ประมาณร้อยละ 40 ถูกนำไปผลิตเป็นบะหมี่ (Murray, 1996) วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ได้แก่น้ำ เกลือ และไข่ กรรมวิธีและส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บะหมี่มีความหลากหลาย และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น สี ความชื้น หรือระดับการทำให้สุก กรรมวิธีการผลิตที่ต่างกันทำให้เกิดบะหมี่ชนิดต่างๆ เช่น บะหมี่สด (fresh noodle) มีปริมาณความชื้นประมาณ 30-35% บะหมี่เปียก (wet noodle) ซึ่งจะถูกทำให้สุกก่อนขายให้ผู้บริโภคมีปริมาณความชื้นประมาณ 52% และบะหมี่แห้ง (dry noodle) มีปริมาณความชื้นประมาณ 10% (Oh et al., 1983) ในประเทศไทยบะหมี่จัดอยู่ในอาหารหลักหมู่ที่ 2 ซึ่งมีความจำเป็นต่อร่างกาย ความสำคัญของอาหารหมู่ที่ 2 คือมีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อร่างกาย ควรกินให้ได้ร้อยละ 55 – 60 ของพลังงานที่ได้รับในแต่ละวัน (ไกรสิทธิ์, 2559)

เนื่องจากการดำรงชีวิตในปัจจุบันต้องเร่งรีบแข่งขันกับเวลา รูปแบบของอาหารจึงเป็นอาหารที่มีความสะดวก ทานง่าย และใช้ปรุงเป็นอาหารได้หลายชนิดตามความชอบของแต่ละท้องถิ่น บะหมี่สด (fresh noodle) จึงได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทย บะหมี่มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค เช่น บะหมี่เหลือง (yellow alkaline noodle) บะหมี่ดิบ (raw noodle) บะหมี่จีน (chinese noodle) บะหมี่กวางตุ้ง (cantonese noodle) และบะหมี่วันตัน (wonton noodle) หรือที่รู้จักกันว่าบะหมี่ไข่ เป็นต้น นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้หันมาให้ความสนใจอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น จึงเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ และมีคุณค่าทางโภชนาการ จึงทำให้อาหารเสริมคุณค่าทางโภชนาการมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ก็เป็นอีกทางเลือกที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ สารต้านอนุมูลอิสระ หมายถึงสารที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น (substrate) ทำหน้าที่ลดหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดออกซิเจนหรือสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรือหมายถึง สารในอาหารที่มีผลในการลด reactive oxygen species (ROS) หรือ reactive nitrogen species (RNS) ในร่างกาย (Huang et al., 2005) พบว่าอนุมูลอิสระสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่นการสูบบุหรี่ การฉายรังสี และการรั่วของไมโทคอนเดรีย เป็นต้น (Yoshikawa et al., 1997) อนุมูลอิสระทำให้เกิดภาวะ metabolic syndrome เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูงหัวใจ และโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน เพิ่มสูงขึ้น (Overvad et al.,

1999) นอกจากนี้อนุมูลอิสระยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์และดีเอ็นเอของร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด (Finkel & Holbrook, 2000) อย่างไรก็ตาม ภายใต้อิทธิพลของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถต้านทานต่อโรคดังกล่าวได้ จึงเป็นประโยชน์ที่จะช่วยให้ร่างกายพ้นจากโรคภัยร้ายแรงเหล่านั้นได้ (Halliwell, 1996) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Coenzyme Q10 (CoQ10) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีคุณสมบัติสำคัญและกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

CoQ10 ถูกค้นพบครั้งแรกโดยศาสตราจารย์เฟรดริกกลิตเรคเรนและคณะ แห่งมหาวิทยาลัยวิสคอนซินแมดิสัน ในปี 1957 (Murray, 1996) เป็นสารคล้ายวิตามินที่มีความสำคัญ โดยเป็นสารที่มีบทบาทในการเพิ่มพลังงานให้แก่เซลล์เพื่อใช้เป็นพลังงานในร่างกาย เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยปกป้องเซลล์จากการทำลายโดยอนุมูลอิสระ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และสิ่งสำคัญคือมีผลต่อการทำงานของระบบหัวใจ โดยพบว่า CoQ10 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจอย่างชัดเจน ถ้าขาด CoQ10 กล้ามเนื้อหัวใจจะอ่อนแรงลงและทำงานได้ไม่ดี แต่เนื่องจาก CoQ10 มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และละลายได้เฉพาะในน้ำมัน จึงทำให้ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อย การพัฒนาให้ CoQ10 สามารถละลายในน้ำได้ดีขึ้น จะช่วยให้สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้มากขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษถึงผลของการเติม CoQ10 รูปแบบต่าง ๆ ในเส้นบะหมี่ เพื่อให้ได้รับปริมาณ CoQ10 ที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค เพื่อใช้เป็นแนวความคิดและกำหนดเกณฑ์คุณภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาหารูปแบบของ CoQ10 ที่เหมาะสมสำหรับเติมในผลิตภัณฑ์บะหมี่สด

1.2.2 เพื่อศึกษาความแตกต่างของคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่เสริม

CoQ10 ในรูปแบบแตกต่างกัน

1.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

บะหมี่ที่เสริม CoQ10 ในรูปแบบแตกต่างกัน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การเสริม CoQ10 ในรูปแบบผง อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และ สารเชิงซ้อนแกมมาไซโคลเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์บะหมี่สด จะทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพในด้านต่าง ๆ แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการเติม CoQ10 ทั้ง 4 รูปแบบคือรูปแบบผง อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์บะหมี่สด

1.4.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่เสริม CoQ10

1.4.3 วิเคราะห์ปริมาณ CoQ10 และชีวภาพพร้อมใช้ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

1.5.1 เกิดองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการเตรียม CoQ10 เพื่อเติมในผลิตภัณฑ์บะหมี่

1.5.2 พัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่ให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น โดยที่ผู้บริโภคให้การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บะหมี่ (noodle)

ความหมายของบะหมี่จากพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 หมายถึง ชื่ออาหารชนิดหนึ่ง ทำด้วยแป้งสาลี เป็นเส้นเล็ก ๆ มีสีเหลือง ลวกสุกแล้วปรุงด้วยเครื่องมีหมูเป็นต้น โดยอาจผ่านกระบวนการในการทำให้แห้งและสุกที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม เพื่อให้เก็บได้นาน และสามารถรักษาคุณภาพ กลิ่น และรสชาติ ของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (อรอนงค์,2540)

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของบะหมี่

บะหมี่เป็นอาหารที่มีความสำคัญของชาวเอเชีย มีความเชื่อว่าชาวจีนเป็นผู้คิดค้นขึ้นมาเมื่อประมาณ 5000 ปีก่อนคริสตกาล จากนั้นก็แพร่หลายไปทั่วแถบภูมิภาคเอเชีย ทำให้บะหมี่เกิดขึ้นมากมายหลายรูปแบบ ปัจจุบันปริมาณแป้งที่ใช้ผลิตบะหมี่มีมากถึง 40% ของปริมาณแป้งทั้งหมดที่ถูกนำมาบริโภค บะหมี่ยังได้รับความสนใจในอีกหลาย ๆ ประเทศนอกทวีปเอเชีย และความนิยมนี้ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

บะหมี่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักในการผลิต โดยมีอยู่ถึงสามส่วนในสี่ส่วนของวัตถุดิบทั้งหมด เมื่อนำมาผสมกับน้ำ เกลือหรือสารละลายต่าง ๆ ไข่หรือส่วนผสมอาหาร จะทำให้ได้ก้อนโด แล้วนำก้อนโดมารีดด้วยลูกกลิ้ง จะได้แผ่นแป้งที่มีโครงร่างโปรตีนซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการผสมโดและการรีด โครงร่างโปรตีนนี้ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ เมื่อนำแผ่นแป้งไปตัดเป็นเส้นจะได้บะหมี่สดที่พร้อมสำหรับการจำหน่าย การผลิตบะหมี่มีการพัฒนาในด้านต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่

2.1.2 ชนิดของบะหมี่

เนื่องจากบะหมี่มีหลากหลายรูปแบบในแต่ละประเทศ จึงไม่มีกฎเกณฑ์ใดที่จะสามารถแบ่งชนิดของบะหมี่ได้ชัดเจน มาตรฐานที่ใช้ในการจำแนกชนิดของบะหมี่ในปัจจุบันมีดังนี้

2.1.2.1 การแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ผลิต

บะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียวเช่น บะหมี่แบบจีน และบะหมี่แบบญี่ปุ่น โดยบะหมี่แต่ละแบบก็มีหลากหลายชนิด แตกต่างกันที่ส่วนผสม กรรมวิธีการผลิตและคุณภาพของเส้นบะหมี่ ส่วนบะหมี่ที่ผลิตจากแป้งสาลีและแป้งบัควีท (buckwheat) เรียกว่า โซบะ ซึ่งมีสีน้ำตาลหรือสีเทา มีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว

บะหมี่แบบจีน (Chinese noodle) ทำจากแป้งสาลีที่ผลิตจากข้าวสาลีชนิดแข็ง (hard wheat) มีสีขาวยาวหรือสีเหลืองสว่าง และมีเนื้อสัมผัสที่แน่น บะหมี่ชนิดนี้มีความแน่นเนื้อ มีความยืดหยุ่น และมีผิวสัมผัสที่เรียบเนียน (Edwards et al., 1996b) บะหมี่แบบญี่ปุ่น (Japanese noodle) ทำจากแป้งสาลีชนิดอ่อน (soft wheat) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนอยู่ในระดับกลาง บะหมี่ชนิดนี้จะมีสีขาวยาว เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม และมีความยืดหยุ่น

2.1.2.2 การแบ่งตามเกลือที่ใช้ผลิต

บะหมี่ที่ใส่หรือไม่ใส่เกลือ หรือสารละลายต่างในสูตร สามารถแยกได้เป็นบะหมี่ขาว (ใส่เกลือ) เช่นบะหมี่แบบญี่ปุ่น หรือบะหมี่เหลือง (ใส่สารละลายต่าง) สารละลายต่างช่วยให้บะหมี่มีสีเหลือง เช่นบะหมี่แบบจีน บะหมี่ฮกเกี้ยน บะหมี่กวางตุ้ง บะหมี่จุกะ บะหมี่เหลืองไทย และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

2.1.2.3 การแบ่งตามขนาดเส้นของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากบะหมี่มีขนาดเส้นที่หลากหลาย จึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดดังตารางที่ 1 บะหมี่ที่มีเส้นขนาดเล็ก เช่น โซเมน และ อียาบุกิ จะสุกเร็วกว่าบะหมี่ที่มีเส้นขนาดใหญ่ จึงมักเสิร์ฟเป็นบะหมี่เย็น ทานในช่วงหน้าร้อน ส่วนอุด้ง และ ฮิราเมนจะทานแบบร้อนในฤดูหนาว

ตารางที่ 1 การแบ่งชนิดเส้นบะหมี่ตามขนาดของเส้น

ชื่อบะหมี่	ลักษณะgtho
โซเมน	บางมาก กว้าง 0.7 – 1.2 มิลลิเมตร
อียาบุกิ	บาง กว้าง 1.3 – 1.7 มิลลิเมตร
อุด้ง	ขนาดมาตรฐาน กว้าง 1.9 – 3.8 มิลลิเมตร
ฮิราเมน	แบน กว้าง 5.0 – 6.0 มิลลิเมตร

ที่มา : Hou et al. (1998)

2.1.2.4 การแบ่งตามกระบวนการผลิต

การแบ่งประเภทบะหมี่ตามกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น การผลิตด้วยมือ และการผลิตด้วยเครื่องจักร การผลิตบะหมี่ด้วยมือสามารถพบได้ทั่วไปในเอเชีย เนื่องจากการผลิตด้วยมือจะให้เนื้อสัมผัสที่ดี การผลิตด้วยเครื่องจักรเริ่มแพร่หลายในปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา การยืดเส้นบะหมี่ด้วยมือเป็นศิลปะที่งดงาม ส่วนการผลิตด้วยเครื่องจักรสามารถทำให้ผลิตบะหมี่ได้ครั้งละมาก ๆ

กระบวนการผลิตบะหมี่รวมไปถึงการผสม การรีดเป็นแผ่น และการตัดเส้น เป็นลำดับในกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกันของบะหมี่แต่ละชนิด เส้นบะหมี่ที่ได้สามารถนำมาทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งชนิดบะหมี่ตามกระบวนการผลิต

ชนิดของบะหมี่	กระบวนการผลิต
บะหมี่สด	- เส้นบะหมี่ที่ได้หลังจากการตัดเส้นจะถูกบรรจุในภาชนะบรรจุโดยปราศจากกรรมวิธีแปรรูปใด ๆ อีก อย่างเช่นบะหมี่แบบจีน อดัง บะหมี่จูกะ บะหมี่แบบไทย บะหมี่กวางตุ้ง และโซบะ บะหมี่เหล่านี้มักต้องขายภายใน 24 ชั่วโมง เนื่องจากสีจะเปลี่ยนแปลงไป หากเก็บรักษาในตู้เย็นจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 3 – 5 วัน
บะหมี่แห้ง	- ได้จากการทำแห้งเส้นบะหมี่สดด้วยการตากแห้ง หรืออบแห้งในห้องหรือตู้ควบคุมอุณหภูมิ ตัวอย่างบะหมี่ชนิดนี้คือบะหมี่แบบจีน บะหมี่กวางตุ้ง บะหมี่จูกะ อดัง และโซบะ บะหมี่ชนิดนี้มีอายุการเก็บรักษาที่นานมาก (แต่เสื่อมเสียได้ง่ายจากเชื้อรา)
บะหมี่ต้ม	- ได้จากการต้มเส้นบะหมี่ให้ถึงสุก (ทำให้สุก 90%) หรือสุกเต็มที่ ตัวอย่างบะหมี่ชนิดนี้คือ บะหมี่แบบจีน บะหมี่ฮกเกี้ยน อดัง และโซบะ โดยต้มบะหมี่แบบจีน และบะหมี่ฮกเกี้ยนให้ถึงสุกรินน้ำออก รอให้เส้นสะเด็ดน้ำ แล้วเคลือบด้วยน้ำมันพืช 1 – 2% เพื่อป้องกันเส้นติดกัน และต้มเส้นอดังและโซบะให้สุก แต่ไม่ต้องเคลือบด้วยน้ำมันพืช เมื่อนำมารับประทาน ให้ต้ม 1 – 2 นาที ก่อนเสิร์ฟ
บะหมี่นึ่ง	- ได้จากการนึ่งเส้นบะหมี่ขาว แล้วแช่ในน้ำให้เส้นนิ่ม บะหมี่ชนิดนี้เรียกว่า ยาเกีโซบะ และนำมาผัดอีกครั้งก่อนบริโภค

ที่มา : Hou et al. (1998)

บะหมี่สด/บะหมี่ไข่ (wonton Noodle) คือบะหมี่ที่ผ่านขั้นตอนผสม รีดเป็นแผ่นบาง และตัดเส้นแล้ว แต่ไม่ได้ผ่านการทำให้สุกและการตากแห้ง ต้องบริโภคภายใน 1-2 วัน มีส่วนประกอบ คือ แป้งสาลี น้ำ สารละลายต่าง ไข่ เกลือ สีส้มอาหาร นวดและพักโดไว้ 20 นาที แล้วรีดเป็นแผ่นบางประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตร ตัดเป็นเส้นตามต้องการ

บะหมี่เปียกหรือบะหมี่ฮอกเกี้ยน (Hokkien noodle) บะหมี่ชนิดนี้จะทำให้สุกก่อนบางส่วน (precook) โดยการลวกหรือต้มในน้ำเดือด ซึ่งบะหมี่ชนิดนี้มีความชื้นสูงมาก ประมาณ 50% เมื่อบะหมี่ผ่านการลวกจะถูกล้างเพื่อไม่ให้แป้งเหนียวติดกัน หรือบางครั้งอาจทำให้อุณหภูมิลดลงโดยการเป่าลมเย็น ซึ่งในขณะทำให้เย็นอาจมีการพ่นน้ำมัน บะหมี่ชนิดนี้มีอายุการเก็บรักษาสั้น และมีสีเหลืองจากสารละลายต่าง บะหมี่ชนิดนี้พบในประเทศมาเลเซีย เมื่อต้องการบริโภคต้องนำมาลวกหรือต้มอีกครั้งเพื่อให้สุกทั้งเส้น

บะหมี่แห้ง (dried noodle) เป็นบะหมี่ที่ผ่านขั้นตอนทำให้แห้ง โดยการนำบะหมี่สดมาตากแห้งอย่างช้า ๆ หรือเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิ พยายามรักษาเส้นไว้ให้ตรง บะหมี่ชนิดนี้แตกหักง่าย และเปราะต้องเก็บใส่ภาชนะที่ แข็งแรง สามารถเก็บได้นานกว่า มีความชื้นประมาณ 8-10% เมื่อต้องการบริโภคต้องนำมาแช่น้ำและต้มน้ำให้คืนตัว

บะหมี่แห้งกึ่งสำเร็จรูป (steamed and dried noodle) ทำจากบะหมี่สด โดยนำมานึ่งให้สุกหรืออบไอน้ำให้สุกก่อนนำไปตากหรืออบแห้งมีความชื้นประมาณ 10-13% บะหมี่ชนิดนี้มีความเหนียวกว่าบะหมี่สดแห้ง เนื่องจากโปรตีนได้เปลี่ยนรูปไปและอยู่ในรูปที่เหนียวกว่าเดิม เก็บได้นาน เมื่อต้องการบริโภคต้องใช้เวลาในการต้มให้คืนตัว

บะหมี่ทอดกึ่งสำเร็จรูป (instant fried noodle) ทำจากบะหมี่สด แล้วนำมาอบไอน้ำแล้วจับเป็นก้อน ทำให้แห้งโดยการทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิเหมาะสม 150 - 160°C ทอดประมาณ 1-2 นาที ลักษณะที่ดีของบะหมี่ชนิดนี้คือ คืนตัวได้เร็วเมื่อผสมน้ำร้อน ทั้งนี้เพราะเส้นบะหมี่มีรูพรุนอยู่ทั่วไป มีความชื้นอยู่เพียง 3-5% บะหมี่ชนิดนี้สะดวกและรวดเร็วในการเตรียมเพื่อบริโภค จึงนิยมกันแพร่หลาย แต่อาจเก็บไว้ได้ไม่นานเนื่องจากมีน้ำมันติดอยู่ เมื่อสัมผัสกับอากาศจึงเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย

2.1.3 วัตถุประสงค์ในการผลิตบะหมี่

2.1.3.1 แป้งสาลี เป็นส่วนผสมหลักในการทำบะหมี่ ซึ่งมีปริมาณถึง 90-95% ในสูตร ดังนั้นลักษณะของบะหมี่ทั้งทางกายภาพและเคมี จึงมีผลมาจากแป้งเป็นส่วนใหญ่ พบว่า soft wheat มีสาร antioxidant, ferulic acid, α - and δ -tocopherol, lutein และ zeaxanthin อย่างมีนัยสำคัญ (Lv et al., 2012) เมื่อผสมแป้งสาลีรวมกับน้ำ โปรตีนในแป้งจะจับกันเป็นก้อน เรียกว่า กลู

เตน ซึ่งมีความเหนียวยืดหยุ่น สตาร์ชในแป้งสาลีทำให้เส้นอ่อนนุ่มและดูดซับน้ำที่เหลือทั้งหมดไว้ ทำให้เส้นไม่จับตัวกันเป็นก้อน แป้งสาลีที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับชนิดบะหมี่ที่ต้องการทำ เช่น บะหมี่จีนต้องการความเหนียวควรใช้แป้งที่มีโปรตีนสูง เช่น แป้งขนมปัง ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นต้องการความนุ่มเนียน ควรใช้แป้งที่มีโปรตีน 9-10% คุณภาพของบะหมี่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักที่สำคัญของแป้ง ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน รงควัตถุให้สี และเอนไซม์ รวมถึงวิธีการไม่แป้ง (อรอนงค์, 2540; สุภารัตน์, 2547) ดังนี้

ก.สตาร์ช เป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแป้งสาลีมากที่สุดประมาณ 67% ดังนั้นสตาร์ช จึงเป็นโครงสร้างของบะหมี่ มีความสัมพันธ์กับกลูเตนทำให้เกิดโด สตาร์ชมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุก โดยสตาร์ชที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดีและมีความเหนียว ปริมาณอะไมโลสในแป้งมีความสัมพันธ์กับความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของแป้ง (Baik & Lee, 2003) ลักษณะของสตาร์ชที่ดีขึ้นอยู่กับปริมาณเอนไซม์ในแป้ง คือ อัลฟา-อะไมเลส (alpha-amylase) ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสตาร์ช ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเสื่อมเสียไป บะหมี่ที่ได้จึงมีคุณภาพไม่ดี โดยเอนไซม์ดังกล่าวจะพบมากในแป้งสาลีที่มีการเก็บรักษานานและเกิดการงอก

ข.โปรตีน มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่น ซึ่งมีผลจากปริมาณโปรตีนและคุณภาพกลูเตนที่ดีทำให้เส้นบะหมี่คงตัว ความเหมาะสมของปริมาณโปรตีนของบะหมี่แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันออกไป เช่น บะหมี่จีนต้องการโปรตีน 10-12% ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นหรืออุด้งต้องการโปรตีน 9-10% หน้าที่สำคัญของโปรตีนคือ การให้ความยืดหยุ่นในบะหมี่ ปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีส่งผลต่อสีของบะหมี่และลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความแข็ง (hardness) (Toyokawa et al., 1989; Park et al., 2003) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนของบะหมี่มีผลโดยตรงต่อการอุ้มน้ำของโดในบะหมี่ โดยการอุ้มน้ำของโดที่เหมาะสมจะทำให้โดเกิดความคงตัว บะหมี่ที่ได้จึงมีคุณภาพดี การอุ้มน้ำของโดยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของแป้งด้วย เช่น ความเสียหายที่มีในแป้ง และความละเอียดของเมล็ดแป้งอีกด้วย (Park & Baik, 2002) ถ้าแป้งมีเอนไซม์โปรตีเอส (protease) จะทำให้คุณภาพของบะหมี่ลดลงเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนทำให้คุณสมบัติของกลูเตนเสียไป ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวสาลีเกิดการงอกในขณะเก็บรักษา

ค.เอนไซม์ในแป้ง มีผลต่อลักษณะความคงตัวของบะหมี่ และมีผลต่อสีของบะหมี่ โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) ที่มีในแป้งจะทำปฏิกิริยาทำให้แป้งกลายเป็นสีน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเฉพาะบะหมี่ญี่ปุ่นที่เส้นมีสีขาว

ง.รงควัตถุที่ให้สีของแป้ง คือ ฟลาโวน (flavones) จะทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่เติมลงในส่วนผสมทำให้บะหมี่มีสีเหลือง ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของบะหมี่จีนที่ผู้บริโภคยอมรับ ถ้าแป้งมีสารฟลาโวนมากเกินไป จะทำให้บะหมี่ที่ได้มีสีเหลืองเข้มไป

