

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ใ้กรอกอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์ใ้กรอกอิมัลชันเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีการจำหน่ายและบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสะดวกในการหาซื้อมารับประทาน มีประโยชน์ ราคาปานกลางและรสชาติที่ถูกปากผู้บริโภค (Abiola and Adeggbaju, 2001) องค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในใ้กรอกอิมัลชัน คือ ไขมัน เนื่องจากไขมันมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีความคงตัว ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดีอีกด้วย โดยทั่วไปใ้กรอกอิมัลชันจะมีไขมันประมาณร้อยละ 30 (Choi *et al.*, 2010) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของไขมันที่เลือกใช้ ซึ่งไขมันที่มีการใช้ในผลิตภัณฑ์ใ้กรอกอิมัลชัน ได้แก่

2.1.1 ไขมันสัตว์

ไขมันสัตว์เป็นไขมันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ใ้กรอกอิมัลชัน เนื่องจากไขมันสัตว์มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีความคงตัว และมีเนื้อสัมผัสที่ดี เหมาะที่จะนำมาใช้ในใ้กรอกอิมัลชัน ส่วนใหญ่ใ้กรอกอิมัลชันจะใช้ไขมันสันหลังของสุกร (back fat) ซึ่งเป็นไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้ใ้กรอกมีเนื้อสัมผัสแน่นแข็ง มีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) ที่ดี มีผลให้ระบบอิมัลชันคงตัว องค์ประกอบไม่แยกจากกัน ให้เนื้อสัมผัสรสชาติ และกลิ่นรสที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Bloukas *et al.*, 1997) คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเหมาะสมมากที่สุด แต่ไขมันสุกรมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและคอเลสเตอรอลสูง ทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคอ้วน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจอุดตันได้ (Ozvural and Vural, 2008) อีกทั้งไขมันสุกรยังเป็นสิ่งต้องห้ามในศาสนาอิสลามอีกด้วย ใ้กรอกอิมัลชันจึงมีการใช้ไขมันชนิดอื่นทดแทน โดย Kayaard and Gok (2003) ได้ใช้ไขมันวัวในผลิตภัณฑ์ใ้กรอกร้อยละ 15 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสี ลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดี เป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภค แต่เนื่องจากไขมันมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและคอเลสเตอรอลสูง อาจทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Enser *et al.*, 1996; Serrano *et al.*, 2007; Vural and Javidipour, 2002)

2.1.2 น้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นไขมันอีกชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนไขมันสัตว์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้ จากการศึกษาของ พัชรีย์ (2549) ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำมันพืช 4 ชนิด ต่อลักษณะของไส้กรอกอิมัลชัน คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันปาล์ม (แซ่แข็งที่ -13 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง) และเนยขาว โดยใช้ไขมันในสูตรไส้กรอกทั้งหมดร้อยละ 25 พบว่าสามารถใช้น้ำมันพืชแทนไขมันสุกรได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ ซึ่งน้ำมันที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด คือ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ทั้งในคุณลักษณะด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวม ดังนั้น น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนไขมันสัตว์ในไส้กรอกได้ แต่ผลขัดแย้งกับการศึกษาของ ศิริภาวิ และ รัศมี (2547) ซึ่งได้ศึกษาผลของระดับน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรการผลิตไส้กรอกปลานิลอิมัลชันต่อคุณภาพ และความชอบของผู้ทดสอบชิม โดยผลิตไส้กรอก 5 สูตร คือ สูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุม ไขมันแข็งสุกรเป็นส่วนประกอบของไขมันอย่างเดียวยร้อยละ 26 ของสูตรไส้กรอก ส่วนสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเพื่อทดแทนไขมันจากมันแข็งสุกรที่ระดับร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของไขมันทั้งหมดตามลำดับ จากการศึกษาเปรียบเทียบความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้ทดสอบชิมชอบลักษณะปรากฏ และลักษณะ เนื้อสัมผัสของไส้กรอกในสูตรที่ 1, 2 และ 3 มากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมชอบไส้กรอกสูตร 3 มากที่สุด มีความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันถั่วเหลืองแทนไขมันสุกรในระดับร้อยละ 50 หรือ ร้อยละ 13 ของสูตรไส้กรอกเท่านั้น

Muguerza *et al.* (2002) ได้ผลิตไส้กรอกอิมัลชันไขมันต่ำเตรียมโดยใช้ไขมันร้อยละ 10 และ 20 ของส่วนผสม ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันทั้งหมดร้อยละ 20 และ 27 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าไส้กรอกไขมันสูง (ไขมันร้อยละ 30) และพบว่าระดับไขมันทำให้น้ำหนักที่หายไปหลังการให้ความร้อน ความแข็ง และความแน่นของไส้กรอกมากขึ้น และทำให้ไส้กรอกมีสีที่คล้ำและแดงมากขึ้นด้วย ส่วนการแทนที่ไขมันสุกรร้อยละ 20 ด้วยน้ำมันมะกอกไม่ส่งผลต่อน้ำหนักที่หายไป แต่ทำให้ได้ไส้กรอกที่มีสีซีดและเหลืองมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ก็ยังได้รับการยอมรับในเรื่องสีและรสชาติ สอดคล้องกับผลของ Bloukas *et al.* (1997) และพบว่าการใช้น้ำมันมะกอกแทนไขมันสัตว์โดยตรง ทำให้เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม และลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค

Hsu and Yu (2002) เปรียบเทียบผลของน้ำมันจากพืช 11 ชนิดที่ใช้ทดแทนไขมันสุกรในผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันไขมันต่ำ ซึ่งได้ศึกษาผลของน้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดชา

และ น้ำมันไฮโดรจีเนต (hydrogenated oils) จากน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ทดแทนไขมันทั้งหมดโดยใช้ไขมันทั้งหมดร้อยละ 10 ของผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม 3 ชุด คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันสุกรอย่างเดียวร้อยละ 25 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันสุกรอย่างเดียวร้อยละ 10 และผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำแทนไขมันทั้งหมดร้อยละ 10 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำแทนไขมันทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส แต่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนลง และมีการเกิดออกซิเดชัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย thiobarbituric acid (TBA) ลดลงด้วย ส่วนการใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันสุกร พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำมันพืชทุกชนิดมีค่า TBA ต่ำ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ไขมันสุกรร้อยละ 10 ซึ่งมีผลดีต่อผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้น้ำมันพืชเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไขมันสุกร อาจเนื่องมาจากน้ำมันอาจมีองค์ประกอบของสารต้านออกซิเดชัน เช่น วิตามินอี จากผลการทดสอบพบว่า น้ำมันจากเมล็ดดอกทานตะวันให้ค่า TBA ต่ำที่สุด และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชทุกชนิดให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหมือนกันกับชุดควบคุมที่ใช้ไขมันสุกรร้อยละ 10 โดยน้ำมันเมล็ดชา และน้ำมันถั่วลิสง ให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่า ชุดการทดลองอื่น แต่น้ำมันเมล็ดชา และน้ำมันถั่วลิสงมีข้อเสีย คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสขมและมีกลิ่นแรง

น้ำมันพืชมีข้อดีทางด้านสุขภาพ คือ มีกรดไขมันอิ่มตัวน้อย มีกรดไขมันชนิด ไลโนลิอิกและไลโนลิอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย น้ำมันพืชจึงเป็นไขมันที่เหมาะสม ในการรับประทานในชีวิตประจำวัน แต่น้ำมันพืชมีข้อเสีย คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ใส่กรอกที่ได้มี ลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม และลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ข้อเสียเหล่านี้ สามารถปรับปรุงได้ โดยการทำให้เป็นน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (pre-emulsified fat) ก่อนที่จะนำไปใช้ ทดแทนไขมันในใส่กรอก ซึ่งจะทำให้ใส่กรอกมีลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ดีขึ้น จาก การศึกษาของ Kayaard and Gok (2003) พบว่า การประยุกต์ใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ในใส่กรอก อิมัลชัน ทำให้ใส่กรอกอิมัลชันมีความแน่นเนื้อ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันพืชโดยการทำให้เกิดอิมัลชันก่อนที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์ จึงเป็น แนวทางในการใช้น้ำมันพืชเพื่อทดแทนไขมันสัตว์

