

การผลิตนาโนอิมัลชันโดยวิธีที่ง่ายและประหยัดพลังงาน

Nanoemulsion Production by Simple and Low Energy Method

Suwimon Ariyaprakai^{1*}

Abstract

Oil-in-water nanoemulsions have been applied as oil encapsulated systems in drugs, foods, drinks, cosmetics, and active food packaging. Their advantage is having higher stability against phase separation compared to conventional emulsions. Nanoemulsions can be produced without using any expensive high shear or high energy homogenizers by using a method called spontaneous emulsification. Emulsions are formed by itself during stirring the mixtures composed of oils, surfactants, and water. Currently, researchers are developing nanoemulsion production systems by using different types of surfactants and oils, different proportions between surfactants and oils, different stirring conditions, and different types of additional solvents. These aimed to optimize the conditions for spontaneous emulsification in order to upscale the systems to industrial production level in the future.

Key words: Nanoemulsions, Low energy emulsification, Spontaneous emulsification, Surfactants.

บทคัดย่อ

นาโนอิมัลชันน้ำมันในน้ำได้นำมาประยุกต์ใช้ในยา อาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์ฟิล์มบรรจุหรือเคลือบถนอมอาหารต่าง ๆ มีข้อดีคือเป็นระบบกักเก็บน้ำมันที่มีความคงตัวต่อการแยกชั้นได้ดีกว่าอิมัลชันแบบปกติ นาโนอิมัลชันประกอบด้วยอนุภาคน้ำมันขนาดเล็กนี้สามารถผลิตได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่มีราคาสูงหรือใช้พลังงานสูงในการออกแรงเฉือน แต่ผลิตจากวิธีที่เรียกว่าวิธีการเกิดอิมัลชันตัวเอง โดยอิมัลชันสามารถก่อกำเนิดได้เองระหว่างกระบวนการผสมที่ประกอบด้วยน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว และน้ำ ปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนาหาชนิดสารลดแรงตึงผิวและชนิดน้ำมัน หาสัดส่วนปริมาณสารลดแรงตึงผิวและน้ำมัน หาภาวะการกวนผสมที่เหมาะสม และหาชนิดและปริมาณสารตัวทำละลายที่เติมเพิ่ม ทั้งนี้เพื่อพัฒนาระบบการผลิตนาโนอิมัลชันโดยวิธีการเกิดอิมัลชันตัวเองให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อขยายกำลังการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมในอนาคต

คำสำคัญ : นาโนอิมัลชัน, การผลิตอิมัลชันโดยวิธีใช้พลังงานต่ำ, การเกิดอิมัลชันตัวเอง, สารลดแรงตึงผิว

¹ Department of Food Biotechnology, School of Biotechnology, Assumption University, Bangkok 10240, Thailand