จ.วิธีการไม่แป้ง มีส่วนทำให้คุณลักษณะของบะหมี่แตกต่างกันออกไป การไม่แป้งที่เหมาะสมจะได้แป้งที่มีสตาร์ชเสียหายน้อย แป้งมีขนาดสม่ำเสมอ การดูดซึมน้ำของแป้งดี โดมีคามยืดหยุ่นพอเหมาะ ถ้าการไม่แป้งไม่ดีทำให้สตาร์ชเสียหายมากและแป้งมีขนาดเล็กเกินไป จะมีผลทำให้แป้งดูดซึมน้ำมากเกินไป เอนไซม์เข้าทำลายสตาร์ชได้ง่าย โครงร่างของโดไม่แข็งแรง ความยืดหยุ่นไม่ดี ทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้มีลักษณะที่ไม่ดี

2.1.3.2 น้ำ เป็นส่วนผสมหลักเช่นเดียวกัน ถ้าหากไม่มีน้ำก็ไม่เกิดเป็นก้อนโด จึงรีดโดเป็นแผ่นและทำเป็นเส้นไม่ได้ ส่วนใหญ่จะผสมน้ำในสูตรประมาณ 30-40% ทำหน้าที่ละลายส่วนผสมต่าง ๆ ทำให้ส่วนผสมเหล่านั้นกระจายตัวได้ดี ทำให้โปรตีนจับกันเป็นก้อนสามารถรีดเป็นแผ่นบาง ปริมาณน้ำที่เติมจะบ่งบอกคุณภาพของโดคือ ความคงตัวและความยืดหยุ่น ถ้าปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง มีลักษณะร่วนและโป่ง ทำให้เส้นบะหมี่แข็งและขาดง่าย แต่ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป โดจะแฉะ เหนียวติดมือ รีดไม่ได้ เมื่อตัดเป็นเส้นจะติดกันง่าย ดังนั้นปริมาณน้ำจึงต้องเหมาะสม นอกจากนี้คุณภาพของน้ำที่เกี่ยวกับความเป็นกรด-ด่างยังมีผลต่อบะหมี่ที่ได้ ซึ่งน้ำอ่อนเป็นน้ำที่มีแร่ธาตุน้อยเหมาะกับการทำบะหมี่ โดยน้ำที่มีแร่ธาตุของแคลเซียมและแมกนีเซียมปนอยู่จะมีผลให้การดูดซึมน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอ โครงร่างโดไม่เนียน จึงได้เส้นบะหมี่ที่ไม่ดี ส่วนน้ำที่มีแร่ธาตุเหล็กปนอยู่ด้วยจะส่งผลต่อสีของบะหมี่ โดยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลหรือมีสีเขียวปน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.1.3.3 เกลือ ในการผลิตบะหมี่มีปริมาณเกลือ 0-8% เกลือจะช่วยในการป้องกันไม่ให้กลูเตนแฉะ ทำให้โดมีความคงตัวในการขึ้นรูป ช่วยควบคุมการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส รวมถึงป้องกันเอนไซม์ที่จะมาย่อยโปรตีน ทำให้อาหารมีรสชาติและเนื้อกลืนรสของส่วนผสมอื่นๆ ช่วยให้กลูเตนของโดมีกำลังในการยืดตัว ช่วยให้เกิดสีของเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโด ทำให้เส้นบะหมี่ที่ลวกแล้วไม่แฉะ

2.1.3.4 สารละลายต่าง สารละลายต่างที่ใส่ในบะหมี่ ได้แก่ sodium carbonate (NaCO_3), sodium hydrogen carbonate (NaHCO_3), sodium tripolyphosphate (STPP) และ sodium acid pyrophosphate (SAPP) ซึ่งจะใช้ในปริมาณ 0.5 – 2.0% ต่างช่วยให้โดมีความหนืดมากขึ้น ยืดตัวได้มากขึ้น ทนต่อการผสมได้ดีและช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ บะหมี่ที่มีสารละลายต่างต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อความแตกต่างในด้านความสว่างและสีเหลืองของบะหมี่ แต่ส่งผลกับคุณสมบัติทางรีโวลจิก (rheological properties) ของโด ทำให้บะหมี่เกิดการสูญเสียจากการทำให้สุก (cooking loss) สูง (Shiau & Yeh, 2001)

2.1.3.5 ส่วนประกอบอื่น ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มคุณภาพของบะหมี่ในกระบวนการผลิต เช่น อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารช่วยในการปรับรูปร่างสี (color agent) แป้งถั่วเหลือง (soy flour) และแป้งดัดแปร (modified starch) เป็นต้น

บางประเทศอาจมีการเติมสารช่วยในการเก็บรักษา (preservative) โดยเฉพาะประเทศที่นิยมบริโภคบะหมี่สดหรือสุก

2.1.4 วิธีการผลิตบะหมี่

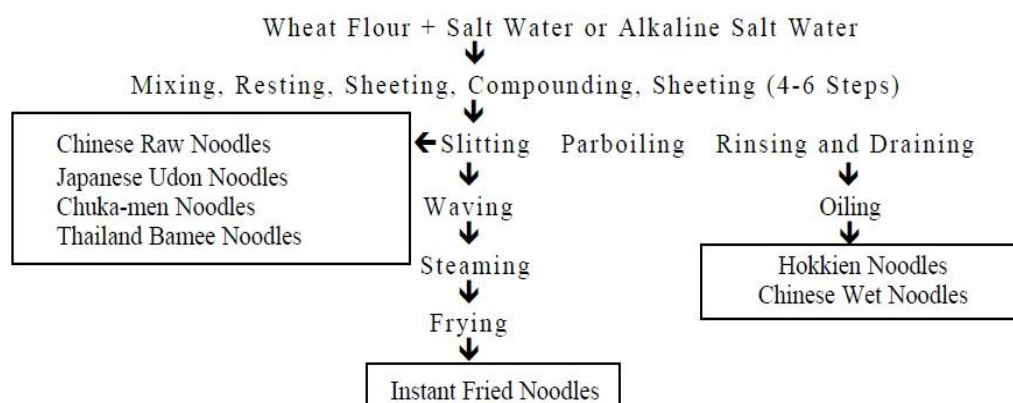
บะหมี่ที่ผลิตตามแบบเอเชียจะมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน (Edwards et al., 1996a; สุภารัตน์ แก้วปรารณา, 2547) คือ

2.1.4.1 การผสม (mixing) เป็นการนำเอาสารละลายต่างมาผสมกับแป้ง เวลาการผสม 5-10 นาที และอุณหภูมิหลังการผสมต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง การผสมภายใต้สภาวะสูญญากาศช่วยเพิ่มคุณภาพของเส้นบะหมี่ (Li et al., 2012) วัตถุประสงค์ของการผสมคือ เพื่อกระจายน้ำและส่วนประกอบต่างๆ ให้เข้ากันจนเกิดโด และพักโดไว้อย่างน้อย 10-30 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของน้ำในโด

2.1.4.2 การรีดให้เป็นแผ่นบาง (sheeting) เป็นการขึ้นรูปก้อนโด เพื่อปรับความหนา ความชื้น และให้เกิดโครงร่างกลูเตน (gluten network) การรีดอาจใช้เครื่องรีดเป็นลูกกลิ้งสองลูกหมุนเข้าหากัน หรือใช้ไม้ค้ำให้มีความหนาของแผ่นแป้งประมาณ 1.0-2.0 มิลลิเมตร หรือใช้ไม้ม้วนแผ่นแป้ง ดึงไม้ออก ซึ่งจะขึ้นกับ 2 ตัวแปรสำคัญ คืออัตราเร็วในการไหลผ่านของแผ่นโดผ่านเครื่องรีด และร้อยละของการลดความหนาของแผ่นโด

2.1.4.3 การตัดเส้น (cutting) การตัดแผ่นโดออกเป็นเส้น กลม หรือแบน ทำให้ได้ชนิดของบะหมี่แตกต่างกันออกไปเช่น หั่นตามขวางให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วคลี่เส้นออกจากกัน

โดยบะหมี่ที่ได้เริ่มแรกนั้นจะเป็นบะหมี่สด (fresh noodle) ต่อมาได้พัฒนาการผลิตเพิ่มขึ้น โดยถ้านำบะหมี่สดมาลวกน้ำร้อนก่อนจำหน่ายให้ผู้บริโภคจะเรียกว่า บะหมี่เปียก (wet noodle) หรือบะหมี่สุก แต่ถ้านำบะหมี่สดมาตากแห้งก็จะได้บะหมี่แห้ง (dry noodle) ถ้านำบะหมี่สดมาทอดเรียกว่า บะหมี่ทอด (fried noodle) ถ้านำบะหมี่สดมาผ่านไอน้ำและทำให้แห้งจะได้บะหมี่แห้งกึ่งสำเร็จรูป (instant dry noodle) แต่ถ้านำผ่านไอน้ำแล้วนำมาทอดเรียกว่าบะหมี่ทอดกึ่งสำเร็จรูป (instant fried noodle) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 1

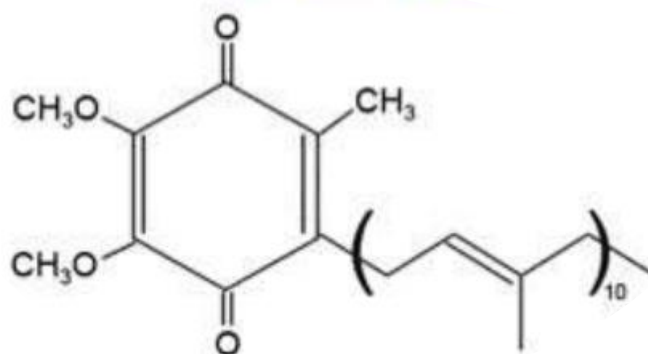


ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตและชนิดของบะหมี่

ที่มา : Hou et al. (1998)

2.2 โคเอนไซม์คิวเทน (CoQ10)

โคเอนไซม์คิวเทน (Coenzyme Q10 หรือ CoQ10) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย ศาสตราจารย์เฟรดริก ลิตเติล ครอน และคณะ แห่งมหาวิทยาลัยวิสคอนซินแมดิสัน ในปี 1957 (Murray, 1996) CoQ10 เป็นสารคล้ายวิตามิน ซึ่งสามารถละลายได้ในไขมัน (fat soluble vitamin-like substance) เป็นสารชีวภาพสำคัญที่พบในทุกเซลล์ของร่างกาย โดยจะอยู่ที่ส่วนเยื่อหุ้ม (membrane) ของไมโทคอนเดรีย (mitochondrial) ซึ่งทำหน้าที่ในการผลิตพลังงานให้กับเซลล์ โดยพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นพลังงานพื้นฐานของเซลล์ CoQ10 ถูกพบมากในอวัยวะที่ต้องการพลังงานสูง ซึ่งจะมีจำนวนไมโทคอนเดรีย (mitochondria) มาก เช่น หัวใจ ตับ กล้ามเนื้อ สมอง (Kettawan, 2004) ส่วนอวัยวะอื่นๆ ก็พบ CoQ10 เช่นกัน แต่พบค่อนข้างน้อย CoQ10 สามารถเพิ่มจำนวนไมโทคอนเดรียในสมอง และช่วยลดผลกระทบต่อเส้นประสาทได้ (Matthews et al., 1998) ช่วยลด congestive heart failure ในผู้ป่วยโรคหัวใจ (Morisco et al., 1993) CoQ10 สามารถช่วยลดโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด, ความดันโลหิตสูง และโรคมึนเนียร์ลงได้ (Kumar et al., 2009) ทั้งยังช่วยป้องกันโรคไมเกรนได้ (Sandor et al., 2005)



ภาพที่ 2 โครงสร้าง CoQ10

ที่มา : Dighe et al. (2010)

CoQ10 ที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นเอนไซม์หลัก (key enzyme) ในวงจรเครปหรือวงจรกรดซิตริก (Kreb's or citric acid cycle) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนแปลงอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้อยู่ในรูปของพลังงานที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ (Dutton et al., 2000; Ernster & Dallner, 1995) ถ้าระดับของ CoQ10 ลดลง ร่างกายจะไม่สามารถแปลงพลังงานจากอาหารให้อยู่ในสภาพที่ร่างกายจะนำไปใช้ได้ เซลล์หรืออวัยวะต่าง ๆ ก็จะทำงานได้ไม่เต็มที่ ทำให้เกิดการเจ็บป่วย ร่างกายอ่อนเพลีย ระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมสภาพตามมาได้ โดยปกติร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์ CoQ10 ได้เองจากกรดอะมิโน (tyrosine) ร่วมกับวิตามิน 7 ชนิดและแร่ธาตุอีกจำนวนหนึ่ง โดยการสังเคราะห์ CoQ10 นี้จะเกิดขึ้นที่ตับ (Palomäki et al., 1998) แต่หลังอายุ 20 ปีปริมาณการสร้าง CoQ10 จะลดลงต่ำกว่าระดับที่ร่างกายต้องการ CoQ10 ในอาหารพบมากในเครื่องใน เนื้อวัว ปลาซาร์ดีน ปลาทูน่า ผักขม ถั่วลิสงและธัญพืชต่างๆ ปริมาณ CoQ10 ในอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณ CoQ10 ในอาหาร

ประเภทอาหาร	ปริมาณ CoQ10 (mg/kg)
กลุ่มเนื้อสัตว์	
วัว	
- หัวใจ	113.3
- ตับ	39.2 – 50.0
- หัวไหล่	40.1
- เนื้อสันนอก	30.6
- โคนขา	30.3
- เนื้อสันใน	26.5
- เนื้อวัว	16.1 – 36.5
หมู	
- หัวใจ	118.1 – 282
- ตับ	22.7 - 54
- หัวไหล่	45
- เนื้อสันนอก	14
- โคนขา	13.8
- เนื้อหมู	24.3
ไก่	
- หัวใจ	92.3 – 192
- ตับ	116.2 – 132.2
- น่อง	24.2 – 25
- อก	7.8 – 17.1
- ปีก	11
- เนื้อไก่	14 – 21
กวางเรนเดียร์	157.9

ประเภทอาหาร	ปริมาณ CoQ10 (mg/kg)
กลุ่มไข่	
- ไข่ไก่	0.7 – 3.7
- ส่วนของไข่แดง	5.2
กลุ่มผลิตภัณฑ์จากนม	
เนย	7.1
ชีส	
- emmental	1.3
- edam	1.2
นมวัว	
- นมวัวสดมีไขมัน 3.6%	1.9
- UHT มีไขมัน 3.6%	1.7
โยเกิร์ต	
- มีไขมัน 3.2%	0.7 – 1.1
- มีไขมัน 1.5 – 1.6%	0.7 – 1.4
- ไขมัน 0%	>0.1
นมเปรี้ยว	
- มีไขมัน 3.2%	0.5 – 0.9
- มีไขมัน 1.6%	0.5
ครีม	
- มีไขมัน 35%	0.9
- มีไขมัน 20 - 22%	0.5 – 0.9

ประเภทอาหาร	ปริมาณ CoQ10 (mg/kg)
กลุ่มปลาและหอย	
ปลาซาติน	5.1 – 64.3
ปลาแฮร์ริง	
- หัวใจ	120 – 148.4
- เนื้อปลา	14.9 – 27
ปลาหางเหลือง	12.8 – 20.7
ปลาบอลติกแฮร์ริง	10.6 – 15.9
ปลาแมคคอเรล	
- หัวใจ	105.5 – 109.8
- ส่วนเนื้อแดง	67.5 – 67.7
- ส่วนเนื้อขาว	10.6 – 15.5
ปลาพอลแล็ก	14.4
ปลาไหล	7.4 – 11.1
ปลาเทราต์สายรุ้ง	8.5 – 11
ปลาแซลมอน	4.3 – 7.6
ปลาทูนา	4.9
ปลาหมึก	3.4
หอยนางรม	3.4 – 4.3
หอยแครง	5.0
ปลาคอด	3.7
กุ้ง	1.7 – 2.8
ปลากระบอกสีแดง	2.6

ประเภทอาหาร	ปริมาณ CoQ10 (mg/kg)
กลุ่มน้ำมันพืช	
น้ำมันถั่วเหลือง	
- ศึกษาในอิตาลี	221 – 279
- ศึกษาในญี่ปุ่น	53.8 – 92.3
น้ำมันข้าวโพด	
- ศึกษาในอิตาลี	113 – 139
- ศึกษาในญี่ปุ่น	13.0
น้ำมันมะกอก	
- ศึกษาในอิตาลี	109
- ศึกษาในญี่ปุ่น	4.1
น้ำมันถั่วลิสง	
	77
น้ำมันทานตะวัน	
- ศึกษาในอิตาลี	10 – 15
- ศึกษาในญี่ปุ่น	4.2
กลุ่มถั่วและธัญพืช	
ถั่วลิสง	
	26.7
ถั่วเหลือง	
- แบบแห้ง	6.8 – 19.0
- แบบสด	18.7
- แบบต้ม	12.1
- แบบหมัก (นัตโตะ)	5.6 – 10.0
- นมถั่วเหลือง	>2.5
ถั่วพิตาชิโอ	
	20.1
ถั่วอลันท์	
	19.0
ถั่วอัลมอนต์	
	5.0 – 13.8
เมล็ดข้าวโพด	
	7.0
เมล็ดข้าวสาลี	
	3.5 – 6.8
งา	
	17.6 – 23.0
ข้าว	
	4.9

ประเภทอาหาร	ปริมาณ CoQ10 (mg/kg)
กลุ่มผักและผลไม้	
พาร์สลี	7.5 – 26.4
บลี๊อคโคลี	5.9 – 8.6
ผักโขม	0.4 – 10.2
ผักกาดขาวป्ली	2.1 – 4.5
กระเทียม	2.7 – 3.5
พริกไทย	3.3
มะเขือเทศ	>0.9
หัวหอม	0.7 – 1.0
มันฝรั่ง	0.5 – 1.1
อะโวคาโด	9.5
ผลแบล็คเคอร์แรนท์	3.4
สตรอเบอร์รี่	1.4
ส้ม	1.0 – 2.2
ส้มโอ	1.3
แอปเปิ้ล	1.1 – 1.3
กล้วย	0.8
กีวี	0.5

ที่มา : เอกกราช (2559)

2.2.1 การสังเคราะห์ CoQ10 ในร่างกาย

CoQ10 สังเคราะห์ขึ้นที่ตับ (Palomäki et al., 1998) โดยกระบวนการ mevalonic acid pathway เป็นการเปลี่ยน acetyl CoA ให้เป็น farnesyl pyrophosphate (FPP) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ CoQ10 ร่วมกับกรดอะมิโนไทโรซีน และฟีนิลอะลานิน ร่วมกับวิตามิน 7 ชนิดได้แก่ วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน), วิตามินบี 3 (ไนอะซิน), วิตามินบี 5 (กรดแพนโทธีนิก), วิตามินบี 6 (ไพริดอกซิน), วิตามินบี 9 (กรดโฟลิก), วิตามินบี 12 (โคบาลามิน) และวิตามินซี โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างส่วนสายยาวของไอโซพรีน (isoprenoid sidechain)

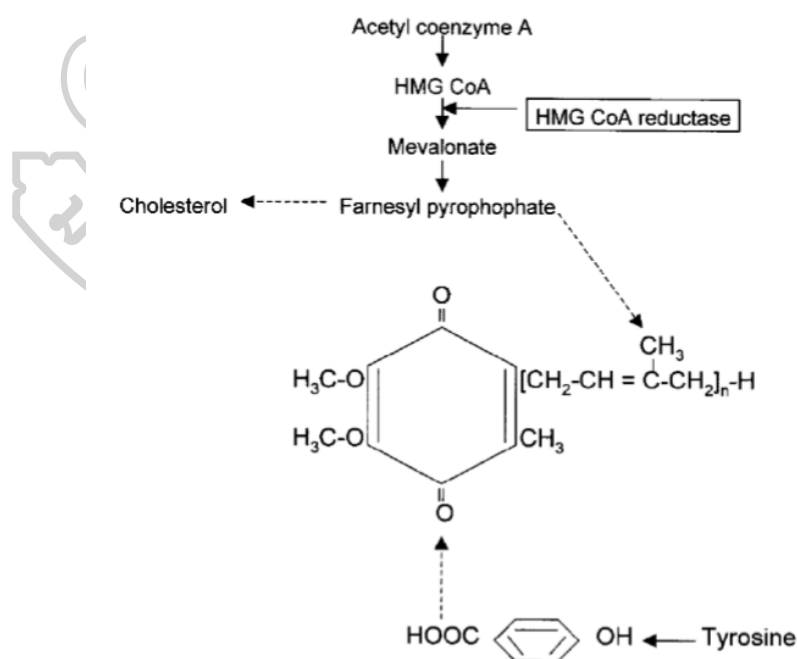
acetyl CoA 3 โมเลกุล ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ HMG-CoA synthase เป็น 3-hydroxy-3-methyl-glutaryl-coenzyme A (HMG-CoA) จากนั้นถูกเปลี่ยนเป็น mevalonate ด้วยเอนไซม์ HMG-CoA reductase แล้วถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น isopentenyl pyrophosphate (IPP) จากนั้นเปลี่ยนเป็น FPP ด้วย FPP synthase และเปลี่ยนเป็น polyprenyl diphosphate ด้วย trans-prenyl transferase

ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง 4-hydroxylbenzoate

4-hydroxylbenzoate เป็นส่วนวงแหวนควิโนนที่สร้างมาจากกรดอะมิโนไทโรซีน หรือกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน ซึ่งทำปฏิกิริยาร่วมกับวิตามินบี 5 (กรดแพนโทธีนิก), วิตามินบี 6 (ไพริดอกซีน) และวิตามินซี

ขั้นตอนที่ 3 การรวมตัวกันระหว่าง polyprenyl diphosphate กับ 4-hydroxylbenzoate

polyprenyl diphosphate รวมตัวกับ 4-hydroxylbenzoate โดยเอนไซม์ polyprenyl-4-hydroxy benzoic acid transferase กลายเป็น polyprenyl-4-OH-benzoate แล้วผ่านกระบวนการ C-hydroxylation, O-methylation, decarboxylation และ C-methylation จนได้ CoQ10 ในที่สุดดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสังเคราะห์ CoQ10 ในร่างกาย

ที่มา : Overvad et al. (1999)

กระบวนการสังเคราะห์ CoQ10 ภายในร่างกายจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 40 ปีขึ้นไป (Itagaki et al., 2010) นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกยังทำให้การสังเคราะห์ CoQ10 ในร่างกายลดลงได้อีก เช่น ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม พฤติกรรมการบริโภคที่ไม่เหมาะสม การพักผ่อนไม่เพียงพอ การติดเชื้อโรคบางโรค การได้รับยาหรือสารเคมี แม้แต่ความเครียด ล้วนมีผลต่อการสังเคราะห์ CoQ10 ในร่างกาย (Crane, 2001; Zmitek et al., 2008) เมื่อระดับของ CoQ10 ลดลง ร่างกายจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานจากอาหารให้อยู่ในรูปที่ร่างกายนำไปใช้ได้ เซลล์หรืออวัยวะต่าง ๆ ก็ทำงานได้ไม่เต็มที่ ทำให้เกิดการเจ็บป่วยร่างกายอ่อนเพลีย ระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมสภาพตามมาได้ ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการได้รับ CoQ10 จากอาหารในปริมาณที่สูงขึ้น (Crane, 2001) โดยปริมาณที่แนะนำต่อวันของ CoQ10 คือ 30-100 มิลลิกรัม (Pravst et al., 2009)