2.2 น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (Pre-emulsified fat)

น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ น้ำมันหรือไขมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ ด้วยการสับผสมหรือพรีอิมัลชัน (pre-emulsion) ด้วยความเร็วสูงกับอิมัลซิฟายเออร์ ทำให้ ผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีความแน่นเนื้อ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น (Kayaard and Gok, 2003) ซึ่งในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ทดแทนการใช้ไขมันสัตว์ เนื่องจากมีผลดี

ต่อสุขภาพ และสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ น้ำมัน โปรตีน และ น้ำ

2.2.1 การเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันชนิดต่างๆ

น้ำมันเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการผลิตน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อิมัลชัน จะส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส สี และรสชาติ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย ซึ่งน้ำมันแต่ละชนิดทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันแต่ละชนิด และลักษณะทางกายภาพของกรดไขมัน มีความสำคัญต่อคุณภาพของไขมัน ได้แก่ จุดหลอมเหลว (melting point) พบว่า การใช้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาทำผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทอิมัลชันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรต่ำและมีความมันเลี่ยนสูง ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวอาจพัฒนาให้ดีขึ้นโดยการลดปริมาณไขมันจากสูตรการผลิตให้น้อยลงหรืออาจใช้น้ำมันที่ถูกสับผสมในลักษณะที่ทำให้เกิดโฟม (pre-emulsion) เพื่อใช้แทนไขมันสัตว์ ก็จะทำให้มีลักษณะที่ดีขึ้นและสามารถใช้ทดแทนไขมันสัตว์ได้ทั้งหมดในสูตรการผลิต (พัชรีย์, 2549)

Choi *et al.* (2009) ศึกษาการใช้ไขมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันพืชผสมกับรำข้าวแทนไขมันสุกรบางส่วนในอิมัลชันเนื้อ (meat batters) ซึ่งน้ำมันพืชที่ใช้ได้แก่ น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดองุ่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันคาโนล่า (canola) และน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า สามารถใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันพืชแทนไขมันสุกรได้ถึงร้อยละ 50 ของไขมันทั้งหมด ซึ่งมีไขมันทั้งหมดร้อยละ 30 ของอิมัลชันเนื้อ จากการทดสอบสมบัติของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ พบว่าการใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์แทนไขมันสุกรทำให้ความเหนียวเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันถั่วเหลืองจะให้ค่าความเหนียวสูงสุด และ อิมัลชันเนื้อที่ใช้ไขมันพรีอิมัลซิฟายด์มีค่าความแข็ง (hardness) มากกว่าการใช้ไขมันสุกรอย่างเดียว โดยน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันมะกอก และ น้ำมันคาโนล่าจะให้ค่าความแข็งสูงที่สุด นอกจากนี้ การใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์แทนไขมันสุกรในอิมัลชันเนื้อยังทำให้น้ำหนักที่หายไป (cook loss) ลดลงอีกด้วย โดยน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันมะกอกทำให้น้ำหนักที่หายไปต่ำที่สุด แต่ข้อเสียของการใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันพืชคือ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีซีดและเหลือง

การใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันมะกอกกับโปรตีนถั่วเหลือง (soy protein isolate) ทดแทนไขมันวัวในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกของตุรกี (Turkish soudjouk) ในปริมาณร้อยละ 20, 40 และ 60 ของไขมันวัว ซึ่งมีปริมาณไขมันร้อยละ 15 ของส่วนผสมไส้กรอก (Kayaard and Gok, 2003) พบว่า สามารถใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์แทนไขมันวัวได้ถึงร้อยละ 60 ในผลิตภัณฑ์ การแทน

ไขมันวัวด้วยน้ำมันมะกอกสามารถลดคอเลสเตอรอลได้ถึงร้อยละ 41.38 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้การใช้น้ำมันมะกอกแทนไขมันสัตว์ร้อยละ 40 ยังให้ผลที่ดีทางประสาทสัมผัสและได้รับการยอมรับสูงสุด โดยให้ผลสอดคล้องกับ Muguerra *et al.* (2001) ซึ่งมีการใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันมะกอกแทนไขมันสุกรในไส้กรอกร้อยละ 10, 15, 20, 25 และ 30 ของไขมันทั้งหมดในไส้กรอก ซึ่งใช้ไขมันในไส้กรอกทั้งหมดร้อยละ 25 และพบว่า สามารถใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์แทนไขมันสุกรได้ถึงร้อยละ 30 แต่ไส้กรอกที่ใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ร้อยละ 25 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ทั้งด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังพบว่า ไส้กรอกที่มีการใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันมะกอกแทนไขมันสุกรร้อยละ 20-25 มีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงร้อยละ 12-13 และในไส้กรอกที่มีการใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ร้อยละ 30 มีคอเลสเตอรอลลดลงถึงร้อยละ 22

Saithi and Wongfahun (2005) ศึกษาการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันพืชเพื่อทดแทนไขมันสุกรในไส้กรอกปลาตุ๋น โดยเตรียมอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง:น้ำ:น้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1:6:6, 1:6:8 และ 1:6:10 โดยใช้ไขมันสุกรเป็นสูตรควบคุม จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า สูตรควบคุมและอัตราส่วน 1:6:10 ได้รับการยอมรับสูงสุดในด้านความชอบโดยรวม ส่วนด้านสี กลิ่นและเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) จากนั้นนำน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ในอัตราส่วน 1:6:10 มาทำการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในไส้กรอก 5 ระดับ คือร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณไขมันร้อยละ 40 ได้รับการยอมรับสูงสุดในด้านกลิ่น ส่วนด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

และจากการศึกษาของ พัชรีย์ (2549) ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำมันพืช 4 ชนิด ต่อลักษณะของไส้กรอกอิมัลชัน คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันปาล์ม (แช่แข็งที่ -13 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง) และเนยขาว โดยใช้ไขมันในสูตรไส้กรอกทั้งหมดร้อยละ 25 พบว่า สามารถใช้น้ำมันพืชแทนไขมันสุกรได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ ซึ่งน้ำมันที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด คือ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ทั้งในคุณลักษณะด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัสและลักษณะโดยรวม ดังนั้น น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนไขมันสัตว์ในไส้กรอกได้ นอกจากนี้ น้ำมันพืชยังมีข้อดีทางด้านสุขภาพ คือ มีกรดไขมันอิ่มตัวน้อย มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและลิโนเลนิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย น้ำมันพืชจึงเป็นไขมันที่เหมาะสมในการรับประทานในชีวิตประจำวัน

น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งกรดไขมันแต่ละชนิดจะมีผลต่อสมบัติของน้ำมันพืช ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ชนิดกรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	น้ำมัน ถั่วเหลือง	น้ำมัน ดอกทานตะวัน	น้ำมัน ปาล์ม	น้ำมัน มะพร้าว
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว					
กรดคาโปรอิก	6	-	-	-	-
กรดคาโปรลิก	8	-	-	-	7.1
กรดคาพริก	10	-	-	-	7.3
กรดลอริก	12	0.1	-	-	54.0
กรดไมริสติก	14	0.3	-	2.5	17.4
กรดปาล์มิติก	16	10.8	6.0	4.8	6.1
กรดสเตียริก	18	3.2	4.0	3.6	1.6
กรดอะราคิติก	20	0.1	-	-	-
กรดบีฮีนิก	22	0.1	-	-	-
กรดไขมันชนิด อิ่มตัวทั้งหมด		14.6	10.0	49.6	93.5
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว					
กรดโอเลอิก	18:1	24.0	18.0	45.2	5.0
กรดลิโนเลอิก	18:2	54.4	70.0	7.9	1.3
กรดลิโนเลนิก	18:3	6.8	-	-	-
กรดกาโดเลอิก	20:1	-	-	-	-
กรดอีรูซิก	22:1	-	-	-	-
กรดไขมันชนิด ไม่อิ่มตัว ทั้งหมด		85.2	88.0	53.1	6.3

ที่มา : นิธิยา (2549)