* Corresponding authors, e-mail: suwimona@yahoo.com

1. บทนำ

นาโนอิมัลชันเป็นระบบกักเก็บน้ำมันในน้ำที่มีความคงตัวสูง เนื่องจากอนุภาคน้ำมันซึ่งมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ทำให้กระจายตัวในน้ำได้ดี อนุภาคน้ำมันมีอัตราการเกาะกลุ่มกัน (flocculation) อัตราการรวมหยด (coalescence) และอัตราการแยกเป็นชั้น (creaming) ต่ำกว่าอิมัลชันที่ประกอบด้วยอนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่ (Tadros *et al.*, 2004) นาโนอิมัลชันอาจใช้กักเก็บยาโรค น้ำมันแต่งกลิ่นรส น้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการ น้ำมันผสมวิตามิน น้ำมันสมุนไพรที่มีฤทธิ์ทางยา หรือน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ต้านแมลงหรือต้านจุลินทรีย์ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในยา อาหาร เครื่องดื่ม ครีม โลชั่นบำรุงผิว เครื่องสำอาง และฟิล์มถนอมอาหารหรือเคลือบอาหาร ผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันนอกจากจะมีข้อดีคือมีความคงตัวสูงแล้ว ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีก อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ยาหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากนาโนอิมัลชันคือสามารถย่อยและดูดซึมสู่ร่างกายได้เร็ว ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่แต่งกลิ่นรสด้วยนาโนอิมัลชันมีลักษณะใสโปร่งแสงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความใส ผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันยาทาครีม หรือโลชั่นบำรุงผิว สามารถดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังได้เร็วเนื่องจากมีพื้นที่ผิวรอบอนุภาคน้ำมันที่มาก อีกทั้งให้เนื้อสัมผัสบนผิวหนังที่แตกต่างจากอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ผลิตภัณฑ์ประเภทฟิล์มถนอมอาหารหรือเคลือบอาหารนาโนอิมัลชันมีลักษณะใส มีคุณสมบัติป้องกันน้ำได้ดีและปลดปล่อยน้ำมันระเหยที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ได้ดีเนื่องจากมีพื้นที่ผิวรอบอนุภาคน้ำมันที่มาก (Galus and Kadzińska, 2015 ; McClements and Rao, 2011 ; Perazzo *et al.*, 2015 ; Rodríguez *et al.*, 2016) จากบทความปริทรรศน์ที่ตีพิมพ์ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมามีการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันและมีสิทธิบัตรผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันมากมายหลายประเภท ทั้งประเภทรับประทาน ยาฉีด ยาทาผิวหนัง ยาหยอดตา อาหารทางสายยางสำหรับผู้ป่วย ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวพรรณผลิตภัณฑ์ฟิล์มหรือสเปรย์ถนอมอาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมคุณค่าทางอาหาร (Acevedo-Fani *et al.*, 2017 ; Donsi and Ferrari, 2016 ; Helgeson, 2016 ; Hörmann and Zimmer, 2016 ; Katouzian and Jafari, 2016 ; Qadir *et al.*, 2016 ; Shin *et al.*, 2015 ; Singh *et al.*, 2017) จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง

โดยปกตินาโนอิมัลชันสามารถผลิตได้จากการใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์แรงดันสูงหรือเครื่องโฮโมจีไนเซอร์แบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูงหรือเครื่องไมโครฟลูอิดิกไดเซออร์ นาโนอิมัลชันอาจผลิตได้จากอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นวิธีทางเลือกที่น่าสนใจ คือวิธีการเกิดอิมัลชันได้เอง (spontaneous emulsification) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ใช้เพียงการกวนผสมส่วนผสมของน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว น้ำ เข้าด้วยกัน นาโนอิมัลชันที่ผลิตได้มีขนาดอนุภาคน้ำมันที่เล็ก และในบางกรณีอาจจะเล็กถึงระดับต่ำกว่า 50 นาโนเมตร ข้อดีของวิธีการเกิดอิมัลชันได้เองคือ ไม่ต้องลงทุนซื้อเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ในการผลิตนาโนอิมัลชันและประหยัดพลังงาน (McClements and Rao, 2011)

2. วิธีการเตรียมอิมัลชัน

ขั้นตอนการเตรียมนาโนอิมัลชันเริ่มจากการเตรียมส่วนผสมระหว่างน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ค่า Hydrophilic Lipophilic Balance (HLB) ที่ค่อนข้างสูง (เช่น $HLB = 11-17$) ในสัดส่วนที่เหมาะสม จากนั้นนำส่วนผสมระหว่างน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวค่อย ๆ หยดลงในภาชนะบรรจุน้ำโดยใช้ไมโครไปเปตเป็นตัวทำหยด โดยภาชนะบรรจุน้ำตั้งอยู่บนแท่นรองกวนแม่เหล็กที่ควบคุมความเร็วรอบในการกวน (Figure 1) อิมัลชันจะก่อกำเนิดขึ้นเองระหว่างการกวนผสม