2.2.2 การดูดซึมและเมตาบอลิซึมของ CoQ10

CoQ10 จัดอยู่ในประเภทสาร hydrophobic สามารถละลายได้ดีในน้ำมัน จึงมีกลไกการดูดซึมคล้ายวิตามินและสารอาหารอื่น ๆ ที่ละลายได้ในน้ำมัน การดูดซึมเริ่มจากเมื่อรับประทานเข้าไป แล้วถูกย่อยที่กระเพาะอาหาร และปลดปล่อย CoQ10 ออกมา เข้าสู่ลำไส้เล็กแล้วดูดซึมที่ลำไส้เล็กเข้าสู่ท่อน้ำเหลือง (thoracic duct) จากนั้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปรีดิวซ์ ด้วยเอนไซม์ยูบิควิโนรีดักเทส (ubiquinone reductase enzyme) เข้าสู่กระแสเลือด ด้วยคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อยมาก และน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงทำให้ CoQ10 ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อย (poor bioavailability) แต่สามารถดูดซึมได้ดีขึ้นเมื่อทานอาหารที่มีไขมันร่วมด้วย (Mason, 2005; Zmitek et al., 2008) CoQ10 ถูกทำลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความชื้น ออกซิเจน และแสง ดังนั้นการทำเอนแคปซูลจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลาย ช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่าย และช่วยป้องกัน CoQ10 จากการถูกทำลายได้ (Augustin & Sanguansri, 2012)

CoQ10 จะถูกเผาผลาญ (metabolism) ได้ในทุกเซลล์ และจะได้สาร metabolites ของ CoQ10 ขนส่งในระบบไหลเวียนเลือดเข้าสู่ไต แล้วถูกขับออกจากร่างกาย

2.2.3 ประโยชน์ของ CoQ10

มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ CoQ10 ในการป้องกัน และบำบัดโรค (Ankola et al., 2007; Pravst et al., 2010) อย่างเช่น

โรกระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular disease) โดยปกติร่างกายจะสามารถผลิต CoQ10 ขึ้นได้เอง แต่ปริมาณจะลดน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้น หัวใจเป็นอวัยวะที่ต้องการและมีการใช้พลังงานที่สูง จึงพบว่าเป็นอวัยวะที่เกิดกระบวนการ metabolism สูงมาก การขาด CoQ10 ซึ่งเป็นสารสำคัญในการสร้างพลังงานจึงมีผลกระทบต่อหัวใจ และอาจนำไปสู่สภาวะหัวใจล้มเหลว ในคนไข้โรคหัวใจส่วนมากจะพบการเสื่อมของกล้ามเนื้อหัวใจอยู่ด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากการได้รับเลือดที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำไปเลี้ยงหรือมีการอักเสบของกล้ามเนื้อหัวใจ CoQ10 จะเป็นตัวป้องกันและรักษาการเสื่อมดังกล่าวด้วยการให้สารอาหารที่จำเป็นในระดับเซลล์ (Kumar et al., 2009)

ภาวะหัวใจล้มเหลวเนื่องจากเลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่เพียงพอ (Congestive Heart Failure : CHF) คือสภาวะที่หัวใจไม่สามารถสูบฉีดเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมักเกิดจากภาวะแทรกซ้อนจากความดันโลหิตสูง ความผิดปกติของลิ้นหัวใจ หรือกล้ามเนื้อหัวใจโต โดยเป็นผลมาจากกล้ามเนื้อหัวใจอ่อนแรงซึ่งวัดจากระดับของ ATP และ CoQ10 (Morisco et al., 1993)

ความดันโลหิตสูง (hypertension) พบว่าคนที่มีภาวะความดันโลหิตสูงจะมีระดับ CoQ10 ที่ต่ำ การรับประทาน CoQ10 ไม่ได้ช่วยเฉพาะผู้ที่ขาดเท่านั้น CoQ10 แต่ยังช่วยในกระบวนการ metabolism ที่ผิดปกติ การรับประทาน CoQ10 ช่วยลดการทำลายผนังหลอดเลือดจากอนุมูลอิสระ ช่วยลดแรงต้านทานของผนังหลอดเลือด ทำให้ประสิทธิภาพในการสูบฉีดเลือดของหัวใจดีขึ้น ลดระดับความดันโลหิตลงได้ (Kumar et al., 2009)

กล้ามเนื้อหัวใจอ่อนแรง และหัวใจโต (cardiomyopathy) คือสภาวะที่กล้ามเนื้อหัวใจขาดประสิทธิภาพในการบีบตัวสูบฉีดเลือด ซึ่งผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้นักจะพบว่ามีอาการขาด CoQ10 ส่งผลให้ไมโตคอนเดรียไม่สามารถสร้างพลังงาน (ATP) ได้อย่างสมบูรณ์ กล้ามเนื้อหัวใจจึงไม่มีพลังงานในการหดหรือคลายตัวได้อย่างปกติ

มะเร็ง (cancer) จากความสามารถในการเพิ่มภูมิคุ้มกันและกำจัดอนุมูลอิสระ CoQ10 จึงถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง โดยเฉพาะในการใช้ร่วมกับผู้ป่วยที่รักษาด้วยยาเคมีบำบัด (chemotherapy) ซึ่งการรักษาด้วยวิธีดังกล่าวพบว่ายาเคมีบำบัดหลายชนิดเกิดพิษ หรือมีผลกระทบต่อหัวใจ การให้ CoQ10 จะช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับหัวใจจากการรักษาได้

โรคเกี่ยวกับเหงือก เหงือกทำหน้าที่ในการยึดและพยุงฟันให้คงอยู่ในช่องปาก โรคเหงือกที่เป็นปัญหาและพบได้บ่อยเกิดจากคราบจุลินทรีย์ที่ถูกปล่อยทิ้งสะสมอยู่บนตัวฟัน ซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อต่าง ๆ จากการวิจัยพบว่า การรับ CoQ10 เข้าไปในร่างกาย จะช่วยลดและบรรเทาอาการเหงือกบวมรวมถึงอาการฟันโยก (periodontitis) ได้

2.3 เอนแคปซูเลชัน (encapsulation)

กระบวนการเอนแคปซูเลชันเป็นการดักจับสารที่ต้องการไว้ภายในสารอีกชนิดที่เป็นตัวห่อหุ้ม โดยสามารถเรียกสารที่ถูกห่อหุ้มได้หลากหลาย เช่น core material, the active agent, fill, internal phase หรือ payload phase และสารที่มาห่อหุ้มสามารถเรียกได้หลากหลายเช่นกัน เช่น the coating, membrane, shell, carrier material, wall material, external phase, หรือ matrix สารที่นำมาห่อหุ้มต้องสามารถใช้ในการผลิตอาหาร หรือกระบวนการผลิตอาหารได้ โดยต้องเป็นเกรดที่ใช้สำหรับอาหารเท่านั้น และต้องสามารถเข้ากันได้ดีกับสารที่ถูกห่อหุ้ม

มีสารหลายชนิดที่มีคุณสมบัตินำมาห่อหุ้มสารได้ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ แต่มีสารเพียงไม่กี่ชนิดที่ได้รับการยอมรับ และมีความปลอดภัยสำหรับการนำมาห่อหุ้ม เป็นที่น่าสังเกตว่า วัตถุเจือปนอาหารมีข้อจำกัดที่เข้มงวดมากกว่ายา และเครื่องสำอางค์ ดังนั้นสารห่อหุ้มบางชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยา จึงไม่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ นอกจากนี้ข้อบังคับของแต่ละประเทศ ยังแตกต่างกัน จึงก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ผลิตที่ต้องการขยายตลาดไปสู่ต่างประเทศ

กระบวนการเอนแคปซูเลชัน สามารถช่วยตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการอาหารอร่อย มีประโยชน์ และต้องการความสะดวกสบายในการปรุงอาหาร เนื่องจากการทำเอนแคปซูเลชันสามารถช่วยให้กลิ่น และรสชาติของอาหารมีความโดดเด่นมากขึ้น ช่วยลดกลิ่นรสที่ไม่ดีของอาหาร เพิ่มความคงตัว และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ลดการเคลื่อนที่ของเซลล์ หรือลดการทำงานของเอนไซม์ในวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์

แม้ว่าจะมีการประยุกต์ใช้เอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร แต่เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ยังใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนัก เทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจเช่น co-crystallization และ liposome สามารถช่วยให้กระบวนการเอนแคปซูเลชันมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมี cyclodextrin ที่สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวต่อกระบวนการ oxidation และช่วยลดการระเหย ทั้งยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ และได้รับการยอมรับจาก FDA จึงส่งผลทำให้ cyclodextrin มีแนวโน้มถูกใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร (Jackson & Lee, 1991)

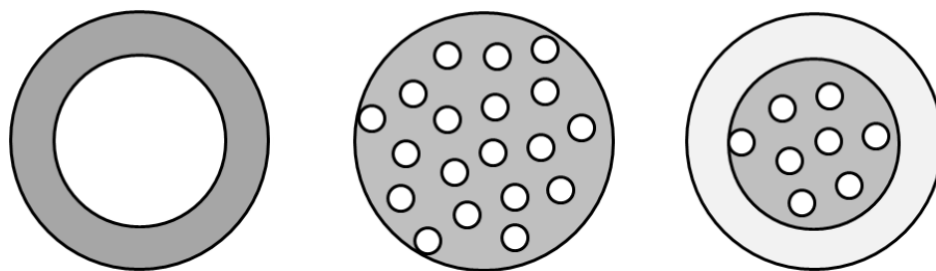
วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร คือ สารชีวโมเลกุล (Biomolecules) นอกจากโพลีเมอร์คาร์โบไฮเดรต หรือพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นสารสำคัญที่ใช้กันแล้ว โปรตีนและไขมันยังเป็นสารชีวโมเลกุลที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร ตารางที่ 4 แสดงกลุ่มของสารชีวโมเลกุลที่เหมาะสมต่อกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร

ตารางที่ 4 วัสดุที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร

แหล่งที่มา	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน
พืช	แป้ง - อนุพันธ์ของแป้ง เซลลูโลส - อนุพันธ์ของเซลลูโลส ยางพืช (plant exudates) - Gum arabic - Gum karaya - Mesquite gum สารสกัดจากพืช - Galactomannans - Soluble soybean	กลูเตน (ข้าวโพด), isolates (ถั่ว , ถั่ว เหลือง)	กรดไขมัน/ แอลกอฮอล์ กลีเซอไรด์ แว็กซ์ ฟอสโฟลิพิด
สาหร่ายทะเล	คาราจีแนน แอลจีเนต		
จุลินทรีย์ / สัตว์	แซนแทน เจลาติน เคิร์กแตรน ไคโตซาน	เคซีน เวย์โปรตีน เจลาติน	กรดไขมัน/ แอลกอฮอล์ กลีเซอไรด์ แว็กซ์ ฟอสโฟลิพิด (เซลแล็ก)

ที่มา : Wandrey et al. (2010)

เอนแคปซูเลชันสามารถแยกได้ 3 ลักษณะคือ reservoir type, matrix type และ coated matrix type (ภาพที่ 4) reservoir type เป็นการเคลื่อนสาร active agent ไว้ภายในโดยมีสารเคลือบเคลือบอยู่รอบ ๆ สามารถเรียกอีกอย่างได้ว่า capsule, single-core, mono-core หรือ core-shell type เอนแคปซูเลชันแบบ reservoir type ถูกทำลายได้เมื่อมีความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง จะทำให้สาร active agent หลุดออกมา



ภาพที่ 4 ประเภท reservoir type (ซ้าย) ประเภท matrix type (กลาง) และชนิด coated matrix type (ขวา) ชนิด coated matrix type เป็นการรวมกันของสองแบบแรก โดยที่วงกลมสีขาวแทน active agent และวงกลมสีเทาแทน carrier material เอนแคปซูลชนิด matrix type ต้องอยู่ในรูปของ droplets ขนาดเล็กหรือกระจายตัวอยู่ในอนุภาคทั้งหมด

ที่มา : Zuidam and Shimoni (2010)

เอนแคปซูลชั้นอาจแบ่งได้ตามขนาดของอนุภาค เช่น nanoparticles, microcapsules และ microreservoir เป็นต้น โดยประโยชน์ของเอนแคปซูลชั้น ในผลิตภัณฑ์อาหารมีดังนี้

1. ควบคุมสาร active agent ได้อย่างดีเยี่ยม เช่น เปลี่ยน active agent ที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นผงที่ dust free และ free flowing รวมทั้งอาจให้กลิ่นที่ดีมากขึ้น
2. ลดการเคลื่อนที่ของ active agent ในระบบการแปรรูปอาหาร
3. เพิ่มความคงตัวในระหว่างการแปรรูปอาหาร และในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เช่น ลดการระเหยของสารที่สามารถระเหยได้ใน active agent ลดหรือเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาของส่วนประกอบอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น น้ำ หรือออกซิเจน
4. เพิ่มการป้องกัน เช่น ลดการระเหยของกลิ่นในน้ำมันหอมระเหย
5. สร้างลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส
6. ปรับปรุงคุณสมบัติของส่วนประกอบ active (ขนาดอนุภาค โครงสร้างการละลายน้ำ หรือน้ำมัน และสี)
7. ปกปิดรสชาติ
8. ควบคุมการปลดปล่อย (ซึ่งจะเกิดการปลดปล่อยโดยมีตัวกระตุ้น)

แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าเอนแคปซูลชั้นยังมีข้อเสียทางด้านต่าง ๆ เช่น

1. ต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น
2. เพิ่มความซับซ้อนของกระบวนการผลิต หรือห่วงโซ่การผลิต

3. คำวิจารณ์ของผู้บริโภค (ด้านลักษณะปรากฏ หรือเนื้อสัมผัส) เมื่อมีการทำเอนแคปซูเลชันในผลิตภัณฑ์อาหาร
4. ความคงตัวของระบบเอนแคปซูเลชันระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากข้อเสียดังกล่าว จึงไม่ควรเลือกการเอนแคปซูเลชันเป็นอันดับแรกในการนำมาใช้ในสูตรอาหาร แต่ควรเลือกวิธีที่ง่ายในการผลิต อย่างไรก็ตามเอนแคปซูเลชันจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นรสที่ดี และเพิ่มความเสถียรมากขึ้น จึงส่งผลให้มีความต้องการกระบวนการเอนแคปซูเลชันเพิ่มสูงขึ้นในช่วงที่ผ่านมา (Frost & Sullivan, 2005)

2.3.1 กระบวนการเอนแคปซูเลชัน

กระบวนการเอนแคปซูเลชันจะเริ่มจากการทำให้ active agent เป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยสาร carrier ที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีผลิตที่แตกต่างกันดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กระบวนการเอนแคปซูเลชัน

ประเภท	ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะ	Load (%)	ขนาดอนุภาค (μm)
Spray-drying	1. กระจาย หรือละลาย active agent ในสารเคลือบ 2. ฉีดพ่นเป็นละออง 3. ทำแห้ง	Matrix	5 - 50	10 - 400
Fluid bed coating	1. Fluidize ผง active agent 2. พ่นสารเคลือบ 3. ทำแห้ง หรือทำเย็น	Reservoir	5 - 50	5 - 5000
Spray-chilling/ cooling	1. กระจาย หรือละลาย active agent ในสารละลายที่ร้อน 2. ฉีดพ่นเป็นละออง 3. ทำเย็น	Matrix	10 - 20	20 - 200

ประเภท	ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะ	Load (%)	ขนาดอนุภาค (μm)
Melt injection	<ol style="list-style-type: none"> 1. ละลายสารเคลือบ 2. กระจาย หรือละลาย active agent ในสารเคลือบ 3. บีบอัด 4. ทำให้เย็น และทำแห้ง 	Matrix	5 - 20	200 - 2000
Melt extrusion	<ol style="list-style-type: none"> 1. ละลายสารเคลือบ 2. กระจาย หรือละลาย active agent ในสารเคลือบ 3. บีบอัด (extrude) ด้วยเครื่อง extruder แบบสกรูคู่ 4. ทำให้เย็น 	Matrix	5 - 40	300 - 5000
Emulsification	<ol style="list-style-type: none"> 1. ละลาย active agent และสาร emulsifier ในน้ำ หรือน้ำมัน 2. ผสมน้ำและน้ำมันโดยใช้แรง shear 	Matrix	1 - 100	0.2 - 5000
การเตรียม emulsions ชนิด multilayer	<ol style="list-style-type: none"> 1. เตรียม emulsion ชนิด น้ำมันในน้ำ (o/w) โดยใช้ สาร lipophilic ในส่วนน้ำมันและ ใช้สาร emulsifier ชนิด ionic 2. ผสมสารละลายน้ำที่มีสาร oppositely charged polyelectrolytes 3. เอาส่วน polyelectrolytes ที่เกินมาออกไป 4. ทำซ้ำข้อ 2 และ 3 	Reservoir	1 - 90	0.2 - 5000

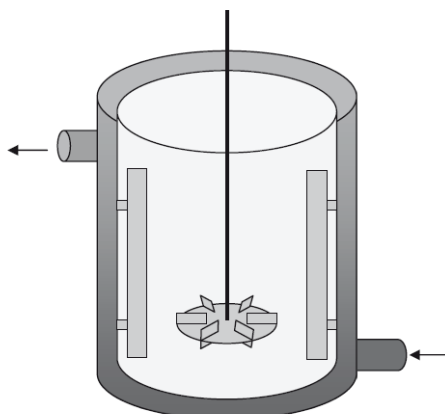
ประเภท	ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะ	Load (%)	ขนาดอนุภาค (μm)
Coacervation	<ol style="list-style-type: none"> เตรียม emulsion ชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) โดยใช้สาร lipophilic ในส่วนน้ำมัน ผสมภายใต้สภาวะ turbulent กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา ทำเย็น 	Reservoir	40 – 90	10 – 800
การเตรียม microspheres ผ่าน extrusion หรือ dropping	<ol style="list-style-type: none"> ละลายหรือ กระจาย active agent ในสารละลาย alginate หยดลงในอ่างเจล 	Matrix	20 - 50	200 - 5000
การเตรียม microspheres ผ่าน ระบบ emulsion	<ol style="list-style-type: none"> ผสมน้ำกับ biopolymer ในส่วนน้ำมัน ใส่เจลโดยใช้แรง shear 	Matrix	20 - 50	10 - 1000
Co-extrusion	<ol style="list-style-type: none"> ละลายหรือกระจาย active agent ในน้ำมัน เตรียมส่วนน้ำ หรือน้ำมันที่จะนำมาเคลือบ ใช้หัวฉีดชนิด concentric และใช้แรงดัน โดยให้ส่วนน้ำมันผ่านด้านในของหัวฉีด และส่วนน้ำผ่านด้านนอกของหัวฉีด หยดลงในอ่างเจล หรือ อ่างน้ำเย็น 	Reservoir	70 - 90	150 - 8000
Inclusion complexation	<ol style="list-style-type: none"> ผสมสาร carrier, active agent และน้ำเข้าด้วยกัน บ่ม หรือทำแห้งถ้าหากจำเป็น 	Molecular inclusion	5 - 15	0.001 – 0.01

ประเภท	ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะ	Load (%)	ขนาดอนุภาค (μm)
Liposome entrapment	<ol style="list-style-type: none"> 1. กระจายโมเลกุลของน้ำมันในน้ำ โดย active agent อยู่ในในส่วนของน้ำมันหรือน้ำ 2. ลดขนาดโดยใช้แรง shear ที่สูง หรือใช้ extrusion 3. นำ active agent ส่วนเกินออก 	Various	5 - 50	10 - 1000
เอนแคปซูเลชันด้วย supercritical fluid (RESS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. กระจาย active agent และละลายหรือทำให้พองใน supercritical fluid 2. ปล่อยให้สารตกตะกอนใน active agent 	Matrix	20 - 50	10 - 400
การทำแห้งโดยการแช่แข็ง หรือสุญญากาศ	<ol style="list-style-type: none"> 1. กระจาย หรือละลาย active agent ใน carrier material ที่ละลายอยู่ในน้ำ 2. แช่แข็งตัวอย่าง 3. ทำแห้งภายใต้ความดันต่ำ 4. ทำการอบ 	Matrix	Various	20 - 5000
การเตรียมอนุภาคนาโน	มีหลากหลายวิธี	Various	Various	0.1 - 1

ที่มา : Zuidam and Shimoni (2010)

2.3.2 ระบบอิมัลชัน

ความคงตัวของระบบอิมัลชันของสาร 2 เฟสคือน้ำมัน และน้ำ ขึ้นอยู่กับการกำหนดสูตร และวิธีการผลิตที่เหมาะสมของสารทั้ง 2 เฟส รวมไปถึงการเลือกใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่เหมาะสมจะช่วยให้อิมัลชันคงตัวได้ดี (Appelqvist et al., 2007; McClements, 2015) ระบบอิมัลชันมักเตรียมโดยการใช้แรงเฉือนที่สูง เช่น homogenizer, colloid mill, high shear mixer หรือ stirred vessel ที่ติดตั้งแผ่น baffles กัน (ดังภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การติดตั้งแผ่น baffles กั้นในถังกวนที่ใช้เตรียมระบบอิมัลชัน
ที่มา : Zuidam and Shimoni (2010)

โดยทั่วไประบบอิมัลชันสามารถช่วยนำส่งสารที่สามารถละลาย และไม่ละลายในน้ำของผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Appelqvist et al., 2007) โดยมีข้อพิจารณา 2 ประการที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างระบบอิมัลชันเพื่อควบคุมการจัดส่งสาร ประการแรกคือ ระบบอิมัลชันต้องสามารถจับเก็บสารที่ต้องการไว้ได้ตลอดการใช้งาน และประการที่สองคือ การนำอิมัลชันไปใช้งานต้องสอดคล้องกับลักษณะของสารที่ต้องการจะส่ง

สารออกฤทธิ์ที่สามารถละลายได้ในน้ำ อาจถูกทำแอนแคปซูลชันในระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O) หรือดับเบิลอิมัลชัน (W/O/W) ในขณะที่สารที่ละลายได้ดีในไขมัน เช่น กลิ่น แคโรทีนอยด์ (ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน) สเตอรอลจากพืช วิตามินอี และไขมัน ต้องได้รับการป้องกันโดยระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W) (Appelqvist et al., 2007)

อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำอาจทำแห้งได้โดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray-drying) หรือการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-drying) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง สามารถนำไปเติมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม หรือผลิตภัณฑ์อาหารได้ทันที

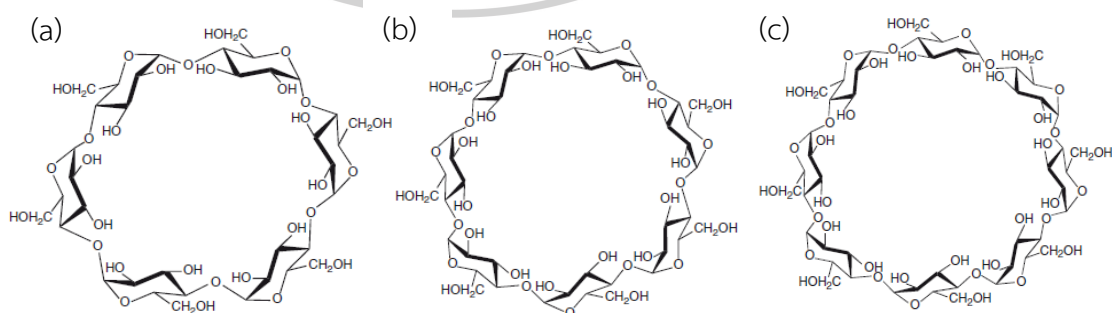
การใช้งานระบบอิมัลชันในรูปแบบอื่น ๆ เป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของน้ำมันหรือไขมันในน้ำ ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของไขมัน ตามด้วยการระบายความร้อนในระหว่างการผสม (Mellema et al., 2006) โดยเป็นทางเลือกสำหรับกระบวนการ spray chilling/spray cooling แต่อย่างไรก็ตาม active agent ที่สามารถละลายได้ในน้ำ อาจไม่ถูกเคลือบด้วยไขมัน