เมื่อเปรียบเทียบกรดไขมันของน้ำมันแต่ละชนิด พบว่า น้ำมันดอกทานตะวันมีกรดไขมันอิ่มตัวน้อยที่สุด และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากที่สุด ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ดังนั้นน้ำมันทานตะวันจึงเป็นน้ำมันที่เหมาะสมในการบริโภคมากที่สุด

2.2.2 การเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากโปรตีนชนิดต่างๆ

โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (binder) ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยในโพลีเมอร์ (polymer) เดียวกันจะมีทั้งกลุ่มที่มีขั้ว (hydrophilic) และกลุ่มที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic) ทำให้สามารถดูดซับน้ำและไขมันได้สูง โปรตีนจึงทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ได้ดีในระบบอิมัลชัน

Britten and Giroux (1991) ได้ศึกษาผลของโปรตีนเวย์ (whey protein isolates) และโปรตีนเคซีน (Sodium caseinate) ต่ออิมัลชันที่มีการเติมไขมันร้อยละ 30 และเติมโปรตีนเวย์ต่อโปรตีน เคซีนในอัตราส่วน 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 พบว่า โปรตีนเคซีนมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้มากกว่าโปรตีนเวย์ และพบว่า การใช้โปรตีนเวย์ และโปรตีนเคซีน ไม่มีผลร่วมกันในการเกิดปฏิกิริยาหรือสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ ซึ่งเคซีนจะมีสมบัติพิเศษในการดูดซับ และมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของน้ำมัน อย่างไรก็ตาม โปรตีนเวย์ที่ผ่านการให้ความร้อนก็แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความหนืดของอิมัลชัน เพราะฉะนั้นความคงตัวของอิมัลชันที่ใช้โปรตีนเวย์ผสมกับโปรตีนเคซีนส่วนใหญ่ผลจะขึ้นอยู่กับโปรตีนเวย์ต่อสมบัติรีโอโลยี (rheology) ของอิมัลชัน และผลของเคซีนต่อสมบัติการดูดซับน้ำมัน ดังนั้นโปรตีนจึงมีผลต่อระบบอิมัลชัน ทำให้อิมัลชันมีความคงตัว และมีความสามารถในการดูดซับน้ำหรือน้ำมันมากขึ้น

Mourtzinou and Kiosseoglou (2005) ศึกษาผลของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันข้าวโพดร้อยละ 30 กับโปรตีนจากสัตว์และโปรตีนถั่วเหลือง ต่อ เจลของเนื้อ โดยมีการเติมโปรตีนร้อยละ 1 พบว่า การรวมตัวกันของโปรตีนจากสัตว์และโปรตีนถั่วเหลืองกับน้ำมันในเจลเนื้อ มีผลทำให้โครงสร้างของเจลมีขนาดเล็กลง และทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลงด้วย นอกจากนี้ พบว่า น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากน้ำมันข้าวโพดร้อยละ 30 กับโปรตีนจากสัตว์ มีการสูญเสียน้ำในระหว่างการเตรียมน้อยที่สุด ส่วนโปรตีนถั่วเหลืองมีการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งไม่มีการเติมโปรตีน เนื่องจากพื้นผิวของโปรตีนถั่วเหลืองจะมีการดูดซับน้ำมันและน้ำด้วยแรงที่อ่อนกว่าโปรตีนจากสัตว์ แต่โปรตีนถั่วเหลืองก็สามารถใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ได้ดี ซึ่งจากรายงานของ Mitidieri and Wagner (2002) พบว่าระบบอิมัลชันที่มีโปรตีนถั่วเหลืองนั้นสามารถป้องกันการรวมตัวของเม็ดไขมันได้ดี แสดงว่าโปรตีนถั่วเหลืองสามารถลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันได้ดี หรือมีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีได้ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสามารถเกิดเป็น

แผ่นฟิล์มล้อมรอบเม็ดไขมันกั้นไม่ให้เม็ดไขมันเกิดการชนและรวมตัวกันใหม่ (Roesch and Corredig, 2003)

ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัย ซึ่งศึกษาการใช้โปรตีนชนิดต่างๆในการทำน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์โดยศึกษาผลของเวย์โปรตีนเข้มข้น (Whey Protein Concentrate) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 80, เวย์โปรตีนไอโซเลท (Whey Protein Isolate) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 90, โปรตีนนม (Full Cream Milk Protein), โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (Soy Protein Concentrate) พบว่า โปรตีนที่เหมาะสมในการทำน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เพื่อใช้ในไส้กรอกอิมัลชัน คือ โปรตีนถั่วเหลือง เนื่องจาก โปรตีนถั่วเหลืองสามารถละลายน้ำได้ดี อุ้มน้ำได้มาก และให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในไส้กรอกอิมัลชัน ส่วนโปรตีนอื่นๆจะทำให้ได้อิมัลชันที่มีลักษณะเหลว ไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในไส้กรอก แต่โปรตีนถั่วเหลืองมีข้อเสียคือ สามารถเกิดอิมัลชันได้น้อย และทำให้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่ได้มีกลิ่นถั่วเหลือง ซึ่งจะเกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ทำให้ไส้กรอกที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและมีกลิ่นถั่วเหลือง ไม่น่ารับประทาน การดัดแปลงโปรตีนถั่วเหลืองเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถปรับปรุงสมบัติของโปรตีนถั่วเหลืองได้ ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันมากขึ้น และจากการทดลองเบื้องต้นของผู้วิจัย พบว่า การดัดแปลงโปรตีนถั่วเหลืองโดยใช้เอนไซม์สามารถลดกลิ่นถั่วได้อีกด้วย

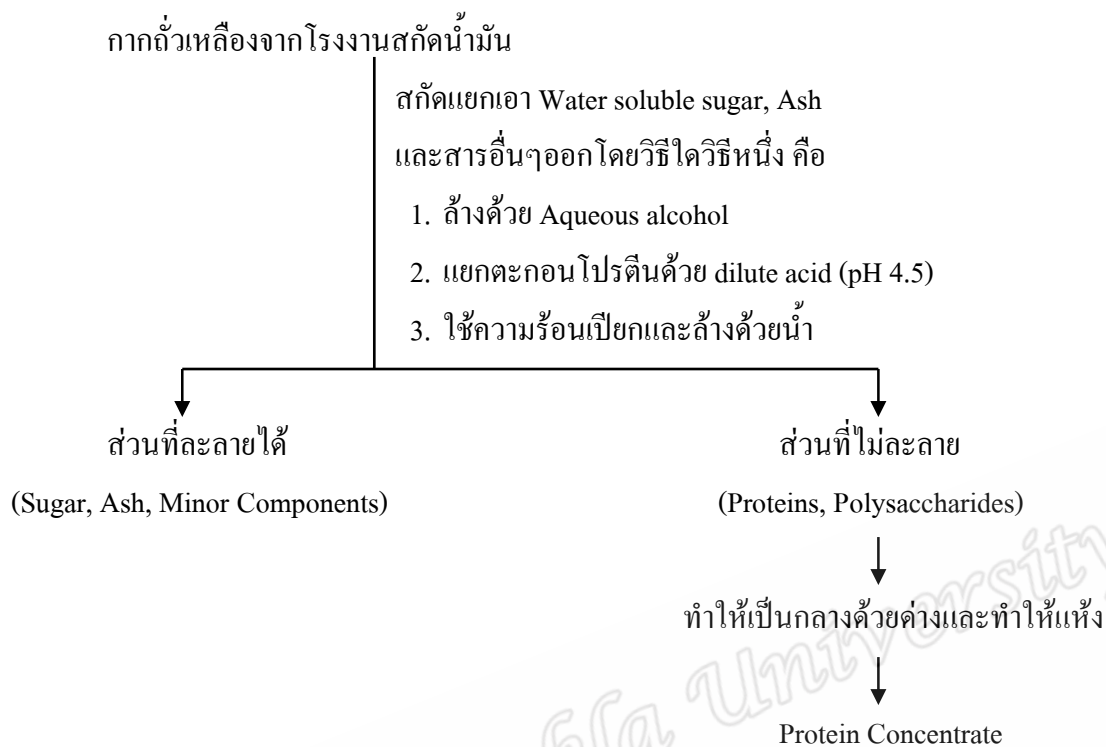
2.3 โปรตีนถั่วเหลือง (Soy Protein)

