

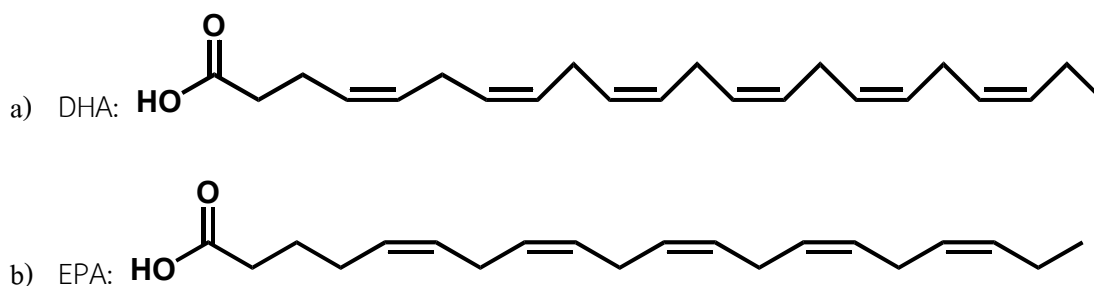
บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พัฒนาการทางสมองในเด็กมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อเด็กไทยที่จะเติบโตเป็นผู้ใหญ่ในอนาคต ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริการับรองแล้วว่ากรดไขมันโอเมก้า 3 มีส่วนช่วยบำรุงประสาทและสมอง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ช่วยบำรุงหัวใจ มีฤทธิ์ต้านการซึมเศร้า และยังมีความสำคัญต่อโครงสร้างของเรตินาในตาด้วย แต่ปัญหาในการรับประทานกรดไขมันโอเมก้า 3 เช่น กลืนคาวปลา หรือเมื่อกินไปใหญ่เกินไป เป็นข้อจำกัดอย่างมากสำหรับการรับประทานของเด็ก ดังนั้นการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ลงในอาหารที่เด็กชอบรับประทานจึงเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

เจลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่พบได้ทั่วไปตั้งแต่ในตลาดสด ห้างสรรพสินค้า และร้านอาหาร นอกจากรสชาติแล้ว ลักษณะโดยทั่วไปของวุ้นและเจลลี่ จะมีภาพลักษณ์ ลวดลาย และสีสันสดใส จึงเป็นที่สนใจสำหรับเด็กๆ การเพิ่มคุณค่าทางฟังก์ชัน เช่น การเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ให้กับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ จึงเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับเด็กๆซึ่งกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาการทางด้านร่างกายและสมอง ซึ่งกรดไขมันโอเมก้า 3 ประกอบด้วย DHA (docosahexaenoic acid) และ EPA (eicosapentaenoic acid) ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ยังจะเสริมวิตามินที่ทำหน้าที่บำรุงประสาทและสมองคือ วิตามินบี ได้แก่ วิตามินบี 6, วิตามินบี 9 และ วิตามินบี 12 สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ การผลิตเจลลี่จากผลไม้ไทยเป็นการยกระดับผลไม้ไทยอีกชั้นหนึ่ง ด้วยการเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้ไทย โดยมีจุดมุ่งหมายสำหรับผู้บริโภคที่มากกว่ารสชาติ ความอร่อย ยังเสริมประโยชน์ในการช่วยบำรุงประสาทและสมอง โดยเฉพาะคุณประโยชน์สำหรับเด็ก

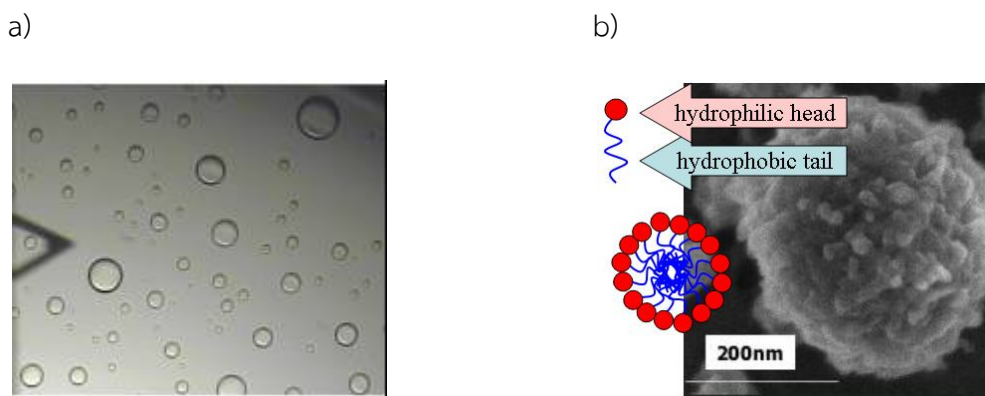


ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุล a) DHA และ b) EPA ซึ่งเป็นกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำมันปลา

ที่ผ่านมา การเติมกรดไขมันโอเมก้า 3 ส่วนใหญ่จะผสมในนมหรือโยเกิร์ตเพราะโปรตีน casein ในนมจะช่วย จับกรดไขมันโอเมก้า 3 ได้ดี และ encapsulate กรดไขมันโอเมก้า 3 เอาไว้ภายในได้ การเติมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำผลไม้ หรือเจลลี่ผลไม้เป็นงานวิจัยที่ทำหาย และยังไม่มีการศึกษามาก่อน เป็นสาเหตุที่ต้องดำเนินการวิจัยนี้ เมื่อส่วนประกอบของน้ำผลไม้อุดมไปด้วยน้ำและสารไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ที่ละลายรวมอยู่ในน้ำ วิตามินบีสามารถละลายในน้ำได้ จึงรวมตัวกับน้ำผลไม้ได้เช่นกัน แต่ไขมันโอเมก้า 3 มีคุณสมบัติ

ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ที่ไม่ละลายในน้ำ โดยปกติจึงไม่สามารถรวมตัวกับน้ำผลไม้ได้ อย่างไรก็ตามการผสมส่วนประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิกเข้าด้วยกันโดยไม่แยกชั้นออกจากกันสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการกระจายตัว (dispersion) ดังเช่น การทำน้ำสลัด เป็นต้น หรือการใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เป็นตัวกลางช่วยในการรวมตัวกันดังเช่น การทำมายองเนส เป็นต้น ความคงตัวและทนต่อการเกิด oxidation ของสารผสมนี้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากงานวิจัยของกลุ่มวิจัย นำโดย Sabeena *et al.* (2010) พบว่าโปรตีนสายสั้นที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตนั้น ช่วยป้องกันการเกิด oxidation ของสารโอเมก้า 3 ได้ดี งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพของเจลลี่ ที่เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำผลไม้ต่างๆและกรดไขมันโอเมก้า 3 (DHA และ EPA) เพื่อให้ได้ไมโครอิมัลชันที่อุดมไปด้วยไขมันโอเมก้า 3 รวมถึงศึกษาผลของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในผลไม้แต่ละชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ ในการช่วยต้านการเกิด oxidation ของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเจลลี่ผลไม้ รวมถึงการคงตัวของผลิตภัณฑ์ และความสามารถในการละลายในกระเพาะเพื่อเป้าหมายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทเจลลี่ผลไม้เสริมสารโอเมก้า 3 ซึ่งยังคงกลิ่นและรสชาติที่เป็นจุดสนใจสำหรับเด็กๆ พร้อมทั้งเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

การทำให้สารที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน เกิดการรวมตัวกันได้นั้น อาศัยหลักการ 2 ประการ อย่างแรกคือ การทำให้น้ำและน้ำมันกระจายตัวแทรกเข้าไปในชั้นตรงข้ามกัน ดังแสดงในภาพที่ 1a คือโมเลกุลน้ำกระจายตัวแทรกเข้าไปในชั้นน้ำมัน ส่วนโมเลกุลน้ำมันก็กระจายตัวแทรกเข้าไปในชั้นน้ำ เช่น น้ำสลัดแบบน้ำใส (vinaigrette) ประการที่สองคือ การใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่มีคุณสมบัติจับโมเลกุลไขมันได้ดี และละลายในน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1b) เช่น การใช้น้ำยาล้างจาน ล้างคราบมันออกจากภาชนะ เป็นต้น



ภาพที่ 2 การผสมกันระหว่างน้ำและน้ำมัน a) แสดงลักษณะการกระจายตัวของหยดน้ำมันในน้ำ และ b) แสดงลักษณะของเคซีนไมเซลล์ที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์

กรดไขมันโอเมก้า 3 มีคุณสมบัติเหมือนน้ำมัน คือไม่ละลายในน้ำ การผสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ลงในอาหารและเครื่องดื่มทำได้โดยการทำให้เกิดอิมัลชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์จำพวกนม เช่นนม นมผง และโยเกิร์ต เนื่องจากในนมมีโปรตีนเคซีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ที่ช่วยจับโมเลกุลกรดไขมันโอเมก้า 3 เกิดเป็นไมโครอิมัลชัน และละลายในน้ำได้ (Lopez-Huertas 2010; Zimet *et al.*, 2011) การผสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำโดยอาศัยหลักการดักจับกระจายตัวของโมเลกุลกรดไขมันโอเมก้า 3 ด้วยเจลาตินเมทริกซ์ ซึ่งทำให้เกิดเป็นไมโครอิมัลชันอีกแบบหนึ่งนั้นประสบความสำเร็จในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่อ่อนนุ่มและเคี้ยวได้ง่าย (Haug *et al.*, 2011) โดยอาศัยหลักการดังกล่าว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ลงในน้ำผลไม้ และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้ สิ่งสำคัญคือเทคโนโลยีที่ใช้เพื่อให้กรดไขมันโอเมก้า 3 กลายเป็นอนุภาคขนาดไมครอนและแทรกตัวอยู่ในน้ำผลไม้ นั้น เป็นสิ่งที่ท้าทายในการศึกษาวิจัย

การรักษาสภาพของกรดไขมันโอเมก้า 3 มีสมมุติฐานมาจากโปรตีนสายสั้นที่มีมากในโยเกิร์ต ซึ่งนอกจากจะช่วยให้กรดไขมันโอเมก้า 3 มีความคงตัวแล้ว ยังช่วยให้กรดไขมันโอเมก้า 3 ทนต่อการเกิด oxidation อีกด้วย เนื่องจากโปรตีนสายสั้นนั้นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Sabeena *et al.*, 2010) จากสมมุติฐานที่ว่าสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยป้องกันการเกิด oxidation ของกรดไขมันโอเมก้า 3 ดังนั้นผลไม้ชนิดต่างๆ น่าจะช่วยป้องกันการเกิด oxidation ของกรดไขมันโอเมก้า 3 ได้ และประสิทธิภาพในการช่วยป้องกันน่าจะแตกต่างกัน เนื่องจากผลไม้แต่ละชนิดมีฟลาโวนอยด์แตกต่างกัน ซึ่งฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะไมโครอิมัลชันของเจลลี่ผลไม้ที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างผลไม้ไทยชนิดต่างๆ (เช่น กระเจี๊ยบ สับปะรด มังคุด เป็นต้น) และน้ำมันปลา
2. เพื่อศึกษาผลของสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้ชนิดต่างๆ ที่ช่วยป้องกันการเกิด oxidation ของน้ำมันปลาในเจลลี่ผลไม้
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่เสริมสารโอเมก้า 3 และวิตามินบี เพื่อบำรุงประสาทและเสริมพัฒนาการทางสมอง

ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการเกิดไมโครอิมัลชันของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ ในลักษณะที่เป็นเจล โดยกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ใช้คือ DHA (docosahexaenoic acid) และ EPA (epicosapentaenoic acid) ส่วนน้ำผลไม้ไทยที่ใช้คือ น้ำมะม่วง น้ำเงาะ และน้ำกระเจี๊ยบ

ไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้ ซึ่งจะวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเจลลี่ผลไม้โดย

1. ขนาดของหยดกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ
2. ความคงตัวและทนต่อการเกิด oxidation ของกรดไขมันโอเมก้า 3
3. จำลองสภาวะการละลายออกของกรดไขมันโอเมก้า 3 เมื่อถูกย่อยในกระเพาะและลำไส้
4. ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้และเทคโนโลยีการผลิตเจลลี่ผลไม้เสริมโอเมก้า 3 ซึ่งจะเป็นของหวานหรือของทานเล่น ที่มีคุณประโยชน์สำหรับเด็ก
2. บริการให้ความรู้แก่กลุ่มเป้าหมาย เช่น นิสิต/นักศึกษา หรือผู้ประกอบการภาคธุรกิจ
3. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ความสนใจในกรดไขมันโอเมก้า 3 เริ่มเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2516 เมื่อนักวิทยาศาสตร์ทำการศึกษาโรคต่างๆ และอาหารของประชากรชาวเอสกีโมในประเทศกรีนแลนด์ พบว่าชาวเอสกีโมนิยมบริโภคอาหารที่มีไขมันสูงแต่กลับมีอัตราการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันต่ำมาก อาหารที่มีไขมันสูงที่ชาวเอสกีโมรับประทานล้วนมาจากอาหารทะเลและปลาทะเลต่างๆ (Dyerberg and Bang 1979) สัตว์ทะเลที่มีปริมาณไขมันสูง เช่น ปลาปากแหลม ปลาแซลมอน ปลาเจมพิช ปลาแมคเคอเรล ปลาทูน่า ปลาชาร์ดิน และหอยนางรม เป็นต้น ต่อมาการศึกษาผลของน้ำมันปลาและกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อสภาวะโรคต่างๆ จึงเกิดขึ้นมากมาย การทดลองผลของน้ำมันปลา และกรดไขมันโอเมก้า 3 กับกลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันโอเมก้า 3 มีคุณสมบัติลดความดันโลหิตได้ประมาณ 0.35-0.66 mmHg/g (Morris *et al.*, 1993) ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ เพราะช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด (Bays 2008) ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจวายเฉียบพลัน (Albert *et al.*, 1998) โรคหัวใจเต้นผิดจังหวะ (Kang and Leaf 1994) และป้องกันหลอดเลือดแข็งตัวได้อีกด้วย (Ågren *et al.*, 1997) จากการรวบรวมผลการศึกษาลงทุนของการรับประทานอาหารที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 สูง สมาคม American Heart Association (AHA) ได้ออกคำแนะนำในการบริโภคปลาทะเลอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 มื้อ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Krauss *et al.*, 2000) ล่าสุดมีการศึกษาพบประโยชน์เพิ่มเติมของกรดไขมันโอเมก้า 3 คือ ช่วยให้ระบบประสาทและสมองทำงานได้ดีขึ้น รวมถึงช่วยเสริมสร้างเนื้อเยื่อประสาทและสมองในเด็ก (Cheatham *et al.*, 2006)