2.3.3 ไมโครอิมัลชัน

ไมโครอิมัลชันประกอบด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นถุงปิดลักษณะกลม ๆ อย่างน้อย 1 ถุง ในถุงกลมประกอบด้วยเยื่อหุ้มซึ่งทำจากโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เช่นการสร้างไลโปโซมของสารที่ชอบและไม่ชอบน้ำ active agent สามารถถูกกักเก็บไว้ภายในช่องว่างด้านในเยื่อหุ้ม มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 30 นาโนเมตร ไปจนถึงระดับไมครอน โดยถุงทรงกลมขนาดเล็กนี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการใช้แรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) และการใช้สารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ในการขัดขวางการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค (steric stabilization) เช่น การเติมไขมันที่ผิวของเยื่อหุ้ม ปัจจุบันมีการศึกษา และใช้ไลโปโซมในอุตสาหกรรมยา (Vladimir & Weissig, 2003) และอาหาร (Were et al., 2003; Gouin, 2004; Taylor et al., 2005; Kosaraju et al., 2006; Mozafari et al., 2006; Takahashi et al., 2007) แต่มีข้อจำกัดมากมายในการใช้งาน คือความไม่คงตัวด้านเคมีและกายภาพ ในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหารแบบอิมัลชัน ได้ผลผลิตที่ต่ำ เกิดการรั่วของไลโปโซมชนิด water-soluble ในระหว่างการเก็บรักษา และค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบ (Zuidam et al., 2003) ปัจจุบัน ไลโปโซมได้ถูกนำมาใช้ในระบบการส่งยา อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ไลโปโซมในอุตสาหกรรมอาหารยังไม่แพร่หลาย

2.3.4 สารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเดกซ์ทริน

สารประกอบเชิงซ้อน กับไซโคลเดกซ์ทรินเป็นการรวม active agent ไว้ในโพรงของสารห่อหุ้มคือ ไซโคลเดกซ์ทริน (Hedges, 1998; Szente & Szejtli, 2004) ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดวงแหวน ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกลูโคส 6-8 โมเลกุล เชื่อมโยงกันเป็นวงแหวนด้วยพันธะอัลฟา 1-4 ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของไซโคลเดกซ์ทริน (a) แอลฟา-ไซโคลเดกซ์ทริน (b) เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน และ (c) แกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ที่มา : Wandrey et al. (2010)

ไซโคลเดกซ์ทรินชนิดแอลฟา เบต้า และแกมมา มีจำนวนกลูโคส 6, 7 และ 8 โมเลกุลตามลำดับ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 14, 15 และ 17 Å ไซโคลเดกซ์ทรินมีส่วนที่ไม่มีขั้ว ภายในวงแหวนซึ่งมีประมาณ 5 – 8 Å โดย active agent ที่มีขนาดเหมาะสมและอยู่ในโพรง จะสามารถละลายเป็นของเหลวได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของไซโคลเดกซ์ทริน การบรรจุสารของไซโคลเดกซ์ทรินสามารถทำได้โดยวิธีการตกตะกอน (coprecipitation) ในสารละลายน้ำ (โดยวิธีการในห้องปฏิบัติการ) โดยการละลายไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำ (ไม่เกิน 45% w/w), โดยใช้สารละลายชั้นหนืดมีน้ำ 20 – 30% หรือใช้วิธีผสมแบบแห้ง (Hedges, 1998) อุณหภูมิ เวลา ปริมาณของน้ำ active agent และไซโคลเดกซ์ทริน เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพและอัตราการบรรจุในโพรง เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นชนิดที่นิยมใช้งานมากที่สุด ไซโคลเดกซ์ทรินอาจแตกแขนงออกไป เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำ โดยคุณสมบัติของไซโคลเดกซ์ทรินดังแสดงในตารางที่ 6

อย่างไรก็ตามไซโคลเดกซ์ทรินยังจำกัดไม่ให้เห็นในบางประเทศ ในประเทศญี่ปุ่นไซโคลเดกซ์ทริน ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ในประเทศสหรัฐอเมริกา แอลฟา, เบต้า และแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทรินได้ผ่านการรับรองโดยองค์การอาหารและยา (FDA) ว่าสามารถใช้เติมลงไปในการรับประทานได้อย่างปลอดภัย (GRAS status) อย่างไรก็ตาม EU ได้ยินยอมให้ใช้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์เพียงบางชนิด (หมากฝรั่ง มันฝรั่ง ซีเรียล แป้งที่ใช้ผลิตขนมขบเคี้ยว และในเครื่องดื่ม ในปริมาณน้อยกว่า 1 กรัม/กิโลกรัม) และแอลฟา-ไซโคลเดกซ์ทรินจัดอยู่ในสถานะ regulatory เนื่องจากเป็นสิ่งแปลกใหม่ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน ยังไม่มีการระบุสถานะโดย EU



ตารางที่ 6 คุณสมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน

คุณสมบัติ	α - cyclodextrin	β - cyclodextrin	γ - cyclodextrin
จำนวนกลูโคส	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	972	1135	1297
ความสามารถในการละลายน้ำที่ 25°C (g/mol)	14.5	18.5	23.2
เส้นผ่าศูนย์กลางของโพรง (Å)	4.7 – 5.3	6.0 – 6.5	7.5 – 8.3
ความสูงของ torus	7.9 ± 0.1	7.9 ± 0.1	7.9 ± 0.1
เส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก (Å)	14.6 ± 0.4	15.4 ± 0.4	17.5 ± 0.4
ปริมาตรของโพรง (Å)	174	262	427
ปริมาตรความจุใน 1 โมล (ml)	104	157	256
ปริมาตรความจุใน 1 กรัม (ml)	0.10	0.14	0.20
รูปแบบผลึก (จากในน้ำ)	hexagonal plates	Monoclinic parallelograms	quadratic prisms
crystal water, wt %	10.2	13.2 – 14.5	8.13 – 17.7
ค่าการกระจายตัวที่ 40°C	3.443	3.224	3.000
การย่อยสลายโดยเอนไซม์ oryzae α -amylase	ไม่สลาย	ช้า	เร็ว
ค่า Vmax (min ⁻¹)	5.8	166	2300
ความสัมพันธ์แรงต้านสนามไฟฟ้า (relative permittivity) ต่อการรวมกลุ่ม toluidinyl ของ 6-p-toluidinyl naphthalene 2-sulfonate ที่ pH 5.3, 25°C	47.5	52.0	70.0
ค่า pK (โดยวัดค่าความต่างศักย์) ที่ 25°C	12.332	12.202	12.081
ปริมาตรโมเลกุลในสารละลาย (mL/mol)	611.4	703.8	801.2
การบีบอัดโดยปราศจากความร้อนในสารละลายน้ำ (mL)	7.2	0.4	-5.0

ที่มา : Szejtli (1998)

2.4 การประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูลชัน CoQ10

มีงานวิจัยเกี่ยวกับการทำเอนแคปซูลชันของ CoQ10 เพื่อช่วยรักษาคุณภาพประโยชน์ และเพิ่มประสิทธิภาพของ CoQ10 ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยรูปแบบในการเตรียม CoQ10 ได้แก่ อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเดกซ์ทริน เป็นต้น

ตารางที่ 7 งานวิจัยเกี่ยวกับการเอนแคปซูลชัน CoQ10

รูปแบบของ CoQ10	แหล่งอ้างอิง	ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย
emulsion	Barakat et al. (2013)	ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซึม (fraction absorbed) ของระบบนำส่งยาชนิดอิมัลชันในตัว SEDDS (Self-emulsifying drug delivery systems) ในมนุษย์พบว่า SEDDS มีร้อยละการดูดซึมที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบนำส่งทั่วไป
	Thanatuksorn et al. (2009)	ศึกษาการเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 โดยวิธีอิมัลชันที่เตรียมจากไขมัน และสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในระบบอาหาร พบว่าระบบอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันมะพร้าว สารละลายหางนม และ CSL (calcium stearoyl-2-lactate) เป็นสารลดแรงตึงผิวให้ผลในการเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ได้ดีกว่าสารมาตรฐานทางการค้าของผลิตภัณฑ์ CoQ10
	Ochiai et al. (2007)	ศึกษาการเพิ่มการดูดซึม CoQ10 ในลำไส้โดยอาหาร พบว่าระบบอิมัลชันสามารถช่วยเพิ่มการดูดซึมได้ดีกว่าสูตร suspension
	Kommuru et al. (2001)	ศึกษาการพัฒนาสูตรระบบนำส่งยาชนิด SEDDS ของ CoQ10 พบว่าสามารถช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับผง CoQ10

รูปแบบของ CoQ10	แหล่งอ้างอิง	ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย
	Pinar Ercan and El (2012)	ศึกษาปริมาณ CoQ10 ที่ผ่านการทำแอนแคปซูลชันด้วยวิธีอิมัลชันในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพบว่าสามารถช่วยเพิ่มความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของ CoQ10 สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีนาโนอิมัลชัน และวิธีการทำสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน
Microemulsion และ nanoemulsion	Chen et al. (2013)	ศึกษาการใช้เทคนิคระบบของไหลจุลภาค (microfluidics) ร่วมกับการใช้แรงดันในการเตรียมโครงสร้างระดับนาโนของ CoQ10 (coenzyme Q10 loaded nanostructured lipid carriers: Q10-NLC) เพื่อให้สามารถซึมผ่านเข้าสู่ผิวหนัง พบว่า Q10-NLC สามารถซึมผ่านผิวหนังหนุททดลองได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ
	Belhaj et al. (2012)	ศึกษาการกำหนดลักษณะและการศึกษาทางเภสัชจลนศาสตร์ของ CoQ10 ในระบบนาโนอิมัลชัน โดยใช้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid) (น้ำมันและเลซิทินแซลมอน) พบว่าช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ในหนุททดลองได้ดีกว่าน้ำมันธรรมดาทั่วไป
สารประกอบเชิงซ้อนกับไฮโคลเดกซ์ทริน	Fir et al. (2009)	พบว่าเบต้าและแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำ และเพิ่มความคงตัวต่อแสง UV และอุณหภูมิที่สูง (80°C) ได้ดีกว่าผง CoQ10

รูปแบบของ CoQ10	แหล่งอ้างอิง	ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย
	Žmitek et al. (2008)	ศึกษาความสัมพันธ์ของชีวภาพพร้อมใช้ของ วิธีที่ช่วยให้ CoQ10 สามารถละลายได้ในน้ำ พบว่า CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรีนสถานะของเหลวช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบ เทียบกับรูปแบบสารเชิงซ้อนกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรีน และรูปแบบผง รวมทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำ
	Bhagavan et al. (2007)	ศึกษาการดูดซึมของ CoQ10 โดยวิธี Caco-2 cell และชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 พบว่า CoQ10 ในรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรีนมีค่าการดูดซึม และค่าชีวภาพพร้อมใช้สูงกว่าสูตรผง CoQ10 สูตรเม็ดยาและสูตรแคปซูล softgel
	Gao et al. (2006)	ศึกษาการเพิ่มการละลายและชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 โดยรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรีน พบว่ารูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรีนสามารถช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ได้ดีกว่า เมื่อเปรียบ เทียบกับแอลฟา หรือเบต้าไซโคลเดกซ์ทรีน และ 2-ไฮดรอกซีโพรพิลเบต้าไซโคลเดกซ์ทรีน
	Terao et al. (2006)	ศึกษาการเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 โดยใช้รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรีน เปรียบเทียบกับ microcrystalline cellulose ในผู้สูงอายุ พบว่าสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรีนสามารถช่วยเพิ่มระดับ CoQ10 ในเลือดได้ดีกว่าชนิด microcrystalline cellulose อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

รูปแบบของ CoQ10	แหล่งอ้างอิง	ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย
รูปแบบอื่น ๆ	Shao et al. (2015)	ศึกษาผลกระทบของ TPGS-chitosome (D- α -tocopheryl polyethylene glycol 1000 succinate) ในการเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 พบว่าสามารถช่วยเพิ่มการซึมเข้าสู่เซลล์ (cellular uptake) ของ CoQ10 ในระบบ caco-2 cell ได้ดีกว่าชนิด TPGS-liposome และ chitosome เพียงอย่างเดียว
	Matsushita et al. (2013)	ศึกษาการเพิ่มการละลายของ CoQ10 โดยใช้ albumin hydrolysate พบว่าสามารถช่วยเพิ่มการละลายได้สูงกว่า CoQ10 รูปแบบผง
	Liu et al. (2012)	ศึกษาการประยุกต์ใช้โครงสร้างระดับนาโนของตัวพาไขมันในอาหารเพื่อเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ พบว่าโครงสร้างระดับนาโนของตัวพาไขมัน CoQ10 ช่วยเพิ่มความคงตัวในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ในหนูทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับกระกระจายตัวทั่วไปของ CoQ10
	Ozaki et al. (2010)	ศึกษาผลของ gum arabic ที่ใช้ในการทำ emulsification ของ CoQ10 พบว่าสามารถช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ในหนู และในมนุษย์ และเพิ่มความคงตัวในกระบวนการผลิตอาหารได้
	Wajda et al. (2007)	ศึกษาการเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 และวิตามินอี พบว่าการใช้เทคโนโลยี NanoSolve ช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ได้ 5 เท่าและ 10 เท่าสำหรับวิตามินอี เมื่อเปรียบเทียบกับสารที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยี NanoSolve

รูปแบบของ CoQ10	แหล่งอ้างอิง	ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย
	Zaghloul et al. (2002)	ศึกษาชีวภาพพร้อมใช้ของสูตร CoQ10 ในสุนัข พบว่าสูตร soft gelatin ที่ใช้ CoQ10 ในรูป reduced form สามารถช่วยเพิ่มชีวภาพพร้อมใช้ในสุนัขได้สูงกว่าสูตรผงอย่างมีนัยสำคัญ
	Weis et al. (1994)	ศึกษาชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ที่เตรียมแตกต่างกัน 4 สูตรคือแคปซูลชนิดแข็งซึ่งมีส่วนประกอบคือ CoQ10 100 mg และ emcompress 400 mg และแคปซูลชนิดนิ่ม 3 ชนิด โดยชนิดที่ 1 ประกอบด้วย CoQ10 100 mg และน้ำมันถั่วเหลือง 400 mg ชนิดที่ 2 ประกอบด้วย CoQ10 100 mg polysorbate 80 20 mg เลซิทีน 100 mg และน้ำมันถั่วเหลือง 280 mg และชนิดที่ 3 ประกอบด้วย CoQ10 100 mg polysorbate 80 20 mg และน้ำมันถั่วเหลือง 380 mg พบว่าแคปซูลชนิดนิ่มให้ค่าชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ที่สูงกว่าชนิดอื่นในอาสาสมัคร



บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1 แป้งสาลี (ตราว่าว, บริษัท ยูเอฟเอ็มฟู้ดเซ็นเตอร์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร)
- 3.1.2 ไข่ไก่ เบอร์ 2 (บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร)
- 3.1.3 เกลือ (ตราปรงทิพย์, บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร)
- 3.1.4 ผงฟู (บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย เทรดดิ้ง จำกัด, กรุงเทพมหานคร)
- 3.1.5 น้ำมันรำข้าว (ตราคิง, บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด, กรุงเทพมหานคร)

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 ผง coenzyme Q10 (CoQ10) (Kaneka, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.2.2 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Univar, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 3.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Merck, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.2.4 ทวิน 80 (Tween 80) (Merck, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.2.5 แกมมาไซโคลเดกซ์ทริน (γ -cyclodextrin) (Wacker, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.2.6 เมทานอล (methanol) (RCI Labscan, ประเทศไทย)
- 3.2.7 2-โพรพานอล (2-propanol) (J.T.Baker, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.2.8 เอทานอล (ethanol) (Merck, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.2.9 เอนไซม์ไลเปส (lipase from porcine pancreas: L3126) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.2.10 Bile extract porcine (B8631) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.2.11 เอนไซม์เปปซิน (pepsin from porcine gastric mucosa: P700) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.2.12 เอนไซม์แพนกรีเอติน (pancreatin from porcine pancreas: P8096) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.2.13 เฮกเซน (hexane) (RCI Labscan, ประเทศไทย)
- 3.2.14 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Merck, ประเทศเยอรมันนี)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.3.1 เครื่อง high performance liquid chromatography, HPLC (Agilent Technologies, รุ่น LC1200, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.2 เครื่อง homogenizer (IKA, รุ่น T25 Ultra-turrax, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.3 เครื่องผสม (Kitchen Aid, รุ่น 5K5SSWH, ประเทศสหรัฐอเมริกา) และหัวผสมแบบตะขอ
- 3.3.4 เครื่องรีดเส้นขนมปัง (Wellness, รุ่น Atlas 105, ประเทศอิตาลี)
- 3.3.5 เครื่องแยกสารแบบหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (Sorvall, รุ่น RC6 superspeed, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.6 เครื่องวัดสี (HunterLab, รุ่น ColorFlex EZ spectrophotometer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, รุ่น ED 224S, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.8 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (Binder, รุ่น FD 115, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.9 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA.XTplus, ประเทศอังกฤษ)
- 3.3.10 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) (GEA® Lyophil GmbH, รุ่น GT2-S, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.11 เครื่องปั่นผสม (vortex) (Merck, รุ่น Model 8400, ประเทศเยอรมันนี)
- 3.3.12 เครื่องระเหยสารแบบหมุน (rotary vacuum evaporator) (Buchi รุ่น Model NE-1V, ประเทศญี่ปุ่น)

3.4 วิธีการศึกษา

3.4.1 การเตรียม CoQ10 ทำการเตรียม CoQ10 ให้อยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ อิมัลชัน CoQ10, ไมโครอิมัลชัน CoQ10 และสารเชิงซ้อนแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน CoQ10 (ในการเตรียม CoQ10 ทุกขั้นตอน ต้องเตรียมโดยป้องกันแสงยูวี และควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25°C)

3.4.1.1 อิมัลชัน CoQ10 ทำการผสม Tween 80 0.2 กรัม ในน้ำ 80 มิลลิลิตร นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 60-70°C และละลายผง CoQ10 3 กรัมในน้ำมันรำข้าว 20 กรัม เมื่อ CoQ10 ละลายในน้ำมันทั้งหมดแล้ว นำไปผสมกับสารละลาย Tween 80 แล้วนำไปโฮโมจีไนส์ด้วยเครื่อง Homogenizer ที่ความเร็ว 10,000 rpm นาน 1 นาที

3.4.1.2 ไมโครอิมัลชัน ทำการละลายผง CoQ10 10 กรัม ในน้ำมันรำข้าว 45 กรัม ผสมให้เข้ากันนาน 20 นาที หลังจากนั้นใส่ Tween 80 45 กรัม แล้วผสมต่ออีก 30 นาทีที่อุณหภูมิ 40-45°C

3.4.1.3 แกมมาไซโคลเดกซ์ทริน (Prosek et al., 2007) ละลายแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน 1.575 กรัมในน้ำ 13 มิลลิลิตร นาน 20 นาทีที่อุณหภูมิ 70°C แล้วเติมผง CoQ10 1 กรัม ผสมให้ส่วนผสมเข้ากันนาน 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 - 70°C นำส่วนผสมที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4500 rpm นาน 30 นาที เทส่วนที่เป็นของเหลวทิ้งไป แล้วนำส่วนตะกอนที่มี CoQ10 ไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60°C นาน 10 ชั่วโมง

3.4.2 การเตรียมบะหมี่เสริม CoQ10

นำ CoQ10 ที่อยู่ในรูปแบบแตกต่างกัน (ผง CoQ10, อิมัลชัน CoQ10, ไมโครอิมัลชัน CoQ10 และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน) เติมในบะหมี่ให้มีปริมาณ CoQ10 30 มิลลิกรัมต่อบะหมี่สด 50 กรัม (ประมาณ 950 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง) สูตรการเตรียมบะหมี่สดประกอบด้วยแป้งสาลีเอนกประสงค์ 65.15% เกลือ 0.13% โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.19% ไข่ไก่ 16.29% และน้ำ 18.24% ผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้า ด้วยหัวผสมแบบตะขอ ที่ความเร็วต่ำ (เบอร์ 1) นาน 10 นาที จนได้ก้อนโดที่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน พักก้อนโดไว้ 30 นาที รีดโดเป็นแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร (โดยเริ่มจากช่องว่างเบอร์ 1 ซึ่งมีความห่าง 5 มิลลิเมตร ทบแผ่นแป้งแล้วรีดซ้ำ 2 ครั้ง แล้วปรับเครื่องรีดเป็นเบอร์ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ) ตัดเส้นโดยนำแผ่นแป้งเข้าช่องตัดเส้น จะได้บะหมี่สด (สุวรรณา ศรีสวัสดิ์ et al., 2540) สำหรับตัวอย่างควบคุม (control) จะเตรียมโดยไม่มีการเติม CoQ10

นำบะหมี่สด 50 กรัมไปลวกในน้ำเดือด 500 มิลลิลิตรตามระยะเวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ ทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงนาน 1 นาที จะได้บะหมี่ลวก

สำหรับบะหมี่สด และบะหมี่ลวกจะถูกทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อแห้งแล้วบ่มบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิท เก็บที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณของ CoQ10 ในบะหมี่ โดยวิธี high performance liquid chromatography (HPLC)

3.4.3.1 การสกัดตัวอย่าง สกัดตัวอย่างตามวิธีของ (Mattila & Kumpulainen, 2001) โดยผสมตัวอย่างแห้ง 0.1 กรัมในเอทานอล 8 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันนาน 5 นาที หลังจากนั้นเติมเฮกเซน 20 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,600 rpm นาน 5 นาที แยกเก็บชั้นเฮกเซน และนำตัวอย่างไปสกัดซ้ำอีก 2 รอบ โดยใส่เอทานอล 5 มิลลิลิตร และ

เฮกเซน 20 มิลลิลิตร แล้วนำเฮกเซนไประเหยแบบสูญญากาศ ละลายตัวอย่างด้วย 2-propanol จำนวน 5 มิลลิลิตร กรองด้วย syringe filter ชนิด PTFE ขนาด 0.45 μm นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

3.4.3.2 การวิเคราะห์ คอลัมน์ที่ใช้คือ Vydac 201TP54 (ขนาด 5 μm , 25cm x 4.6mm) mobile phase ประกอบด้วย methanol : 2-propanol : ethanol (75:15:15 v/v/v) อัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ดีเทคเตอร์ชนิด UV detector ความยาวคลื่นที่ใช้คือ 275 นาโนเมตร นำค่าที่ได้เทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน CoQ10 (calibration curve)

