โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหารที่มีสารยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพจากเลือดจระเข้ไทย

Development of Low-fat High-fiber Sausage Containing Angiotensin Converting Enzyme Inhibitor as a Functional Food Product from Siamese Crocodile Blood

ได้รับทุนวิจัยประจำปี 2554 **จำนวนเงิน** 664,774 **บาท**

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 **ปี** **ตั้งแต่** มกราคม 2555 **ถึง** มกราคม 2556

ชื่อผู้วิจัย

นางสาวสิรินดา กุสุมภ์ Ph.D. (Food Science and Technology)

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 10120

โทร. 02-564-4440 ต่อ 2550 โทรสาร 02-564-4486

E-mail: sirinda@tu.ac.th

นางสาวจินดาวรรณ สิรันทวิเนติ Ph.D. (Agricultural Science)

ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ .10900

โทรศัพท์ 0-2-562-5555, 0-2562- 5444 ต่อ 3262

โทรสาร 0-2-562-5555, 0-2562- 5444 ต่อ 3202

E-mail: fscijws@ku.ac.th

นายวิน เชยชมศรี ปร.ด. (เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร)

ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ .10900

โทรศัพท์ 0-2-562-5555, 02-562- 5444 ต่อ 3264

โทรสาร 0-2-562-5555, 02-562- 5444 ต่อ 3202

E-mail: fsciwcc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตไส้กรอกเครื่องเทศไขมันต่ำที่มีการเสริมใยอาหารจากสมุนไพรและอินนูลิน และเสริมสารยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงจากเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซท ในการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของเครื่องเทศและสมุนไพร พบว่า สูตรที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุดคือสูตรที่มีปริมาณกระชายสูงกว่า และมีขมิ้นผงและผิวมะกรูดที่ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ จากนั้นนำสูตรนี้มาแปรอัตราส่วนมันหมูแข็งและอินนูลินเป็น 5 ระดับ คือ สูตรไขมันเต็ม (control) สูตรไขมันต่ำ 25% (25F) สูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 3% (3I) สูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 6% (6I) และสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 9% (9I) คัดเลือกอัตราส่วนของอินนูลินที่เหมาะสมจาก การวัดการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking loss) ค่าความคงตัวของอิมัลชั่น (emulsion stability) ค่าสี ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ด้านความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และความสามารถในการยึดเกาะของตัวอย่าง (cohesiveness) และการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งพบว่าไส้กรอกไขมันต่ำที่เสริมอินนูลิน 6% ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด จากนั้นศึกษาการแทนไขมันด้วยเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซท พบว่า สูตรที่ลดไขมันลงเหลือ 15% ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด การวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าสูตรนี้มีน้ำ ไขมัน โปรตีน เส้นใย คาร์โบไฮเดรต และเถ้า 65, 3.5, 16.5, 0.72 และคาร์โบไฮเดรต 7.5 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกสูตรที่ได้รับคัดเลือก โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก LDPE ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคตลอดการเก็บ และสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ไม่น้อยกว่า 14 วัน

ABSTRACT

This research aimed to study on the production process of low fat sausage fortified with dietary fiber from herb and inulin and angiotensin converting enzyme inhibitor derived from hydrolysate of crocodile blood. Types and quantities of spices were investigated. The formula with higher amount of finger root and lower amount of turmeric powder and kaffir lime peel was found to have the highest acceptance. Fat and inulin quantities used in the selected formula were investigated. 25% fat reduction (25F), 25% fat reduction with 3% inulin (3I), 25% fat reduction with 6% inulin (6I), 25% fat reduction with 9% inulin (9I) and full fat (control) sausage formula were evaluated for cooking loss, emulsion stability, color, texture, hardness, springiness, cohesiveness and sensory test. The sausage of 6I was shown the highest consumer preference ($p \leq 0.05$). The substitution of fat with crocodile blood was studied. The results indicated that the sausage with 15% fat reduction was found to receive highest score from consumers. Proximate analysis revealed that this formula had moisture, fat, protein fiber, carbohydrate and ash values of 65, 3.5, 16.5, 0.72 and 7.5% by weight, respectively. The sausage was packed in LDPE bag, sealed under vacuum and kept at 4 ^{0}C. The results indicated that the sausage was accepted from consumers throughout storage time and can be kept for at least 14 days.