กรดไขมันโอเมก้า 3 ที่พบในน้ำมันปลาได้แก่ DHA (docosahexaenoic acid) และ EPA (eicosapentaenoic acid) (Jacobsen *et al.*, 2008) ซึ่งโมเลกุลมีลักษณะเป็นสายโซ่คาร์บอนยาว มีความยาวของคาร์บอนจำนวน 20 และ 22 อะตอม มีพันธะคู่ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 นับจากด้านปลายสายโซ่ จึงเป็นโมเลกุลกรดไขมันที่มีพันธะไม่อิ่มตัว โมเลกุลกรดไขมันโอเมก้า 3 นี้ ถูกผลิตเมื่อปลาทะเลกินอาหารจำพวกสัตว์เซลล์เดียวในทะเล นอกจากนี้กรดไขมันโอเมก้า 3 ถือเป็นกรดไขมันจำเป็นสำหรับปลาทะเลด้วยเช่นกัน คุณสมบัติของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำมันปลา ทำให้กรดไขมันโอเมก้า 3 ได้รับความสนใจศึกษาในการบริโภคและศึกษาเพิ่มเติมเป็นอย่างมาก แต่หากรับประทานอาหารทะเลเพื่อให้ได้รับกรดไขมันโอเมก้า 3 อาจต้องรับประทานเป็นจำนวนมาก เช่น หากต้องการได้รับปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 จำนวน 1 กรัม จะต้องรับประทานปลาทูน่ากระป๋องถึง 12 กระป๋อง ปลาชาร์ดิน 3 ตัว ปลาแซลมอน 3 ตัว หอยนางรม 7 ตัว หรือหอยเชลล์ 18 ตัว เป็นต้น (USDA, nalusda.gov/fnic/foodcomp) ข้อจำกัดนี้เป็นการเปิดช่องทางให้อุตสาหกรรมอาหารและยาพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับน้ำมันปลา และกรดไขมันโอเมก้า 3 ได้กว้างขวาง เช่น การผลิตน้ำมันปลาชนิดแคปซูลเพื่อเป็นอาหารเสริม เป็นต้น ซึ่งต่อมาสมาคม American Heart Association (AHA) ได้ออกคำแนะนำอีกว่า หากผู้ที่ไม่สามารถรับประทานปลาทะเลตามจำนวนที่แนะนำ การรับประทานกรดไขมันโอเมก้า 3 (EPA และ DHA) ในรูปแบบอาหารเสริมสามารถทำได้ภายใต้การควบคุมของนักกายภาพหรือแพทย์ (Kris-Etherton *et al.*, 2002) การตรวจสอบน้ำมันปลาชนิดแคปซูลจำนวน 16 เครื่องหมาย

การค้าในประเทศสหรัฐอเมริกาไม่พบสารปนเปื้อนและปลอดภัยสำหรับการบริโภค (Consumer reports, 2003) ด้วยหลักฐานมากมายเกี่ยวกับคุณสมบัติที่ชัดเจนเหล่านี้ของกรดไขมันโอเมก้า 3 คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงอนุญาตให้ติดฉลากอ้างถึงสรรพคุณที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจบนผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (น้ำมันปลา) รวมไปถึงอาหารที่เสริม DHA และ EPA ได้

ข้อดีทางโภชนาการของกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อสุขภาพของมนุษย์ถูกยืนยันด้วยหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการยืนยันจากคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ทำให้อาหารเชิงพันธุภาพ (functional food) ที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 เป็นองค์ประกอบนั้น เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่มีการเติบโตเร็วที่สุดในวงการอาหารของยุโรปและอเมริกา เช่น เครื่องดื่ม ชอส น้ำมัน และขนม ซึ่งการบริโภคอาหารเชิงพันธุภาพดังกล่าวช่วยให้ร่างกายได้รับกรดไขมันโอเมก้า 3 โดยที่ผู้บริโภคไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการรับประทานอาหาร อย่างไรก็ตามกลิ่นคาวและรสชาติของน้ำมันปลาเป็นปัญหาที่ทำให้ผู้บริโภคยังไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ที่เสริมน้ำมันปลาแล้วมีกลิ่นคาวรุนแรง งานวิจัยโดย Kolanowski *et al.* (1999) พบว่าเครื่องดื่มประเภทนม และนมปรุงรสสามารถเสริมน้ำมันปลาได้ในปริมาณสูงกว่าเครื่องดื่มประเภทอื่น ความหวานและกลิ่นรสที่ปรุงแต่งสามารถช่วยกลบกลิ่นคาวของน้ำมันปลาได้ (Kolanowski *et al.*, 1999) นอกจากนมแล้วผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากนม เช่น โยเกิร์ต ก็มีการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ด้วยเช่นกัน ส่วนขนมปัง บิสกิต และขนมทานเล่นที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ถูกพัฒนาและทดสอบโดย Harrison *et al.* (2004) ส่วนในประเทศไทยนั้นผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้าที่เสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 เริ่มออกจำหน่ายเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ที่อ้างอิงว่ามีส่วนผสมกรดไขมันโอเมก้า 3 เช่น ปลาแมคเคอเรลในซอสมะเขือเทศพร้อมผักสามสี บรรจุกระป๋อง (ตราโรซ่า) เครื่องดื่มโอวัลติน Smart รสช็อคโกแลต สำหรับย่อยซอสสไตน์ญี่ปุ่น (ตราเจ้าแค้นน้อย) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 หรือน้ำมันปลาในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวอย่างเจลลี่ ยังไม่มีการผลิตทางการค้าในประเทศไทย ผลิตภัณฑ์เจลลี่เสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในต่างประเทศ เช่น ขนมขบเคี้ยวเจลลี่ (ตรา Rhino gummy) เป็นต้น อย่างไรก็ตามขนมขบเคี้ยวเจลลี่เสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่พบนี้เป็นเจลลี่ชนิดแข็งตัว การเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในผลิตภัณฑ์ขนมเจลลี่ชนิดอ่อนตัวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะเหมาะสมสำหรับเด็ก และมีโอกาสจำหน่ายได้ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

การผสมน้ำมันลงไปในน้ำให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน จำเป็นต้องทำให้เกิดการผสมระหว่างคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิกเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการกระจายตัว (dispersion) หรือ อิมัลชัน เช่น ผลิตภัณฑ์นม นมถั่วเหลือง เป็นต้น ระบบอิมัลชันจึงเป็นระบบที่ประกอบด้วยหลายสถานะ เช่นระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ของเหลวที่เป็นสถานะต่อเนื่องคือน้ำ ส่วนของเหลวที่เป็นสถานะกระจายตัวคือน้ำมัน ซึ่งอาจมีขนาดระดับไมโครหรือนาโนเมตร น้ำมันหรือของเหลวที่มีคุณสมบัติไฮโดรโฟบิกนี้มักจะเป็นโมเลกุลที่มีคุณสมบัติ เช่น แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ (Neves *et al.*, 2008) วิตามิน (Gonnet *et al.*, 2010) รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระ (Hood *et al.*, 2011) เป็นต้น อิมัลชันชนิดนี้ทำให้โมเลกุลที่มีคุณสมบัติไฮโดรโฟบิกกระจายตัวในน้ำได้ดีกว่าที่เป็นโมเลกุลสถานะเดี่ยวซึ่งจะรวมตัวเป็นกลุ่มหรือชั้น การทดสอบใน

ห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสัตว์ทดลองเผยให้เห็นว่าการกระจายตัวได้ดีนี้ช่วยให้เพิ่มอัตราการดูดซึมโมเลกุลไฮโดรโฟบิกหรือโมเลกุลไขมันพันธภาพ (functional lipid) เข้าสู่ร่างกายได้ดีขึ้น (Neves *et al.*, 2008) และเมื่อไขมันบางชนิดที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุภาคขนาดไมโครหรือนาโนเมตรมีความสามารถในการตกผลึก การเคลื่อนตัวและแพร่ออกจากอนุภาคก็ยังมีน้อยลง ส่งผลให้เกิดความคงตัวของโมเลกุลไขมันพันธภาพสูง (Weiss *et al.*, 2008) การกระจายตัวของโมเลกุลไขมันพันธภาพที่มีขนาดระดับนาโนเมตรสามารถทำได้โดยใช้วิธีการระเหยตัวทำละลายที่ใช้ผสมอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (Tan and Nakajima 2005a) หรือการทำให้เกิดอนุภาคระดับนาโนเมตรโดยตรง (Ribeiro *et al.*, 2008) กระบวนการการผลิตอิมัลชันน้ำมันในน้ำอาจพิจารณาจากกระบวนการเกิดอิมัลชันบนหลักการ 2 หลักการ ได้แก่ อย่างแรกคือจากระดับบนสู่ระดับล่าง (top-down) หลักการนี้อาศัยเครื่องมือที่สามารถทำให้ของเหลวขนาดใหญ่แตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กด้วยการใส่พลังงานเข้าสู่ระบบในรูปแบบแรงตัด แรงขยาย และแรงอัดปะทะ ซึ่งส่งผลให้เกิดอนุภาคขนาดประมาณ 0.1 – 100 μm อุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ colloid mills (King and Keswani 1994) และเครื่องโฮโมจิไนส์เซอร์ (Gascon *et al.*, 1999) อย่างที่สองคือจากระดับล่างสู่ระดับบน (bottom-up) อาศัยหลักการควบแน่นโมเลกุลหรืออิมัลชันในของเหลว โดยแต่ละโมเลกุลจะรวมตัวกันเองโดยธรรมชาติ ภายใต้การควบคุมทาง thermodynamics ส่งผลให้เกิดอนุภาคนาโนเมตรเกิดเป็นถุงเล็กๆได้ อนุภาคที่ได้มีขนาดประมาณ 5 – 100 nm (Sanguansri and Augustin 2006) อย่างไรก็ตามนอกจากเครื่องมือและหลักการที่ใช้ผลิตอิมัลชันน้ำมันในน้ำจะมีความสำคัญมากแล้ว ผลกระทบจากคุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวทั้งน้ำมันและน้ำก็มีผลต่ออิมัลชันเช่นกัน

การเติมน้ำมันปลาในอิมัลชันน้ำมันในน้ำสามารถผลิตได้โดยอาศัยหลักการข้างต้น แต่คุณภาพและคุณสมบัติของอิมัลชันชนิดนี้ขึ้นตรงอยู่กับคุณภาพของน้ำมันปลาเป็นอย่างมาก การรักษาคุณภาพในอิมัลชันไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย การเสื่อมสภาพของน้ำมันมักจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พื้นผิวของน้ำมันก่อนจะลามไปถึงโมเลกุลน้ำมันส่วนที่อยู่ภายใน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พื้นผิวของหยดน้ำมันจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำนายความเสถียรของน้ำมันต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในอิมัลชัน สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหยดน้ำมันในอิมัลชันอาจแบ่งได้หลายอย่าง เช่น ขนาดอนุภาคน้ำมัน ปริมาณอนุภาคหยดน้ำมันในอิมัลชัน ความหนาและการเรียงตัวของอิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น Azuma *et al.* (2009) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคน้ำมันปลาในอิมัลชันน้ำมันในน้ำต่อความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเตรียมอิมัลชันน้ำมันปลาในน้ำที่มีขนาดอนุภาคน้ำมันปลาแตกต่างกัน ตั้งแต่ 7.4 – 39.1 μm แล้ววิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่ลดลงจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอนุภาคน้ำมันปลาอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องตรวจสอบปริมาณออกซิเจน พบว่าอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคน้ำมันปลาลึกถึงความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปลาก็ลดลงตามไปด้วย แต่เมื่อใช้คลื่นความถี่ทำให้อนุภาคน้ำมันปลามีขนาดเล็กลงเป็น 1.0 μm อนุภาคน้ำมันปลาจะมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ก็ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเช่นกัน โดยเมื่อใช้ polyoxyethylenesorbitan monolaurate เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Azuma *et al.*, 2009) ส่วนอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่มีประจุลบ อย่างเช่น

sodium dodecyl sulfate (SDS) จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง สารเติมแต่งที่มีคุณสมบัติคีเลชัน อย่างเช่น EDTA ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหยดน้ำมันปลาในอิมัลชันได้อีกชั้นหนึ่ง (Mancuso *et al.*, 1999; Frankel *et al.*, 2002) เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันปลาเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็น โมเลกุลประเภท peroxide ดังนั้นอีกแนวทางหนึ่งที่ใช้วัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปลาคือการวัด ปริมาณโมเลกุลสาร peroxide หรือคำนวณออกมาในรูปค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์จะมีการ เปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างเร็ว ดังนั้นวิธีการวัดค่าเปอร์ออกไซด์จึงถูกพัฒนาให้มีความแม่นยำและความไวสูง เทคนิคที่ได้รับความนิยมคือ การวัดค่าความเข้มของสีด้วยวิธี spectroscopy อย่างไรก็ตาม Hornero-Méndez *et al.* (2001) ได้ปรับปรุงวิธีการทาง spectroscopy จากเดิมที่ใช้วิธีทำให้เกิดสีด้วยสารละลาย ไอโอดีน ซึ่งมีข้อจำกัดสำหรับการวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่มีส่วนประกอบของสารคาโรทีนอยด์ ให้เป็นการเกิดสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลเหล็ก จากประจุ 2 เป็นประจุ 3 ($\text{Fe(II)} \rightarrow \text{Fe(III)}$) แล้ววัดความเข้มของสีภายใต้รังสีช่วง ultraviolet-visible spectrophotometry (Hornero-Méndez *et al.*, 2001) ปฏิกิริยาการเกิดสีเกิดขึ้นเมื่อ peroxide ทำปฏิกิริยากับเฟอร์รอสคลอไรด์ (FeCl_2) เกิดเป็น Fe(II) หลังจากนั้น Fe(III) จะสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับไทโอไซยาเนต เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดง (Fe(SCN)_3) ที่มีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 501 nm เมื่อพิจารณาผลของ pH ต่อความเสถียรของน้ำมันปลาใน อิมัลชันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าเมื่ออิมัลชันถูกผลิตขึ้นมาใหม่ๆ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต่ำมากทั้งในอิมัลชันที่มี pH ต่ำและกลาง แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 3 ชม. ค่าความเป็นกรดของอิมัลชันเริ่มมี ผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น โดยอิมัลชันที่มี pH 3 มีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าอิมัลชันที่มี pH 7 (Mancuso *et al.*, 1999)

อิมัลชันน้ำมันในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำมันปลาถูกนำไปทดลองคุณสมบัติเชิงพันธุภาพ (functional properties) ต่อผู้ป่วย และแสดงให้เห็นว่าช่วยเสริมภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยได้ (Fürost and Kuhn 2000) สำหรับ ในผลิตภัณฑ์อาหาร กรดไขมันโอเมก้า 3 ทั้ง DHA และ EPA ส่วนมากจะถูกเติมลงในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ประเภทยoghurt โดย คณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาแนะนำไว้ว่าการรับ DHA และ EPA เข้าสู่ ร่างกาย ควรมีปริมาณอยู่ในช่วง 200-650 mg/day (Lopez-Huertas 2010) การเติมกรดไขมันโอเมก้า 3 ลง ในนมเป็นการสร้างอิมัลชันอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งคณะวิจัยนำโดย Zimet *et al.* (2011). ได้ศึกษาการเกิดไมเซลล์ ของโปรตีนเคซีนในนม พบเป็นครั้งแรกว่าโปรตีนเคซีน นอกจากจะทำหน้าที่ส่งผ่านแคลเซียม โปรตีน และ ฟอสเฟต จากแม่สู่ลูกแล้ว โปรตีนเคซีนยังสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นไมเซลล์ซึ่งจับกับโมเลกุล DHA ได้ดีมาก โดยมีค่าประสิทธิภาพการจับ (Kb) สูงเท่ากับ $(8.38 \pm 3.12) \times 10^6 \text{ M}^{-1}$ และจับกันในอัตราส่วนโปรตีนเคซีน 1 โมเลกุลต่อ DHA 3-4 โมเลกุล ด้วยเครื่องมือ dynamic light scattering (DLS) ทำให้ทราบว่าไมเซลล์ที่บรรจุ DHA นี้มีขนาดประมาณ 50-60 นาโนเมตร และไมเซลล์ระดับนาโนเมตรที่เกิดขึ้นนี้ยังทนต่อความร้อนที่ 74 °C ได้นาน 24 วินาที (Zimet *et al.*, 2011) การศึกษาการเติมน้ำมันปลาหรือกรดไขมันโอเมก้า 3 ลงผลิตภัณฑ์ อาหารส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของเหลวอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (Adolph 1999; Waitzberg *et al.*, 2006; De Meijer *et al.*, 2009) การเติมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ถึงแม้ว่าจะมีสรรพคุณที่ดีแต่ยังมี ข้อจำกัดในการรับประทาน คือกลิ่นและรสชาติที่ผู้บริโภคทั้งผู้ใหญ่และเด็กมักยอมรับได้ยาก อีกทั้งการศึกษา