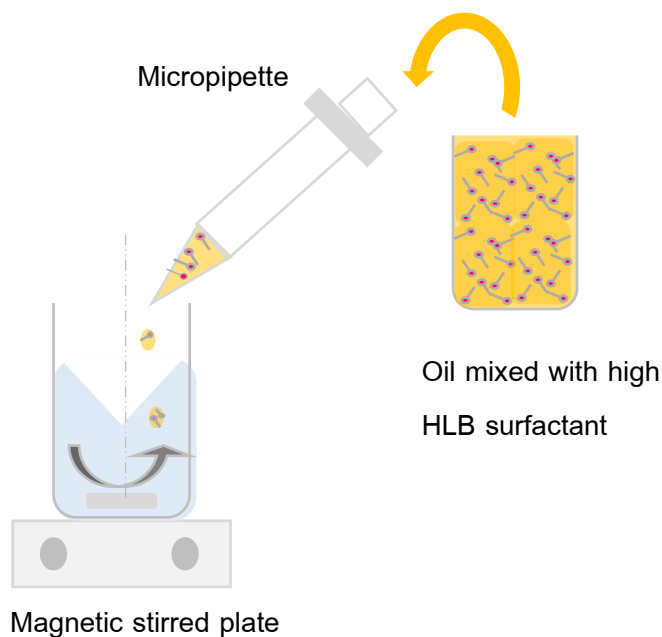


Figure 1 Spontaneous emulsification method by initially applying high HLB surfactants in the oil phase before putting in to the aqueous phase.

3. กลไกการเกิดอิมัลชันได้เอง

สารลดแรงตึงผิวที่มีคุณสมบัติชอบน้ำที่สมอยู่ในหยดน้ำมันจะแพร่ (diffusion) ไปสู่วัฏภาคน้ำด้วยความเร็วสูงเนื่องจากสารดังกล่าวชอบอยู่ในวัฏภาคน้ำมากกว่าในวัฏภาคน้ำมัน ทำให้เกิดการปั่นป่วนที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ (interfacial turbulence) แยกตัว (budding off) เป็นอนุภาคน้ำมันและกลายเป็นนาโนอิมัลชันน้ำมันในน้ำในที่สุด อย่างไรก็ตามก็ยังมีทฤษฎีอธิบายกลไกระหว่างการเกิดอิมัลชันได้เองอื่น ๆ อีก และในปัจจุบันกลไกการเกิดอิมัลชันได้เองยังไม่เป็นที่เข้าใจดีนัก (Anton and Vandamme, 2009 ; Solans *et al.*, 2016 ; Solans and Solé, 2012)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

ประสิทธิภาพในการผลิตนาโนอิมัลชันให้มีอนุภาคขนาดเล็กนั้นขึ้นกับสมบัติของสารลดแรงตึงผิวเป็นสำคัญ โดยขึ้นปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว ชนิดของน้ำมัน สัดส่วนที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวและน้ำมัน สภาวะการกวน และชนิดและปริมาณของตัวทำละลายที่เติมเพิ่ม