Cramp (2007) รายงานว่า โปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารมีหลายชนิด ซึ่งแบ่งตามปริมาณของโปรตีนได้ 3 ชนิด คือ

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| - Protein flours และ grits | มีปริมาณโปรตีน 40 – 50 % |
| - Soy protein concentrates | มีปริมาณโปรตีน 65 – 70 % |
| - Soy protein isolates | มีปริมาณโปรตีนมากกว่า 90 % |

Protein flours และ grits คือ การนำเอาส่วนของเนื้อถั่วเหลืองที่อาจมีไขมันอยู่เต็มอัตรา หรือ เนื้อถั่วเหลืองที่ถูกสกัดเอาไขมันออกแล้วไปผ่านขั้นตอนการบดให้ละเอียด

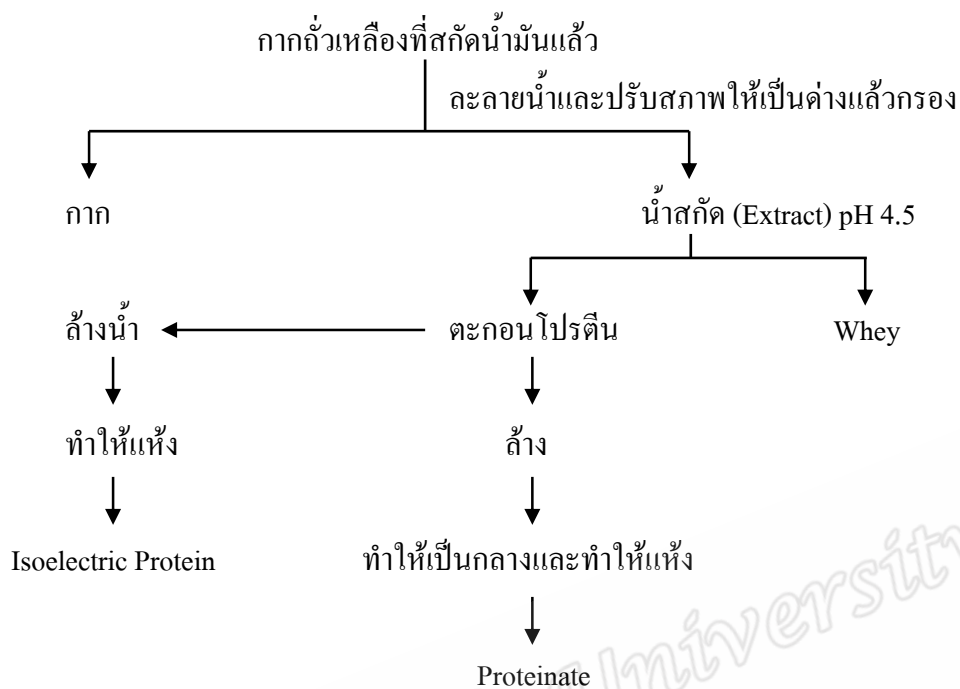
Soy protein concentrates (SPC) เป็นผลิตภัณฑ์เตรียมจากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพสูง สะอาด และผ่านการเอาเปลือกออกแล้ว รวมทั้งผ่านขั้นตอนการสกัดเอาไขมัน และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่ละลายน้ำได้ออกแล้ว ขั้นตอนการทำ Soy protein concentrates แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิต Soy protein concentrates

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527)

Soy protein isolates (SPI) เป็นขั้นตอนที่ต่อไปอีกขั้นตอนหนึ่งจากการทำ SPC เพื่อจะทำให้โปรตีนมีความบริสุทธิ์ โดยการกำจัดพวก Water Insoluble Polysaccharides และ Water soluble sugar รวมทั้งสาร Minor constituents อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2

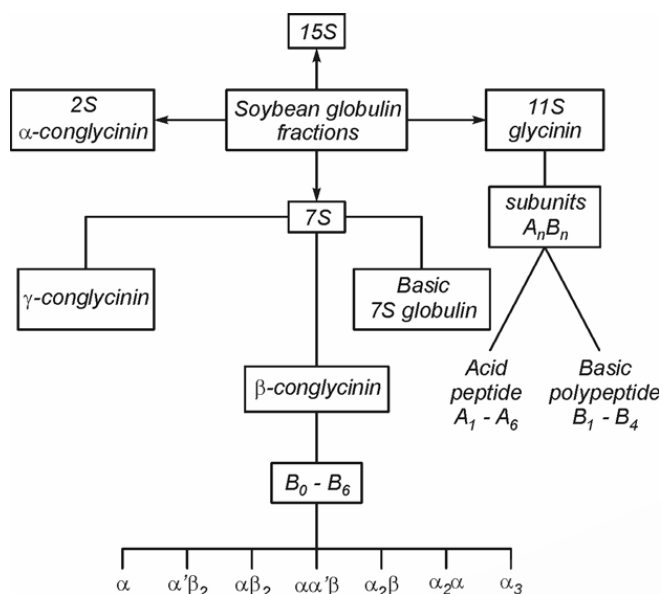


รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิต Soy protein isolates

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2527)

2.3.1 องค์ประกอบของโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนส่วนใหญ่ของโปรตีนถั่วเหลืองคือโปรตีนโกลบูลิน (globulin) ซึ่งมีส่วนของโปรตีน 4 ชนิดด้วยกันที่มีผลต่อสมบัติของโปรตีนที่แตกต่างกัน คือ 2S, 7S, 11S และ 15S มีปริมาณร้อยละ 8, 35, 52 และ 5 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดตามลำดับ (Barac *et al.*, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 องค์ประกอบของโปรตีนถั่วเหลือง

ที่มา : Barač *et al.* (2004)

องค์ประกอบโปรตีนหลักในโปรตีนถั่วเหลือง คือ glycinin (11S) และ β - conglycinin (7S) โดยมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 70 ของโปรตีนที่สามารถละลายได้ และโปรตีนเหล่านี้จะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ (Renkema, 2001) ซึ่งปริมาณและสัดส่วนของโปรตีนเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของถั่วเหลืองและสภาพแวดล้อม โดยเชื่อว่าโปรตีนเหล่านี้เป็นส่วนที่แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง และด้วยโครงสร้างองค์ประกอบที่แตกต่างกันของโปรตีนถั่วเหลืองแต่ละชนิดจึงทำให้แสดงสมบัติ เช่น คุณสมบัติการเกิดเจลและสมบัติการเป็น emulsifying แตกต่างกันได้ด้วย (Tsumura, 2005)

Glycinin มีมวลโมเลกุลประมาณ 360 kDa เป็นโปรตีนที่แน่นไปด้วยโครงสร้างจตุรภูมิ ซึ่งมีความเสถียรด้วยปฏิกิริยาของพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) แรงดึงดูดของไฟฟ้าสถิต (electrostatic) และ ปฏิกิริยาของส่วนที่ไม่มีประจุ (hydrophobic) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วยด้วยกัน คือ หน่วยย่อยโพลีเปปไทด์ที่เป็นกรด (A) มีมวลโมเลกุลประมาณ 38 kDa และโพลีเปปไทด์ที่เป็นเบส (B) มีมวลโมเลกุลประมาณ 20 kDa เชื่อมด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ยกเว้นโพลีเปปไทด์ที่เป็นกรด (A4) ซึ่งหน่วยย่อยเหล่านี้มีการจัดเรียงเป็นลักษณะหกเหลี่ยมต่อซ้อนกันเป็นทรงกระบอก (Barač *et al.*, 2004) ดังรูปที่ 4 โดยพบว่าส่วนที่เป็นเบสจะอยู่ภายในของโมเลกุลไกลซีนิน



รูปที่ 4 ลักษณะของโปรตีน Glycinin

ที่มา : Barač *et al.* (2004)

β – conglycinin เป็นโปรตีนหลักของส่วน 7S โดยมีมวลโมเลกุล 150 – 180 kDa ประกอบด้วยหน่วยย่อย 3 หน่วยย่อย คือ α' , α , และ β มี isomer 7 isomer (B0-B6) (รูปที่ 5) มวลโมเลกุลของหน่วยย่อยเหล่านี้ คือ 72 kDa, 68 kDa และ 52 kDa ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติแล้ว β – conglycinin เป็น glycoprotein และมีคาร์โบไฮเดรตหนึ่งหน่วยต่อกับกรดแอสพาดิกที่ปลาย N ของโมเลกุลโปรตีน (Barač *et al.*, 2004)