เกี่ยวกับการส่งผ่านและปลดปล่อยสารเชิงพันธุภาพ (functional compounds) พบว่าวัตถุดิบที่อยู่ในสถานะของแข็งกึ่งเหลวหรือเจล จะสามารถทำงานได้ดีกว่าดังเช่นสูตรเจลที่ใช้ในการปรุงยา (Caillard and Subirade 2012)

คุณสมบัติความอ่อนตัว และความยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติหลักของเจลลี่และเจล การเกิดเจลสามารถทำได้ด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งโดยหลักแล้วอาศัยการเกิดคอลลอยด์จากวัตถุดิบชนิดต่างๆ แต่การเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 นั้นอาจต้องใช้เทคนิคการบรรจุ (encapsulation) เข้าช่วยด้วย Gouveia *et al.* (2008a) ได้ศึกษาการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เจลสาหร่ายเสริมกรดไขมันจำเป็น โดยใช้ระบบเจล protein-polysaccharide ที่มีส่วนประกอบสำคัญคือ Pea protein isolate ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ คาราจีแนน และแป้ง ผลการศึกษาที่ได้พบว่า เจลช่วยให้แคโรทีนอยด์จากสาหร่าย และกรดไขมันโอเมก้า 3 มีความทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 75 ถึง 90 °C สอดคล้องกับการทดสอบในปฏิกิริยาที่สารชีวภาพเหล่านี้สามารถทนอุณหภูมิจากการอบได้สูงถึง 121 °C (Gouveia *et al.*, 2008b) นอกจากนี้คณะวิจัยยังศึกษาทางด้านเนื้อสัมผัสของเจล และพบว่าลักษณะโปรตีนในเจลมีผลต่อความเฟิร์มของเจล เพราะในกระบวนการเกิดเจลนั้น จำเป็นต้องใช้ความร้อนในการทำให้ไบโอโพลิเมอร์เสียสภาพ และเกิดอันตรกิริยากับโปรตีนในเจล ถ้าเป็นโปรตีนโมเลกุลเดี่ยว เมื่อโปรตีนเกิดการคลายตัวแล้วจะทำให้ได้เจลที่มีความเฟิร์มสูง แต่ถ้าเป็นโปรตีนที่จับกับพิกเมนต์ (pigment) เช่น phycocyanin จะทำให้อันตรกิริยาระหว่างไบโอโพลิเมอร์และโปรตีนเกิดน้อยลง ส่งผลให้เนื้อเจลมีความเฟิร์มต่ำ การเกิดเจลโดยใช้ความร้อนในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำอาจส่งผลต่อขนาดหยดน้ำมันและการเกิดโครงสร้างร่างแหของเจล โดยเฉพาะโครงสร้างร่างแหที่เกิดจากโปรตีน ดังนั้น Anton *et al.* (2001) จึงสนใจศึกษาอิทธิพลของขนาดหยดน้ำมันต่อการเกิดเจลในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำซึ่งใช้ไข่แดงเป็นองค์ประกอบ (Anton *et al.*, 2001) ขนาดของหยดน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำอิมัลชันที่ pH 3.0, 5.0, และ 7.0 ถูกตรวจดูคุณสมบัติความหนืด ความยืดหยุ่น และลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ตั้งแต่ตอนเป็นของเหลวไปจนถึงการเซตตัวเป็นเจล น้ำมันดอกทานตะวันถูกใช้เป็นส่วนผสมในของเหลวก่อนนำไปโฮโมจีไนส์ด้วยเครื่อง homogenization ที่ความเร็ว 20000 รอบต่อนาที ขนาดหยดน้ำมันในอิมัลชันน้ำมันในน้ำมักจะถูกประเมินด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบปริมาตรต่อพื้นผิว ($d_{3,2}$) (Kobayashi and Nakajima 2002) ผลที่ได้พบว่าหยดน้ำมันในอิมัลชันมีขนาด 1.0 - 1.1 μm โดยไม่ขึ้นกับ pH นอกจากนี้ยังพบว่าการกระจายตัวของขนาดของหยดน้ำมันมีค่าต่ำ แต่ค่า pH มีผลต่อการเกิดเจล โดยเจลจะเซตตัวได้เร็วกว่าที่ pH ต่ำ คือสารละลายที่มี pH 3.0 จะเซตตัวได้เร็วกว่าสารละลายที่ pH 5.0 และ 10.0 เป็นเวลา 2.6 และ 12.4 นาที ตามลำดับ ในกรณีที่ไข่แดงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โครงสร้างร่างแหของเจลจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงเป็น 75 °C โมเลกุลจะสร้างพันธะไม่ชอบน้ำระหว่างกันและรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างเจล หยดน้ำมันที่หุ้มด้วยโปรตีนจากไข่แดงหลังจากเจลเซตตัวมีขนาดเล็กจนไม่มีผลต่อปริมาตรของเจล เนื่องด้วยกลไกการสั่นไม่พึ่งประสงค์ของน้ำมันปลา หรือขนาดแคปซูลน้ำมันปลาที่ใหญ่เกินไปเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาในการรับประทานอาหารที่เสริมน้ำมันปลา เมื่อไม่นานมานี้ Haug *et al.* (2011) ศึกษาการผสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในน้ำโดยอาศัยหลักการดักจับกระจายตัวของโมเลกุลกรดไขมันโอเมก้า 3 ด้วยเจลาตินเมทริกซ์ในรูปแบบแคปซูลแบบใหม่ (Haug *et al.*, 2011) เพื่อลดปัญหากลืนรสของน้ำมันปลา และ

ปัญหาการกลั่นตัวของน้ำมันปลาในกระเพาะอาหาร เพราะเมื่อรับประทานแคปซูลน้ำมันปลาแบบปกติซึ่งมีขนาดใหญ่และไม่ได้อยู่ในลักษณะของอิมัลชัน แคปซูลที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 จะแตกตัวในกระเพาะอาหาร และน้ำมันปลาจะลอยขึ้นสู่กระเพาะอาหารส่วนบนเนื่องจากเป็นสารที่มีความหนาแน่นต่ำ อิมัลชันเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในรูปแบบเจลแคปซูลถูกผลิตได้โดยละลายเจลาติน สารเพิ่มความคงตัวและกลิ่นรสลงในน้ำอุ่น หลังจากนั้นเติมกรดไขมันโอเมก้า 3 แล้วทำการผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ แล้วจึงขึ้นรูปเป็นเจลแคปซูล เมื่อนำแคปซูลดังกล่าวไปให้ผู้ทดสอบรับประทานเปรียบเทียบกับแคปซูลน้ำมันปลาแบบปกติ ตัวอย่างเลือดจากผู้ทดสอบแต่ละคนจะถูกนำมาตรวจวิเคราะห์ ผลที่ได้พบว่ากลุ่มผู้ทดสอบที่รับประทานแคปซูลอิมัลชันเจลมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเลือด สูงกว่ากลุ่มผู้ทดสอบที่รับประทานแคปซูลน้ำมันปลาแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองนี้บ่งชี้ว่าการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในรูปแบบอิมัลชันเจลช่วยเพิ่มการดูดซึมกรดไขมันโอเมก้า 3 อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับรายงานของ Golding and Wooster (2010) ที่รวบรวมผลของลักษณะโครงสร้างอิมัลชันต่อความคงตัวต่อการย่อยไขมัน ระบบการย่อยไขมันในร่างกายเริ่มจากการที่เอนไซม์ lipolytic จับบนพื้นผิวของน้ำมัน เอนไซม์เหล่านี้ได้แก่ เอนไซม์ไลเปส มีมากในลำไส้เล็ก เมื่อไขมันอยู่ในรูปอนุภาคน้ำมันในอิมัลชัน เป็นการเพิ่มพื้นผิวยึดเกาะสำหรับเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Golding and Wooster 2010) การควบคุมการกระจายตัวของไขมันตั้งแต่ที่อยู่ในกระเพาะอาหารจึงเป็นขั้นตอนสำคัญ การทดสอบการย่อยระหว่างน้ำมันในรูปแบบปกติและน้ำมันในลักษณะอิมัลชัน พบว่าการรับประทานน้ำมันในรูปแบบปกติทำให้เกิดการดูดซึมล่าช้ากว่า และทำให้ cholecystokinin (CCK) เพิ่มขึ้น (Foltz *et al.*, 2009) ดังนั้นการบรรจุโมเลกุลไขมันเชิงฟังก์ชัน (functional lipid) อย่างกรดไขมันโอเมก้า 3 ในรูปแบบอิมัลชันจึงช่วยให้ร่างกายดูดซึมได้ดีมากขึ้น และจนถึงปัจจุบันการบรรจุกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเจลลีโออิมัลชันชนิดอ่อนตัวยังไม่มีการศึกษามาก่อน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ลงในน้ำผลไม้และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้ สิ่งสำคัญคือเทคโนโลยีที่ใช้เพื่อทำให้กรดไขมันโอเมก้า 3 กลายเป็นอนุภาคนาโนไมครอนและแทรกตัวอยู่ในน้ำผลไม้ แล้วเกิดเป็นเจลลีโออิมัลชันชนิดอ่อนตัวนั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายในการศึกษาวิจัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

ผลไม้จากตลาดสดและตลาดผลไม้

น้ำผลไม้ 100%, บริษัททิปโก้ฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด

Carrageenan mix (iota/kappa), FG, “FMC Biopolymer”

Fish oil, FG, “DSM, Switzerland”

Refined fish oil from marine products

DHA/EPA = 4.5

Fruit flavor, FG, “DSM, Switzerland”

Roselle flavor for jellies #1109501333

Pineapple flavor for jellies #1108902256

Mangosteen flavor for jellies #1100406154

Vitamin premix, FG, “DSM, Switzerland”

Thiamine hydrochloride (B1) 20.7 mg/g

Riboflavin (B2) 1.95 mg/g

Niacinamide (B3) 23.0 mg/g

Pyridoxine hydrochloride (B6) 27.6 mg/g

Folic acid (B9) 0.36 mg/g

Vitamin B12 32.6 μ g/g

Sudan IV, Certified Dye content 80% “Aldrich”

Ethanol absolute, AR “BDH-Prolabo”

Dichloromethane, AR “BDH-Prolabo”

Petroleum ether, AR “JT Baker”

Sodium hydroxide, AR “BDH-Prolabo”

Ferrous chloride tetrahydrate, AR “Fluka”

Ammonium thiocyanate, AR “Aldrich”

วิธีการทดลอง

- ศึกษาการเกิดเจลจากน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ คือ กระจับ สับปะรด และมังคุด โดยปราศจากน้ำมันปลา
เติมคาราจีแนนในปริมาณ 1% 1.5% และ 2% ลงในน้ำผลไม้ ทำการโฮโมจีไนเซชัน เป็นเวลา 5 นาที แล้ว
เทใส่ถ้วย หลังจากได้เจลลี่เซตตัวแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสของเจลลี่ผลไม้ทั้ง 3
ชนิด
- ศึกษาความพึงพอใจต่อเจลไมโครอิมัลชันจากน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ คือ กระจับ สับปะรด และมังคุด ที่เสริม
โอเมก้า 3 และวิตามิน
 - เตรียมน้ำผลไม้ดังข้อ (1) แล้วเติมน้ำมันปลา 0.25 และ 0.5 wt% พร้อมกลั่นรสเฉพาะ ดังตารางที่ 1
 - เติมคาราจีแนน 1.5% ยกเว้นเจลลี่กระจับเติมคาราจีแนน 2.5% ให้ความร้อนบนเครื่อง (hotplate
stirrer) และกวนด้วย magnetic bar เป็นเวลา 1 ชม. หลังจากนั้นเติมน้ำมันปลา 0.5 กรัม แล้วโฮโมจีไนเซชัน
ด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็ว 5000 rpm เป็นเวลา 5 นาที (เป็นวิธีการเตรียมอิมัลชันที่ถูกใช้อย่าง
แพร่หลาย (Tan and Nakajima 2005b) พร้อมกันให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °ซ เทใส่พิมพ์แล้ว
ทิ้งไว้ให้เย็นจนเจลเซตตัว
 - หลังจากได้เจลลี่ขนาด 23 กรัม แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสของเจลลี่ผลไม้
ทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 1 ปริมาณกลั่นรส และคาราจีแนนที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิด

ชนิดผลไม้	ปริมาณคาราจีแนน	ปริมาณกลั่นรส (ร้อยละ)		
กระจับ	2.5	0.014	0.028	0.042
มังคุด	1.5	0.014	0.028	0.042
สับปะรด	1.5	0.014	0.028	0.042

ตารางที่ 2 ปริมาณคาราจีแนน 3 ระดับในผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิด

ชนิดผลไม้	ปริมาณคาราจีแนน (ร้อยละ)		
สับปะรด	1.0	1.5	2.0
มังคุด	1.0	1.5	2.0
กระเจี๊ยบ	1.5	2.0	2.5

3. วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้แต่ละชนิดในสูตรที่ได้รับความนิยมสูงสุด โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเจลลี่ผลไม้ที่เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน ดังนี้

3.1 วัดค่าความเป็นวุ้นของเจลลี่ผลไม้ไมโครอิมัลชัน ที่ให้ความร้อน ณ อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °ซ

เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texturometer, รุ่น Koehler) เลือกโปรแกรมการทำงานแบบ penetration ด้วยหัวพิมพ์ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ในการวัดแต่ละครั้งหัวพิมพ์จะเลื่อนลงมาเป็นระยะ 7 มม. ด้วยความเร็ว 0.5 มม./วินาที แต่ละตัวอย่างจะทำการวัดค่าความเป็นวุ้น ซ้ำกัน 3 ครั้ง

3.2 วัดสีด้วยเครื่อง Spectroflash SF600 plus

ตัวอย่างเจลลี่จึงถูกเทลงใส่ถ้วยใส แล้ววัดสีด้วยแสงจากเครื่อง spectro colorimetry (Spectroflash SF600 plus) แสงที่ใช้เป็นแบบแสงที่มีลักษณะเหมือนแสงแดดตอนกลางวัน (standard illuminant D65) การวัดสีของแต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำกัน 5 ครั้ง

3.3 วัดขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันปลาด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Master sizer 2000 (Malvern Instruments) ตั้งค่า refractive index ของน้ำมันปลาเป็น 1.47 ใช้ความเร็วในการหมุนเวียนของเหลวที่ 2000 rpm และทำการวิเคราะห์เมื่อ obscuration มีค่าประมาณ 12% ผลที่ได้จากการวัดคือ ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยแบบ volume- weighted mean particle size ($d_{4,3}$) และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

3.4 วัดขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันปลาด้วยกล้อง light microscope