3.4.4 การวิเคราะห์ชีวภาพพร้อมใช้ (bioavailability) ของ CoQ10 ในบะหมี่

การวิเคราะห์ชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 ในผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวกด้วยแบบจำลองระบบทางเดินอาหารในหลอดทดลอง (in vitro simulated digestion models) (Garti & McClements, 2012) โดยผสมตัวอย่างบะหมี่ 1 กรัมด้วย NaCl 120 mM ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 3 ด้วย HCl 1 N เติม porcine pepsin ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 40 มิลลิลิตรด้วย NaCl 120 mM จากนั้นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้สนิท นำไปบ่มใน shaking water bath ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 60 นาที

เมื่อครบ 60 นาที ปรับ pH ตัวอย่างที่ผ่านการย่อยจาก gastric phase ให้ได้ 6 ด้วย NaHCO₃ 1 N เติม porcine pancreatin, lipase และ bile extract ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.4, 0.2 และ 2.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ปรับ pH ให้ได้ 6.9 ด้วย NaOH 1 N ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้สนิท นำไปบ่มใน shaking water bath ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 120 นาที

เมื่อครบ 120 นาที นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยจาก small intestinal phase ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,600 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 35 นาที กรองด้วยไซริง์ฟิลเตอร์ (syringe filter) ชนิด CA ขนาด 0.45 μm และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ชีวภาพพร้อมใช้ของ CoQ10 คำนวณได้จากร้อยละของอัตราส่วนระหว่างปริมาณ CoQ10 จากแบบจำลองระบบทางเดินอาหารในหลอดทดลอง และปริมาณ CoQ10 ในตัวอย่าง

$$\text{ชีวภาพพร้อมใช้ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณ CoQ10 หลังการย่อย}}{\text{ปริมาณ CoQ10 ก่อนการย่อย}} \times 100$$

3.4.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบะหมี่เสริม CoQ10

3.4.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านสี

ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยสุ่มตัวอย่างบะหมี่สด และบะหมี่ที่ผ่านการลวก มาจัดเรียงใส่ในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างให้เต็ม ไม่ให้มีช่องที่แสงจะผ่านได้ วัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำและใช้ฝาครอบปิดถ้วยตัวอย่างระหว่างการวัด ด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab, รุ่น ColorFlex EZ spectrophotometer ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลการวัดเป็นค่า L^* a^* และ b^*

โดย L^* แสดงถึงความสว่าง จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ
 a^* แสดงถึงแกนสีจากเขียว $-a^*$ ไปจนถึงแดง $+a^*$
 b^* แสดงถึงแกนสีจากน้ำเงิน $-b^*$ ไปเหลือง $+b^*$

3.4.5.2 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการลวก (AACC, 2000)

(1) เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ให้สุก (cooking time) (AACC, 1995)

ชั่งบะหมี่ 5 กรัม ลวกในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา จับเวลาที่ใช้ในการลวกบะหมี่ให้สุก โดยตรวจสอบตัวอย่างบะหมี่ทุก 30 วินาที

การตรวจสอบการสุกของตัวอย่างบะหมี่ทำโดยใช้กระจกสไลด์ 2 แผ่น กดเส้นบะหมี่ที่ผ่านการลวก สังเกตที่จุดตรงกลางเส้นบะหมี่ต้องไม่ให้มีลักษณะเป็นไตสีขาว ให้บันทึกเวลาที่เหมาะสมในการลวกเส้นบะหมี่ให้สุก

(2) น้ำหนักที่ได้หลังการลวก (cooking yield) (AACC, 1995)

ชั่งบะหมี่ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในบีกเกอร์แล้วนำไปต้มในน้ำ 200 มิลลิลิตรให้เดือด โดยใช้เวลาในการลวกที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.5.2 (1) ทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงนาน 1 นาที ชับน้ำส่วนเกินออก นำบะหมี่ไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณร้อยละน้ำหนักที่ได้หลังการลวก

$$\text{Cooking yield (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักบะหมี่สุก}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนลวก}} \times 100$$

(3) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวก (cooking loss) (AACC, 1995)

อบน้ำที่เหลือจากการลวกบะหมี่ในข้อ 3.4.5.2 (2) ในตู้อบลมร้อนให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 105°C เมื่อแห้งแล้ว ชั่งน้ำหนักเกอร์หลังการอบ แล้วนำไปคำนวณร้อยละปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวก

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักบักเกอร์หลังอบ} - \text{น้ำหนักบักเกอร์เปล่า})}{\text{น้ำหนักบะหมี่}} \times 100$$

3.4.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

วิเคราะห์หาความชื้นในตัวอย่างบะหมี่ โดยวิธี AOAC 1990 โดยชั่งตัวอย่าง 2 กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 105°C จนได้ค่าน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.4.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

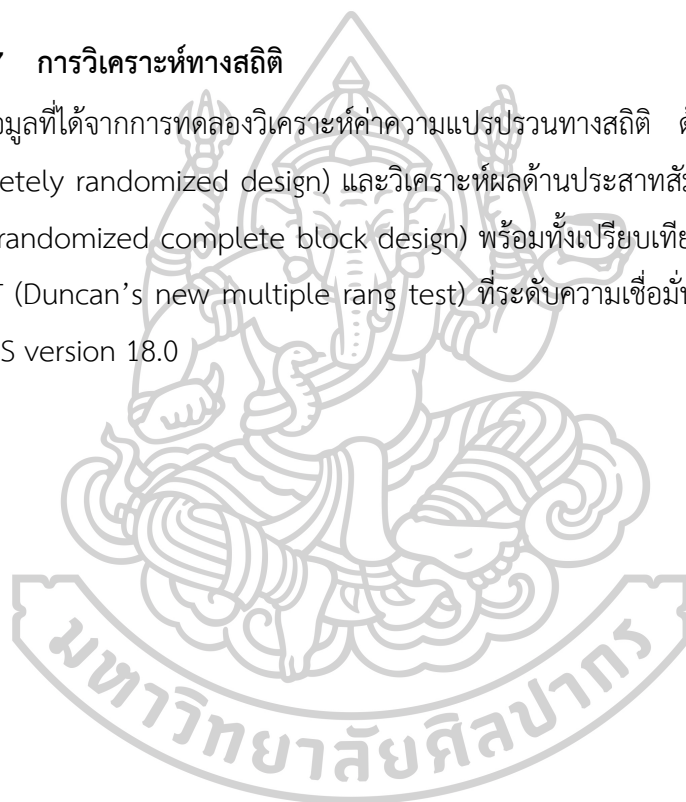
ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, รุ่น TA.XTplus, ประเทศอังกฤษ) ด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) ใช้หัววัดทรงกระบอก (cylinder probe) เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) วัดค่า hardness, Adhesiveness, springiness, cohesiveness และ chewiness โดยกำหนด parameter ในการวัดดังนี้ pre-test speed เท่ากับ 4 mm/sec, test speed เท่ากับ 1 mm/sec, post test speed เท่ากับ 1 mm/sec และวัดค่าความต้านทานในแนวยาว โดยใช้หัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) โดยกำหนดค่า parameter ในการวัดดังนี้ post-test Speed: 5.0 m/s, return to start distance: 100 mm, pre-test speed: 3.0 mm/s, trigger type: 5 g, และ test speed : 3.0 mm/s

3.4.6 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค

ทดสอบความชอบของผู้บริโภคในกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 50 คน โดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม วิธีการให้คะแนนตามความชอบแบบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ง เตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโดย ลวกบะหมี่ให้สุกตามเวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ให้สุก ที่ให้สะอาดได้นานาน 1 นาที ปูรงรสด้วยผงปูรงรส 1% ต่อน้ำหนักเส้นหลังลวก เสริฟแบบแห้งทั้ง 5 ตัวอย่าง

3.4.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ ด้วยแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) และวิเคราะห์ผลด้านประสาทสัมผัสด้วยแผนการทดลองแบบ RCBD (randomized complete block design) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple rang test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 18.0



บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์

4.1 ปริมาณ CoQ10 ในผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริม CoQ10

ในการผลิตบะหมี่สดเสริม CoQ10 ได้มีการเติม CoQ10 ในรูปแบบที่แตกต่างกัน 4 ชนิดคือ ผง CoQ10, อิมัลชัน CoQ10, ไมโครอิมัลชัน CoQ10 และสารเชิงซ้อนแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน CoQ10 โดยแต่ละรูปแบบได้เติมในปริมาณ 30 มิลลิกรัมต่อบะหมี่สด 50 กรัม ปริมาณดังกล่าวเป็นปริมาณ CoQ10 ที่แนะนำต่อวัน (Pravst et al., 2009) เมื่อนำบะหมี่เสริม CoQ10 และบะหมี่สูตรควบคุม (control) ที่ไม่มีการเติม CoQ10 ไปวิเคราะห์ปริมาณ CoQ10 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าบะหมี่สูตรควบคุมไม่พบ CoQ10 ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 ทั้ง 4 รูปแบบมีปริมาณ CoQ10 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีปริมาณ CoQ10 สูงที่สุด ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีปริมาณ CoQ10 น้อยที่สุด

ตารางที่ 8 ปริมาณ CoQ10 (dry basis) และการสูญเสีย CoQ10 ในบะหมี่สดเสริม CoQ10

ตัวอย่างบะหมี่	ปริมาณ CoQ10 ($\mu\text{g/g}$)	การสูญเสีย CoQ10 ระหว่าง กระบวนการผลิต (%)
Control (ไม่เติม CoQ10)	ND	ND
CoQ10 powder	942.80 ± 4.10^a	3.58 ± 0.42^c
CoQ10 emulsion	493.23 ± 54.80^d	49.62 ± 5.60^a
CoQ10 microemulsion	655.94 ± 25.94^c	35.34 ± 2.56^b
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	902.86 ± 5.56^b	5.53 ± 0.58^c

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ND หมายถึงมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน มีร้อยละการสูญเสีย CoQ10 ระหว่างกระบวนการผลิตสูงที่สุด รองลงมาคือรูปแบบไมโครอิมัลชัน รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน และรูปแบบผงตามลำดับ โดยที่ร้อยละการสูญเสียของบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน และรูปแบบผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บะหมี่สูตรควบคุมไม่พบปริมาณ CoQ10 เนื่องจากในอาหารประเภทแป้งมี CoQ10 อยู่่น้อยมาก และปริมาณ CoQ10 ที่พบในไข่มีค่อนข้าน้อยคือ 0.73-3.7 $\mu\text{g/g}$ (Kubo et al., 2008) รวมถึงปริมาณไข่ที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ก็น้อย 16.29% จึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบ CoQ10 ในบะหมี่สูตรควบคุมได้

ขั้นตอนการเตรียม CoQ10 รูปแบบต่าง ๆ และกระบวนการผลิตบะหมี่ส่งผลให้เกิดการสูญเสีย CoQ10 โดยการใช้เวลาในการเตรียม CoQ10 ที่นาน การใช้อุณหภูมิสูง การสัมผัสกับแสงและออกซิเจนในอากาศที่มาก ส่งผลให้ CoQ10 มีโอกาสสูญเสียไปได้มาก บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีการสูญเสีย CoQ10 มากที่สุด ซึ่งอาจจะเกิดจากการสัมผัสอากาศโดยตรงในขณะที่ปั่นด้วยเครื่อง homogenizer ขั้นตอนการเตรียมอิมัลชัน จึงทำให้ CoQ10 สลายตัวได้มากกว่ารูปแบบอื่น

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงเกิดการสูญเสียน้อย อาจเป็นเพราะ CoQ10 มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ จึงไม่แพร่ออกมาในองค์ประกอบที่เป็นน้ำของบะหมี่สด นอกจากนี้ CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินก็เกิดการสูญเสียเช่นกัน แสดงว่า CoQ10 สามารถเข้าไปในช่องว่างภายในโมเลกุลไฮโคลเดกซ์ทรินได้มาก จึงทำให้มีความคงตัวต่อสภาวะการเตรียม CoQ10 และกระบวนการผลิตบะหมี่สด

4.2 ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก

ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่ที่ผ่านการลวก แสดงในตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าการลวกเส้นบะหมี่เสริม CoQ10 ส่งผลทำให้ปริมาณ CoQ10 ลดลง โดยบะหมี่เสริม CoQ10 ทุกรูปแบบมีปริมาณ CoQ10 ที่ลดลง แสดงให้เห็นว่า CoQ10 ไม่เสถียรต่ออุณหภูมิที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าปริมาณ CoQ10 ลดลงหลังจากนำไปให้ความร้อน (ต้มและทอด) เป็นเวลา 1 นาที (Pinar Ercan & El, 2011) โดยบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีปริมาณ CoQ10 น้อยที่สุด ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีปริมาณ CoQ10 เหลืออยู่ภายหลังการลวกสูงที่สุด

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชัน มีร้อยละการสูญเสีย CoQ10 ระหว่างการลวกมากที่สุด รองลงมาคือ บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน รูปแบบผง และรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินตามลำดับ โดยรูปแบบผง และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินมีการสูญเสีย CoQ10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 9 ปริมาณ CoQ10 (dry basis) ในบะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก

ตัวอย่างบะหมี่	ปริมาณ CoQ10 ($\mu\text{g/g}$)	การสูญเสีย CoQ10 ระหว่างการลวก (%)*
Control (ไม่เติม CoQ10)	ND	ND
CoQ10 powder	804.00 \pm 10.16 ^a	14.72 \pm 1.18 ^c
CoQ10 emulsion	367.52 \pm 36.03 ^c	25.36 \pm 2.93 ^b
CoQ10 microemulsion	403.76 \pm 25.07 ^b	38.42 \pm 3.49 ^a
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	778.12 \pm 12.17 ^a	13.81 \pm 1.50 ^c

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 ND หมายถึงมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้
 * เมื่อเทียบกับปริมาณ CoQ10 (dry basis) ในบะหมี่สดที่วิเคราะห์ในตารางที่ 8

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชันมีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกสูงกว่าบะหมี่ชนิดอื่นเนื่องจาก Tween 80 ที่เป็นส่วนประกอบหลักในการทำเอนแคปซูลชัน มีค่า HLB (hydrophile lipophile balance) ที่สูง (HLB = 15.0) ซึ่งโมเลกุลจะมีส่วนที่ชอบน้ำมากขึ้นสามารถกระจาย และละลายน้ำได้ดี ส่งผลให้ Tween 80 และ CoQ10 ละลายน้ำออกมาในน้ำลวกบะหมี่ ในขั้นตอนการลวก จึงทำให้ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่ลวกลดลง

4.3 ชีวภาพพร้อมใช้ (bioavailability) ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10

ชีวภาพพร้อมใช้ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 โดยวิธีจำลองการย่อยของระบบทางเดินอาหารในหลอดทดลอง (in vitro simulated digestion models) ซึ่งเป็นการเลียนแบบการย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ได้แก่ ปาก กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก โดยสภาพที่เลียนแบบประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในระบบ เช่น เอนไซม์ ความเป็นกรดต่าง ระยะเวลาการย่อย และอุณหภูมิในการย่อย แบบจำลองนี้ได้นำไปใช้เพื่อศึกษาความเสถียรของสารอาหารต่างๆ เมื่อผ่านระบบการย่อย อาทิเช่น แคโรทีนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Amiri-Rigi & Abbasi, 2017) ปริมาณ CoQ10 หลังการย่อยในระบบจำลองของบะหมี่แสดงในตารางที่ 10 พบว่าบะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก มีปริมาณ CoQ10 ลดลงหลังการย่อย แสดงว่า CoQ10 ไม่เสถียรต่อการย่อย

ในแบบจำลองการย่อยในทางเดินอาหาร เนื่องจากความเป็นกรดต่าง และเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร ส่งผลทำให้ CoQ10 สูญเสียไป

ผลการวิเคราะห์ชีวภาพพร้อมใช้ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 แสดงในตารางที่ 10 ซึ่งพบว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีปริมาณ CoQ10 หลังการย่อยต่ำที่สุด แต่มีร้อยละชีวภาพพร้อมใช้ที่สูงที่สุด โดยสูงกว่าบะหมี่รูปแบบผง รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน และรูปแบบไมโครอิมัลชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การที่บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีร้อยละชีวภาพพร้อมใช้สูงที่สุดเนื่องจาก ระบบอิมัลชันมีขนาดโครงสร้างที่ใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไมโครอิมัลชัน หรือแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน จึงมีพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ และสัมผัสสภาวะความเป็นกรดต่างน้อยกว่า จึงส่งผลให้มีร้อยละชีวภาพพร้อมใช้ที่สูงกว่าบะหมี่รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีขนาดอนุภาคของ CoQ10 ที่ใหญ่ แต่ไม่มีสารเคลือบผิว CoQ10 ทำให้เอนไซม์และความเป็นกรดต่างสามารถสัมผัสกับ CoQ10 ได้โดยตรง จึงส่งผลให้มีร้อยละชีวภาพพร้อมใช้ที่น้อยกว่ารูปแบบอิมัลชัน

ตารางที่ 10 ปริมาณ CoQ10 (dry basis) หลังการย่อย และชีวภาพพร้อมใช้ของบะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก

ตัวอย่างบะหมี่	ปริมาณ CoQ10 ($\mu\text{g/g}$)	ชีวภาพพร้อมใช้ (%)*
Control (ไม่เติม CoQ10)	ND	ND
CoQ10 powder	473.60 \pm 62.41 ^a	58.89 \pm 7.59 ^b
CoQ10 emulsion	242.79 \pm 6.62 ^b	66.71 \pm 8.18 ^a
CoQ10 microemulsion	220.53 \pm 13.76 ^b	54.64 \pm 1.53 ^b
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	441.47 \pm 46.49 ^a	56.73 \pm 5.80 ^b

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ND หมายถึงมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถคำนวณได้

* เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ CoQ10 (dry basis) ในบะหมี่ลวกที่วิเคราะห์ได้ใน

ตารางที่ 9

4.4 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10

4.4.1 คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10

ผลการทดลองคุณภาพด้านสีของบะหมี่เสริม CoQ10 แสดงในตารางที่ 11 พบว่าผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมมีค่า L^* ที่แสดงถึงความสว่าง และค่า a^* ที่แสดงความเป็นสีแดง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า L^* มีค่าอยู่ระหว่าง 64.45 – 67.19 และค่า a^* มีค่าอยู่ระหว่าง 5.35 – 6.48 ส่วนค่า b^* ที่แสดงความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบผง มีค่า b^* ที่สูงกว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน และสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เนื่องจาก tween 80 เป็นของเหลวสีเหลือง จึงส่งผลให้บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชันมีสีเหลืองมากกว่าบะหมี่รูปแบบอื่น ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีสีเหลืองที่รองลงมาเนื่องจาก CoQ10 ที่ใส่มีลักษณะเป็นผง ไม่มีตัวทำละลาย จึงไม่เกิดการกระจายตัวของสี CoQ10 ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรินมีสีเหลืองที่อ่อนที่สุดเมื่อเทียบกับบะหมี่กลุ่มที่มีการเสริม CoQ10 เนื่องจาก CoQ10 อาจจะถูกจับไว้ภายในโพรงของแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน จึงไม่สามารถแสดงค่าสีได้อย่างชัดเจน ส่วนบะหมี่สูตรควบคุมมีความเป็นสีเหลืองต่ำเพราะ ไม่มีการเติม CoQ10

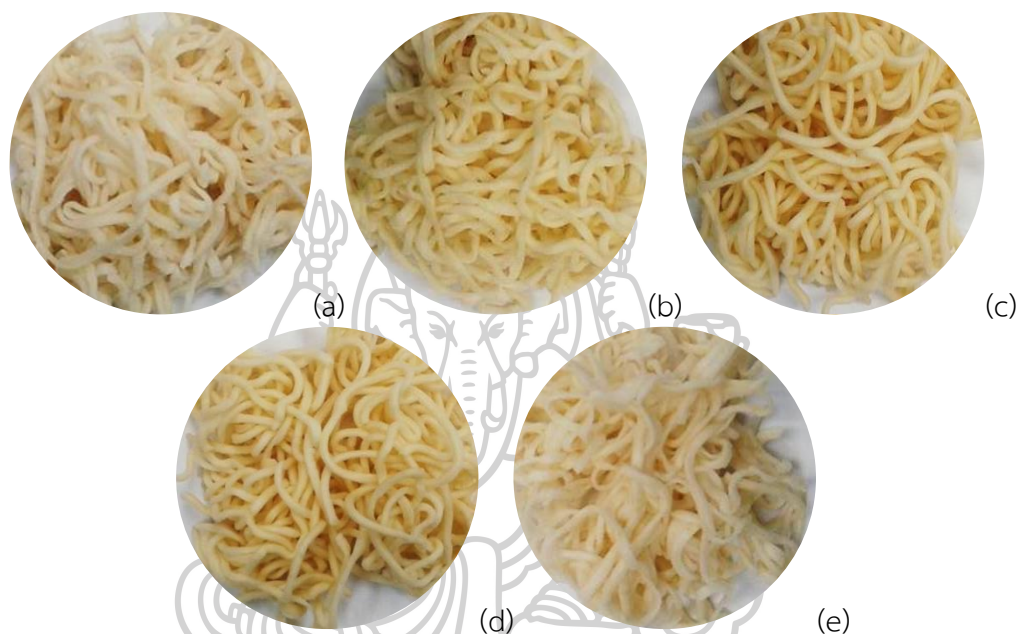
ตารางที่ 11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10

ตัวอย่างบะหมี่	ค่าสี		
	L^* ns	a^* ns	b^*
Control (ไม่เติม CoQ10)	64.45 ± 1.85	5.35 ± 1.23	25.57 ± 2.70 ^b
CoQ10 powder	65.36 ± 3.13	6.48 ± 0.88	30.25 ± 1.38 ^a
CoQ10 emulsion	67.19 ± 1.97	5.70 ± 1.24	32.09 ± 1.98 ^a
CoQ10 microemulsion	66.64 ± 2.09	5.73 ± 0.78	31.17 ± 1.52 ^a
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	65.77 ± 1.45	5.93 ± 0.80	26.60 ± 2.93 ^b

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ถึงแม้ว่ารังควัตถุในไข่แดง และต่าง (โซเดียมไบคาร์บอเนต) ที่เป็นส่วนผสมของ บะหมี่จะช่วยให้บะหมี่มีความเป็นสีเหลืองที่มากขึ้น (Hatcher & Anderson, 2007) โดยบะหมี่เสริม CoQ10 ในรูปแบบผง รูปแบบอิมัลชัน และรูปแบบไมโครอิมัลชัน มีความเป็นสีเหลืองมากกว่าบะหมี่ สูตรควบคุมและบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินอย่างชัดเจน ดัง ภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะปรากฏของบะหมี่เสริม CoQ10 (a) บะหมี่สูตรควบคุมที่ไม่เติม CoQ10 (b) รูปแบบผง (c) รูปแบบอิมัลชัน (d) รูปแบบไมโครอิมัลชัน และ (e) รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน

4.4.2 คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก

คุณภาพด้านสีของบะหมี่เสริม CoQ10 หลังการลวก แสดงในตารางที่ 12 พบว่าการลวก บะหมี่ส่งผลทำให้ค่า L^* ในทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น (ทั้งบะหมี่สูตรควบคุม และบะหมี่เสริม CoQ10 ทั้ง 4 ชนิด) โดยบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีค่า L^* สูงที่สุด และรูปแบบไมโครอิมัลชันมีค่า L^* ต่ำที่สุด