ในงานวิจัยที่ผ่านมียังมีใช้สารลดแรงตึงผิวประเภททวินชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ทวิน 20, ทวิน 40, ทวิน 60, ทวิน 80, และทวิน 85 (Chang *et al.*, 2013 ; Guttoff *et al.*, 2015 ; Saberi *et al.*, 2013b, 2016) ทวินแต่ละชนิดมีหัวเป็นสายโพลีออกซีเอทิลีนต่อกับซอร์บิแทนและมีหางเป็นสายกรดไขมันที่มีความยาวต่าง ๆ กัน จากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเมื่อใช้ทวิน 80 (Polyoxyethylene-20-sorbitan-monooleate) และในบางกรณีเมื่อใช้ทวิน 40 (Polyoxyethylene-20-sorbitan-monopalmitate) สามารถผลิตอิมัลชันมีขนาดอนุภาคน้ำมันเล็กกว่าเมื่อทวินชนิดอื่น ๆ นอกจากทวินแล้วมีงานวิจัยที่ใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น ๆ อาทิเช่น ฟอสโฟลิปิดที่สกัดจากเมล็ดดอกทานตะวัน และสแปน แต่พบว่าไม่สามารถผลิตเป็นนาโนอิมัลชันได้แต่เป็นอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคน้ำมันมีขนาดใหญ่ คือมากกว่า 10 ไมโครเมตร (Komaiko and McClements, 2015 ; Komaiko *et al.*, 2015) ทั้งนี้โครงสร้างที่ต่างกันของสารลดแรงตึงผิวทำให้สารลดแรงตึงผิวมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลระหว่างที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำต่างกัน เกิดเป็นชั้นสารลดแรงตึงผิวที่มีความโค้งและความยืดหยุ่นต่าง ๆ ทำให้อนุภาคน้ำมันที่ผลิตได้มีขนาดใหญ่หรือเล็กแตกต่างกันตามชนิดของสารลดแรงตึงผิวนั้น ๆ

สัดส่วนปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อปริมาณน้ำมันมีผลต่อขนาดอนุภาคอิมัลชันอย่างเห็นได้ชัด ที่สัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำมันในปริมาณต่ำ อนุภาคน้ำมันจะมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำมันในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น อนุภาคน้ำมันจะมีขนาดลดลง จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เมื่อใช้สัดส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำมันสูงถึงประมาณ 0.5–2.0 (หรือใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 5–20% โดยน้ำหนัก ผสมในปริมาณน้ำมัน 10% โดยน้ำหนัก) จะสามารถผลิตเป็นอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคน้ำมันที่เล็กระดับนาโน (Chang *et al.*, 2013 ; Davidov-Pardo and McClements, 2015 ; Guttoff *et al.*, 2015 ; Komaiko and McClements, 2015) ทั้งนี้สารลดแรงตึงผิวมีปริมาณมากเพียงพอในการผลิตอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิวโดยรอบอนุภาคน้ำมันที่มาก

น้ำมันชนิดต่าง ๆ สามารถใช้ในการเตรียมอิมัลชันโดยวิธีการเกิดอิมัลชันได้เอง ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้แก่ น้ำมันคาโนลา น้ำมันปลา น้ำมันเมล็ดองุ่น น้ำมันมะกอก น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง น้ำมันมะนาว และน้ำมันส้ม ซึ่งพบว่าอิมัลชันที่ผลิตจากน้ำมันแต่ละชนิดมีขนาดอนุภาคน้ำมันไม่เท่ากัน มีงานวิจัยพบว่านาโนอิมัลชันที่ผลิตจากน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (~100 นาโนเมตร) มีขนาดเล็กกว่าที่ผลิตจากน้ำมันจำพวกน้ำมันแตงกลี้นรส (~ 900 –1300 นาโนเมตร) และน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายยาว (>5 ไมโครเมตร) ตามลำดับ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของของน้ำมัน เช่นความหนืด ความหนาแน่น แรงตึงผิว พบว่าไม่มีความสัมพันธ์สมการเชิงเส้นกับขนาดอนุภาคน้ำมัน (Komaiko and McClements, 2015) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่ใช้ น้ำมันสองชนิดผสมกัน เช่น วิตามินอีผสมกับน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (Saberi *et al.*, 2013b) หรือน้ำมันคาร์วาคอรอลผสมกับน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (Chang *et al.*, 2013) หรือน้ำมันลิโมนีนผสมกับน้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (Saberi *et al.*, 2016) พบว่าสัดส่วนผสมของน้ำมันสองชนิดที่แตกต่างกันมีผลให้อนุภาคน้ำมันมีขนาดต่างกัน

สภาวะในการกวนอิทธิพลต่อขนาดอนุภาคน้ำมันที่เกิดขึ้นจากการเกิดอิมัลชันได้เอง การศึกษาที่ผ่านมาใช้ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมนาโนอิมัลชันอยู่ในช่วง 200–800 รอบต่อนาทีและกวนใน