เจลลี่ผลไม้ไมโครอิมัลที่ย้อมด้วยสีแดงจะถูกนำมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความหนาประมาณ 0.5 มม. และตรวจสอบลักษณะอนุภาคหยดน้ำมันปลาด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบ light microscope (Olympus) ลักษณะหยดน้ำมันปลาในเจลลี่ผลไม้จะถูกบันทึกที่กำลังขยาย 200X และ 400X ขนาดอนุภาคน้ำมันปลาเฉลี่ย (d_{avg}) ในเจลลี่สามารถวัดได้จากภาพอนุภาคน้ำมันปลา จำนวน 400 หยด และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.5 การตรวจสอบลักษณะอนุภาคน้ำมันปลาบนพื้นผิวเจลลี่ด้วย Scanning electron microscope (SEM)

เจลลี่ผลไม้ไมโครอิมัลชันถูกนำมาตัดเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ทรงลูกเต๋า ขนาด 5x5x5 มม. นำชิ้นส่วนเจลลี่มาอังไอระเหยของออสเมียมที่อุณหภูมิต่ำ ล้างชิ้นส่วนเจลลี่ด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิต่ำเป็นจำนวน 3 ซ้ำ แล้วทำการกำจัดน้ำในชิ้นส่วนเจลลี่ผลไม้ด้วยการแช่ในสารละลาย ethanol ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 30%, 50% จนถึง 70% การแช่แต่ละครั้งใช้เวลา 1 ชม. ระเหย ethanol ที่ซึมอยู่ในชิ้นส่วนเจลลี่ด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่อง critical point dryer นำไปติดบนแท่นโลหะด้วยเทปคาร์บอน ฉาบผิวด้วยทองและถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanning electron microscope (JEOL รุ่น JSM-5410LV) ที่กำลังขยาย 200X, 3,500X และ 10,000X ภาพถ่ายและ ขนาดอนุภาคน้ำมันปลาถูกบันทึกโดยใช้โปรแกรม SemAfore

4. ศึกษาความคงตัวต่อการเกิด oxidation ของอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่อิมัลชันผลไม้

4.1 การสกัดหยดนํ้ามันปลาจากเจลลี่ผลไม้

ชั่งเจลลี่ผลไม้ไมโครอิมัลชัน 50 กรัม ลงในขวดชมพู เติม 0.1 M NaOH ปริมาณ 100 mL คนโดยใช้ magnetic bar เป็นเวลา 30 นาที จนชิ้นส่วนเจลลี่แตกออกเป็นเศษเล็กๆ นำไปเขย่าด้วย ultrasonic ใน water bath (Elma รุ่น Transsonic T460/H) อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 5 นาที เติม Petroleum ether 10 mL นำไปเขย่าใน water bath หลังจากนั้นดูดส่วน Petroleum ether ใส่ขวดกั่นกลมขนาด 250 mL สกัดด้วย Petroleum ether ซ้ำ 3 ครั้ง แล้วจึงระเหย Petroleum ether ออกด้วยเครื่อง evaporator (Buchi) จนเหลือแต่คราบน้ำมันสีเหลืองใส

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณ peroxide

สร้าง calibration curve โดยเติมสารละลายผสม (dichloromethane: methanol) 10 mL ใน flask เติม 30% w/v ammonium thiocyanate (NH_4SCN) 50 μL เขย่าให้เข้ากันก่อนจะเติมสารละลาย ferric chloride (FeCl_3) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงไป 50 μL ในสารละลายสุดท้ายจะมีความเข้มข้นของ Fe(III) ที่ระดับต่างๆ กัน คือ 1.0000, 0.5000, 0.2500, 0.1250, 0.0625, 0.0313, 0.0156, 0.0078 mM วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 501 nm ด้วยเครื่อง UV spectrometer (Shimadzu รุ่น UV mini 1240)

เติมสารละลายผสม (dichloromethane:methanol) 10 mL ลงในขวดกั่นกลม ที่มีน้ำมันจากการสกัดตัวอย่างเจลลี่ pipette สารละลายนี้ปริมาณ 10 mL ลงใน flask เติม 30% w/v ammonium thiocyanate (NH_4SCN) ปริมาณ 50 μL เขย่าให้เข้ากันก่อนจะเติมสารละลาย 3.5% w/v ferrous chloride (FeCl_2) ปริมาณ 50 μL นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 501 nm ด้วยเครื่อง UV spectrometer และคำนวณค่า PV ดังสมการ

$$PV = \frac{[Abs^{sm} - Abs^M] * 10.1}{15.86 * 1000 * W^{sm}}$$

5. จำลองสภาวะการละลายออกของน้ำมันปลา เมื่อถูกย่อยในกระเพาะและลำไส้

เตรียมน้ำย่อยจำลอง (artificial gastric juice) แบบปราศจากเอนไซม์ โดยผสมกรดเกลือเข้มข้น 2 กรัม กับน้ำกลั่น จนมีน้ำหนักรวมเป็น 200 กรัม ปรับ pH ของสารละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนได้ pH 2 ตามวิธีการของ European Pharmacopoeia ตัดเจลลี่ให้เป็นทรงลูกเต๋าขนาด 7x7x7 มม. นำไปแช่ น้ำหนัก แล้วใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำย่อยจำลอง 10 mL หลังจากนั้นนำไปวางในเครื่องเครื่องเขย่าควบคุมความเร็วที่ 75 rpm และอุณหภูมิที่ 37 °C เป็นเวลา 3 ชม. นำสารละลายที่ได้จากการย่อยไปถ่ายภาพด้วย กล้อง light microscope ที่กำลังขยาย 200X และ 400X และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

บทที่ 4

ผลวิจัยและการอภิปรายผล

1. ศึกษาปริมาณการจี้แนนที่เหมาะสมในเจลลี่เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน

ทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์เจลลี่ทั้ง 3 สูตรดังตารางที่ 2 ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับ (9-points hedonic scale) สเกลคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด ร่วมกับการทดสอบความพอดี (Just about right) สเกลคะแนน 1 = น้อยเกินไป 2=พอดีและ 3=มากเกินไป โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ทดสอบความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน ความยืดหยุ่น ความนุ่มและความชอบโดยรวม

จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภคจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกปริมาณการจี้แนนที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เจลลี่ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบสูงที่สุดคุณลักษณะทุกด้านได้แก่ ความยืดหยุ่น ความนุ่ม และความชอบรวมในผลิตภัณฑ์เจลลี่สับปะรดและมังคุดที่ปริมาณการจี้แนนร้อยละ 1.5 ส่วนเจลลี่กระเจี๊ยบผู้บริโภคลให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ปริมาณการจี้แนนร้อยละ 2.5 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ปริมาณการจี้แนน 3 ระดับ

ชนิดผลไม้	กระเจี๊ยบ			มังคุด			สับปะรด		
	การจี้แนน (ร้อยละ)			การจี้แนน (ร้อยละ)			การจี้แนน (ร้อยละ)		
คุณลักษณะ	1.5	2	2.5	1	1.5	2	1	1.5	2
ความยืดหยุ่น	6.27 ^{ab}	5.97 ^b	6.77 ^a	6.37 ^{ab}	6.90 ^a	6.17 ^b	6.30 ^a	6.37 ^a	6.10 ^a
ความนุ่ม	6.47 ^b	6.27 ^b	7.13 ^a	6.64 ^b	7.30 ^a	6.73 ^b	6.80 ^a	6.97 ^a	6.93 ^a
ความชอบรวม	6.33 ^b	6.27 ^b	7.10 ^a	6.77 ^b	7.37 ^a	6.47 ^b	6.67 ^a	6.90 ^a	6.57 ^a

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความพอดีของผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ปริมาณการจี้แนน 3 ระดับดังตารางที่ 4 ร่วมกับคะแนนความชอบพบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือ เจลลี่กระเจี๊ยบที่ปริมาณการจี้แนนร้อยละ 2.5 ผู้บริโภคให้คะแนนความพอดีในคุณลักษณะด้านความยืดหยุ่นและความนุ่มมากที่สุด ส่วนเจลลี่มังคุดและสับปะรด

ผู้บริโภคว่าคะแนนความพอดีที่ปริมาณการจี้แน่นร้อยละ 1.5 มากที่สุด ดังนั้นปริมาณการจี้แน่นที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เจลลี่กระเจี๊ยบ มังคุดและสับปะรดได้แก่ ปริมาณการจี้แน่นร้อยละ 2.5 1.5 และ 1.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 คะแนนความพอดี (ร้อยละ) ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ปริมาณการจี้แน่น 3 ระดับ

ชนิดผลไม้	ปริมาณการจี้แน่น	คุณลักษณะ	คะแนนความพอดี (ร้อยละ)		
			น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
กระเจี๊ยบ	1.5	ความยืดหยุ่น	20.0	43.3	36.7
		ความนิ่ม	6.7	36.7	56.7
	2.0	ความยืดหยุ่น	50.0	46.7	3.3
		ความนิ่ม	0.0	53.3	46.7
	2.5	ความยืดหยุ่น	16.7	76.7	6.7
		ความนิ่ม	16.7	73.3	10.0
มังคุด	1.0	ความยืดหยุ่น	13.3	43.3	43.3
		ความนิ่ม	0	46.7	53.3
	1.5	ความยืดหยุ่น	13.3	66.7	20.0
		ความนิ่ม	3.3	76.7	20.0
	2.0	ความยืดหยุ่น	33.3	56.7	10.0
		ความนิ่ม	50.0	50.0	0.0
สับปะรด	1.0	ความยืดหยุ่น	20.0	50.0	30.0
		ความนิ่ม	0	56.7	43.3
	1.5	ความยืดหยุ่น	13.3	66.7	20.0
		ความนิ่ม	6.7	80.0	13.3
	2.0	ความยืดหยุ่น	40.0	56.7	3.3
		ความนิ่ม	43.3	53.3	3.3

2. ศึกษาปริมาณน้ำมันปลาและกลีกรสที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้

หลังจากการทดลองในข้อ 1. ซึ่งพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลลี่ผลไม้ที่ใช้คาราจีแนนเป็นส่วนผสมที่ปริมาณ 2.5% สำหรับเจลลี่กระเจี๊ยบ และ 1.5% สำหรับเจลลี่มังคุดและสับปะรด ดังนั้นจึงใช้สูตรดังกล่าว เป็นมาตรฐานสำหรับการเติมน้ำมันปลาและกลีกรสในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันปลาต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้สามารถชี้แนะได้ว่า แม้ว่าการเติมปริมาณน้ำมันปลาที่ 0.5% จะทำให้ผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้มีความเข้มข้นของ EPA และ DHA รวมอยู่ที่ 0.75 mg/g ซึ่งเป็นปริมาณที่จะให้คุณประโยชน์สูง แต่เนื่องจากกลีกรสที่รุนแรงจนเกินไป เจลลี่ผลไม้ที่มีการเติมน้ำมันปลาในปริมาณ 0.25% จึงได้รับความพอใจมากกว่า

เมื่อได้ปริมาณคาราจีแนน และปริมาณน้ำมันปลาที่เหมาะสมแล้ว การทดสอบปริมาณกลีกรสที่เหมาะสมจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์เจลลี่ผลไม้ การทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์เจลลี่ทั้ง 3 สูตร ที่ปริมาณกลีกรส 3 ระดับ สามารถแสดงดังตารางที่ 5 การทดสอบนี้ทำด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ร่วมกับการทดสอบความพอดี (Just about right) โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ทดสอบความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลีกรส รสหวาน รสเปรี้ยวและความชอบโดยรวม

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีปริมาณกลีกรส 3 ระดับ

ชนิดผลไม้	กระเจี๊ยบ			มังคุด			สับปะรด		
	กลีกรส (ร้อยละ)			กลีกรส (ร้อยละ)			กลีกรส (ร้อยละ)		
คุณลักษณะ	0.014	0.028	0.042	0.014	0.028	0.042	0.014	0.028	0.042
สี	6.27 ^a	6.50 ^a	6.20 ^a	6.47 ^{ab}	6.83 ^a	6.30 ^b	6.80 ^a	6.67 ^{ab}	6.40 ^b
กลีกรส	6.60 ^a	7.10 ^a	6.70 ^a	6.77 ^b	7.27 ^a	6.37 ^b	6.53 ^a	6.87 ^a	6.73 ^a
หวาน	7.00 ^a	6.87 ^a	7.20 ^a	7.07 ^a	7.23 ^a	7.17 ^a	6.83 ^a	6.70 ^{ab}	6.43 ^b
เปรี้ยว	6.73 ^a	6.90 ^a	6.50 ^a	6.93 ^a	6.70 ^a	6.87 ^a	7.00 ^a	7.07 ^a	6.63 ^a
ความชอบรวม	6.57 ^{ab}	6.90 ^a	6.30 ^b	6.87 ^a	7.07 ^a	6.43 ^b	6.60 ^a	6.67 ^a	6.33 ^a

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ในผลิตภัณฑ์เจลลี่ทั้ง 3 ชนิดผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและความชอบรวมที่ปริมาณกลิ่นสร้อยละ 0.028 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

การทดสอบความพอดีของผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ปริมาณกลิ่นรส 3 ระดับดังตารางที่ 6 ร่วมกับคะแนนความชอบพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความพอดิมากที่สุดในคุณลักษณะกลิ่นรสของเจลลี่ทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณกลิ่นสร้อยละ 0.028 เจลลี่ผลไม้ทั้ง 3 ชนิดนี้ให้พลังงานใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 26.91-27.06 กิโลแคลอรี ดังแสดงในตารางที่ 7 และตัวอย่างเจลลี่ผลไม้เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน ได้แก่ เจลลี่กระเจี๊ยบ เจลลี่มังคุด และเจลลี่สับปะรด แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งจะมีราคาต้นทุนต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (25 กรัม) เท่ากับ 2.69 บาท

ตารางที่ 6 คะแนนความพอดิ (ร้อยละ) ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ปริมาณกลิ่นรส 3 ระดับ

ชนิดผลไม้	ปริมาณกลิ่นรส	คุณลักษณะ	คะแนนความพอดิ (ร้อยละ)		
			น้อยเกินไป	พอดิ	มากเกินไป
กระเจี๊ยบ	0.014	สี	13.3	63.3	23.3
		กลิ่นรส	26.7	70.0	3.3
		หวาน	33.3	43.3	23.3
		เปรี้ยว	36.7	56.7	6.7
	0.028	สี	26.7	60.0	13.3
		กลิ่นรส	6.7	80.0	13.3
		หวาน	33.3	50.0	16.7
		เปรี้ยว	16.7	73.3	10.0
	0.042	สี	30.0	43.3	26.7
		กลิ่นรส	13.3	53.3	33.3
		หวาน	13.3	63.3	23.3
		เปรี้ยว	36.7	50.0	13.3

ตารางที่ 6 (ต่อ) คะแนนความพอดี(ร้อยละ) ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ปริมาณ กลิ่นรส 3 ระดับ