รูปที่ 5 ลักษณะของโปรตีน β – conglycinin

ที่มา : Mills *et al.* (2002)

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะและองค์ประกอบของ Glycinin และ β – conglycinin จะเห็นว่ามีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของ Glycinin และ β -conglycinin

ชนิด	โครงสร้าง	องค์ประกอบ	มวลโมเลกุล	อุณหภูมิที่ทำให้เปลี่ยนแปลง
Glycinin		protein (quaternary structure)	~360 kDa	92°C
β -conglycinin		Glycoprotein	150 -180 kDa	72°C

ที่มา : ดัดแปลงจาก Barač *et al.* (2004)

เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีน 7S และ 11S มีความแตกต่างกันจึงทำให้มีสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์แตกต่างกันด้วย เช่น โปรตีน 11S ไม่ละลายที่ pH 6.4 และที่อุณหภูมิ 2 – 5 °C ในทางตรงกันข้าม β -conglycinin ไม่ละลายที่ pH 4.8 (Barač *et al.*, 2004)

นอกจากนี้ องค์ประกอบกรดอะมิโนของโปรตีนถั่วเหลืองและองค์ประกอบของโปรตีน ถั่วเหลืองแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) ซึ่งองค์ประกอบกรดอะมิโนจะมีความสำคัญต่อสมบัติของโปรตีน โดยกรดอะมิโนที่ต่างกันก็จะแสดงสมบัติที่แตกต่างกันด้วยขึ้นอยู่กับสมบัติของกรดอะมิโนแต่ละชนิด

ตารางที่ 3 องค์ประกอบกรดอะมิโนของ soy protein, soy glycinin และ soy conglycinin

Amino Acids	Soy Protein	Soy Glycinin	Soy Conglycinin
Tryptophan		0.75	0.30
Tyrosine	2.57	2.81	3.60
Isoleucine	2.86	4.24	6.40
Phenylalanine	3.92	3.85	7.40
Proline	5.73	6.85	4.30
Leucine	8.02	7.05	10.30
Valine	3.39	4.83	5.10

ที่มา : <http://www.globalspec.com/reference/22398/203279/Chapter-9-Thermal-and-Mechanical-Properties-of-Soy-Proteins> (20/8/2009)

2.3.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนถั่วเหลืองนอกจากจะให้คุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional Properties) ที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของอาหาร ช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะ และคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในอาหาร เช่น คุณสมบัติการละลาย (solubility) ความหนืด (viscosity) การเกิดเจล (gelation) สมบัติการเป็นอิมัลซิฟายด์อิ่ง (emulsifying properties) และคุณสมบัติพิเศษของโปรตีนถั่วเหลือง คือ สามารถดูดซับน้ำได้มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มน้ำ มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น และช่วยลดการสูญเสียไอน้ำระหว่างการให้ความร้อน รวมทั้งยังทำหน้าที่เป็นสาร binder ในผลิตภัณฑ์เนื้ออีกด้วย เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีโครงสร้างโมเลกุลทั้งกลุ่ม lipophilic และ hydrophilic จึงทำให้โปรตีนถั่วเหลืองสามารถยึดเกาะกับน้ำและไขมันได้สูง โดยปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ ได้แก่ pH อุณหภูมิ และปริมาณเกลือ โดยโปรตีนสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 7.8 หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึงประมาณ 90 °C (พัชรีย์, 2549)

2.4 การดัดแปลงโปรตีนเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงหน้าที่

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีน โครงสร้างของโปรตีน และปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับสารอื่นๆ เช่น น้ำ และ ไขมัน ซึ่งลักษณะของโมเลกุลของโปรตีนเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือเคมีของโครงสร้างและองค์ประกอบของโปรตีน โดยจะทำให้โปรตีนถั่วเหลืองมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เป็นที่ต้องการ ซึ่งวิธีการดัดแปลงโปรตีนถั่วเหลืองมีหลายวิธีด้วยกัน คือ การดัดแปลงโดยใช้วิธีทางกายภาพ (Physical Method) การดัดแปลงโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical Method) และการดัดแปลงโดยใช้เอนไซม์ (Enzyme Method) (Liu, 1999)

2.4.1 การดัดแปลงโปรตีนโดยใช้วิธีทางกายภาพ (Physical Method)

วิธีการดัดแปลงโปรตีนด้วยวิธีทางกายภาพมีหลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การกวน หรือการปรับพีเอช (pH) ทำให้เป็นเบสอ่อนๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีผลในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทุติยภูมิ (secondary) และโครงสร้างตติยภูมิ (tertiary) ของโมเลกุลโปรตีนธรรมชาติ โดยไม่ทำลายพันธะโควาเลนต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเสถียรภาพของโปรตีนได้ตามความต้องการ ทำให้มีสมบัติตามที่ต้องการด้วย เช่น เมื่อมีการปรับค่าพีเอชของโปรตีนให้มากขึ้นจนถึง 8 พบว่าการละลายของโปรตีนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Ortiz and Wangner, 2002) และจากการศึกษาของ Suliman *et al.* (2006) พบว่า เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายโปรตีนอยู่ห่างจากค่าพีไอ

(Isoelectric Point, pI) มากขึ้น (ค่าพีไอของโปรตีนถั่วเหลืองเท่ากับ 4.5) การละลายของไนโตรเจน (Nitrogen solubility) ก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยมีการศึกษาที่ระดับค่าความเป็นกรด-เบส 0-12 ซึ่งพบว่าค่าการละลายของไนโตรเจนสูงที่สุดประมาณร้อยละ 88 ที่พีเอชเท่ากับ 12 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของความดันและอุณหภูมิต่อสมบัติรีโอโลยี (rheology) ของโปรตีนถั่วเหลือง พบว่า ความดันและอุณหภูมิมีผลต่อสมบัติรีโอโลยีโดยทำให้ค่าโมดูลัส (storage modulus, G' และ loss modulus, G'') เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งพบว่าอุณหภูมิมิผลมากกว่าความดัน (Apichartsrangkoon, 2003) อัตราและขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงต่อการเสถียรภาพของโปรตีนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีน ความเข้มข้นของโปรตีน ความชื้น และความแข็งแรงของไอออน ซึ่งการเสถียรภาพโดยการปรับพีเอชให้เป็นกรดจะทำให้เกิดการรวมตัวกันและเกิดตะกอนของโปรตีนถั่วเหลืองขึ้น โดยการเสถียรภาพและการไม่ละลายในสภาวะที่เป็นกรดนี้ทำให้มีข้อจำกัดกับการใช้โปรตีนในสภาวะที่เป็นกรด ในทางกลับกัน ถ้าเป็นการเสถียรภาพของโปรตีนถั่วเหลืองที่พีเอชเป็นเบส จะทำให้เกิดการแยกตัวและเกิดการคลื่อออกของโครงสร้างโปรตีน เป็นผลให้สารละลายโปรตีนมีลักษณะเหนียวหนืด หรือ เกิดเจล ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน เนื่องจากที่สภาวะเป็นเบสนี้จะเพิ่มการจับออกของประจุไฟฟ้า และมีการแยกออกของพันธะไดซัลไฟด์ (Liu, 1999)

Barac *et al.* (2004) รายงานว่า เมื่อให้ความร้อนโปรตีนถั่วเหลืองมากกว่า 70 องศาเซลเซียสจะทำให้โครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีนถูกทำลาย หน่วยย่อยของโปรตีนเกิดการเสถียรภาพและเกิดการรวมตัวกันของโปรตีนด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic) การรวมตัวกันของส่วนที่ไม่มีประจุ (hydrophobic) และการรวมตัวกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) ซึ่งโปรตีนเบต้า-คอนไกลูซินิน (β -conglycinin, 7S) และไกลซินิน (Glycinin, 11S) มีความไวต่อความร้อนแตกต่างกัน คือ ไกลซินินมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียสสูงกว่าเบต้า-คอนไกลูซินิน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส ความไวต่อความร้อนนี้มีความสัมพันธ์กับความแน่นหนาและความคงตัวของโครงสร้าง โดยไกลซินินจะมีความแน่นหนาและความคงตัวของโครงสร้างมากกว่า