ระยะเวลา 10–15 นาที อิมัลชันมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงเกือบครึ่งหนึ่ง เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวนจาก 200 รอบต่อนาทีเป็น 800 รอบต่อนาที (Guttoff *et al.*, 2015 ; Saberi *et al.*, 2013b)

การเติมตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ เพิ่มในวัฏภาคน้ำมันมีส่วนช่วยในการลดขนาดอนุภาคน้ำมันและเพิ่มความใสได้ อาทิเช่น เมื่อเติมเอทานอลในปริมาณ 20% และเติมโพลีฟีนีลไกลคอลในปริมาณ 30% ในวัฏภาคน้ำมันช่วยลดขนาดอนุภาคน้ำมันจาก >100 นาโนเมตร ถึงระดับต่ำกว่า 50 นาโนเมตร (Saberi *et al.*, 2013a) ทั้งนี้ตัวทำละลายที่เติมมีผลต่อคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว อาทิเช่น ปรับความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิว ค่าแรงตึงผิว ค่าความโค้งตามธรรมชาติและค่าความยืดหยุ่นของชั้นสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ 2 สรุปการทบทวนวรรณกรรมวิธีการเตรียมน้ำมันอิมัลชันโดยวิธีการเกิดอิมัลชันได้เอง

เอกสารอ้างอิง	ชนิดน้ำมัน (ปริมาณ)	ชนิดสาร ลดแรงตึงผิว (ปริมาณ)	สารเติมเพิ่มอื่น ๆ (ปริมาณ)	ขนาดอนุภาคน้ำมันที่ เล็กที่สุดที่ผลิตได้ (ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเฉลี่ย)
Yang <i>et al.</i> , 2012	น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง (20% โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80, ทวิน 85 และ ทวิน 80 ผสมทวิน 85 (10% โดยน้ำหนัก)	-	<200 นาโนเมตร
Chang <i>et al.</i> , 2013	น้ำมันคาร์วาครอล (2.5 % โดยน้ำหนัก) ผสมกับน้ำมันไตรกลี เซอไรด์สายกลาง (7.5% โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80 (10% โดยน้ำหนัก)	-	55 นาโนเมตร
Saberi <i>et al.</i> , 2013a	วิตามินอีอะซิเตท (10% โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80 (10% โดยน้ำหนัก)	โพลีฟีนีลไกลคอล (30 %โดยน้ำหนัก) หรือเอทานอล (20% โดยน้ำหนัก)	<50 นาโนเมตร
Saberi <i>et al.</i> , 2013b	วิตามินอี (8% โดยน้ำหนัก) ผสมกับ น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง (2% โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80 (10 % โดยน้ำหนัก)	-	<50 นาโนเมตร
Davidov-Pardo and McClements, 2015	น้ำมันผสมกับ น้ำมันสกัดจากเมล็ด องุ่นในสัดส่วน 1:1 (10 %โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80 (10 %โดยน้ำหนัก)	-	100 นาโนเมตร