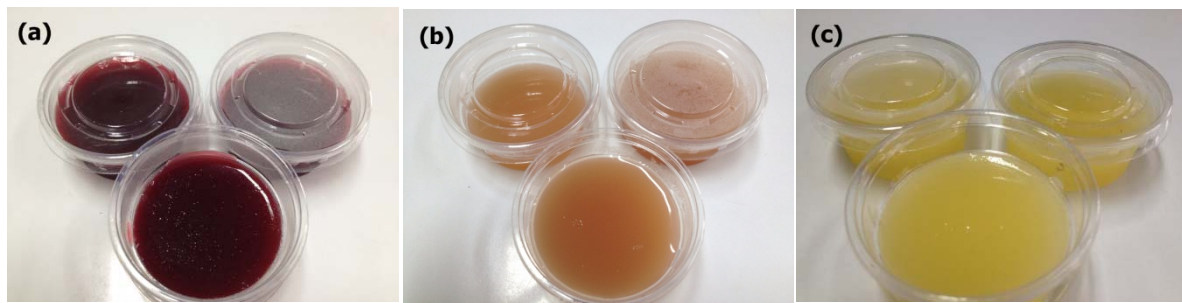
ชนิดผลไม้	ปริมาณกลิ่นรส	คุณลักษณะ	คะแนนความพอดี (ร้อยละ)		
			น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
มังคุด	0.014	สี	16.7	76.7	6.7
		กลิ่นรส	56.7	43.3	0.0
		หวาน	23.3	66.7	10.0
		เปรี้ยว	26.7	70.0	3.3
	0.028	สี	20.0	70.0	10.0
		กลิ่นรส	16.7	76.7	6.7
		หวาน	20.0	76.7	3.3
		เปรี้ยว	26.7	66.7	6.7
	0.042	สี	6.7	83.3	10.0
		กลิ่นรส	10.0	60.0	30.0
		หวาน	20.0	70.0	10.0
		เปรี้ยว	23.3	73.3	3.3

ตารางที่ 6 (ต่อ) คะแนนความพอดี (ร้อยละ) ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เจลลี่ 3 ชนิดที่ ปริมาณกลี้นรส 3 ระดับ

ชนิดผลไม้	ปริมาณกลี้นรส	คุณลักษณะ	คะแนนความพอดี(ร้อยละ)		
			น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
สับปะรด	0.014	สี	26.7	63.3	10.0
		กลี้นรส	40.0	53.3	6.7
		หวาน	20.0	66.7	13.3
		เปรี้ยว	20.0	73.3	6.7
	0.028	สี	13.3	66.7	20.0
		กลี้นรส	20.0	73.3	6.7
		หวาน	23.3	73.3	3.3
		เปรี้ยว	26.7	63.3	10.0
	0.042	สี	10.0	80.0	10.0
		กลี้นรส	10.0	50.0	40.0
		หวาน	13.3	80.0	6.7
		เปรี้ยว	26.7	60.0	13.3

ตารางที่ 7 คุณค่าด้านพลังงานของเจลลี่ผลไม้ 1 หน่วยบริโภค

เจลลี่ผลไม้มีอัลชัน	พลังงาน (กิโลแคลอรี)
เจลลี่กระเจี๊ยบ	27.06
เจลลี่สับปะรด	26.91
เจลลี่มังคุด	26.91

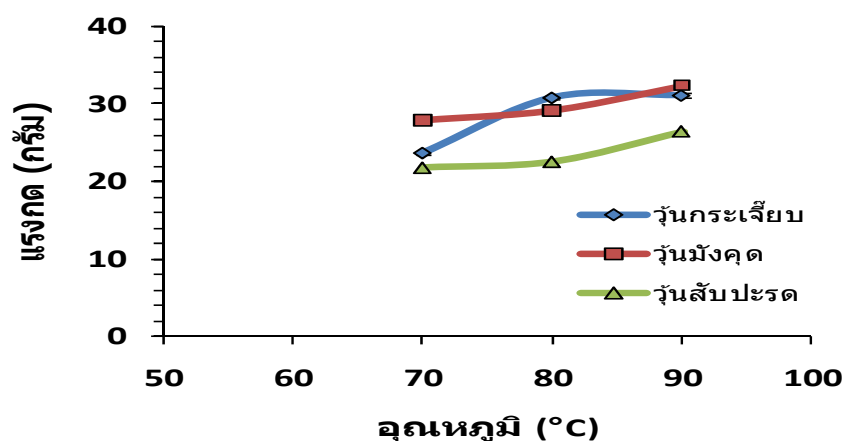


ภาพที่ 3 เจลลี่ผลไม้เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน (a) เจลลี่กระเจี๊ยบ (b) เจลลี่มังคุด (c) เจลลี่สับปะรด

3. คุณสมบัติทางกายภาพของเจลลี่ผลไม้ที่เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน

3.1 ค่าความเป็นวุ้นของเจลลี่ผลไม้เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน

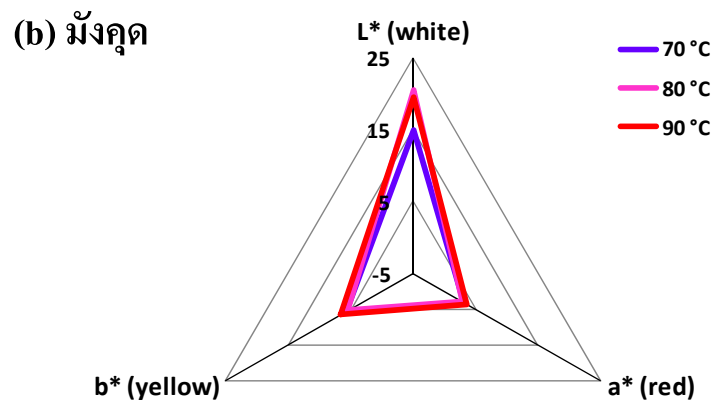
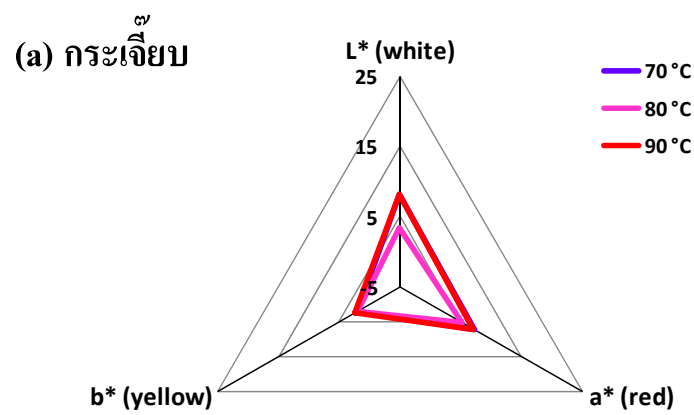
ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความเป็นวุ้นของเจลลี่ผลไม้ที่แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความเป็นวุ้นของเจลลี่ผลไม้ มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ความเป็นวุ้นที่เพิ่มสูงขึ้นในวุ้นมังคุด และวุ้นสับปะรดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 70 °ซ ไปเป็น 80 °ซ จากนั้นเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 °ซ ขึ้นไปเป็น 90 °ซ ส่วนวุ้นกระเจี๊ยบมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นวุ้นแตกต่างออกไป คือ ความเป็นวุ้นเพิ่มสูงขึ้นมากในตอนแรกเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 70 °ซ ไปเป็น 80 °ซ จากนั้นลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 80 °ซ ขึ้นไปเป็น 90 °ซ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเป็นวุ้นที่พบนี้สอดคล้องเป็นอย่างมากกับปริมาณคาราจีแนนที่ใช้ในส่วนผสมของวุ้นแต่ละชนิด คือ วุ้นกระเจี๊ยบมีส่วนผสมของคาราจีแนนสูงสุด คือ 2.5% ส่วนวุ้นมังคุดและสับปะรดมีส่วนผสมของคาราจีแนนเท่ากันคือ 1.5% อย่างไรก็ตามวุ้นมังคุดมีความความเป็นวุ้นสูงกว่าวุ้นสับปะรดในทุกๆอุณหภูมิ แสดงให้เห็นถึงลักษณะจำเพาะของน้ำมังคุด และน้ำสับปะรดที่มีผลต่อเจลลี่แตกต่างกัน



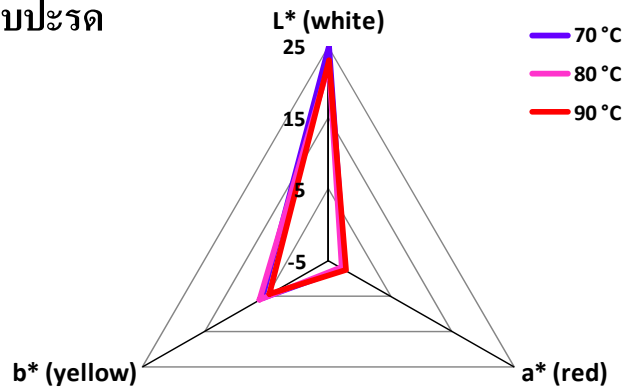
ภาพที่ 4 ค่าความเป็นวุ้นที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °ซ

3.2 สีของเจลลี่ผลไม้เสริมโอเมก้า 3 และวิตามิน

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสีเจลลี่ผลไม้ที่แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าโดยรวมแล้วค่าสีที่วัดได้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับลักษณะปรากฏของสีน้ำผลไม้เริ่มต้น คือน้ำกระเจี๊ยบมีค่าความเป็นสีแดงมาก น้ำมั่งคุดมีค่าความเป็นสีโดยรวมสีแดงและสีเหลือง ส่วนน้ำสับปะรดมีค่าความเป็นสีเหลืองมาก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อความเป็นสีแดงและสีเหลืองของเจลลี่ ยกเว้นสำหรับเจลลี่กระเจี๊ยบที่อุณหภูมิ 80 °ซ ความเป็นสีแดงจะลดลงเล็กน้อย สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคือ ความสว่างของวุ้นผลไม้ เช่นที่อุณหภูมิ 90 °ซ เจลลี่ผลไม้ทั้ง 3 ชนิดจะมีความสว่างมากที่สุด



(c) สับปะรด



ภาพที่ 5 สีของวุ้นกระเจี๊ยบที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °ซ (a) กระเจี๊ยบ (b) มังคุด และ (c) สับปะรด

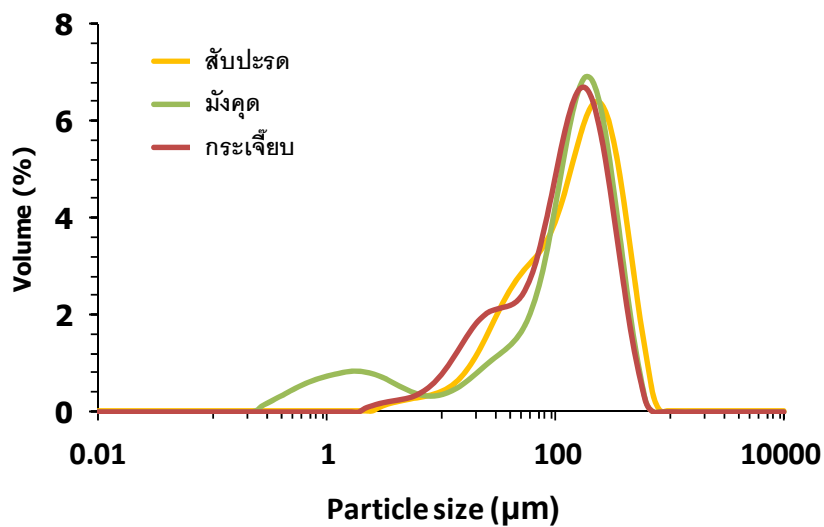
3.3 ขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันปลา

การผสมน้ำมันปลาลงในน้ำผลไม้ด้วยการทำอิมัลชันนั้น คาราจีแนนจะทำหน้าที่เป็นตัวผสม (emulsifier) ช่วยจับน้ำมันปลาให้สามารถละลายรวมอยู่ในน้ำผลไม้ การทำอิมัลชันด้วยการใช้ไฮโมจิเนสเซอร์ จะทำให้น้ำมันปลากระจายตัว และผสมรวมอยู่กับน้ำผลไม้ได้ง่าย อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าขนาดอนุภาคของหยดน้ำมันในอิมัลชัน และคุณสมบัติของอิมัลชัน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและความเข้มข้นของ emulsifier ความเข้มข้นของส่วนน้ำมัน วิธีการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization) (Cheong, Tan *et al.*, 2008) ดังนั้นส่วนผสมน้ำมันปลา ปริมาณน้ำผลไม้ ปริมาณคาราจีแนน ปริมาณวิตามิน ปริมาณกลีเซอรอล และความเร็วของการผสมไฮโมจิเนสเซอร์ จึงถูกปรับให้คงที่ มีเพียงชนิดของน้ำผลไม้ที่แตกต่างกัน ขนาดของอนุภาคน้ำมันปลาในของเหลวอิมัลชันจะถูกวัดโดยใช้หลักการกระจาย และหักเห ของแสง ด้วยเครื่อง Master sizer 2000 (Malvern Instruments) ส่วนขนาดของอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่ผลไม้จะถูกวัดจากภาพที่ถ่ายจาก light microscope โดยใช้โปรแกรม Image J

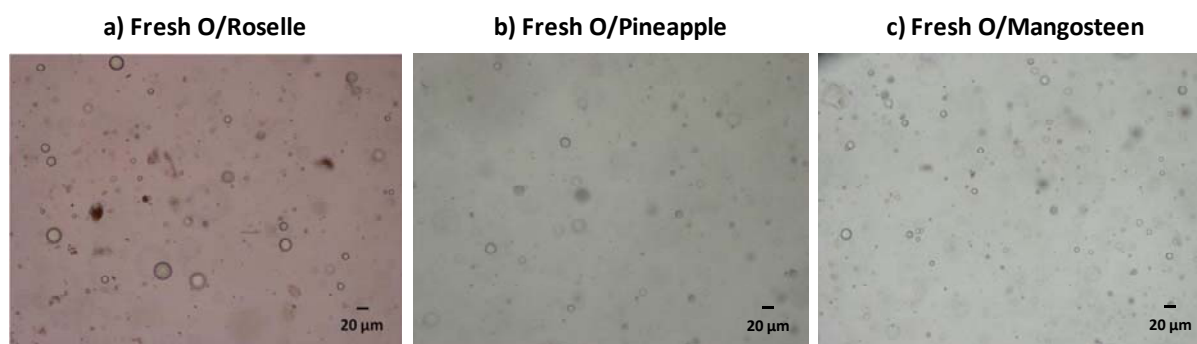
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคที่อยู่ในของเหลวน้ำผลไม้อิมัลชันก่อนนำไปให้ความร้อนจนเกิดเป็นเจล ถูกวัดด้วยเครื่อง Master sizer 2000 แสดงดังภาพที่ 6 พบว่าอนุภาคที่อยู่ในน้ำผลไม้อิมัลชันมีขนาดที่หลากหลาย ตั้งแต่ 0.2 – 630 μm แต่อนุภาคหลักที่พบคล้ายคลึงกันในน้ำผลไม้อิมัลชันทั้ง 3 ชนิด คืออนุภาคขนาด 150-200 μm ซึ่งอาจจะเป็นอนุภาคของคาราจีแนนที่ยังละลายไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยังไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำกระเจี๊ยบอิมัลชัน และน้ำสับปะรดอิมัลชันมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่สำหรับการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำมังคุดอิมัลชันจะแตกต่างออกไป คือมีจำนวนอนุภาคขนาด 10 – 50 μm มีปริมาณลดลง แต่เกิดอนุภาคขนาด 0.2 – 5 μm ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่พบในน้ำผลไม้อิมัลชันอื่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยแบบ surface-weighted mean ($d_{3,2}$) ที่พบในน้ำผลไม้อิมัลชันคือ 50.8, 8.0 และ 52.7 μm สำหรับน้ำกระเจี๊ยบ น้ำมังคุด และน้ำสับปะรด ตามลำดับ เป็นที่สังเกตได้ว่าน้ำมังคุดอาจจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำกระเจี๊ยบและน้ำสับปะรดในการผลิตเจลลี่ผลไม้อิมัลชัน เนื่องจากสามารถให้อนุภาคอิมัลชันขนาดเล็กกว่า ซึ่งอนุภาคอิมัลชันขนาดเล็กจะทำให้อิมัลชันมีความเสถียรต่อการ

เปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้มากขึ้น (McClements 2004) ขนาดของอนุภาคน้ำมันที่พบในน้ำผลไม้มีลักษณะแตกต่างจากขนาดอนุภาคน้ำมันปลาที่อยู่ในเจลลี่ ดังนั้นการตรวจสอบขนาดอนุภาคน้ำมันปลาในน้ำผลไม้ที่กลายเป็นเจลแล้วจะถูกต้องด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ซึ่งถ่ายมาจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

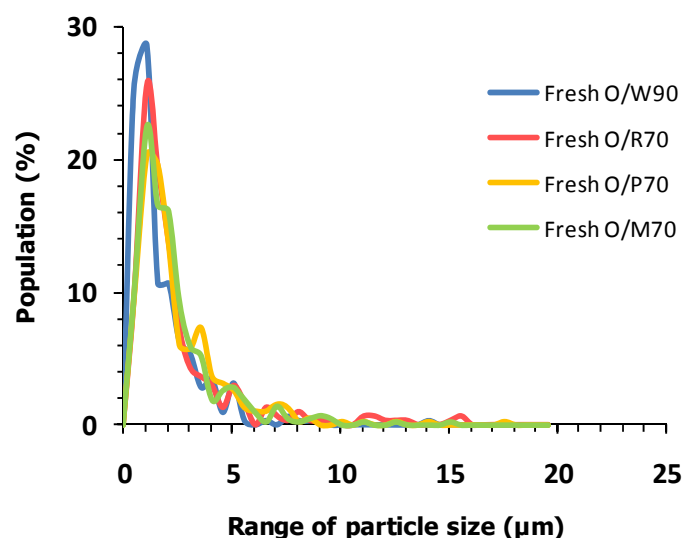
เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้มีลักษณะที่มีส่วนผสมของคาราจีแนน ที่อุณหภูมิ 70 °C คาราจีแนนจะละลายและจับตัวกันเกิดเป็นเจลลี่ ลักษณะอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่ผลไม้มีลักษณะทั้งขนาดและการกระจายตัวในเจลลี่ ที่ถูกถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่กำลังขยาย 200 เท่า แสดงดังภาพที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่า มีอนุภาคหยดน้ำมันปลา ลักษณะเป็นหยดกลมใส มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ กระจายตัวอยู่เต็มพื้นที่ในเจลลี่ผลไม้ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่ที่สังเกตได้ในเจลลี่กระเจี๊ยบ มีขนาดเพียงประมาณ 20 μm (ภาพที่ 7a) เมื่อนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ วัดขนาดอนุภาคน้ำมันปลาด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ จะได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายตัวของน้ำมันปลาในเจลลี่ ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งเฉลี่ยจากการวัดขนาดหยดน้ำมันปลาจำนวนมากกว่า 400 อนุภาค นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับเจลลี่มาตรฐานซึ่งผลิตโดยใช้น้ำเปล่าแทนน้ำผลไม้ พบว่าเมื่อคาราจีแนนละลายหมดและเกิดเป็นเจลลี่ขึ้นมาแล้ว ขนาดอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่จะอยู่ในช่วง 0.5 – 2.6 μm ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณสูงถึง 75.7%, 69.1% และ 74.0% สำหรับเจลลี่กระเจี๊ยบ เจลลี่สับปะรด และเจลลี่มังคุด ตามลำดับ ส่วนเจลลี่มาตรฐานนั้นมีสัดส่วนปริมาณขนาดอนุภาคน้ำมันปลาช่วง 0.5 – 2.6 μm สูงถึง 81.5% หากตรวจสอบมากขึ้นจะพบว่าอนุภาคน้ำมันปลาขนาด 1.1 μm จะมีสัดส่วนสูงที่สุดที่สุดในเจลลี่ผลไม้ทุก ๆ ชนิด อนุภาคน้ำมันปลาขนาดใหญ่มากกว่า 10 μm มีสัดส่วนน้อยกว่า 1.0% ยกเว้นในเจลลี่กระเจี๊ยบที่มีสัดส่วนอนุภาคน้ำมันปลาขนาดใหญ่มากกว่า 10 μm ประมาณ 3.3% ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการผลิตเจลลี่ผลไม้มีลักษณะด้วยเทคนิคดังกล่าว สามารถกักเก็บหยดน้ำมันปลาที่มีอนุภาคขนาดเล็กขนาดไมครอนไว้ในเจลลี่ได้จริง และขนาดหยดน้ำมันที่ถูกกักเก็บไว้จะมีขนาดใกล้เคียงกันแม้ว่าจะใช้น้ำผลไม้ต่างชนิดกัน วิธีการผลิตจึงเป็นปัจจัยหลักสำหรับการผลิตเจลลี่ผลไม้มีลักษณะ อย่างไรก็ตามโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผลไม้จะส่งผลเล็กน้อยต่อขนาดหยดน้ำมันปลาที่ผลิตได้ โดยจะทำให้อนุภาคน้ำมันปลาขนาดเล็กมีสัดส่วนปริมาณลดลงเล็กน้อย แต่จะเกิดอนุภาคน้ำมันปลาขนาดต่างๆกันมากขึ้น



ภาพที่ 6 การกระจายตัวของหยดน้ำมันปลาขนาดต่างๆ ในอิมัลชันน้ำผลไม้ก่อนนำไปให้ความร้อน เปรียบเทียบการกระจายตัวของหยดน้ำมันปลาในน้ำผลไม้แต่ละชนิด



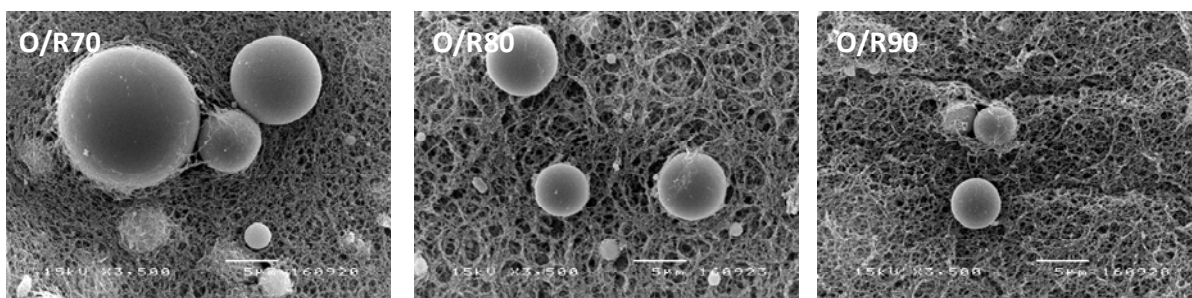
ภาพที่ 7 ขนาดและการกระจายตัวของหยดน้ำมันปลาในอิมัลชันเจลลี่ผลไม้ ที่ 70 °ซ จากกล้อง light microscope (Olympus) ที่กำลังขยาย 200x



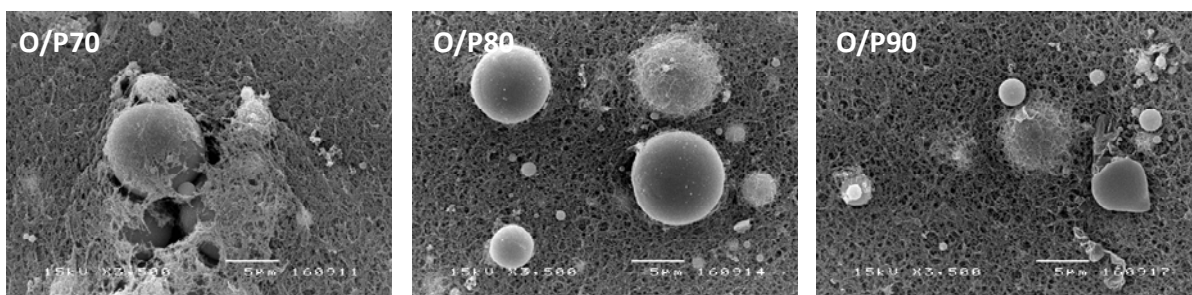
ภาพที่ 8 การกระจายตัวของหยดน้ำมันปลาขนาดต่างๆ ในเจลลี่อิมัลชันน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เจลลี่กระเจี๊ยบ (เส้นสีแดง), เจลลี่สับปะรด (เส้นสีเหลือง) และเจลลี่มังคุด (เส้นสีเขียว) รวมถึงเจลลี่อิมัลชันที่ผลิตจากน้ำเปล่า (เส้นสีฟ้า)

การตรวจสอบลักษณะอนุภาคน้ำมันปลา และลักษณะเส้นใยเครือข่ายคาราจีแนนของเจลลี่ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 3500 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 9 พบว่ามีหยดน้ำมันปลากระจายตัวอยู่ที่พื้นผิวเจลลี่อย่างชัดเจน อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตเจลลี่ผลไม้อิมัลชันมีผลต่อลักษณะ ขนาดของหยดน้ำมันปลา และโครงสร้างร่างแหคาราจีแนน โดยอนุภาคหยดน้ำมันปลาจะมีขนาดเล็กลง และกระจายตัวกันมากขึ้นอย่างชัดเจนในเจลลี่ผลไม้ทั้ง 3 ชนิด เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำผลไม้ผสมคาราจีแนนที่อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยทำให้เกิดอนุภาคน้ำมันปลาขนาดเล็กลงแล้ว ยังทำให้เส้นใยเครือข่ายคาราจีแนนสานต่อกันมากขึ้น เกิดเป็นร่างแหแบบหยาบๆ ซึ่งจะเห็นได้ชัดในเจลลี่กระเจี๊ยบ (7a) และเจลลี่มังคุด (7c) ร่างแหแบบหยาบๆ นี้ อาจขัดขวางการเกาะของอนุภาคน้ำมันปลาขนาดเล็ก จึงอาจเป็นผลให้สัดส่วนปริมาณหยดอิมัลชันน้ำมันปลาลดลง ซึ่งพบว่าโอกาสพบอนุภาคน้ำมันปลาบนพื้นผิวมีน้อยกว่า เมื่อเทียบกับหยดน้ำมันปลาในเจลลี่ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 70°C ส่วนลักษณะเส้นใยเครือข่ายคาราจีแนนในน้ำสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงน้อย หรือไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเส้นใยคาราจีแนนที่พบจากการวิเคราะห์ด้วย SEM นี้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นวุ้นของเจลลี่ผลไม้ (ภาพที่ 4)

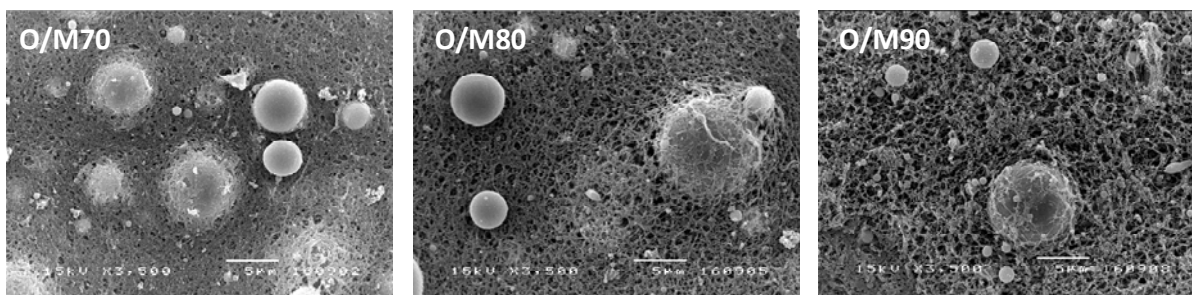
a)



b)



c)

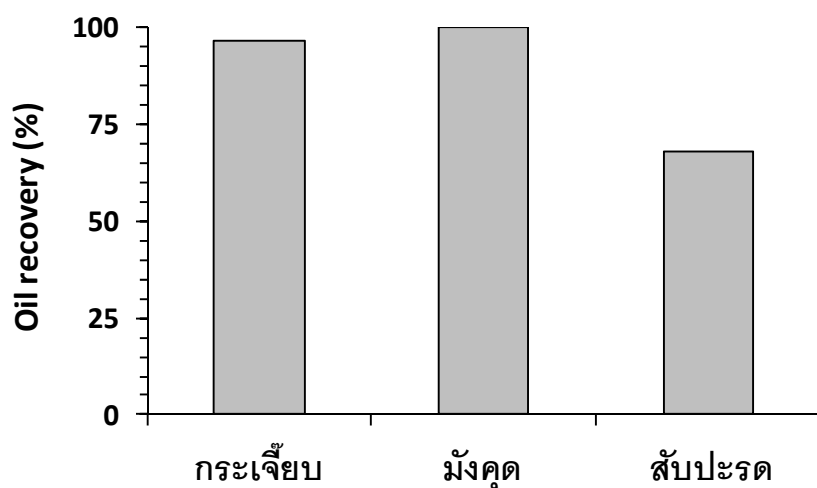


ภาพที่ 9 ลักษณะหยดน้ำมันปลา และโครงข่ายเส้นใยเจลลี่น้ำผลไม้อัลชัน ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90°C ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า โดย a) เจลลี่กระเจียบ b) เจลลี่สับปะรด และ c) เจลลี่มังคุด

3.4 ความคงตัวต่อการเกิด oxidation ของอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่อิมัลชันผลไม้

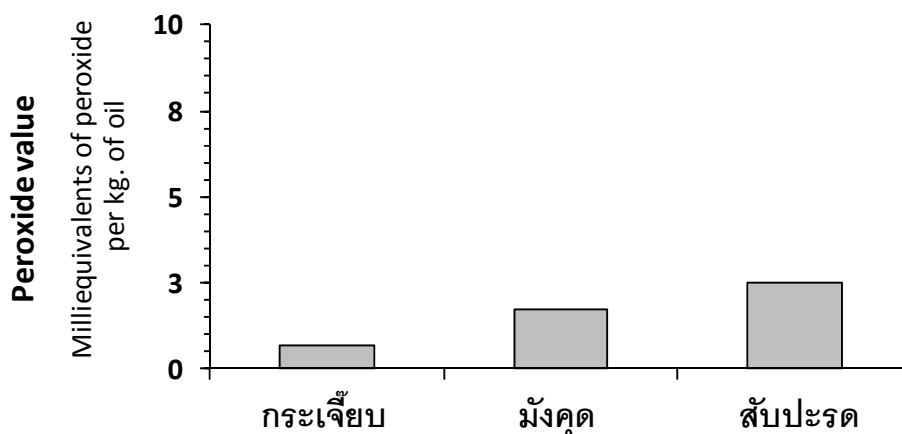
เจลลี่ผลไม้อัลชันที่ผลิตจากการให้ความร้อนสารละลายน้ำผลไม้ที่อุณหภูมิ 70°C ถูกเทใส่ภาชนะฝาปิด และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลานาน 30 วัน ก่อนนำมาสกัดน้ำมันที่อยู่ในเจลลี่ผลไม้ เพื่อทดสอบความคงตัวต่อการเกิด oxidation ซึ่งเมื่อน้ำมันเกิดปฏิกิริยา oxidation จะทำให้น้ำมันสูญเสียคุณภาพ เช่น เกิดกลิ่นหืน โดยเฉพาะไขมันที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังเช่น DHA และ EPA เมื่อเกิดปฏิกิริยา oxidation อาจจะทำให้สูญเสียฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพได้ ผลของการสกัดน้ำมันที่ถูกบรรจุอยู่ในเจลลี่อิมัลชัน ด้วยระเบียบวิธีในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 10 พบว่าสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้ในปริมาณสูงสุดหรือแทบจะสกัดน้ำมันออกมาได้อย่างสมบูรณ์ คือ 97 – 100% ยกเว้นการสกัดน้ำมันปลาจากเจลลี่สับปะรด จะได้ปริมาณน้ำมันกลับคืนมาเพียง 68% เนื่องจากเจลลี่สับปะรดมีความเป็นเจลสูง ทำให้เกิดเจลหนืดหลังเติมสารละลายที่ใช้ในการสกัด จึงสกัด