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนก็เป็นผลมาจากการเสถียรภาพของโปรตีน ซึ่งมีการลดลงของปริมาณแอลฟา-เฮลิกซ์ (α -helix) การเปิดออกของทริปโตฟาน (tryptophan) และไทโรซีน (tyrosine) รวมทั้งการเปิดออกของกลุ่มไทออล (thiol) และไดซัลไฟด์ (disulfide) ที่ซ่อนอยู่ในโครงสร้างของโปรตีน โดยจะมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Liu, 1999)

2.4.2 การตัดแปลงโปรตีนโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical Method)

วิธีการตัดแปลงโปรตีนด้วยวิธีทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาเอซิลเลชัน (acylation), การเติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) และปฏิกิริยาดีแอมมิ-เดชัน (deamidation) (Liu, 1999) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองได้ โดยจะเป็นการตัดแปลงหมู่ที่ปลายของโปรตีน ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นผลในการตัดแปลงสภาพขั้ว และในบางกรณีจะเป็นการตัดแปลงประจุสุทธิของโปรตีน และเมื่อมีการตัดแปลงมากขึ้น โปรตีนอาจจะมีการม้วนเกลียว คลี่ออก หรือมีการรวมตัวกับโมเลกุล โปรตีน โมเลกุลอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การตัดแปลงโปรตีนวิธีการทางเคมีนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง คือ กระบวนการผลิตมีราคาแพง และอาจไม่เหมาะสมกับการใช้ในอาหาร เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่เฉพาะเจาะจง และอาจเกิดสารที่มีความเป็นพิษได้ ดังนั้นการตัดแปลงโปรตีนด้วยวิธีการทางเคมีจึงไม่นิยมใช้ในอาหาร

2.4.3 การตัดแปลงโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ (Enzymatic Method)

การตัดแปลงโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ ส่วนใหญ่เป็นการตัดแปลงในลักษณะของการย่อยโปรตีน (Liu, 1999) โดยการย่อยโปรตีนในอาหารจะใช้เอนไซม์โปรตีเอส (proteases) เช่น เปปซิน (pepsin) ทริปซิน (trypsin) ไคโมทริปซิน (chymotrypsin) ปาเปน (papain) และเทอร์โมลิปซิน (thermolysin) ในการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Fennema, 1996) ซึ่งในหลายๆงานวิจัยได้อธิบายว่า การย่อย (hydrolysis) โปรตีนถั่วเหลืองสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของโปรตีนถั่วเหลืองได้ ทำให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลืองดีขึ้น รวมทั้งปรับปรุงลักษณะการละลาย สมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิง และสมบัติการเกิดโฟมด้วย (Tsumura *et al.*, 2005) ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยโปรตีน มีทั้งเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจง และเอนไซม์ที่ไม่เฉพาะเจาะจง โดยการย่อยมีการใช้เอนไซม์ที่ไม่เฉพาะเจาะจงกันอย่างกว้างขวาง เช่น ปาเปน ซึ่งผลที่ได้จากการย่อยเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้เปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ มีกรดอะมิโนต่อกัน 2-4 ตัว และในอีกประเด็นหนึ่ง การย่อย อาจทำให้สมบัติเชิงหน้าที่หลายอย่างลดลงได้ เช่น สมบัติการเกิดเจล การเกิดโฟม และสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิง โดยการตัดแปลงโปรตีนลักษณะนี้จะมีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวซึ่งใช้หลักการละลายเป็นพื้นฐาน เช่น ซุปและซอส หรืออาจใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหาในการย่อยอาหารที่เป็นของแข็งได้ อย่างไรก็ตาม การย่อยเฉพาะบางส่วนของโปรตีนหรือที่ใดที่หนึ่งของโปรตีน โดยใช้เอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของโปรตีน เช่น ทริปซิน หรือ ไคโมทริปซิน หรือโดยการควบคุมเวลาในการย่อยก็จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการทำให้เกิดโฟม และสมบัติการทำอิมัลชันได้ แต่อาจไม่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนบางชนิด และการย่อยบางส่วนอาจทำให้การละลายลดลง (Fennema, 1996)

Zhong *et al.* (2007) ได้ทำการตัดแปลงโปรตีนด้วยเอนไซม์ 6 ชนิด คือ อัลคาเลส (alcalase) โบรมีนเนส (brominase) ฟลาโวไซม์ (flavourzyme) นิวเตรส (neutrase) ปาเปน (papain) และโปรตาแม็กซ์ (protamax) โดยเปรียบเทียบผลของการเกิดเจล พบว่า เจลของโปรตีนที่มีการย่อยด้วยเอนไซม์ทั้ง 6 ชนิด มีค่าโมดูลัส (elastic modulus, G') เพิ่มขึ้น แสดงว่าเจลมีความแข็งแรงมากขึ้น และโปรตีนที่ย่อยด้วยปาเปนมีเจลที่แข็งแรงที่สุด ตามด้วยอัลคาเลส โบรมีนเนส ฟลาโวไซม์ โปรตาแม็กซ์ และนิวเตรส และเมื่อเปรียบเทียบเวลาในการรวมตัวกันในการเกิดเจลที่มีความแข็งแรงของเจลเท่ากัน พบว่า โปรตีนที่มีการย่อยด้วยปาเปนมีความเร็วในการเกิดเจลเร็วที่สุด การทดสอบความคงตัวของเอนไซม์ปาเปนเปรียบเทียบกับอัลคาเลสหลังจากให้ความร้อนที่ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า ทั้งเอนไซม์ปาเปนและอัลคาเลสมีความคงตัวที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส และเมื่อต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์อัลคาเลสลดลงเหลือร้อยละ 20 หลังจาก 6 นาที แต่กิจกรรมของเอนไซม์ปาเปนยังอยู่ในระดับร้อยละ 60 หลังจาก 6 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส การทดสอบผลของพีเอชต่อความคงตัวของเอนไซม์ปาเปนเปรียบเทียบกับอัลคาเลส พบว่า ปาเปนมีความคงตัวสูงกว่าอัลคาเลสในช่วงพีเอช 5.8 – 7.0 เมื่อพีเอชลดลง กิจกรรมของเอนไซม์ปาเปนจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพีเอช ลดลงถึง 5.8 กิจกรรมของเอนไซม์ปาเปนจะลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังมีค่ามากกว่าที่สภาวะพีเอช 7.0 สำหรับอัลคาเลสกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่อพีเอชลดลง แสดงว่าเอนไซม์ปาเปนมีความคงทนต่อความร้อนและพีเอชสูงกว่าเอนไซม์อัลคาเลส ดังนั้น ปาเปนอาจเป็นเอนไซม์ที่เหมาะสมในการตัดแปลงโปรตีนถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบของอาหาร

Wu *et al.* (1998) ได้ศึกษาสมบัติการละลาย สมบัติส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (Hydrophobicity) และสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิง (Emulsifying Properties) ของโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ (soy protein hydrolysate) โดยใช้ชอยโปรตีนไอโซเลท (soy protein isolate) 10 กรัม ใส่ในน้ำ 200 มิลลิลิตร และย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน 0.01 กรัม ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที (PMSPI10) 30 นาที (PMSPI30) และ 60 นาที (PMSPI60) (PMSPI = Proteolytic enzymatic modification of soy protein isolates) พบว่า โปรตีนถั่วเหลืองมีมวลโมเลกุลเล็กลง และมีโครงสร้างทุติยภูมิ (secondary) น้อยกว่าโปรตีนถั่วเหลืองดั้งเดิม การย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงหน้าที่ คือทำให้การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่พีเอช 7.0 การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 56 ของชุดควบคุม เป็นร้อยละ 89, 93 และ 94 ของการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ เนื่องจากการย่อยโปรตีนด้วยปาเปนทำให้เกิดการคลี่ออกของโมเลกุลโปรตีน ทำให้หมู่อะมิโนที่มีขั้วบางหมู่ที่ถูกฝังอยู่เกิดการคลี่ออก ผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนจึงแสดงหมู่อะมิโนที่