ส่วนค่า a^* และ b^* ของบะหมี่ที่ผ่านการลวกมีค่าลดลง บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินมีค่า a^* สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับรูปแบบผง และรูปแบบไมโครอิมัลชัน ส่วนบะหมี่สูตรควบคุม และรูปแบบอิมัลชันมีค่า a^* ต่ำที่สุด

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชัน รูปแบบผงและอิมัลชันมีค่า b^* สูงที่สุด รองลงมาคือรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน และสูตรควบคุมตามลำดับ

เมื่อบะหมี่ถูกนำไปลวกในน้ำร้อน ทำให้ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างในเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไปเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้บะหมี่มีความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น (Atwell, 1988; Zobel et al., 1988) ส่งผลให้บะหมี่มีสีอ่อนลง จากการถูกเจือจางด้วยน้ำที่เม็ดแป้งดูดเข้าไป นอกจากนี้ CoQ10 ที่บริเวณผิวของเส้นบะหมี่ยังอาจเกิดการกระจายหรือแพร่ไปยังน้ำที่ใช้ลวก ทำให้สีของเส้นบะหมี่อ่อนลงด้วย ดังภาพที่ 8 สอดคล้องกับค่า L^* ที่เพิ่มขึ้น และค่า a^* และ b^* ที่ลดลง

แม้ว่าค่าสี L^* , a^* และ b^* ของบะหมี่ที่ผ่านการลวกจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าที่ได้ก็มีความใกล้เคียงกันมาก

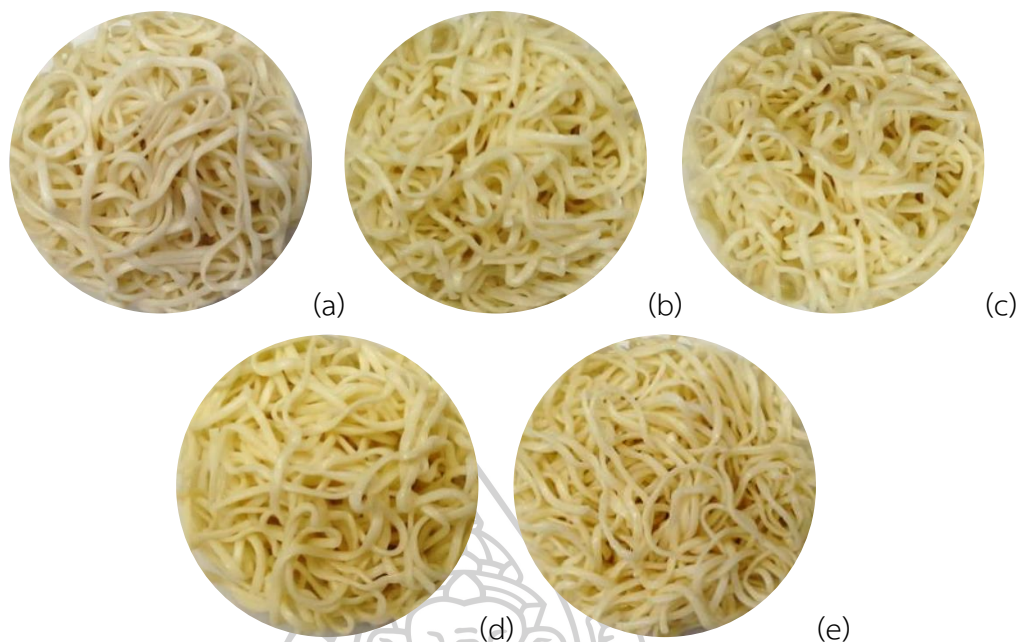
ตารางที่ 12 ค่าสีของบะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก

ตัวอย่างบะหมี่	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
Control (ไม่เติม CoQ10)	71.03 ± 1.63 ^{ab}	2.59 ± 0.48 ^b	21.28 ± 1.75 ^b
CoQ10 powder	72.08 ± 2.08 ^{ab}	3.13 ± 0.33 ^{ab}	24.96 ± 1.11 ^a
CoQ10 emulsion	72.66 ± 1.60 ^a	2.56 ± 0.24 ^b	24.57 ± 1.15 ^a
CoQ10 microemulsion	70.34 ± 1.23 ^b	3.02 ± 0.54 ^{ab}	25.39 ± 0.90 ^a
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	70.61 ± 1.67 ^{ab}	3.24 ± 0.74 ^a	22.22 ± 1.24 ^b

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 8 ลักษณะปรากฏของบะหมี่ ที่ผ่านการลวก (a) บะหมี่สูตรควบคุมที่ไม่เติม CoQ10 (b) รูปแบบผง (c) รูปแบบอิมัลชัน (d) รูปแบบไมโครอิมัลชัน และ (e) รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกซ์ทริน

4.4.3 คุณภาพบะหมี่หลังการลวก

4.4.3.1 เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ให้สุก

เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ให้สุก แสดงในตารางที่ 13 พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชันให้สุกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่น้อยกว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกซ์ทริน รูปแบบผง และบะหมี่สูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเกิดจากผลของ Tween 80 ที่ใช้เป็นส่วนผสมในรูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชัน ไปทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนเซชันได้เร็วขึ้น บะหมี่จึงสุกเร็วขึ้น เวลาที่ใช้ในการลวกสั้นลง

4.4.3.2 ร้อยละน้ำหนักที่ได้หลังการลวก

ร้อยละน้ำหนักที่ได้หลังการลวกของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 แสดงในตารางที่ 13 พบว่า ร้อยละน้ำหนักหลังการลวกของบะหมี่ทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 160.97 – 173.83 แสดงว่าการเสริม CoQ10 ทั้ง 4 รูปแบบในผลิตภัณฑ์บะหมี่ ไม่มีผลต่อน้ำหนักที่ได้หลังการลวก น้ำหนักหลังการลวกที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการที่เม็ด

แป่งในบะหมี่เกิดการเจลาตีไนเซชัน คุณน้ำเข้าไปภายในเม็ดแป้ง นอกจากนี้องค์ประกอบอื่นในบะหมี่ เช่น โปรตีน กลูเตน ก็สามารถดูดน้ำในระหว่างการลวก ทำให้น้ำหนักบะหมี่ที่ได้หลังการลวกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 13 เวลาที่เหมาะสม ผลผลิตหลังการลวก และปริมาณของแข็งที่สูญเสียจากการลวก

ตัวอย่างบะหมี่	เวลาที่เหมาะสมในการลวก (นาที)	ผลผลิตหลังการลวก (%) ^{ns}	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียจากการลวก (%)
Control (ไม่เติม CoQ10)	4.67 ± 0.25 ^a	169.29 ± 12.29	3.83 ± 0.33 ^{bc}
CoQ10 powder	4.67 ± 0.35 ^a	172.08 ± 12.57	3.59 ± 0.40 ^c
CoQ10 emulsion	4.17 ± 0.25 ^b	173.83 ± 7.09	4.70 ± 0.50 ^a
CoQ10 microemulsion	4.22 ± 0.26 ^b	172.69 ± 9.89	3.91 ± 0.42 ^{bc}
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	4.56 ± 0.30 ^a	160.97 ± 8.65	4.15 ± 0.48 ^b

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4.3.3 ร้อยละปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวก

ปริมาณร้อยละของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวกของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 แสดงในตารางที่ 13 บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีปริมาณร้อยละของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวกสูงที่สุด ส่วนบะหมี่รูปแบบผงมีปริมาณร้อยละของแข็งที่สูญเสียระหว่างการลวกน้อยที่สุด เนื่องจาก Tween 80 ที่สามารถละลายน้ำได้ดีทำให้เม็ดน้ำมันแพร่กระจายออกมาในน้ำลวกได้มากในขั้นตอนการลวก จึงทำให้บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันสูญเสียระหว่างการลวกมากที่สุด

4.4.4 ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์

ปริมาณความชื้นในบะหมี่สด และบะหมี่แห้งแสดงในตารางที่ 14 ซึ่งพบว่าบะหมี่สดเสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับรูปแบบผง และอิมัลชัน ส่วนบะหมี่ที่ผ่านการลวกรูปแบบอิมัลชัน มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับรูปแบบผง รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน

จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นภายในกลุ่มตัวอย่างของบะหมี่สด และบะหมี่ที่ผ่านการลวกมีความใกล้เคียงกันภายในแต่ละกลุ่ม เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใส่ในแต่ละสูตรเท่ากัน จึงส่งผลให้บะหมี่สดมีค่า

ความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ส่วนความชื้นของบะหมี่ที่ผ่านการลวกขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการลวก และส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต

ตารางที่ 14 ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์บะหมี่สด และบะหมี่ที่ผ่านการลวก

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้นในบะหมี่สด(%)	ปริมาณความชื้นในบะหมี่ลวก (%)
Control (ไม่เติม CoQ10)	35.78 ± 1.16 ^b	64.16 ± 2.08 ^b
CoQ10 powder	37.40 ± 2.18 ^{a^b}	65.40 ± 3.01 ^{a^b}
CoQ10 emulsion	37.54 ± 2.04 ^{a^b}	67.50 ± 1.34 ^a
CoQ10 microemulsion	34.97 ± 3.15 ^b	66.76 ± 1.34 ^{a^b}
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	38.58 ± 1.63 ^a	65.39 ± 2.14 ^{a^b}

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4.5 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 ที่ผ่านการลวก แสดงในตารางที่ 15 พบว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีค่าความแข็ง (hardness) สูงกว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบอิมัลชันมีค่าความแข็งต่ำกว่าตัวอย่างอื่น

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีค่าการเกาะตัวกัน (adhesiveness) สูงกว่ารูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผง รูปแบบไมโครอิมัลชัน สูตรควบคุม และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทรินตามลำดับ

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีค่าความยืดหยุ่น (springiness) สูงกว่าบะหมี่รูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือบะหมี่สูตรควบคุม บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชัน รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน และรูปแบบอิมัลชันตามลำดับ

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผง มีค่าการยึดเกาะกัน (cohesiveness) สูงกว่าบะหมี่รูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือบะหมี่ CoQ10 รูปแบบอิมัลชัน สูตรควบคุม รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน และรูปแบบไมโครอิมัลชันตามลำดับ

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีค่าการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) สูงกว่าบะหมี่รูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือบะหมี่สูตรควบคุม บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบอิมัลชันตามลำดับ

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีค่าแรงต้านทานการดึง (tensile strength) สูงกว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชัน รูปแบบอิมัลชัน รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน และบะหมี่สูตรควบคุม รองลงมาตามลำดับ

จากผลโดยรวมของการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่เสริม CoQ10 จะเห็นได้ว่าบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีค่าเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากตัวอย่างอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด โดยจะมีลักษณะของเส้นที่มีความแข็งแรง เหนียว และคงตัวกว่าบะหมี่รูปแบบอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะ CoQ10 ในรูปแบบผงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโปรตีนกลูเตน จากการสัมผัสโดยตรงของผิวของอนุภาคของ CoQ10 กับโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลี ทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) เชื่อมโมเลกุลกลูเตน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรง ทำให้เส้นบะหมี่มีความเหนียว แข็งแรง และคงตัวได้ดี (Belitz et al., 1986)



ตารางที่ 15 คุณภาพต้านเนือสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประหมีเสริม CoQ10

ค่าทางเนื้อสัมผัส	ตัวอย่างประหมี			
	Control (ไม่เติม CoQ10)	CoQ10 powder	CoQ10 emulsion	CoQ10 microemulsion CoQ10 γ -cyclodextrin complex
Hardness (g)	3312.21 \pm 327.00 ^b	4110.52 \pm 393.36 ^a	2558.20 \pm 238.50 ^c	3153.48 \pm 314.02 ^b
Adhesiveness (g.sec)	-61.73 \pm 3.33 ^d	-34.41 \pm 2.20 ^b	-26.34 \pm 2.28 ^a	-53.79 \pm 4.33 ^c
Springiness	0.69 \pm 0.08 ^b	0.84 \pm 0.07 ^a	0.63 \pm 0.06 ^c	0.69 \pm 0.04 ^{bc}
Cohesiveness	0.46 \pm 0.06 ^b	0.51 \pm 0.04 ^a	0.48 \pm 0.05 ^{ab}	0.38 \pm 0.03 ^c
Chewiness	1011.88 \pm 87.29 ^b	1878.64 \pm 180.61 ^a	672.98 \pm 34.56 ^c	774.40 \pm 74.01 ^c
Tensile (g)	10.59 \pm 1.16 ^b	17.42 \pm 2.11 ^a	11.43 \pm 1.36 ^b	11.85 \pm 1.18 ^b

หมายเหตุ ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P \leq 0.05)

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างบะหมี่	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	เนื้อสัมผัส	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความชอบโดยรวม
Control (ไม่เติม CoQ10)	5.94 ± 1.79	6.24 ± 1.68	5.98 ± 1.88 ^{ab}	6.42 ± 1.77	6.08 ± 2.05	5.96 ± 1.82 ^b
CoQ10 powder	6.30 ± 1.57	6.40 ± 1.46	6.30 ± 1.82 ^{ab}	6.38 ± 1.70	5.42 ± 2.03	6.20 ± 1.69 ^{ab}
CoQ10 emulsion	6.28 ± 1.41	6.38 ± 1.38	6.72 ± 1.59 ^a	6.56 ± 1.54	5.80 ± 2.01	6.54 ± 1.36 ^{ab}
CoQ10 microemulsion	6.34 ± 1.44	6.52 ± 1.47	6.12 ± 1.44 ^{ab}	6.48 ± 1.62	5.92 ± 1.55	6.70 ± 1.22 ^a
CoQ10 γ -cyclodextrin complex	6.02 ± 1.52	6.28 ± 1.40	5.58 ± 1.99 ^b	6.36 ± 1.76	5.30 ± 1.98	6.18 ± 1.65 ^{ab}

หมายเหตุ

ตัวเลขคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c, d ตัวอักษรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินด้านประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่ผ่านการลวกแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นของตัวอย่างบะหมี่ทุกตัวอย่าง (บะหมี่สูตรควบคุม และบะหมี่เสริม CoQ10 ทั้ง 4 รูปแบบ) ได้คะแนนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 5.94 – 6.34, ด้านสี 6.24 – 6.52 ด้านกลิ่น 6.36 – 6.56 และด้านรสชาติ 5.30 – 6.08 บะหมี่สูตรอิมัลชันได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผง รูปแบบไมโครอิมัลชัน และบะหมี่สูตรควบคุม ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความชอบโดยรวมบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบไมโครอิมัลชันสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับรูปแบบอิมัลชัน รูปแบบผง และรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน จะเห็นได้ว่า การเติม CoQ10 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ไม่ส่งผลให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่สูตรควบคุมที่ไม่ได้เติม CoQ10



บทที่ 5

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริม CoQ10 เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ได้ทำโดยเติม CoQ10 ที่ระดับปริมาณ 30 มิลลิกรัมต่อบะหมี่สด 1 serving คือ 50 กรัม การเตรียม CoQ10 สำหรับเติมในบะหมี่มี 3 รูปแบบคือ รูปแบบอิมัลชัน รูปแบบไมโครอิมัลชัน และรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน เปรียบเทียบกับการเติม CoQ10 รูปแบบผง (ไม่ผ่านกระบวนการเตรียม) และสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติม CoQ10 จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่ขึ้นอยู่กับวิธีการ ระยะเวลา และสภาวะที่ใช้ในการเตรียม เช่น อุณหภูมิ การสัมผัสกับแสงและอากาศ ซึ่งหากระยะเวลาในการเตรียม CoQ10 นาน มีการสัมผัสกับแสงและอากาศมาก ก็จะส่งผลให้ปริมาณ CoQ10 มีโอกาสสูญเสียไปได้มาก บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีร้อยละการสูญเสีย CoQ10 ระหว่างกระบวนการผลิตสูงสุด ซึ่งอาจเกิดจากการสัมผัสอากาศโดยตรงในขณะที่ปั่นด้วยเครื่อง homogenizer ส่วนบะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีร้อยละการสูญเสีย CoQ10 น้อยที่สุด เนื่องจาก CoQ10 มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ จึงไม่แพร่ออกมาในองค์ประกอบที่เป็นน้ำของบะหมี่สด นอกจากนี้ CoQ10 รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทรินก็เกิดการสูญเสียน้อยเช่นกัน แสดงว่า CoQ10 สามารถเข้าไปในช่องว่างภายในโมเลกุลไฮโคลเดกซ์ทรินได้มาก จึงทำให้มีความคงตัวต่อสภาวะการเตรียม CoQ10 และกระบวนการผลิตบะหมี่สด ในขณะที่บะหมี่สูตรควบคุมไม่พบปริมาณ CoQ10 เนื่องจากในอาหารประเภทแป้งมี CoQ10 อยู่เล็กน้อย และปริมาณ CoQ10 ที่พบในไข่มีค่อนข้างน้อย รวมถึงปริมาณไข่ที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ก็น้อยเช่นเดียวกัน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบ CoQ10 ในบะหมี่สูตรควบคุมได้ การลวกเส้นบะหมี่ ส่งผลให้ปริมาณ CoQ10 ในบะหมี่ทุกชนิดลดลง แสดงให้เห็นว่า CoQ10 ไม่เสถียรต่ออุณหภูมิสูง

บะหมี่เสริม CoQ10 ไม่เสถียรต่อการย่อยในแบบจำลองการย่อยในทางเดินอาหาร เนื่องจากความเป็นกรดต่าง และเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร มีผลทำให้ CoQ10 สูญเสียไป บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันมีร้อยละชีวภาพพร้อมใช้สูงสุด แสดงว่าการเตรียม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันสามารถช่วยป้องกันการสูญเสีย CoQ10 เมื่อบริโภคเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้ดีที่สุด

การเสริม CoQ10 มีผลต่อค่าสีของบะหมี่สด โดยพบว่าบะหมี่สดเสริม CoQ10 ทุกรูปแบบมีค่าสี L^* , a^* และ b^* สูงกว่าบะหมี่สูตรควบคุม เนื่องจาก CoQ10 มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองส้มและอยู่ในรูปแบบที่สามารถแสดงค่าสีของบะหมี่ได้ จึงทำให้บะหมี่เสริม CoQ10 มีค่าสีที่สูงกว่าบะหมี่สูตร

ควบคุม การลวกบะหมี่ส่งผลให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ส่วนค่า a^* และ b^* ลดลง เนื่องจากเมื่อบะหมี่ถูกนำไปลวกในน้ำร้อน จะทำให้ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างในเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไปเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) เม็ดแป้งในบะหมี่เกิดการพองตัวและอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้บะหมี่มีสีอ่อนลง จากการถูกเจือจางด้วยน้ำที่เม็ดแป้งดูดเข้าไป และการแพร่ออกของ CoQ10 จากเส้นบะหมี่ เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ พบว่า Tween 80 ที่ใช้เป็นส่วนผสมในรูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชัน ส่งผลให้บะหมี่สุกเร็วขึ้น และเวลาที่ใช้ในการลวกสั้นลง เนื่องจาก Tween 80 อาจไปทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ได้เร็วขึ้น การเสริม CoQ10 ทั้ง 4 รูปแบบในผลิตภัณฑ์บะหมี่ ไม่มีผลต่อน้ำหนักที่ได้หลังการลวก Tween 80 ที่สามารถละลายน้ำได้ดี อาจทำให้เม็ดน้ำมัน (oil droplet) ที่มี CoQ10 แพร่ออกมามากในขั้นตอนการลวก จึงทำให้บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบอิมัลชันสูญเสียระหว่างการผลิตมากที่สุด ปริมาณความชื้นภายในกลุ่มตัวอย่างของบะหมี่สดและบะหมี่ที่ผ่านการลวกมีความใกล้เคียงกันภายในแต่ละกลุ่ม เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใส่ในแต่ละสูตรเท่ากัน ส่วนความชื้นของบะหมี่ที่ผ่านการลวกขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการลวก และส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต

บะหมี่เสริม CoQ10 รูปแบบผงมีค่าความแข็ง (hardness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) และค่าแรงต้านทานการดึง (tensile) สูงกว่าบะหมี่รูปแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเป็นเพราะ CoQ10 ในรูปแบบผงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากการสัมผัสโดยตรงของผิวของอนุภาคของ CoQ10 กับโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลี ทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) เชื่อมโมเลกุลกลูเตนเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรง ทำให้เส้นบะหมี่มีความเหนียว ความแข็ง และคงตัวได้ดี ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสบะหมี่เสริม CoQ10 ทุกรูปแบบไม่แตกต่างกันในทุก ๆ ด้าน ยกเว้นด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยการเติม CoQ10 ไม่ว่าจะรูปแบบใดในบะหมี่ ก็ไม่ส่งผลให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับบะหมี่ที่ไม่เติม CoQ10

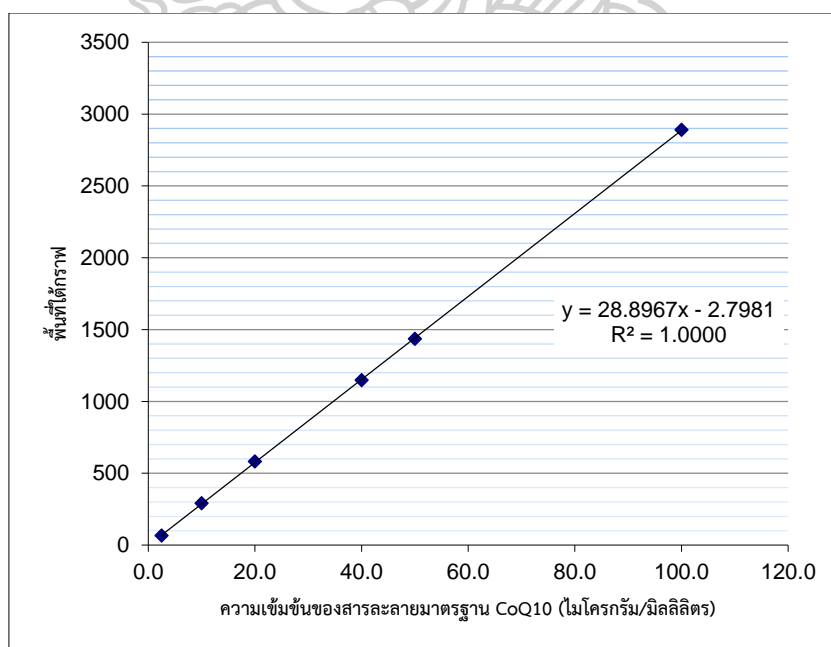


ภาคผนวก ก

การหากราฟมาตรฐาน CoQ10

เตรียมสารละลายมาตรฐาน CoQ10 (Coenzyme Q10 standard stock solution) ให้มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (working standard solution) คือ 2.5 , 10 , 20 , 40 และ 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยวิธีเตรียมสารละลายมาตรฐานมีดังนี้

1. เตรียม CoQ10 standard stock solution โดยชั่งผง CoQ10 10 มิลลิกรัม ละลายใน absolute ethanol ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
2. เตรียม working standard solution ให้มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (2.5 - 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)
3. กรองด้วยกระดาษกรองชนิด PTFE ขนาด 0.2 μm
4. วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ
5. สร้างกราฟมาตรฐานโดยพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน CoQ10 (แกน X) และพื้นที่ใต้กราฟ (แกน Y) ได้กราฟมาตรฐานของ CoQ10 ดังนี้