ตารางที่ 2 สรุปการทบทวนวรรณกรรมวิธีการเตรียมนาโนอิมัลชันโดยวิธีการเกิดอิมัลชันตัวเอง (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	ชนิดน้ำมัน (ปริมาณ)	ชนิดสารลดแรงตึงผิว (ปริมาณ)	สารเติมเพิ่มอื่นๆ (ปริมาณ)	ขนาดอนุภาคน้ำมันที่ เล็กที่สุดที่ผลิตได้ (ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเฉลี่ย)
Guttoff <i>et al.</i> , 2015	วิตามินดี ผสมกับ น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง (10 %โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80 (10 %โดยน้ำหนัก)	-	<200 นาโนเมตร
Walker <i>et al.</i> , 2015	น้ำมันปลา (5% โดยน้ำหนัก) ผสมกับ น้ำมันมะนาว (5% โดยน้ำหนัก)	ทวิน 80 (>12.5%โดยน้ำหนัก)	-	~100 นาโนเมตร
Komaiko and McClements, 2015	น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง, น้ำมันแต่งกลิ่นรส, น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายยาว (10 %โดยน้ำหนัก)	สแปน 20 ทวิน 20, 40, 60, 80, และ 85 (20 %โดยน้ำหนัก)	-	~100 นาโนเมตร ถึง >10 ไมครอน (แล้วแต่ ชนิดน้ำมัน) (ทวิน 80 ให้ ขนาดเล็กสุด)
Komaiko <i>et al.</i> , 2015	น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง (5 %โดยน้ำหนัก)	ฟอสโฟลิปิดจากเมล็ด ดอกทานตะวัน ทวิน 80 (5 %โดยน้ำหนัก)	-	> 10 ไมโครเมตร (สำหรับฟอสโฟลิปิด) ~200 นาโนเมตร (สำหรับทวิน 80)
Saberi <i>et al.</i> , 2016	น้ำมันไตรกลีเซอไรด์ สายกลาง (3 %โดยน้ำหนัก) ผสมกับ น้ำมันลิโมนีน (7 %โดยน้ำหนัก)	ทวิน 40, 60, 80 (15 %โดยน้ำหนัก)	-	< 30 นาโนเมตร (สำหรับทวิน 40)

5. ข้อจำกัดของการวิธีการเกิดอิมัลชันตัวเอง

สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในวิธีการเกิดอิมัลชันตัวเองเป็นสารสังเคราะห์และอาจประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์สำหรับบริโภคได้ในปริมาณจำกัด (Santana *et al.*, 2013) การบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในปริมาณสูงอาจมีผลต่อสุขภาพได้ (McClements and Rao, 2011)

6. ข้อจำกัดของนาโนอิมัลชัน

นาโนอิมัลชันกักเก็บน้ำมันจำพวกน้ำมันที่มีโมเลกุลเล็กพบปัญหว่านาโนอิมัลชันสามารถสลายตัวจากการเกิดออสวาร์ดริเพนนิ่ง (Ostwald ripening) เนื่องจากน้ำมันที่มีโมเลกุลเล็กสามารถแพร่ผ่านวัฏภาคน้ำได้ ทำให้อนุภาคน้ำมันมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บที่นานขึ้น (Gutiérrez *et al.*, 2008 ; Solans *et al.*, 2005 ; Tadros *et al.*, 2004)

ผลิตภัณฑ์นาโนอิมัลชันสำหรับการบริโภคอาจมีผลต่อสุขภาพได้ อาทิเช่น ร่างกายสามารถดูดซึมนาโนอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กและมีพื้นที่ผิวมากได้เร็วและดีกว่าอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ เป็นไปได้ว่าสารที่มีฤทธิ์ที่กักเก็บในนาโนอิมัลชันดูดซึมสู่ร่างกายในปริมาณมากเกินไปและอาจมีผลเสียต่อร่างกายได้ (McClements and Rao, 2011)

7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

นาโนอิมัลชันกักเก็บน้ำมันในน้ำที่มีขนาดอนุภาคเล็กระดับ 50–200 นาโนเมตรสามารถเตรียมได้โดยวิธีการเกิดอิมัลชันได้เอง โดยใช้สารลดแรงตึงประเภททวินและใช้น้ำมันชนิดต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสัดส่วนผลผลิตที่เหมาะสมโดยประมาณประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวในปริมาณอย่างน้อย 10% โดยน้ำหนัก น้ำมัน 10% โดยน้ำหนัก และน้ำ 80% โดยน้ำหนัก กวนผสมด้วยความเร็วรอบ ~800 รอบต่อนาที เป็นเวลา~15 นาที วิธีการเกิดอิมัลชันได้เองเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดเล็กเนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำ และใช้เพียงอุปกรณ์ปั่นผสมที่ใช้ความเร็วรอบไม่สูงนัก จึงเสนอแนะให้มีการทำวิจัยพัฒนาต่อยอดต่อไป