น้ำมันออกมาได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับการสกัดจากเจลลี่กระเจี๊ยบ และเจลลี่มังคุด อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันที่สามารถสกัดกลับคืนมาได้ บ่งชี้ได้ว่าวิธีการสกัดแบบไม่ใช้ความร้อนแรง หลีกเลี่ยงการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานๆ นี้ สามารถใช้เป็นวิธีการสกัดน้ำมันในเจลลี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง



ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเจลลี่ผลไม้มีัลชัน หลังจากที่ถูกเก็บภายใต้อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลานาน 30 วัน

เมื่อนำน้ำมันที่สกัดได้มาวิเคราะห์การเกิด oxidation ด้วยการทดสอบ peroxide value (PV) โดยอาศัยหลักการทาง spectroscopy เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความไวและความแม่นยำค่อนข้างสูง ค่าที่ได้ แสดงดังภาพที่ 11 พบว่า PV มีค่าเพียง 0.7, 1.8 และ 2.5 สำหรับน้ำมันปลาในเจลลี่กระเจี๊ยบ เจลลี่มังคุด และเจลลี่สับปะรด ตามลำดับ PV ที่มีค่าต่ำแสดงให้เห็นว่าน้ำมันปลาเกิดการ oxidation น้อยมาก นั่นก็คือแม้ว่าเจลลี่ผลไม้มีัลชันจะถูกเก็บภายใต้อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลานาน 30 วัน แต่คุณภาพน้ำมันปลาที่ถูกบรรจุอยู่ในเจลลี่ผลไม้ยังดีเทียบเท่าน้ำมันปลาสดใหม่ คุณประโยชน์ด้านฤทธิ์ทางชีวภาพจึงน่าจะยังคงอยู่ดังเดิม อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของ PV ในเจลลี่ผลไม้แต่ละชนิดช่วยชี้แนะได้ว่าเจลลี่กระเจี๊ยบช่วยถนอมคุณภาพของหยดน้ำมันปลาได้ดีที่สุด สอดคล้องกับชนิดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้ ซึ่งน้ำกระเจี๊ยบอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่ม flavonoid ชื่อ cysanthemin นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนข้อมูลเพิ่มเติมซึ่งกล่าวว่าสารที่ให้สีส้มแดงจะช่วยป้องกันการเกิด oxidation ของน้ำมันได้ดี (Hornero-Méndez *et al.*, 2001) เหล่านี้เป็นการยืนยันประสิทธิภาพของน้ำกระเจี๊ยบที่เมื่อนำมาทำเป็นเจลลี่ผลไม้แล้ว จะมีแนวโน้มที่จะช่วยรักษาคุณภาพของน้ำมันปลาได้ดีในระหว่างช่วงการเก็บรักษา

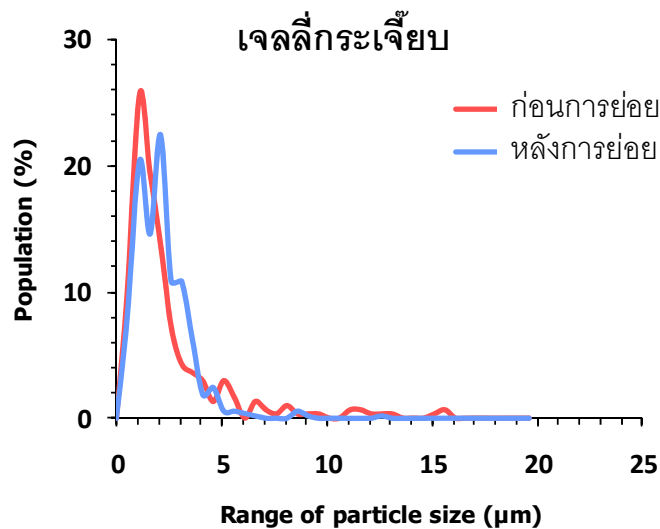


ภาพที่ 11 ผลของชนิดของน้ำผลไม้ต่อการเกิด oxidation ของน้ำมันปลาในเจลลี่ผลไม้มีัลชัน หลังจากเก็บภายใต้อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลานาน 30 วัน

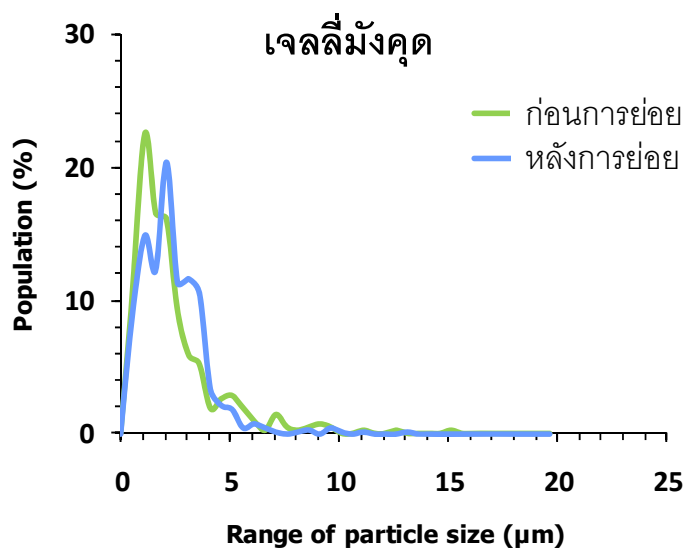
3.5 ผลการจำลองสภาวะการละลายออกของน้ำมันปลา เมื่อถูกย่อยในกระเพาะและลำไส้

เมื่อตัดชิ้นส่วนเจลลี่ผลไม้ที่ผลิตสดใหม่ออกเป็นชิ้นพอเหมาะ และนำไปผ่านกระบวนการย่อยภายใต้ น้ำย่อยจำลอง ขึ้นเจลลี่เกิดการอ่อนตัวและละลาย เมื่อดูส่วนที่ละลายออกมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ ใช้แสง และวัดขนาดอนุภาค ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 12 พบว่าเมื่อเจลลี่ผลไม้ผ่านการย่อยแล้ว อนุภาคน้ำมัน ปลาถูกปลดปล่อยออกมาได้ อีกทั้งยังมีความเสถียร และยังคงรักษาความเป็นขนาดอนุภาคขนาดเล็กไว้ได้ ถึงแม้อนุภาคขนาดเล็กจะมีสัดส่วนปริมาณลดลงบ้าง การมีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเกิดขึ้นมา ทำให้ peak ในกราฟเกิดการเคลื่อนตัวไปทางขวา ดังเช่นที่พบในเจลลี่กระเจี๊ยบ และเจลลี่มังคุด (ภาพที่ 12 a) และ b) หรือเปลี่ยนภาพร่างจาก peak ยอดแหลม เป็นยอดกว้าง ดังเช่นที่พบในเจลลี่สับปะรด (ภาพที่ 12c) มีความ เป็นไปได้ว่าอนุภาคน้ำมันปลาบางส่วนที่ละลายออกมาจากเจลลี่เกิดการรวมตัวกัน จึงเกิดเป็นอนุภาคน้ำมัน ปลาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่พบการรวมตัวกันของอนุภาคน้ำมันปลาจนเกิด เป็นอนุภาคน้ำมันปลาขนาดใหญ่มาก หรือแยกตัวออกมาเป็นชั้นน้ำมันปลา หลังกระบวนการย่อย แสดงให้เห็น ถึงประสิทธิภาพของเจลลี่มีัลชันที่ยังคงรักษาน้ำมันปลาให้อยู่ในภาพอนุภาค ซึ่งจะส่งผลดีต่อการดูดซึมเข้าสู่ ร่างกายได้ดี

a)

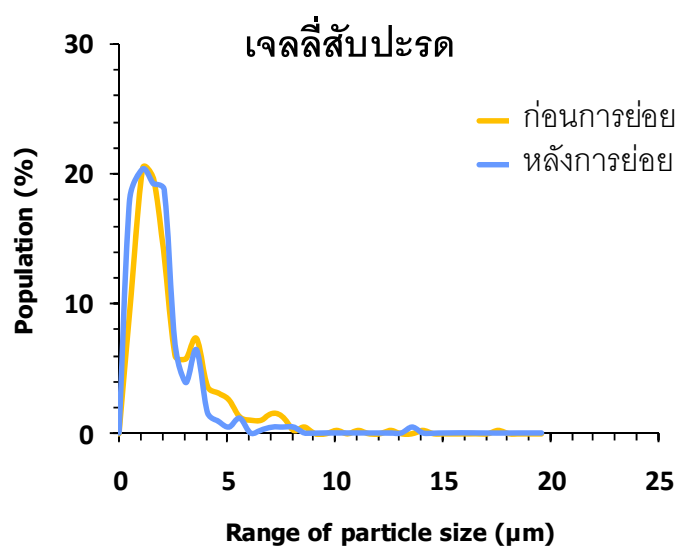


b)



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคน้ำมันปลาหลังจากเจลลี่ผลไม้โอมิลชันผ่านกระบวนการย่อย
จำลอง เทียบกับขนาดอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่ก่อนการย่อย a) เจลลี่กระเจี๊ยบ b) เจลลี่มังคุด c) เจลลี่
สับปะรด

c)



ภาพที่ 12 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคน้ำมันปลาหลังจากเจลลี่ผลไม้มีอัลชันผ่านกระบวนการย่อยจำลอง เทียบกับขนาดอนุภาคน้ำมันปลาในเจลลี่ก่อนการย่อย a) เจลลี่กระเจี๊ยบ b) เจลลี่มังคุด c) เจลลี่สับปะรด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

กรดไขมันโอเมก้า 3 ทั้ง DHA (docosahexaenoic acid) และ EPA (epicosapentaenoic acid) เป็นองค์ประกอบที่พบมากในน้ำมันปลา การเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ให้เด็ก จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อพัฒนาการทางระบบประสาทและสมอง นอกจากนี้กรดไขมันโอเมก้า 3 ยังมีคุณสมบัติช่วยบำรุงหัวใจ และมีฤทธิ์ต้านการซึมเศร้า ในปัจจุบันการเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ให้แก่เด็กๆ ทำได้โดยการให้รับประทานน้ำมันปลา ซึ่งอาจจะอยู่ในภาพของเหลวหรือแคปซูล ก่อให้เกิดปัญหาในการรับประทานสำหรับเด็กๆ เนื่องจากมีกลิ่นคาว หรือขนาดแคปซูลที่ใหญ่เกินไป ผลิตภัณฑ์เสริมโอเมก้า 3 ในภาพแบบอื่นๆ เช่น นม ปลากระป๋อง สำหรับทารก และน้ำมันพืช จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาสภาวะและสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเจลลี่ผลไม้มีอัลชันเสริมโอเมก้า 3 รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของน้ำผลไม้ไทยที่ควรนำมาใช้ผลิตเจลลี่ น้ำผลไม้ไทยที่นำมาใช้ได้แก่ น้ำกระเจี๊ยบ น้ำมั่งคุด และน้ำสับปะรด การเตรียมเจลลี่ผลไม้มีอัลชันอาศัยการผสมส่วนน้ำ และส่วนน้ำมันปลาด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน โดยอาศัยเครื่อง homogenizer ก่อนนำไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °ซ ตามลำดับ และรอจนเย็นเพื่อให้เจลลี่ก่อตัว

ผลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่า วิธีการผลิตนี้สามารถบรรจุอนุภาคน้ำมันปลาไว้ในเจลลี่ผลไม้ได้สำเร็จ โดยอนุภาคน้ำมันปลามีขนาดเล็กกว่า 5 μm การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขั้นตอนการกระตุ้นให้เกิดเจลไม่ส่งผลต่อสีของเจลลี่ แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °ซ จะทำให้เจลลี่มีอัลชันผลไม้มีความสว่างมากที่สุด การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ ค่าความเป็นวุ้นของเจลลี่ผลไม้ มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ความเป็นวุ้นที่เพิ่มสูงขึ้นในวุ้นมั่งคุด และวุ้นสับปะรดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน สอดคล้องเป็นอย่างมากกับปริมาณคาราจีแนนที่ใช้ในส่วนผสมของวุ้นแต่ละชนิด และยังทำให้เส้นใยโครงข่ายของเจลจับตัวกันเป็นร่างแหน้อยลง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และอนุภาคน้ำมันปลาที่พบจะมีขนาดเล็กกลวงเล็กน้อย การสกัดน้ำมันที่ถูกบรรจุอยู่ในเจลลี่เป็นเรื่องใหม่ ด้วยการสกัดภายใต้สภาวะอ่อนๆ หลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนรุนแรง เป็นวิธีการสกัดน้ำมันในเจลลี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง สามารถสกัดน้ำมันออกมาได้ในปริมาณสูงสุดหรือแทบจะสกัดน้ำมันออกมาได้อย่างสมบูรณ์ คือ 97 – 100% สำหรับเจลลี่กระเจี๊ยบ และเจลลี่มั่งคุด วิธีการสกัดนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้สกัดน้ำมันในอาหารที่มีลักษณะเป็นเจล ยกเว้นในวัตถุดิบที่มีเอนไซม์ย่อยโปรตีนอย่างเช่น น้ำสับปะรด สารประกอบสำคัญในน้ำผลไม้อย่างเช่นสารต้านอนุมูลอิสระ และเม็ดสีมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยา oxidation ในน้ำมันปลาได้ดี โดยเจลลี่จากน้ำกระเจี๊ยบช่วยป้องกันอนุภาคน้ำมันจากการเกิดปฏิกิริยา oxidation ได้ดีที่สุด โดยมีค่า peroxide value (PV) ต่ำเพียง 0.7 อนุภาคน้ำมันปลาสามารถถูกปลดปล่อยออกมาจากเจลลี่ผลไม้ และยังคงมีลักษณะเป็นอิมัลชันหลังการทดสอบการย่อย สุดท้ายในการทดสอบทางประสาทสัมผัส กลุ่มตัวอย่างให้การยอมรับและชื่นชอบเจลลี่อิมัลชันผลไม้ โดยเฉพาะเจลลี่มั่งคุด และเจลลี่กระเจี๊ยบ งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่ากระเจี๊ยบ และมั่งคุดเป็นวัตถุดิบที่