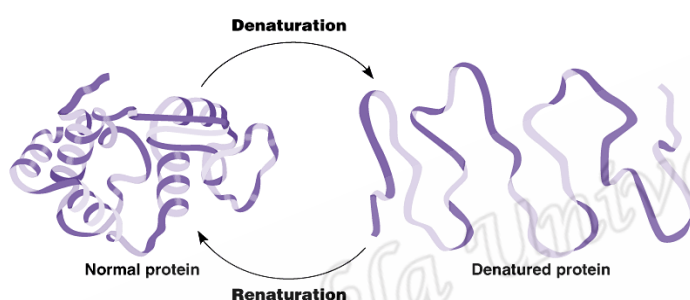
มีขั้วมากขึ้น ซึ่งหมู่อะมิโนที่มีขั้วเหล่านี้อาจทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนและปฏิกิริยาทางไฟฟ้า จึงมีผลทำให้การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การย่อยโปรตีนด้วยปาเปนยังมีผลต่อสมบัติการดูดซับไขมันหรือส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobicity) ทำให้ส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 12.2 ของชุดควบคุมเป็น 28.7, 30.5 และ 26.2 ของการย่อยที่ 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ เนื่องจากในโมเลกุลของโปรตีนธรรมชาติจะมีกลุ่มกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic group) ฝังตัวอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนที่พับอยู่และเมื่อโปรตีนถูกย่อยด้วยเอนไซม์ทำให้เกิดการคลี่ออกของโมเลกุลโปรตีนไม่ใช่แค่กลุ่มอะมิโนที่มีขั้วเท่านั้น แต่จะเกิดการคลี่ออกของกลุ่มอะมิโนที่ไม่มีขั้วด้วย ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสมบัติของส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวของโปรตีน แต่การย่อยของโปรตีนที่ 60 นาที ทำให้มีส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวหน้าของโปรตีนลดลง เนื่องจากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ 60 นาที ทำให้เกิดเปปไทด์ที่มีขนาดเล็กกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ 10 และ 30 นาที ซึ่ง peptide ที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำน้อยกว่าเปปไทด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งบ่งชี้ว่า สมบัติของส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวของโปรตีนสามารถลดลงได้ ถ้ามีการย่อยด้วยเอนไซม์มากเกินไป และการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปนยังมีผลต่อสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิง ซึ่งพบว่า ค่าดัชนีความสามารถในการเป็นอิมัลซิฟายอิง (Emulsifying activity index, EAI) ของโปรตีนถั่วเหลือง เพิ่มขึ้นจาก 102 เป็น 198, 228, และ 207 m^2/g . สำหรับการย่อยด้วยเอนไซม์ 10, 30 และ 60 นาทีตามลำดับ การที่โปรตีนย่อยที่ 60 นาที มีค่าต่ำกว่า เป็นผลจากการมีสมบัติของส่วนที่ไม่ละลายน้ำของโปรตีนที่ย่อย 60 นาทีมีค่าน้อยกว่า ส่วนดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI) พบว่า การย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปน ทำให้ค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้นจาก 37.2 นาที ของชุดควบคุม เป็น 48.0, 47.2 และ 48.9 นาที ของ 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการย่อยโปรตีนที่เวลาต่างๆ ทำให้ค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากพันธะหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นลักษณะเดียวกัน

ดังนั้นเอนไซม์ปาเปนจึงเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการใช้ย่อยโปรตีนถั่วเหลืองเพื่อใช้ในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่มีราคาถูกกว่าเอนไซม์ชนิดอื่น และมีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูงที่พีเอชปกติ

2.5 การเสถียรภาพของโปรตีน

การเสถียรภาพของโปรตีนเกี่ยวข้องกับการจัดขวางหรือทำลายโครงสร้างทุติยภูมิและตติยภูมิของโปรตีน ทำให้สูญเสียรูปร่าง α -helix และ β -sheets ในโปรตีน จึงทำให้โปรตีนเกิดการคลายเกลียว (รูปที่ 6) เนื่องจากปฏิกิริยาหรือพันธะถูกทำลาย ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างสายโซ่ของ

โปรตีนประกอบด้วย ปฏิกริยาพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ และปฏิกริยาไฮโดรโฟบิกหรือ ปฏิกริยาระหว่างหมู่ที่ไม่มีประจุ การเสถียรภาพของโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การปรับพีเอช การเติมสารต่างๆเข้าไป เมื่อโปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติขึ้น ส่วนที่มีประจุและส่วนที่ไม่มีประจุที่อยู่ภายในโครงสร้างโปรตีนจะเผยออกมา ทำให้มีบริเวณส่วนที่มีประจุ และส่วนไม่มีประจุบนผิวโปรตีนมากขึ้น โปรตีนจึงมีสมบัติการละลาย การเกิดเจล สมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิง สมบัติ hydrophobicity และความหนืดดีขึ้น (Fennema, 1996)



รูปที่ 6 การเสถียรภาพของโปรตีน

ที่มา : <http://kentsimmons.uwinnipeg.ca/cm1504/proteins.htm> (20/8/2009)

2.6 การปรับปรุงอิมัลชันด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid)

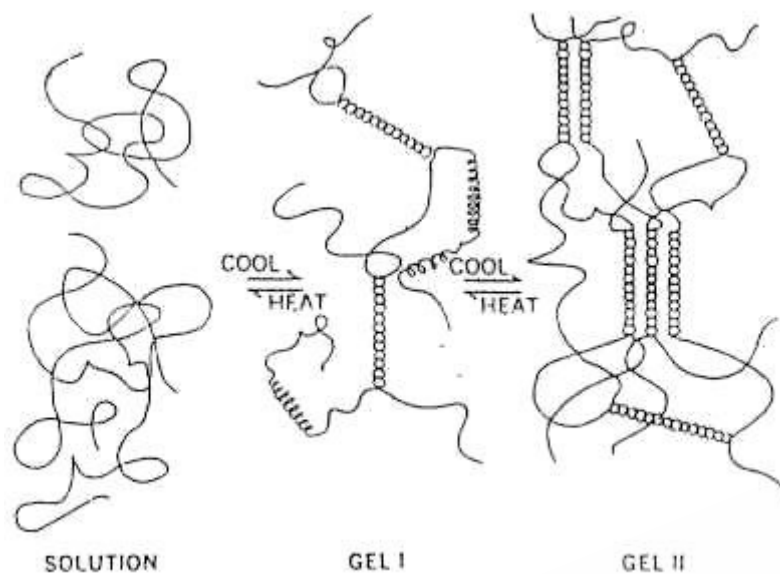
Krstonosic *et al.* (2009) ศึกษาผลของแซนแทน กัม (xanthan gum) ต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ และความคงตัวของอิมัลชัน ที่มีความเข้มข้นของน้ำมันข้าวโพดในน้ำร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้แซนแทน กัม ร้อยละ 0.04, 0.08, 0.12 และ 0.2 และทำให้อิมัลชันคงตัวด้วย ร้อยละ 5 ของ polyoxyethylene sorbitan monooleate (tween 80) ต่อปริมาณของน้ำมัน พบว่า แซนแทน กัม มีผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน โดยพบว่า อิมัลชันที่ไม่มีการเติมแซนแทน กัม ไม่มีความคงตัว ส่วนอิมัลชันที่มีการเติมแซนแทน กัม จะมีความคงตัวได้ถึง 15 วันของการเก็บรักษา และพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทน กัม จะทำให้ขนาดหยดของอิมัลชันเล็กลง ทำให้อิมัลชันมีสมบัติความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งอิมัลชันที่เติมแซนแทน กัม ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ทำให้เกิดเจลอ่อนที่สุด

Santiago *et al.* (2002) ศึกษาผลของปริมาณ โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ต่อความคงตัวของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ โดยศึกษาผลร่วมกันของแซนแทน กัม (ร้อยละ 0.01-0.4) และ แลมบ์ดา-คาราจีแนน (λ -carrageenan) (ร้อยละ 0.001-2) พบว่า ความเข้มข้นของแซนแทน กัม และ