นอกจากนี้ปัจจุบันได้มีการใช้วิธีการเกิดอิมัลชันได้เองในการผลิตดับเบิลนาโนอิมัลชัน (double nanoemulsions) หรือนาโนอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ เพื่อใช้ในการกักเก็บสารมีฤทธิ์ที่ละลายน้ำได้ (อาทิเช่น ยาที่ละลายในน้ำ) ในอนุภาคน้ำที่ซ่อนอยู่ในอนุภาคน้ำมันและแขวนลอยในวัฏภาคน้ำอีกทีหนึ่ง ซึ่งวิธีการผลิตต้องใช้อิมัลซิไฟเออร์ประเภทที่ชอบน้ำมันผสมในวัฏภาคน้ำมันก่อนและต้องใช้อิมัลซิไฟเออร์ประเภทที่ชอบน้ำผสมในวัฏภาคน้ำก่อน และต้องทำหดยดสองขั้นตอนเพื่อก่อเกิดอิมัลชันน้ำในน้ำมันและอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำตามลำดับ อย่างไรก็ตามก็ตีพบว่ายังไม่มีมีการวิจัยพัฒนาการผลิตดับเบิลนาโนอิมัลชันโดยวิธีนี้นัก (Shakeel *et al.*, 2014) จึงน่าสนใจที่จะทำการวิจัยต่อยอดต่อไปเพราะดับเบิลนาโนอิมัลชันมีประโยชน์ทางด้านควบคุมอัตราการปลดปล่อยสารมีฤทธิ์และดูดซึมสู่ร่างกายได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- Acevedo-Fani, A., Soliva-Fortuny, R., and Martín-Belloso, O. 2017. Nanostructured emulsions and nanolaminates for delivery of active ingredients: Improving food safety and functionality. *Trends in Food Science & Technology*. 60 : 12–22.
- Anton, N., and Vandamme, T. F. 2009. The universality of low-energy nano-emulsification. *International Journal of Pharmaceutics*. 377(1–2): 142–147.

- Chang, Y., McLandsborough, L., and McClements, D. J. 2013. Physicochemical Properties and Antimicrobial Efficacy of Carvacrol Nanoemulsions Formed by Spontaneous Emulsification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(37): 8906–8913.
- Davidov-Pardo, G., and McClements, D. J. 2015. Nutraceutical delivery systems: Resveratrol encapsulation in grape seed oil nanoemulsions formed by spontaneous emulsification. *Food Chemistry*. 167:205–212.
- Donsì, F., and Ferrari, G. 2016. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*. 233: 106–120.
- Galus, S., and Kadzińska, J. 2015. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*. 45(2):273–283.
- Gutiérrez, J. M., González, C., Maestro, A., Solè, I., Pey, C. M., and Nolla, J. 2008. Nano-emulsions: New applications and optimization of their preparation. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. 13(4): 245–251.
- Guttoff, M., Saberi, A. H., and McClements, D. J. 2015. Formation of vitamin D nanoemulsion-based delivery systems by spontaneous emulsification: Factors affecting particle size and stability. *Food Chemistry*. 171: 117–122.
- Helgeson, M. E. 2016. Colloidal behavior of nanoemulsions: Interactions, structure, and rheology. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 25: 39–50.
- Hörmann, K., and Zimmer, A. 2016. Drug delivery and drug targeting with parenteral lipid nanoemulsions — A review. *Journal of Controlled Release*. 223: 85–98.
- Katouzian, I., and Jafari, S. M. 2016. Nano-encapsulation as a promising approach for targeted delivery and controlled release of vitamins. *Trends in Food Science and Technology*. 53: 34–48.
- Komaiko, J., and McClements, D. J. 2015. Low-energy formation of edible nanoemulsions by spontaneous emulsification: Factors influencing particle size. *Journal of Food Engineering*. 146: 122–128.
- Komaiko, J., Sastrosubroto, A., and McClements, D. J. 2015. Formation of Oil-in-Water Emulsions from Natural Emulsifiers Using Spontaneous Emulsification: Sunflower Phospholipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63(45): 10078–10088.
- McClements, D. J., and Rao, J. 2011. Food-Grade Nanoemulsions: Formulation, Fabrication, Properties, Performance, Biological Fate, and Potential Toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 51(4): 285–330.
- Perazzo, A., Preziosi, V., and Guido, S. 2015. Phase inversion emulsification: Current understanding and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. 222: 581–599.