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมารับประทานอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพร่างกายมากขึ้น เป็นผลให้กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและอาหารเพื่อสุขภาพมีปริมาณและมูลค่าการจำหน่ายที่สูงขึ้นมาก ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในตลาดปัจจุบันมักเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศหรือใช้วัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ส่งเสริมให้เกิดการขาดดุลทางการค้าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งของวัตถุดิบเพื่อให้เกิดการผลิตและใช้ภายในประเทศเพื่อลดการนำเข้าและการขาดดุลทางการค้า

จระเข้เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีการนำหนังและเนื้อมาทำเป็นเครื่องอุปโภคบริโภค ทำให้เลือดของจระเข้เป็นสิ่งเหลือทิ้งจำนวนมาก สามารถก่อให้เกิดมลพิษแก่สิ่งแวดล้อมได้ ความคิดที่จะใช้ประโยชน์จากสิ่งเหลือทิ้งทำให้เกิดโครงงานวิจัยหลาย ๆ โครงงานในแผนงานวิจัยนี้ โดยในปีที่ 1 เป็นโครงงานที่ศึกษาคุณสมบัติของเลือดจระเข้ในแง่มุมต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการต้านมะเร็ง ความสามารถในการต้านเชื้อเอดส์ ความสามารถในการลดความดันโลหิตผ่านการเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติง ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น จากการเติบโตอย่างรวดเร็วของตลาดผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและอาหารเพื่อสุขภาพ ผู้วิจัยจึงได้ความคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพโดยใช้เลือดจระเข้หรือสารสกัดจากเลือดจระเข้เป็นส่วนประกอบ โดยงานวิจัยในปีที่ 1 นั้นพบว่า Hydrolysate จากเลือดจระเข้มีสารยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติง ซึ่งมีฤทธิ์ลดความดันโลหิต ช่วยลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ และผู้วิจัยได้เลือกไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวนำส่งสารออกฤทธิ์จากเลือดจระเข้เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากผู้บริโภครับประทานไส้กรอกได้หลายรูปแบบ ทั้งที่รับประทานโดยตรง เช่น ปิ้ง อบ ไมโครเวฟ ชุบแป้งทอด หรือนำไปประกอบเป็นอาหารชนิดอื่น ๆ เช่น ยำไส้กรอก ยำรวมมิตร ฮอทดอก แกงจืดวุ้นเส้น ผัดผัก เป็นต้น และผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำเสริมใยอาหารยังเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคโดยช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งและโรคหัวใจ ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ของ Hydrolysate ของเลือดจระเข้

ไส้กรอก (sausage) เป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่มีองค์ประกอบของไขมันในปริมาณมาก เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรส (flavor) ความชุ่มน้ำ (juiciness) รวมถึงลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก คือ มันหมูแข็ง (back fat) ที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และคอเลสเตอรอล การบริโภคผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในปริมาณมากและเป็นประจำ จึงอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพดังนั้นผู้บริโภคบางกลุ่มได้หันไปให้ความสนใจต่ออาหารที่ดีต่อสุขภาพ จึงมีการผลิตไส้กรอกไขมันต่ำ แต่การลดปริมาณไขมันย่อมทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีคุณภาพต่ำลงและส่งผลกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Mittal และ Barbut, 1994) จึงได้มีการใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ซึ่งนอกจากจะทำให้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกลดลงแล้วยังช่วยลดการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking loss) และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ (Cierach และคณะ, 2009)

อินนูลิน (inulin) จัดเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ไม่สามารถย่อยสลายในทางเดินอาหารของมนุษย์ได้ จึงไม่ให้พลังงาน มีส่วนช่วยในระบบขับถ่าย มีรสชาติหวานคล้ายน้ำตาล จึงมักนำมาเป็นส่วนประกอบในอาหาร เช่น ขนมหวานและไอศกรีม (ปิติ, 2550) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น โยเกิร์ต ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ซึ่งอินนูลินจัดเป็นสารทดแทนไขมันกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate-based fat replacer) (นิรนาม, 2550) จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันในไส้กรอกหมักแห้งไขมันต่ำ (Mendoza และคณะ, 2001) และไส้กรอกสเปน mortadella (Garcia และคณะ, 2006) ซึ่งไส้กรอกที่ได้ ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