แลมบ์ดา-คาราจีแนนที่ทำให้เริ่มเกิดการเซตตัวกันของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ เมื่อใช้แซนแทน กัม ความเข้มข้นร้อยละ 0.15 และแลมบ์ดา-คาราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.58 และพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทน กัม และแลมบ์ดา-คาราจีแนนทำให้อิมัลชันมีความหนืดลดลง ซึ่งแซนแทน กัม มีผลทำให้ความหนืดของอิมัลชันต่ำกว่าผลของแลมบ์ดา-คาราจีแนน ดังนั้นแลมบ์ดา-คาราจีแนนจึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่ดีในการใช้เป็นสารให้ความคงตัวสำหรับน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่จะประยุกต์ใช้ในไส้กรอกอิมัลชัน

Cierach *et al.* (2009) ศึกษาอิทธิพลของการคาราจีแนนชนิดต่างๆ ได้แก่ แคปปา-คาราจีแนน ไอโอตา-คาราจีแนน และ แลมบ์ดา-คาราจีแนน ต่อสมบัติของไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ไขมันต่ำ เมื่อทดสอบความแข็งแรงของเจลคาราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่พีเอช 5.5, 6.0 และ 6.5 พบว่า แคปปา-คาราจีแนน ให้เจลที่แข็งแรงที่สุด และเมื่อศึกษาผลของแคปปา-คาราจีแนนต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 10 และ 20 พบว่า คาราจีแนนมีผลทำให้ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการผ่านกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา อีกทั้งยังทำให้เพิ่มความแข็ง (hardness) ความเหนียว (gumminess) และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) นอกจากนี้ ไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ที่มีการเติมคาราจีแนนยังมีลักษณะเนื้อสัมผัส สี และรสชาติ สูงกว่าชุดควบคุมอีกด้วย และจากการศึกษาของ Ayadi *et al.* (2009) ซึ่งศึกษาผลของการเติมไอโอตา-คาราจีแนนต่อสมบัติของไส้กรอกเนื้อไก่วง (turkey meat sausage) โดยใช้คาราจีแนนร้อยละ 0.2, 0.5, 0.8 และ 1.5 พบว่า ไส้กรอกที่มีการเติมคาราจีแนนร้อยละ 0.8 และ 1.5 มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันด้านรสชาติในทุกชุดการทดลอง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ He and Sebranck (1996) ซึ่งได้รายงานไว้ว่า แคปปา-คาราจีแนนทำให้เนื้อสัมผัสของไส้กรอกดีขึ้น แต่ก็มีคະแนนน้อยกว่า ไส้กรอกที่มีไขมันสูง

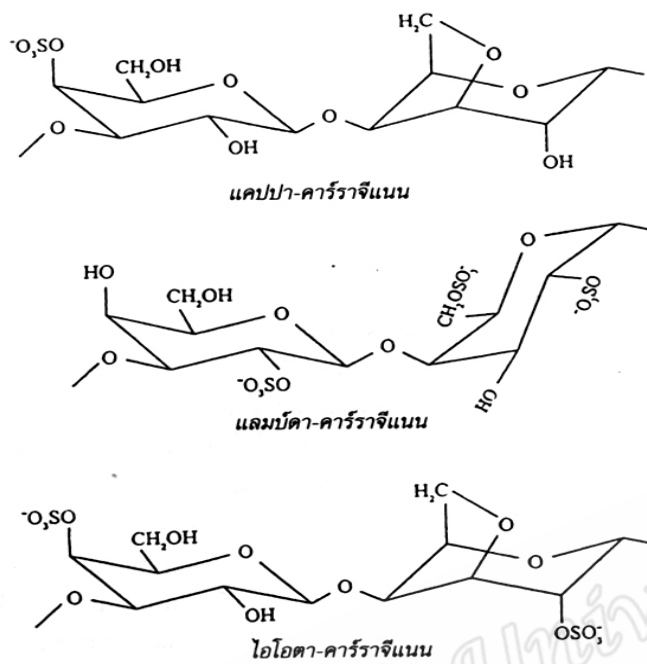
จากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัย ซึ่งได้ศึกษาผลของการคาราจีแนน แซนแทน กัม โลกัสปีนกัน ต่อน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ พบว่า น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เติมคาราจีแนนมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในไส้กรอกอิมัลชัน ซึ่งคาราจีแนนชนิดแคปปาและไอโอตามีความสามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารละลายของคาราจีแนนเย็นตัวลง ซึ่งเจลเหล่านี้สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง (thermoreversible aqueous gel) Rees (1969) ได้รายงานไว้ว่าเมื่อคาราจีแนนละลายน้ำจะเกิดเจล เนื่องจากเกิดการจับตัวกันเป็น double helix ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกวนจะสามารถทำให้คาราจีแนนคลายตัวเป็น random coil เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการสร้าง polymer net work 3 มิติ แต่ละสายของโพลีเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point (gel I) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ junction point (gel II) มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กลไกการเกิดเจลของคาราจีแนน

ที่มา : นิธิยา (2549)

คาราจีแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตเป็นทางการค้า ได้แก่ *Chondrus Crispus*, *Eucheuma cottonii* และ *Eucheuma spinosum* โครงสร้างของคาราจีแนนประกอบด้วยหน่วยของ galactose และ 3,6-anhydrogalactose (3,6-AG) ซ้ำๆกัน หมู่ซัลเฟต และส่วนที่ไม่ใช่หมู่ซัลเฟต เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha(1-3)$ - และ $\beta(1-4)$ -glycosidic linkages ซึ่งคาราจีแนนทางการค้าคงตัวได้ด้วยเกลือของโซเดียม โปแตสเซียม และแคลเซียม โดยไอออนบวกดังกล่าวเมื่อทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของหน่วยน้ำตาลในสายโพลีเมอร์ของคาราจีแนน ทำให้มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของคาราจีแนน (Prajapati *et al.*, 2007) สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 3 ชนิด ได้แก่ แคปปา (kappa) แลมบ์ดา (lambda) และไอโอตา (iota) ซึ่งมีหน่วยโครงสร้างย่อยใน โมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 8 และมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 8 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของ แคปปา-แลมบีดา-และไอโอดา-คาร์ราจีแนน

ที่มา : นิธิยา (2549)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสมบัติแคปปา- ไอโอตา- และแลมบ์ดา-คาราจีแนน ใน gelling systems

สมบัติ	แคปปา-คาราจีแนน	ไอโอตา-คาราจีแนน	แลมบ์ดา-คาราจีแนน
การละลาย	ละลายได้ในน้ำร้อน ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์	ละลายได้ในน้ำร้อน โซเดียมไอโอตา-คาราจีแนนสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์	สามารถละลายได้เล็กน้อยในน้ำเย็น และสามารถละลายได้ทั้งหมดในน้ำร้อน ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์
การเกิดเจล	การเติมประจุโปแตสเซียมทำให้เกิดเจลที่แข็งแรง เปราะ และอุณหภูมิจากการเกิดเจลและหลอมเหลวเพิ่มขึ้น	การเติมประจุแคลเซียมจะทำให้เกิดเจลที่แข็งแรง ยืดหยุ่น และอุณหภูมิจากการเกิดเจลและหลอมเหลวเพิ่มขึ้น	ไม่เกิดเจล ไม่สามารถเกิดเจลได้ในน้ำ
ลักษณะเจล	เนื้อเจลใส เนื้อเจลมีความแข็งและเปราะ เกิดซินเนอริซิสได้	เนื้อเจลใส เนื้อเจลยืดหยุ่น ไม่เกิดซินเนอริซิส คงตัวต่อ freeze-thaw	ไม่เกิดเจลแต่ทำให้สารละลายมีความหนืด การเติมประจุบวกมีผลต่อความหนืดเพียงเล็กน้อย สามารถอยู่รวมกันกับน้ำได้ มีความคงตัวในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และคงตัวต่อ freeze-thaw
องค์ประกอบ	มีองค์ประกอบของ ester sulfate ประมาณร้อยละ 25 และ 3,6-anhydrogalactose ประมาณร้อยละ 34	มีองค์ประกอบของ ester sulfate ประมาณร้อยละ 30 และ 3,6-anhydrogalactose ประมาณร้อยละ 30	มีองค์ประกอบของ ester sulfate ประมาณร้อยละ 35 และ ไม่มี 3,6-AG หรือมีน้อยมาก
ปริมาณที่ใช้	ร้อยละ 0.02-2.00	ร้อยละ 0.20-2.00	ร้อยละ 0.10-1.00

ที่มา : ดัดแปลงจาก Prajapati *et al.*(2007)