- Qadir, A., Faiyazuddin, M. D., Talib Hussain, M. D., Alshammari, T. M., and Shakeel, F. 2016. Critical steps and energetics involved in a successful development of a stable nanoemulsion. *Journal of Molecular Liquids*. 214: 7–18.
- Rodríguez, J., Martín, M. J., Ruiz, M. A., and Clares, B. 2016. Current encapsulation strategies for bioactive oils: From alimentary to pharmaceutical perspectives. *Food Research International*. 83: 41–59
- Saberi, A. H., Fang, Y., and McClements, D. J. 2013a. Fabrication of vitamin E-enriched nanoemulsions by spontaneous emulsification: Effect of propylene glycol and ethanol on formation, stability, and properties. *Food Research International*. 54(1): 812–820.
- Saberi, A. H., Fang, Y., and McClements, D. J. 2013b. Fabrication of vitamin E-enriched nanoemulsions: Factors affecting particle size using spontaneous emulsification. *Journal of Colloid and Interface Science*. 391: 95–102.
- Saberi, A. H., Fang, Y., and McClements, D. J. 2016. Influence of surfactant type and thermal cycling on formation and stability of flavor oil emulsions fabricated by spontaneous emulsification. *Food Research International*. 89, Part 1: 296–301.
- Santana, R. C., Perrechil, F. A., and Cunha, R. L. 2013. High- and Low-Energy Emulsifications for Food Applications: A Focus on Process Parameters. *Food Engineering Reviews*. 5(2): 107–122.
- Shakeel, F., Haq, N., Al-Dhfyar, A., Alanazi, F. K., and Alsarra, I. A. 2014. Double w/o/w nanoemulsion of 5-fluorouracil for self-nanoemulsifying drug delivery system. *Journal of Molecular Liquids*. 200, Part B: 183–190.
- Shin, G. H., Kim, J. T., and Park, H. J. 2015. Recent developments in nanoformulations of lipophilic functional foods. *Trends in Food Science & Technology*. 46(1): 144–157.
- Singh, Y., Meher, J. G., Raval, K., Khan, F. A., Chaurasia, M., Jain, N. K., and Chourasia, M. K. 2017. Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. *Journal of Controlled Release*. 252: 28–49.
- Solans, C., Izquierdo, P., Nolla, J., Azemar, N., and Garcia-Celma, M. J. 2005. Nano-emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 10(3–4): 102–110.
- Solans, C., Morales, D., and Homs, M. 2016. Spontaneous emulsification. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 22: 88–93.
- Solans, C., and Solé, I. 2012. Nano-emulsions: Formation by low-energy methods. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 17(5): 246–254.
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., and Solans, C. 2004. Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 108–109: 303–318.

- Walker, R. M., Decker, E. A., and McClements, D. J. 2015. Physical and oxidative stability of fish oil nanoemulsions produced by spontaneous emulsification: Effect of surfactant concentration and particle size. *Journal of Food Engineering*. 164: 10–20.
- Yang, Y., Marshall-Breton, C., Leser, M. E., Sher, A. A., and McClements, D. J. 2012. Fabrication of ultrafine edible emulsions: Comparison of high-energy and low-energy homogenization methods. *Food Hydrocolloids*. 29(2): 398–406.