ภาพภาคผนวก 1 กราฟมาตรฐาน CoQ10

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) มีวิธีการดังต่อไปนี้
อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can)
3. ตู้อบลมร้อน (hot-air oven)
4. โถดูดความชื้น

วิธีการ

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105°C นาน 3 ชั่วโมง เมื่อครบ 3 ชั่วโมงนำออกจากตู้ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัมใส่ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105°C นาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงนำออกจากตู้ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนัก
3. อบซ้ำจนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 0.005 กรัม



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

1. การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA

ตัดเส้นบะหมี่ยาว 7 เซนติเมตร 10 เส้น ต้มในน้ำ 500 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ให้สุก ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที วัดค่าความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะตัวกัน (adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าการยึดเกาะกัน (cohesiveness) และค่าการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) โดยใช้หัววัด P/50 โดยวัดค่าความแน่นเนื้อที่ 70% Strain และความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 0.8 มิลลิเมตร/วินาที



ภาพภาคผนวก 2 หัววัด P/50

2. การวัดค่าความต้านทานในแนวยาว

ตัดเส้นบะหมี่ยาว 20 เซนติเมตร 10 เส้น ต้มในน้ำ 500 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาที่เหมาะสมในการลวกบะหมี่ให้สุก ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที วัดค่า tensile strength โดยใช้หัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) โดยกำหนดระยะการดึงเป็น 1 มิลลิเมตร/วินาที



ภาพภาคผนวก 3 หัววัด spaghetti tensile grips

ภาคผนวก ง
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี 9-Point Hedonic Scale

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ผู้ทดสอบ ชาย หญิง วันที่ทดสอบ.....
คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบ โดยรวม ตามระดับคะแนนดังนี้

กำหนดให้	1	หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด	6	หมายถึงชอบเล็กน้อย
	2	หมายถึงไม่ชอบมาก	7	หมายถึงชอบปานกลาง
	3	หมายถึงไม่ชอบปานกลาง	8	หมายถึงชอบมาก
	4	หมายถึงไม่ชอบเล็กน้อย	9	หมายถึงชอบมากที่สุด
	5	หมายถึงเฉย ๆ		

รหัสตัวอย่าง	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
862						
121						
647						
326						
251						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

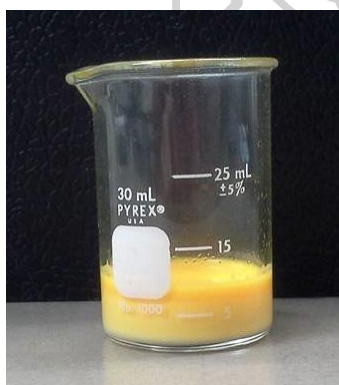
ภาคผนวก จ
ภาพประกอบงานวิจัย

เครื่อง HPLC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ CoQ10

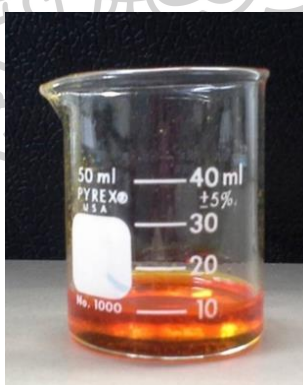


ภาพภาคผนวก 4 เครื่อง HPLC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ CoQ10

เอนแคปซูเลชัน CoQ10 ทั้ง 3 รูปแบบคืออิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อน CoQ10 กับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน



(a)



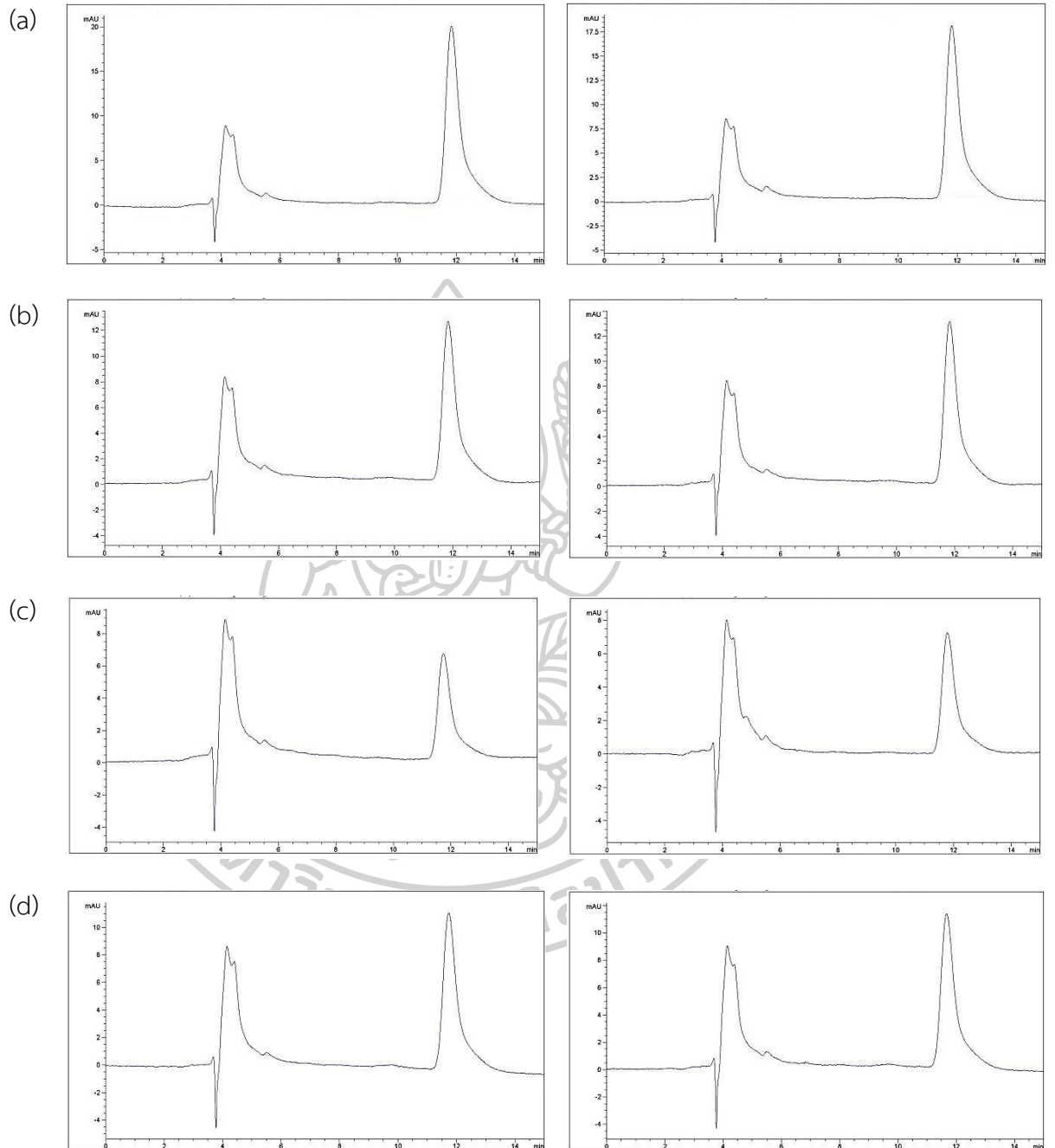
(b)



(c)

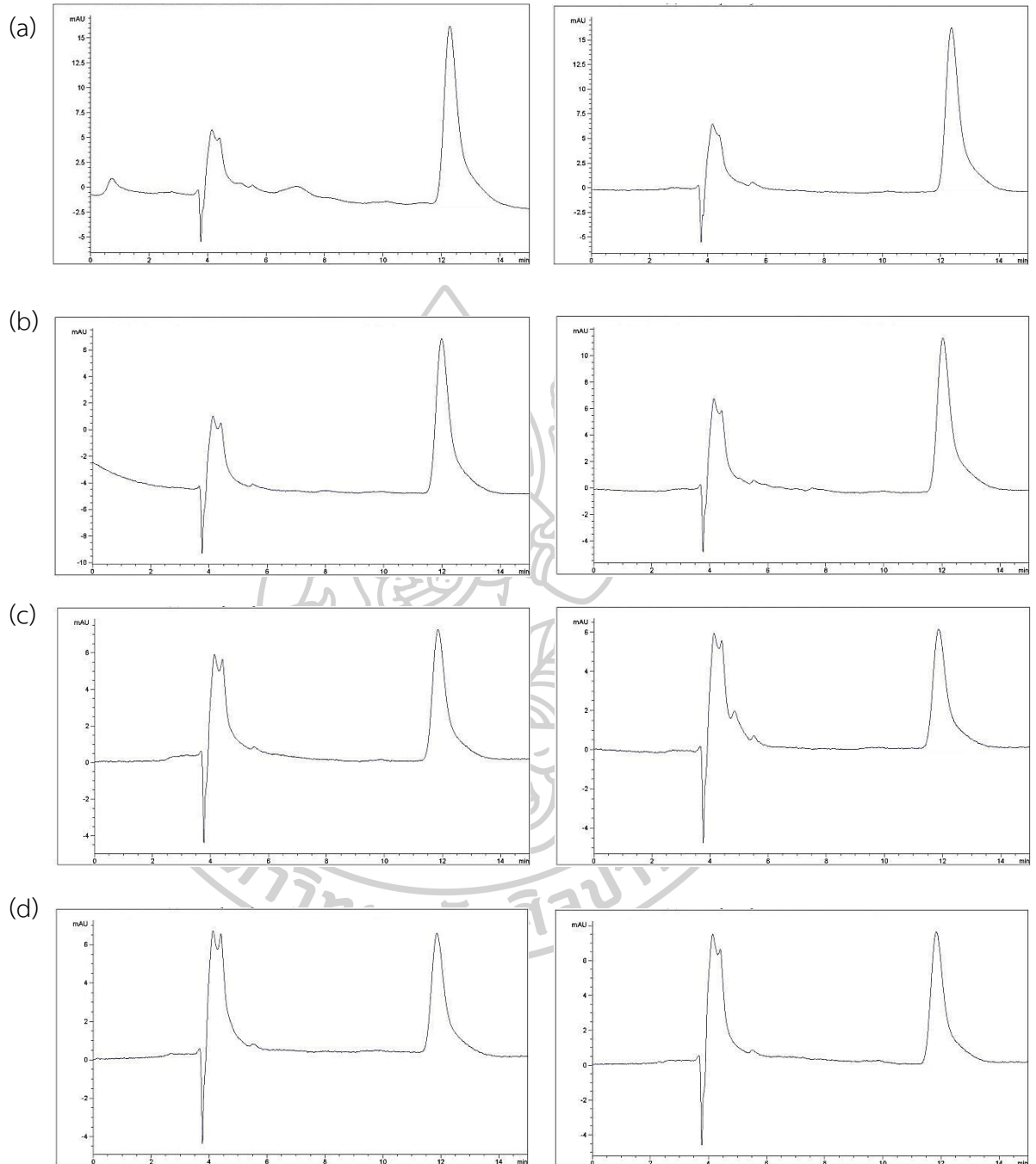
ภาพภาคผนวก 5 รูปแบบเอนแคปซูเลชัน CoQ10 (a) อิมัลชัน (b) ไมโครอิมัลชัน (c) สารเชิงซ้อน กับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน

โครมาโตแกรม (chromatogram) จากการวิเคราะห์ปริมาณ CoQ10 ด้วยวิธี HPLC ใน
ผลิตภัณฑ์บะหมี่สด



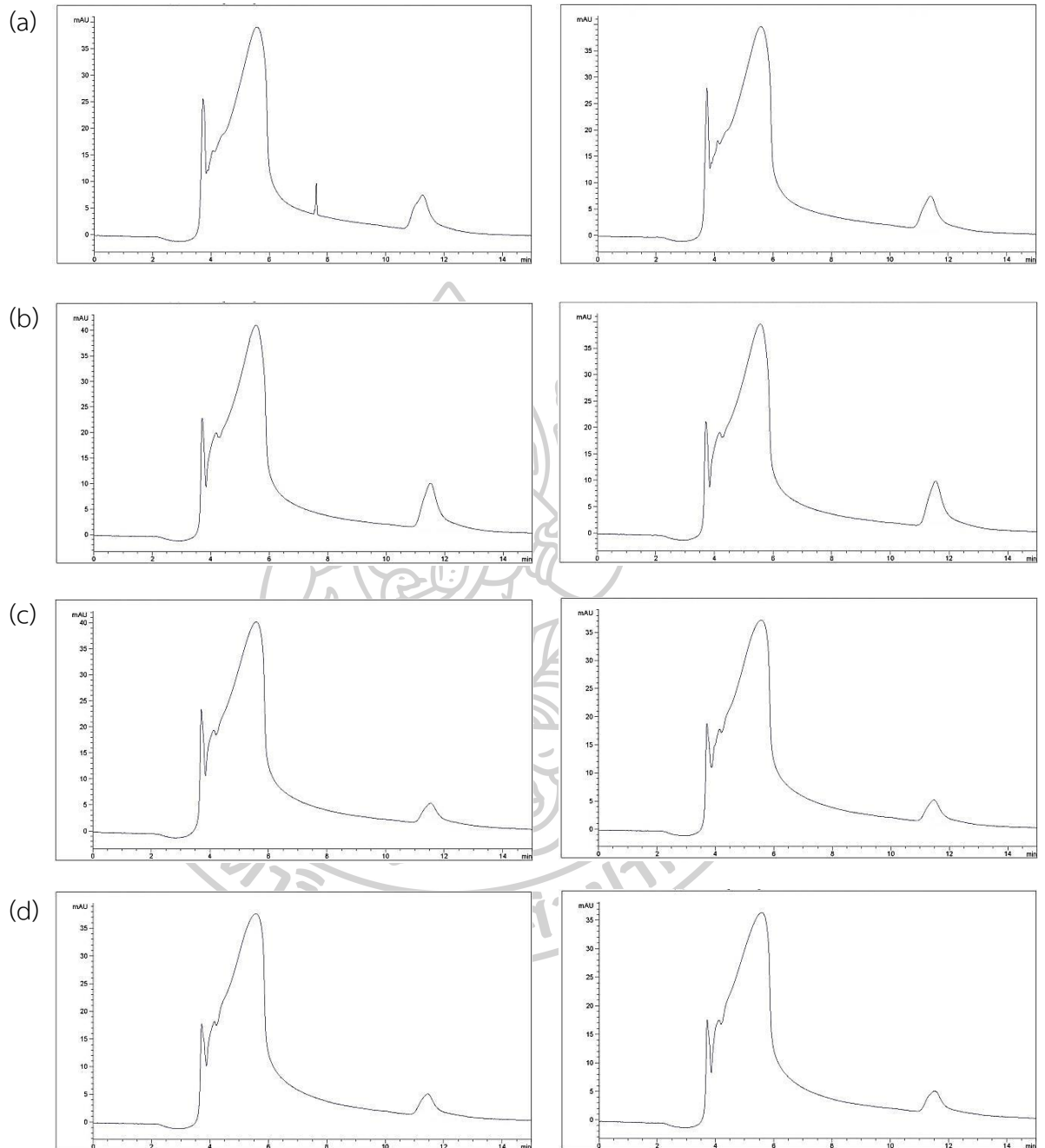
ภาพภาคผนวก 6 โครมาโตแกรมของบะหมี่สดเสริม CoQ10 (a) รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮ
โคลเต็กซ์ทริน (b) รูปแบบผง CoQ10 (c) รูปแบบอิมัลชัน (d) รูปแบบไมโคร
อิมัลชัน

โครมาโตแกรม (chromatogram) จากการวิเคราะห์ปริมาณ CoQ10 ด้วยวิธี HPLC ใน
ผลิตภัณฑ์บะหมี่ลวก



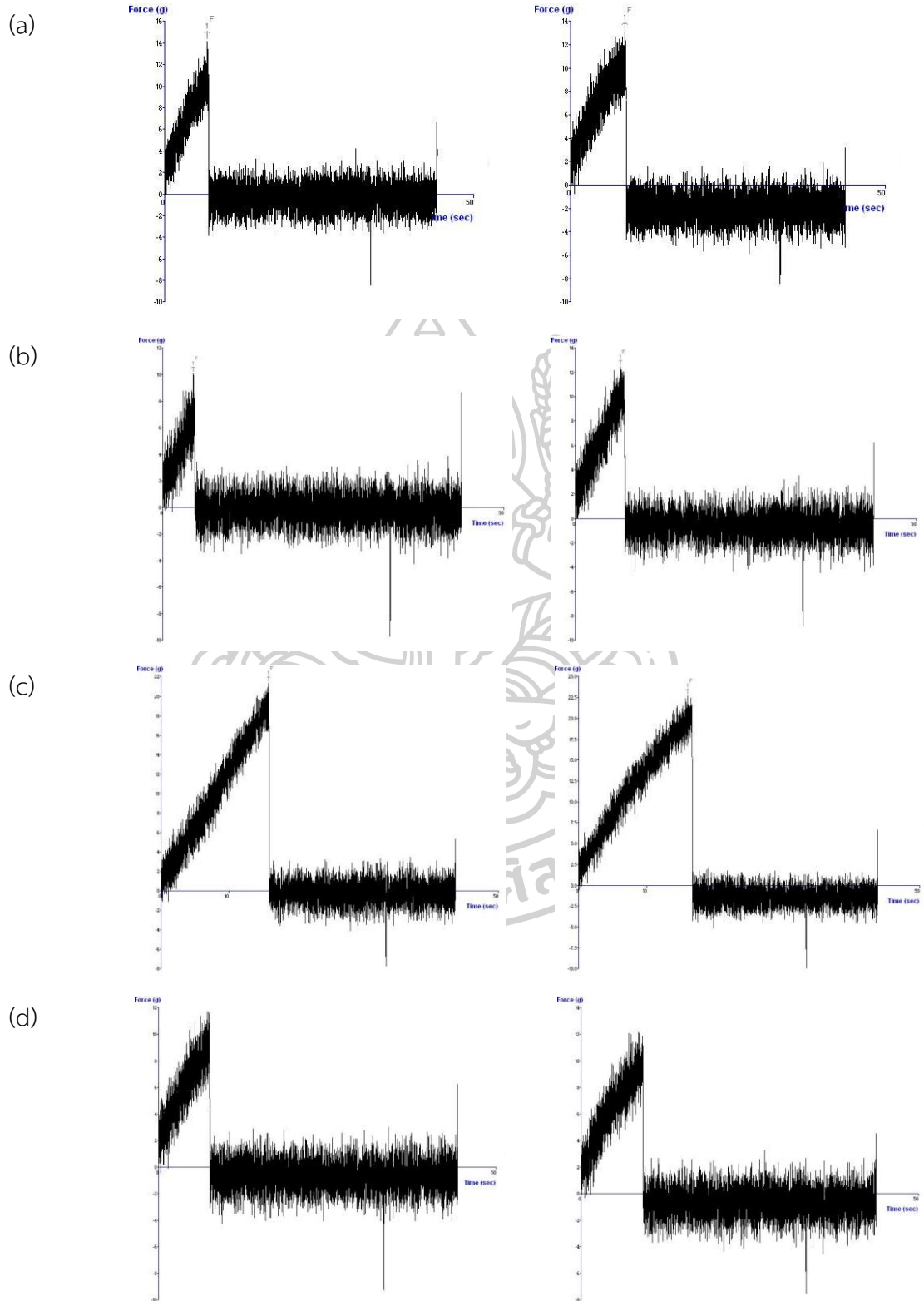
ภาพภาคผนวก 7 โครมาโตแกรมของบะหมี่ลวกเสริม CoQ10 (a) รูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮ
โคลเตกซ์ทริน (b) รูปแบบผง CoQ10 (c) รูปแบบอิมัลชัน (d) รูปแบบไมโคร
อิมัลชัน

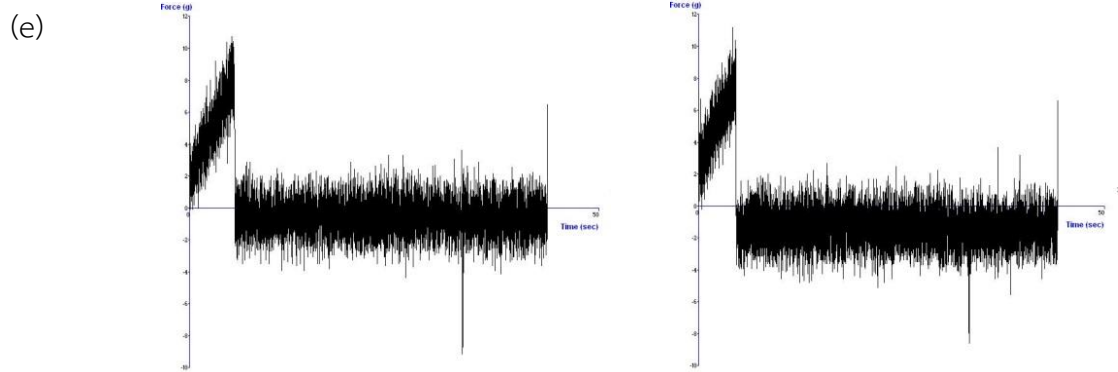
โครมาโตแกรม (chromatogram) ชีวภาพพร้อมใช้ของบะหมี่ จากการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณ
CoQ10 ด้วยวิธี HPLC



ภาพภาคผนวก 8 โครมาโตแกรมชีวภาพพร้อมใช้ของบะหมี่ลวกเสริม CoQ10 (a) รูปแบบสาร
เชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคลเดกซ์ทริน (b) รูปแบบผง CoQ10 (c) รูปแบบอิมัลชัน
(d) รูปแบบไมโครอิมัลชัน

กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความต้านทานต่อการดึงขาดของผลิตภัณฑ์บะหมี่ลวก
ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)



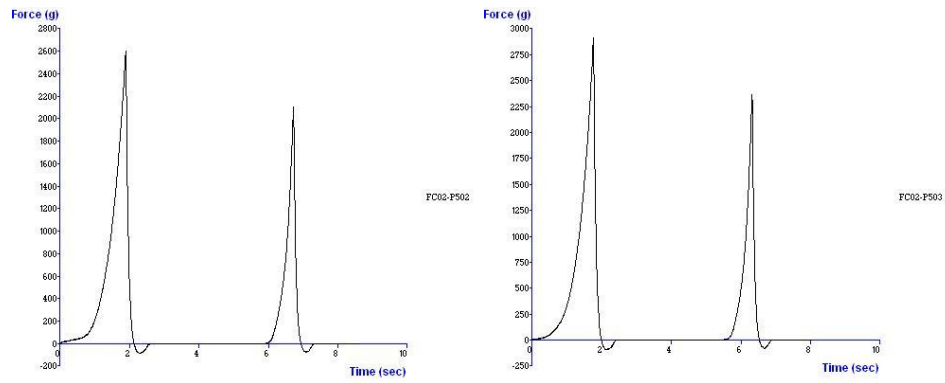


ภาพภาคผนวก 9 กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความต้านทานต่อการดึงขาดของผลิตภัณฑ์
 บะหมี่ลวก (a) สูตรควบคุม (b) รูปแบบเกมมาไซโคลเดกซ์ทรีน (c) รูปแบบผง
 (d) รูปแบบอิมัลชันและ (e) รูปแบบไมโครอิมัลชัน