เหมาะสมสำหรับการผลิตเจลลี่อิมัลชันผลไม้เสริมโอเมก้า 3 เนื่องจากมีกลิ่นรสที่ดี ส่งเสริมต่อการเกิดอนุภาคน้ำมันปลาขนาดเล็ก และป้องกันการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของน้ำมันปลาระหว่างการเก็บรักษาได้ดี องค์ความรู้เชิงประยุกต์นี้นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์แล้วยังเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์การปรุงอาหารอีกด้วย ซึ่งมีหัวข้อที่น่าสนใจศึกษาต่ออีกหลายอย่าง เช่น องค์ประกอบอะไรในน้ำผลไม้ที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดอนุภาคน้ำมันปลาขนาดเล็ก น้ำมันปลาเกิดการแพร่ภายในเจลลี่ได้หรือไม่ และอื่นๆ อีก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Adolph, M. 1999. Lipid emulsions in parenteral nutrition. *Ann. Nutr. Metab.* 43: 1-13.
- Ågren, J.J., Väisänen, S., Hänninen, O., Muller, A.D. and Hornstra, G. 1997. Hemostatic factors and platelet aggregation after a fish-enriched diet or fish oil or docosahexaenoic acid supplementation. *Prostaglandins, Leukotrienes Essent. Fatty Acids.* 57: 419-421.
- Albert, C.M., Hennekens, C.H., O'Donnell, C.J., Ajani, U. A., Carey, V.J., Willett, W.C., Ruskin, J. N. and Manson, J. E. 1998. Fish consumption and risk of sudden cardiac death. *J. Am. Med. Assoc.* 279: 23-28.
- Anton, M., Le Denmat, M., Beaumal, V. and Pilet, P. 2001. Filler effects of oil droplets on the rheology of heat-set emulsion gels prepared with egg yolk and egg yolk fractions. *Colloids Surf., B.* 21: 137-147.
- Azuma, G., Kimura, N., Hosokawa, M. and Miyashita, K. 2009. Effect of droplet size on the oxidative stability of soybean oil tag and fish oil tag in oil-in-water emulsion. *J. Oleo Sci.* 58: 329-338.
- Bays, H. 2008. Rationale for prescription omega-3-acid ethyl ester therapy for hypertriglyceridemia: A primer for clinicians. *Drugs Today.* 44: 205-246.
- Caillard, R. and Subirade, M. 2012. Protein based tablets as reversible gelling systems for delayed release applications. *Int. J. Pharmaceutics.* 437: 130-136.
- Cheatham, C.L., Colombo, J. and Carlson, S.E. 2006. n-3 Fatty acids and cognitive and visual acuity development: Methodologic and conceptual considerations. *Am. J. Clin. Nutr.* 83: 1458S-1466S.
- Cheong, J.N., Tan, C.P., Man, Y.B.C. and Misran, M. 2008. α -Tocopherol nanodispersions: Preparation, characterization and stability evaluation. *J. Food Eng.* 89: 204-209.
- De Meijer, V.E., Gura, K.M., Le, H.D., Meisel, J.A. and Puder, M. 2009. Fish oilg-based lipid emulsions prevent and reverse parenteral nutrition- associated liver disease: The boston experience. *J. Parenteral Enteral Nutr.* 33: 541-547.
- Dyerberg, J. and Bang, H.O. 1979. Haemostatic function and platelet polyunsaturated fatty acids in Eskimos. *Lancet* 2: 433-435.
- Foltz, M., Maljaars, J., Schuring, E.A.H., Van Der Wal, R.J.P., Boer, T., Duchateau, G.S.M., Peters, H.P.F., Stellaard, F. and Masclee, A.A. 2009. Intragastic layering of lipids delays lipid absorption and increases plasma CCK but has minor effects on gastric emptying and appetite. *Am. J. Physiol.* 296: G982-G991.
- Frankel, E.N., Satué-Gracia, T., Meyer, A.S. and German, J.B. 2002. Oxidative stability of fish and algae oils containing long-chain polyunsaturated fatty acids in bulk and in oil-in-water emulsions. *J. Agric. Food Chem.* 50: 2094-2099.
- Fürst, P. and Kuhn, K.S. 2000. Fish oil emulsions: What benefits can they bring? *Clin. Nutr.* 19: 7-14.

- Gascon, A.D., Zuritz, C.A., Bustamante, J.A., De Borbon, L. and Oberti, G. 1999. A study of different formulations of wall support systems for microencapsulation of antioxidant essential oils. *Acta Horticulturae*. 503: 53-58.
- Golding, M. and Wooster, T.J. 2010. The influence of emulsion structure and stability on lipid digestion. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 15: 90-101.
- Gonnet, M., Lethuaut, L. and Boury, F. 2010. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. *J. Controlled Release* 146: 276-290.
- Gouveia, L., Batista, A.P., Raymundo, A. and Bandarra, N. 2008a. *Spirulina maxima* and *Diatronema vlkianum* microalgae in vegetable gelled desserts. *Nutr. Food Sci.* 38: 492-501.
- Gouveia, L., Coutinho, C., Mendonça, E., Batista, A.P., Sousa, I., Bandarra, N.M. and Raymundo, A. 2008b. Functional biscuits with PUFA- ω 3 from *Isochrysis galbana*. *J. Sci. Food Agric.* 88: 891-896.
- Harrison, R.A., Sagara, M., Rajpura, A., Armitage, L., Birt, N., Birt, C.A. and Yamori, Y. 2004. Can foods with added soya-protein or fish-oil reduce risk factors for coronary disease? A factorial randomised controlled trial. *Nutr, Metab. Cardiovasc. Dis.* 14: 344-350.
- Haug, I.J., Sagmo, L.B., Zeiss, D., Olsen, I.C., Draget, K.I. and Seternes, T. 2011. Bioavailability of EPA and DHA delivered by gelled emulsions and soft gel capsules. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113: 137-145.
- Hood, E., Simone, E., Wattamwar, P., Dziubla, T. and Muzykantov, V. 2011. Nanocarriers for vascular delivery of antioxidants. *Nanomedicine* 6: 1257-1272.
- Hornero-Méndez, D., Pérez-Gálvez, A. and Mínguez-Mosquera, M.I. 2001. A rapid spectrophotometric method for the determination of peroxide value in food lipids with high carotenoid content. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78: 1151-1155.
- Jacobsen, C., Let, M.B., Nielsen, N.S. and Meyer, A.S. 2008. Antioxidant strategies for preventing oxidative flavour deterioration of foods enriched with n-3 polyunsaturated lipids: a comparative evaluation. *Trends Food Sci. Technol.* 19: 76-93.
- Kang, J.X. and Leaf, A. 1994. Effects of long-chain polyunsaturated fatty acids on the contraction of neonatal rat cardiac myocytes. *PNAS.* 91: 9886-9890.
- King, A.G. and Keswani, S.T. 1994. Colloid mills: Theory and experiment. *J. Am. Ceram. Soc.* 77: 769-777.
- Kobayashi, I. and Nakajima, M. 2002. Effect of emulsifiers on the preparation of food-grade oil-in-water emulsions using a straight-through extrusion filter. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104: 720-727.
- Kolanowski, W., Swiderski, F. and Berger, S. 1999. Possibilities of fish oil application for food products enrichment with ω -3 PUFA. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 50: 39-49.

- Krauss, R.M., Eckel, R.H., Howard, B., Appel, L.J., Daniels, S.R., Deckelbaum, R.J., Erdman J.W, Jr., Kris-Etherton, P., Goldberg, I.J., Kotchen, T.A., Lichtenstein, A.H., Mitch, W.E., Mullis, R., Robinson, K., Wylie-Rosett, J., St. Jeor, S., Suttie, J., Tribble, D.L. and Bazzarre, T.L. 2000. AHA Dietary Guidelines Revision 2000: A statement for healthcare professionals from the Nutrition Committee of the American Heart Association. *Circulation*. 102: 2284-2299.
- Kris-Etherton, P.M., Harris, W.S. and Appel, L.J. 2002. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*. 106: 2747-2757.
- Lopez-Huertas, E. 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. *Pharmacol. Res.* 61: 200-207.
- Mancuso, J.R. and McClements, D.J., Decker, E.A. 1999. The effects of surfactant type, pH, and chelators on the oxidation of salmon oil-in-water emulsions. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4112-4116.
- McClements, D.J. 2004. *Food Emulsions: Principles, Practices and Techniques*. Boca Raton, FL., CRC Press.
- Morris, M.C., Sacks, F. and Rosner, B. 1993. Does fish oil lower blood pressure? A meta-analysis of controlled trials. *Circulation*. 88: 523-533.
- Neves, M.A., Ribeiro, H.S., Fujii, K.B., Kobayashi, I. and Nakajima, M. 2008. Formulation of controlled size PUFA-loaded oil-in-water emulsions by microchannel emulsification using beta-carotene-rich palm oil. *Ind. Eng. Chem. Res.* 47: 6405-6411.
- Neves, M.A., Ribeiro, H.S., Kobayashi, I. and Nakajima, M. 2008. Encapsulation of lipophilic bioactive molecules by microchannel emulsification. *Food Biophys.* 3: 126-131.
- Ribeiro, H.S. and Chu, B.S. 2008. Preparation of nanodispersions containing β -carotene by solvent displacement method. *Food Hydrocolloids* 22: 12-17.
- Sabeena Farvin, K.H., Baron, C.P., Nielsen, N.S. and Jacobsen, C. 2010. Antioxidant activity of yoghurt peptides: Part 1-in vitro assays and evaluation in ω -3 enriched milk. *Food Chem.* 123: 1081-1089.
- Sanguansri, P. and Augustin, M.A. 2006. Nanoscale materials development - a food industry perspective. *Trends Food Sci. Technol.* 17: 547-556.
- Tan, C.P. and Nakajima, M. 2005a. beta-Carotene nanodispersions: preparation, characterization and stability evaluation. *Food Chem.* 92: 661-671.
- Tan, C.P. and Nakajima, M. 2005b. Effect of polyglycerol esters of fatty acids on physicochemical properties and stability of beta-carotene nanodispersions prepared by emulsification/evaporation method. *J. Sci. Food Agric.* 85: 121-126.
- Waitzberg, D.L., Torrinhas, R.S. and Jacintho, T.M. 2006. New parenteral lipid emulsions for clinical use." *J. Parenteral Enteral Nutr.* 30: 351-367.

- Weiss, J., Decker, E.A., McClements, D.J., Kristbergsson, K., Helgason, T. and Awad, T. 2008. Solid lipid nanoparticles as delivery systems for bioactive food components. *Food Biophys.* 3: 146-154.
- Zimet, P., Rosenberg, D. and Livney, Y.D. 2011. Re-assembled casein micelles and casein nanoparticles as nano-vehicles for ω -3 polyunsaturated fatty acids. *Food Hydrocolloids* 25: 1270-1276.

ประวัตินักวิจัยและคณะ พร้อมหน่วยงานสังกัด

1. นายวิชา ตรีสุวรรณ (Ph.D.)

หน่วยงาน สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900
โทร. 02 942 8629 ต่อ 815 e-mail: ifrwctw@ku.ac.th

ประสบการณ์งานวิจัย

- 1) **Treesuwan, W.** and S. Hannongbua. 2009. “Bridge Water Mediates Nevirapine Binding to Wild Type and Y181C HIV-1 Reverse Transcriptase - Evidence from Molecular Dynamics Simulations and MM-PBSA Calculations”, *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 27(8):921-9.
- 2) **Treesuwan, W.**, K. Wittayanarakul, N. G. Anthony, G. Huchet, H. Alniss, S. Hannongbua, A. I. Khalaf, C. J. Suckling, J. A. Parkinson, and S. P. Mackay. 2009. “A detailed binding free energy study of 2:1 ligand-DNA complex formation by experiment and simulation”, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 11,10682-10693.
- 3) Wittayanarakul, K., N. G. Anthony, **W. Treesuwan**, S. Hannongbua, H. Alniss, A. I. Khalaf, C. J. Suckling, J. A. Parkinson, and S. P. Mackay. 2010. “Ranking ligand affinity for the DNA minor groove by experiment and simulation”, *ACS Medicinal Chemistry Letters*, 1(8), 376-380. DOI: 10.1021/ml100047n.
- 4) Na Nakorn, P., **W. Treesuwan**, K. Choowongkamon, S. Hannongbua, and N. Boonyalai. 2011. “In vitro and In silico binding study of the peptide derived from HIV-1 CA-CTD and LysRS as a potential HIV-1 blocking site”, *Journal of Theoretical Biology*, 210(1), 88-97.
- 5) **Treesuwan, W.**, H. Hirao, K. Morokuma, and S. Hannongbua. 2012. “Characteristic vibration patterns and protein binding of odor compounds from bread baking volatiles: Density functional, ONIOM study and principle component analysis (PCA)”, *J Mol Model* 18, 2227–2240.
- 6) Jiamsomboon K., **Treesuwan W.**, N. Boonyalai. 2012. “Dissecting substrate specificity of two rice BADH isoforms: Enzyme kinetics, docking and molecular dynamics simulation studies”, *Biochimie* (94), 1773-1783.

2. นางสาวดาลัด ศิริวัน (Ph.D.)

หน่วยงาน สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900
โทร. 02 942 8629 ต่อ 823 e-mail: ifrdls@ku.ac.th

ประสบการณ์งานวิจัย

ชื่อเรื่อง	สถานภาพ
1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่โดยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการจากข้าวแดง งา และเปลือกถั่วเหลือง	หัวหน้าโครงการ
2. ผลของสารสกัดจากแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวและเนื้อสีแดงที่มีต่อการเจริญของเซลล์มะเร็งตับและการทำลายดีเอ็นเอโดยเทคนิค in vivo DNA repairs test	หัวหน้าโครงการ
3. พืชผักสมุนไพรและผลไม้ไทยต่อการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง	ผู้ร่วมวิจัย
4. การพัฒนานักเก็ตไก่ไขมันต่ำ โซเดียมต่ำเสริมใยอาหารผงจากพืชตระกูล	ผู้ร่วมวิจัย
5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากปลายข้าวเสริมคุณค่าด้วยสมุนไพรไทย	ผู้ร่วมวิจัย
6. การทดสอบฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ในระดับยีนส์ของอาหารไทยที่มีขมิ้นชันเป็นองค์ประกอบ	ผู้ร่วมวิจัย
6. อาหารไทยกับคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระ 3 ชนิด และการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง	ผู้ร่วมวิจัย

1) **Siriwan, D.**, C. Miyawaki, et al. (2010). Sesquiterpene lactones from *Smallanthus sonchifolius* exert antiproliferative activity on murine B16-F10 melanoma and Hela cells. The 3rd Joint Symposium between CMU and KU, Chiang Mai, Thailand.

2) **Siriwan, D.**, T. Naruse, et al. (2011). "Effect of epoxides and α -methylene- γ -lactone skeleton of sesquiterpenes from yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves on caspase-dependent apoptosis and NF- κ B inhibition in human cervical cancer cells." *Fitoterapia* 82(7): 1093-1101.

3. นางฉันทนา กอพยัคฆินทร์

หน่วยงาน ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม.
10900

โทร. 02 562 5004

e-mail: fagicnk@ku.ac.th

ประสบการณ์งานวิจัย

สนับสนุนการเรียนการสอน

1. วิชา PD 054-321, Processing of Agro Industrial Products
2. วิชา PD 054-452, Product Development in Agro Industry II
3. วิชา PD 054-499, Research Technique in Product Development
4. วิชา PD 054-443, การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

4. รศ.ดร. อนุวัตร แจ่มชัด (ที่ปรึกษาโครงการ)

หน่วยงาน ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม.
10900

โทร. 02 562 5016

e-mail: anuvat.j@ku.ac.th