การนำเลือดจระเข้มาใช้ประโยชน์โดยการพัฒนาเป็นไส้กรอกลดความดันไขมันต่ำเสริมใยอาหาร สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับภาคอุตสาหกรรมเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงจระเข้อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพต่อไป อีกทั้งเป็นการส่งเสริมนโยบายเศรษฐกิจแบบพอเพียงในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นให้มีมูลค่าเพิ่ม เพื่อช่วยให้ผู้ประกอบธุรกิจในท้องถิ่นมีรายได้เพิ่มมากขึ้นอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสูตรและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากสารออกฤทธิ์ จากเลือดจระเข้เป็นส่วนประกอบ โดยทำในรูปผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหารที่มีส่วนผสมของสารยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติง
2. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่เตรียมได้และความเป็นไปได้ทางการตลาดของผลิตภัณฑ์
3. ศึกษาคุณภาพและ ความคงตัวของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารระหว่างการเก็บรักษา

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ไส้กรอก

ไส้กรอกมาจากรากศัพท์ภาษาลาตินว่า Salsus หมายถึง เนื้อสัตว์ที่มีการเก็บรักษาโดยใช้เกลือ สำหรับภาษาเยอรมันมาจากคำว่า Wurst หมายถึง เนื้อที่เตรียมได้จากการบดละเอียดผสมเกลือ เครื่องเทศ และเครื่องปรุงอื่นๆบรรจุลงในไส้ (เยาวลักษณ์, 2536) ดังนั้นโดยสรุปแล้วไส้กรอกจึงหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมโดยผสมเนื้อบดกับเกลือ เครื่องเทศ และส่วนผสมอื่นๆบรรจุลงในไส้หรือพิมพ์ อาจผ่านการรมควันและ

การทำให้สุกหรือไม่ก็ได้ ความแตกต่างของไส้กรอกขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องเทศที่ใช้ ขนาดสัดส่วนของเนื้อและไขมัน ตลอดจนวิธีการทำเนื้อที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ และเนื้อปลา

1. ประเภทของไส้กรอก

1.1 แบ่งตามลักษณะเนื้อได้เป็น 2 ประเภท

1) ไส้กรอกลักษณะเนื้อหยาบ (coarse sausage) เนื้อไส้กรอกจะมีลักษณะหยาบไม่รวมตัวกันเป็นอิมัลชั่น สามารถสังเกตเห็นส่วนผสมหลักๆได้อย่างชัดเจน เนื่องจากผ่านการบดด้วยเครื่องบดเนื้อธรรมดาไม่ผ่านการสับผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างของไส้กรอกประเภทนี้ได้แก่ กุนเชียง ซาลามี ไส้อั่ว และไส้กรอกอีสาน

2) ไส้กรอกบดละเอียด (emulsion sausage) ส่วนผสมของเนื้อที่ใช้เป็นเครื่องปรุงหลักถูกบดและสับละเอียดจนกระทั่งโครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ มีโปรตีนแอกติน (actin) และไมโอซิน (myosin) แยกออกมานอกเส้นใย ทำให้ส่วนผสมแปรเปลี่ยนเป็นมวลเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะส่วนผสมที่เรียกว่า อิมัลชั่น ตัวอย่างไส้กรอกประเภทนี้ได้แก่ ไส้กรอกเวียนนา ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ ลูกชิ้น และ หมูยอ (พัชรีย์, 2545)

1.2 แบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 5 ชนิด คือ

1) ไส้กรอกสด (fresh sausage) หมายถึง ไส้กรอกที่ทำจากเนื้อสุกรผสมด้วยเครื่องเทศบดและบรรจุลงในไส้ มัดเป็นท่อนๆเก็บไว้ในตู้เย็น เวลารับประทานต้องทำให้สุกเสียก่อนด้วยการย่าง ปิ้ง อบ หรือทอด เช่น brawurst และไส้อั่ว

2) ไส้กรอกแห้ง (dry sausage) หมายถึง ไส้กรอกที่มีเนื้อสัมผัสแห้ง เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตจะต้องนำน้ำอิสระออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ไส้กรอกประเภทนี้สามารถเก็บรักษาได้นาน เช่น thuringer และกุนเชียง

3) ไส้กรอกหมักแห้ง (fermented Sausage) หมายถึง ไส้กรอกที่ต้องหมักให้มีรสเปรี้ยวก่อนทำให้แห้ง เก็บรักษาได้นาน เนื่องจากแห้งมีความชื้นต่ำ เช่น ซาลามี