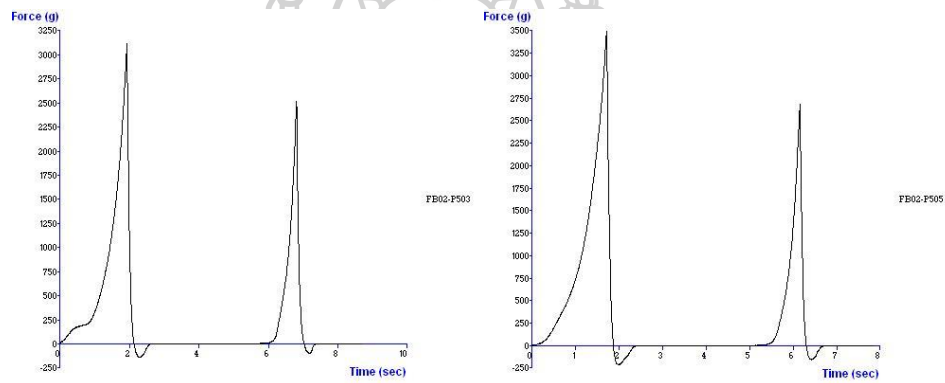


กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็ง และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์
บะหมี่ลวกด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

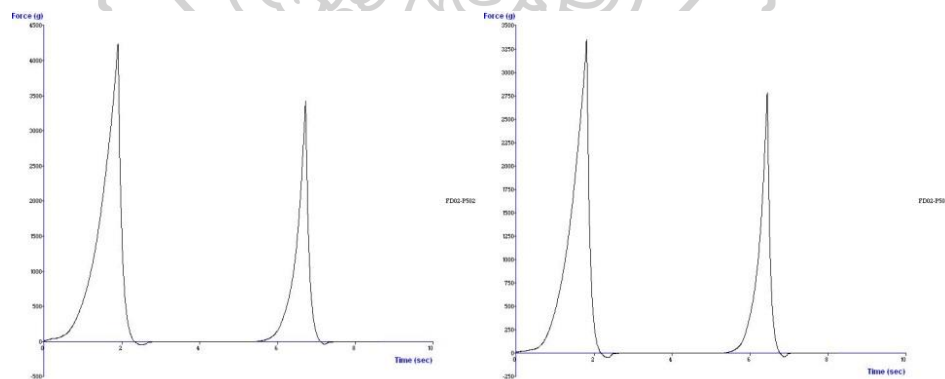
(a)



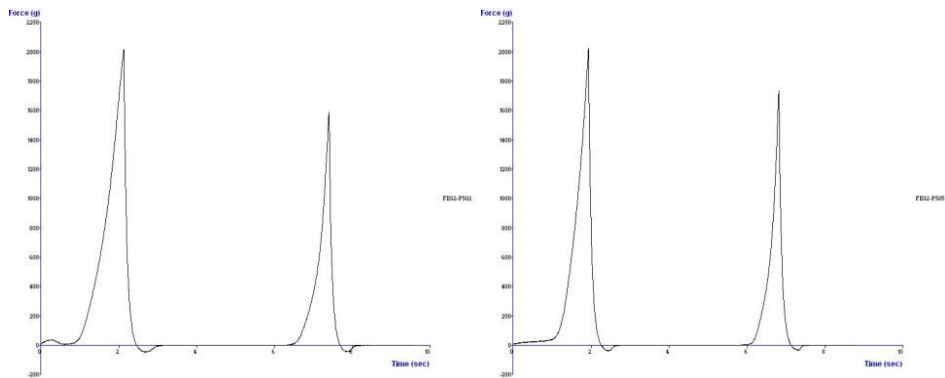
(b)



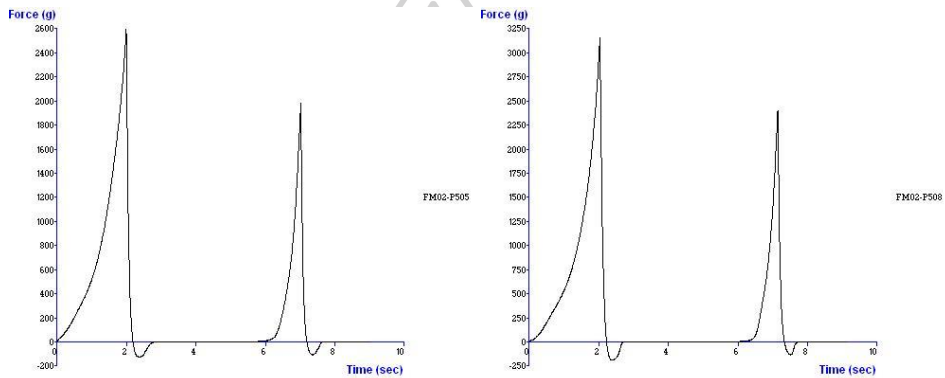
(c)



(d)



(e)



ภาพภาคผนวก 10 กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็ง และค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์บะหมี่ลวก (a) สูตรควบคุม (b) รูปแบบแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน (c) รูปแบบผง (d) รูปแบบอิมัลชัน และ (e) รูปแบบไมโครอิมัลชัน

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ CoQ10

KANEKA CORPORATION
QUALITY ASSURANCE GROUP, QOL DIVISION

1-8, MIYAMAEMACHI, TAKASAGO-CITY, TAKASAGO CITY,
HYOGO 676-8588, JAPAN FAX: +81-79-445-2843

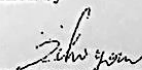
3 February 2014

CERTIFICATE OF ANALYSIS

We hereby certify that the quality of product conforms to our specifications.

Product	: JP UBIDECARENONE (UBIDECARENONE KANEKA)
Name of Manufacturer	: KANEKA CORPORATION
Site of Manufacture	: TAKASAGO CITY, HYOGO JAPAN
Manufacturing Date	: 21 May 2013
Expiration Date	: 21 May 2016
Lot No.	: S3642
Physical Property (Appearance)	: Yellow to orange crystalline powder
(Melting point)	: 50.5 °C
Identification Test 1	: A blue color appears
Identification Test 2	: Both spectra exhibit similar intensities of absorption at the same wave numbers
Heavy metals	: Less than 10 ppm
Related Substances	: The total area of the peaks other than the peak of Ubidecarenone from the sample solution is not larger than the peak area of Ubidecarenone from the standard solution
Water Content	: 0.04 %
Residue on Ignition Content	: 0.01 % : 99.8 %
Storage Conditions	: Product must be kept out of light in light-resistant containers and between 5°C and 25°C.

Certified by


Michiyo Mitsuda

Quality Control Manager
Quality Assurance Group, QOL Division

รายการอ้างอิง

Uncategorized References

- Amiri-Rigi, A., & Abbasi, S. (2017). Stability assessment of lycopene microemulsion prepared using tomato industrial waste against various processing conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(14), 4922-4928.
- Ankola, D. D., Viswanad, B., Bhardwaj, V., Ramarao, P., & Kumar, M. N. V. R. (2007). Development of potent oral nanoparticulate formulation of coenzyme Q10 for treatment of hypertension: can the simple nutritional supplements be used as first line therapeutic agents for prophylaxis/therapy? *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 67(2), 361-369.
- Appelqvist, I. A. M., Golding, M., Vreeker, R., & Zuidam, N. J. (2007). Emulsions as delivery systems in foods. *Encapsulation and controlled release technologies in food systems*, 41-81.
- Atwell, W. A. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal foods world*, 33, 306-311.
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2012). 2 - Challenges in developing delivery systems for food additives, nutraceuticals and dietary supplements. In *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals* (pp. 19-48): Woodhead Publishing.
- Baik, B.-K., & Lee, M.-R. (2003). Effects of starch amylose content of wheat on textural properties of white salted noodles. *Cereal Chemistry*, 80(3), 304-309.
- Barakat, A., Shegokar, R., Dittgen, M., & Müller, R. H. (2013). Coenzyme Q10 oral bioavailability: effect of formulation type. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 43(6), 431-451.
- Belhaj, N., Dupuis, F., Arab-Tehrany, E., Denis, F. M., Paris, C., Lartaud, I., & Linder, M. (2012). Formulation, characterization and pharmacokinetic studies of coenzyme Q10 PUFA's nanoemulsions. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 47(2), 305-312.

- Belitz, H. D., Kieffer, R., Seilmeier, W., & Wieser, H. (1986). Structure and function of gluten proteins. *Cereal Chemistry*, 63(4), 336-341.
- Bhagavan, H. N., Chopra, R. K., Craft, N. E., Chitchumroonchokchai, C., & Failla, M. L. (2007). Assessment of coenzyme Q10 absorption using an in vitro digestion-Caco-2 cell model. *International journal of Pharmaceutics*, 333(1), 112-117.
- Chen, S., Liu, W., Wan, J., Cheng, X., Gu, C., Zhou, H., . . . Yang, X. (2013). Preparation of Coenzyme Q10 nanostructured lipid carriers for epidermal targeting with high-pressure microfluidics technique. *Drug development and industrial pharmacy*, 39(1), 20-28.
- Crane, F. L. (2001). Biochemical functions of coenzyme Q10. *Journal of the American College of Nutrition*, 20(6), 591-598.
- Dighe, N. S., Pattan, S. R., Gaware, V. M., Hole, M. B., Musmade, D. S., Kale, S. H., & Waman, S. (2010). CoQ10 a wonder enzyme: a review. *Pharma Chemistry*, 1(2), 236-250.
- Dutton, P. L., Ohnishi, T., Darrouzet, E., Leonard, M. A., Sharp, R. E., Cibney, B. R., . . . Moser, C. C. (2000). Coenzyme Q oxidation reduction reactions in mitochondrial electron transport. *Coenzyme Q: Molecular mechanisms in health and disease*, 65-82.
- Edwards, Scanlon, Kruger, & Dexter. (1996a). Oriental noodle dough rheology: Relationship to water absorption, formulation, and work input during dough sheeting. *Cereal chemistry (USA)*.
- Edwards, Scanlon, M., Kruger, J., & Dexter, J. (1996b). Oriental noodle dough rheology: relationship to water absorption, formulation, and work input during dough sheeting. *Cereal chemistry (USA)*.
- Ercan, P., & El, S. N. (2011). Changes in content of coenzyme Q10 in beef muscle, beef liver and beef heart with cooking and in vitro digestion. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(8), 1136-1140.
- Ercan, P., & El, S. N. (2012). In vitro bioaccessibility of coenzyme Q10 in enriched yoghurts. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(9), 1986-1992.
- Ernster, L., & Dallner, G. (1995). Biochemical, physiological and medical aspects of ubiquinone function. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1271(1), 195-204.

- Finkel, T., & Holbrook, N. J. (2000). Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature*, 408, 239.
- Fir, M. M., Smidovnik, A., Milivojevic, L., Zmitek, J., & Prosek, M. (2009). Studies of CoQ10 and cyclodextrin complexes: solubility, thermo-and photo-stability. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 64(3-4), 225-232.
- Frost, & Sullivan. (2005). Opportunities in the Microencapsulated Food Ingredients Market.
- Gao, X., Nishimura, K., Hirayama, F., Arima, H., Uekama, K., Schmid, G., . . . Fukumi, H. (2006). Enhanced dissolution and oral bioavailability of coenzyme Q10 in dogs obtained by inclusion complexation with γ -cyclodextrin. *Asian J. Pharm. Sci*, 1(2), 95-102.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in food science & technology*, 15(7-8), 330-347.
- Halliwel, B. (1996). Antioxidants in Human Health and Disease. *Annual Review of Nutrition*, 16(1), 33-50.
- Hatcher, D. W., & Anderson, M. J. (2007). Influence of alkaline formulation on oriental noodle color and texture. *Cereal Chemistry*, 84(3), 253-259.
- Hedges, A. R. (1998). Industrial applications of cyclodextrins. *Chemical reviews*, 98(5), 2035-2044.
- Hou, G., Kruk, M., & Center, W. M. (1998). Asian noodle technology. *Technical Bulletin*, 20(12), 1-10.
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Itagaki, S., Ochiai, A., Kobayashi, M., Sugawara, M., Hirano, T., & Iseki, K. (2010). Grapefruit juice enhance the uptake of coenzyme Q10 in the human intestinal cell-line Caco-2. *Food Chemistry*, 120(2), 552-555.
- Jackson, L. S., & Lee, K. (1991). Microencapsulation and the food industry. *Lebensm. Wiss. Technology*, 24(4), 289-297.
- Kettawan, A. (2004). The content of coenzyme Q10 in foods, animal sources and vegetable oils. *Research Project, Mahidol University, Thailand*.

- Kommuru, T. R., Gurley, B., Khan, M. A., & Reddy, I. K. (2001). Self-emulsifying drug delivery systems (SEDDS) of coenzyme Q10: formulation development and bioavailability assessment. *International journal of Pharmaceutics*, 212(2), 233-246.
- Kosaraju, S. L., Tran, C., & Lawrence, A. (2006). Liposomal delivery systems for encapsulation of ferrous sulfate: preparation and characterization. *Journal of liposome research*, 16(4), 347-358.
- Kubo, H., Fujii, K., Kawabe, T., Matsumoto, S., Kishida, H., & Hosoe, K. (2008). Food content of ubiquinol-10 and ubiquinone-10 in the Japanese diet. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(3), 199-210.
- Kumar, A., Kaur, H., Devi, P., & Mohan, V. (2009). Role of coenzyme Q10 (CoQ10) in cardiac disease, hypertension and Meniere-like syndrome. *Pharmacology & Therapeutics*, 124(3), 259-268.
- Li, M., Luo, L.-J., Zhu, K.-X., Guo, X.-N., Peng, W., & Zhou, H.-M. (2012). Effect of vacuum mixing on the quality characteristics of fresh noodles. *Journal of Food Engineering*, 110(4), 525-531.
- Liu, G. Y., Wang, J. M., & Xia, Q. (2012). Application of nanostructured lipid carrier in food for the improved bioavailability. *European Food Research and Technology*, 234(3), 391-398.
- Lv, J., Yu, L., Lu, Y., Niu, Y., Liu, L., Costa, J., & Yu, L. (2012). Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. *Food Chemistry*, 135(2), 325-331.
- Mason, P. (2005). Potential uses for coenzyme Q10. *Pharmaceutical journal*, 275(7368), 379-382.
- Matsushita, N., Oshima, T., Takahashi, H., & Baba, Y. (2013). Enhanced water dispersibility of coenzyme Q10 by complexation with albumin hydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(25), 5972-5978.
- Matthews, R. T., Yang, L., Browne, S., Baik, M., & Beal, M. F. (1998). Coenzyme Q10 administration increases brain mitochondrial concentrations and exerts neuroprotective effects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(15), 8892-8897.

- Mattila, P., & Kumpulainen, J. (2001). Coenzymes Q9 and Q10: contents in foods and dietary intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(4), 409-417.
- McClements, D. J. (2015). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*: CRC press.
- Mellema, M., Van Benthum, W. A. J., Boer, B., Von Harras, J., & Visser, A. (2006). Wax encapsulation of water-soluble compounds for application in foods. *Journal of microencapsulation*, 23(7), 729-740.
- Morisco, C., Trimarco, B., & Condorelli, M. (1993). Effect of coenzyme Q10 therapy in patients with congestive heart failure: a long-term multicenter randomized study. *The clinical investigator*, 71(8), S134-S136.
- Mozafari, M. R., Flanagan, J., Matia-Merino, L., Awati, A., Omri, A., Suntres, Z. E., & Singh, H. (2006). Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2038-2045.
- Murray, M. T. (1996). *Encyclopedia of Nutritional Supplements: the Essential Guide for Improving Your Health Naturally*: Prima Pub.
- Ochiai, A., Itagaki, S., Kurokawa, T., Kobayashi, M., Hirano, T., & Iseki, K. (2007). Improvement in intestinal coenzyme Q10 absorption by food intake. *Yakugaku Zasshi*, 127(8), 1251-1254.
- Oh, N. H., Seib, P. A., Deyoe, C. W., & Ward, A. B. (1983). Noodles. I. Measuring the textural characteristics of cooked noodles. *Cereal Chemistry*, 60(6), 433-438.
- Overvad, K., Diamant, B., Holm, L., Hølmer, G., Mortensen, S. A., & Stender, S. (1999). Coenzyme Q10 in health and disease. *European Journal of Clinical Nutrition*, 53, 764-770.
- Ozaki, A., Muromachi, A., Sumi, M., Sakai, Y., Morishita, K., & Okamoto, T. (2010). Emulsification of coenzyme Q10 using gum arabic increases bioavailability in rats and human and improves food-processing suitability. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 56(1), 41-47.
- Palomäki, A., Malminiemi, K., Solakivi, T., & Malminiemi, O. (1998). Ubiquinone supplementation during lovastatin treatment: effect on LDL oxidation *ex vivo*. *Journal of lipid research*, 39(7), 1430.

- Park, & Baik, B. K. (2002). Flour characteristics related to optimum water absorption of noodle dough for making white salted noodles. *Cereal Chemistry*, 79(6), 867-873.
- Park, Kim, Y. O., Choi, H. K., Kug, Y. I., & Cho, D. B. (2003). Effects of green tea powder on noodle properties. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*.
- Pravst, I., Prosek, M., ALENKA, G. W., Zmitek, K., & Zmitek, J. (2009). The stability of coenzyme Q10 in fortified foods. *Acta chimica slovenica*, 56(4), 953-958.
- Pravst, I., Žmitek, K., & Žmitek, J. (2010). Coenzyme Q10 contents in foods and fortification strategies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(4), 269-280.
- Prosek, M., Smidovnik, A., Fir, M., Strazisar, M., Wondra, A. G., Andresek, S., & Zmitek, J. (2007). Water Soluble Form Of Coenzyme Q10 In The Form Of An Inclusion Complex With Beta-Cyclodextrin, Process Of Preparing, And Use Thereof. In: Google Patents.
- Sandor, P. S., Di Clemente, L., Coppola, G., Saenger, U., Fumal, A., Magis, D., . . . Schoenen, J. (2005). Efficacy of coenzyme Q10 in migraine prophylaxis: a randomized controlled trial. *Neurology*, 64(4), 713-715.
- Shao, Y., Yang, L., & Han, H.-K. (2015). TPGS-chitosome as an effective oral delivery system for improving the bioavailability of Coenzyme Q10. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 89, 339-346.
- Shiau, S.-Y., & Yeh, A.-I. (2001). Effects of alkali and acid on dough rheological properties and characteristics of extruded noodles. *Journal of Cereal Science*, 33(1), 27-37.
- Szejtli, J. (1998). Introduction and general overview of cyclodextrin chemistry. In *Chemical reviews* (Vol. 98, pp. 1743 - 1754): ACS Publications.
- Szente, L., & Szejtli, J. (2004). Cyclodextrins as food ingredients. *Trends in food science & technology*, 15(3-4), 137-142.
- Takahashi, M., Inafuku, K.-i., Miyagi, T., Oku, H., Wada, K., Imura, T., & Kitamoto, D. (2007). Efficient preparation of liposomes encapsulating food materials using lecithins by a mechanochemical method. *Journal of Oleo Science*, 56(1), 35-42.
- Taylor, T. M., Weiss, J., Davidson, P. M., & Bruce, B. D. (2005). Liposomal nanocapsules in food science and agriculture. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(7-8), 587-605.

- Terao, K., Nakata, D., Fukumi, H., Schmid, G., Arima, H., Hirayama, F., & Uekama, K. (2006). Enhancement of oral bioavailability of coenzyme Q10 by complexation with γ -cyclodextrin in healthy adults. *Nutrition Research*, 26(10), 503-508.
- Thanatuksorn, P., Kawai, K., Hayakawa, M., Hayashi, M., & Kajiwara, K. (2009). Improvement of the oral bioavailability of coenzyme Q10 by emulsification with fats and emulsifiers used in the food industry. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 385-390.
- Vladimir, P. T., & Weissig, V. (2003). *Liposomes, 2nd edn*. Oxford University Press: A practical approach.
- Wajda, R., Zirkel, J., & Schaffer, T. (2007). Increase of bioavailability of coenzyme Q10 and vitamin E. *Journal of medicinal food*, 10(4), 731-734.
- Wandrey, C., Bartkowiak, A., & Harding, S. E. (2010). *Materials for encapsulation*: Springer.
- Weis, M., Mortensen, S. A., Rassing, M. R., Møller-Sonnergaard, J., Poulsen, G., & Rasmussen, S. N. (1994). Bioavailability of four oral coenzyme Q10 formulations in healthy volunteers. *Molecular aspects of medicine*, 15, s273-s280.
- Were, L. M., Bruce, B. D., Davidson, P. M., & Weiss, J. (2003). Size, stability, and entrapment efficiency of phospholipid nanocapsules containing polypeptide antimicrobials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27), 8073-8079.
- Yoshikawa, T., Minamiyama, Y., Ichikawa, H., Takahashi, S., Naito, Y., & Kondo, M. (1997). Role of lipid peroxidation and antioxidants in gastric mucosal injury induced by the hypoxanthine-xanthine oxidase system in rats. *Free Radical Biology and Medicine*, 23(2), 243-250.
- Zaghloul, A.-a., Gurley, B., Khan, M., Bhagavan, H., Chopra, R., & Reddy, I. (2002). Bioavailability assessment of oral coenzyme Q10 formulations in dogs. *Drug development and industrial pharmacy*, 28(10), 1195-1200.
- Žmitek, J., Šmidovnik, A., Fir, M., Prošek, M., Žmitek, K., Walczak, J., & Pravst, I. (2008). Relative bioavailability of two forms of a novel water-soluble coenzyme Q10. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 52(4), 281-287.
- Zmitek, J., Zmitek, K., & Pravst, I. (2008). Improving the bioavailability of coenzyme Q10 from theory to practice. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 19(4), 8-10.

- Zobel, H. F., Young, S. N., & Rocca, L. A. (1988). Starch gelatinization: An X-ray diffraction study. *Cereal Chemistry*, 65(6), 443-446.
- Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*: Springer.
- Zuidam, N. J., Van, w. E., De, V. R., & Crommelin, D. (2003). Stability, storage and sterilization of liposomes. In Torchilin VP, Weissig V (eds), *Liposome*. In (pp. 149-165). Oxford University Press: Oxford.
- ไกรสิทธิ์ ตันติศิริพันธ์. (2559). ไขข้อข้องใจด้านอาหารและโภชนาการ. กรมอนามัย สำนักโภชนาการ: อนามัยบุ๊ค.
- สุภารัตน์ แก้วปรารถนา. (2547). ปัญหาพิเศษเรื่อง การใช้แป้งถั่วเขียวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง. โปรแกรมวิทยาศาสตรและเทคโนโลยอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สุวรรณ ศรีสวัสดิ์, ศรีศักดิ์ ตรีวัชรกุล, & สัมพันธ์ ศรีสุริยวงษ์. (2540). การผลิตและใช้ประโยชน์ทุเรียนดิบบดแห้ง. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2540). ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกราช เกตวัลท์. (2559). โคเอนไซม์คิวเทน (Coenzyme Q10). สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล: สูตรไพศาล.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อธิชา เนตรบุตร
วัน เดือน ปี เกิด	6 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	อุบลราชธานี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2547 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี พ.ศ.2558 ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านสวนนครชัยศรี เลขที่ 71/94 หมู่ที่ 4 ต.ท่าตำหนัก อ.นครชัยศรี จ. นครปฐม 73120
ผลงานตีพิมพ์	วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2560 งานวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สด เสริมโคเอนไซม์คิวเทน
รางวัลที่ได้รับ	งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน ได้รับรางวัล บทความวิจัยดี จากงานประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ด้าน"การวิจัย เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน" ครั้งที่ 6 ปี พ.ศ. 2560