4) ไส้กรอกรมควัน (smoked sausage) หมายถึง ไส้กรอกที่ผ่านการหมักมีการรมควันให้กับไส้กรอก เช่น metwurst, Vienna, frankfurter และ bologna

5) ไส้กรอกสุก (cooked sausage) หมายถึง ไส้กรอกที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ ทำให้สุกพร้อมที่จะรับประทานได้ทันที เช่น liver sausage

2. ส่วนประกอบของไส้กรอก

การเลือกส่วนประกอบต่างๆ ให้ถูกต้องและเหมาะสม เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพและด้านต้นทุนการผลิตไส้กรอก จึงควรพิจารณาถึงผลของส่วนประกอบนั้นๆต่อคุณภาพของไส้กรอกด้วย

2.1 เนื้อแดง (lean meat)

เนื้อแดงที่ใช้อาจเป็นเนื้อหมู เนื้อไก่ หรือเนื้อวัว ซึ่งคุณภาพของเนื้อจะส่งผลต่อคุณภาพของไส้กรอกด้วย หน้าที่ของเนื้อสัตว์ของการทำไส้กรอก คือ ให้ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) เนื่องจากโปรตีนจะจับเป็นก้อน (coagulate) เมื่อถูกความร้อน กลายเป็นลักษณะกึ่งแข็ง (semi-solid) และโปรตีนจะทำหน้าที่ห่อหุ้มไขมันและตรึงน้ำในส่วนผสมไม่ให้แยกออกจากกันทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อน ซึ่งเป็นลักษณะเนื้อที่สำคัญของไส้กรอกบางชนิด และในโปรตีนของเนื้อสัตว์มีไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นสารให้สีแดงในเนื้อสัตว์ จะเป็นตัวให้สีที่สำคัญของไส้กรอก

2.2 ไขมัน (fat)

ไขมันช่วยให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสและลักษณะทางกายภาพด้านกลิ่นรส หรือความรู้สึกระหว่างอยู่ในปาก รสชาติ และกลิ่นที่ดี ทำให้ไส้กรอกมีลักษณะปรากฏที่ดีมีความน่ารับประทาน เนื้อสัมผัสที่ดี คือ มีเนื้อนุ่ม เกิดการหล่อลื่น และช่วยให้รู้สึกว่าฉ่ำ ไขมันทำหน้าที่เป็นสารตัวนำในการพัฒนากลิ่นรสของสารพวกชอบไขมัน (lipophilic) ไขมันมีบทบาทเป็นแหล่งวิตามินที่ละลายในไขมัน กรดไขมันที่จำเป็นและเป็นแหล่งพลังงาน โดยไขมันมีพลังงาน 9 กิโลแคลอรีต่อกรัม

2.3 เครื่องปรุงรส เช่น น้ำตาล เกลือ เครื่องเทศ ผงชูรส เป็นต้น

น้ำตาล (sugar) ทำหน้าที่ให้รสชาติ ทำให้ความเค็มของอาหารลดลง และช่วยลดวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) ในผลิตภัณฑ์

เกลือ (NaCl, sodium chloride) ทำหน้าที่ให้รสชาติแก่ผลิตภัณฑ์ ช่วยลดวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) และทำให้แรงดันออสโมติกของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป ค่าวอเตอร์ แอกทิวิตีลดลงมีผลให้จุลินทรีย์ลดการเจริญเติบโต ทำหน้าที่ละลายโปรตีนจากเนื้อสัตว์โดยเฉพาะโปรตีนไมโอซินซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในไส้กรอก

เครื่องเทศ (spice) ในไส้กรอกที่ต่างชนิดกันจะมีเครื่องเทศผสมอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน เครื่องเทศที่เติมลงไปเพื่อช่วยเพิ่มกลิ่นรส ได้แก่ พริกไทย น้ำมันหอมระเหยพวก piperine, chavicine, piperamine, cryptone สารให้กลิ่นในลูกผักชี ได้แก่ cariandrol, camphor, geraniol สารให้กลิ่นในกระเทียม ได้แก่ allylpropyl disulphide และ allicin เป็นต้น นอกจากจะให้กลิ่นรสแล้วยังพบว่ามีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์บางส่วนด้วย

2.4 ไนเตรตหรือไนไตรท์ (nitrate or nitrite)

เป็นสารป้องกันการหืน (antioxidant) และยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะ *Clostridium botulinum* และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีสวยน่ารับประทาน การใช้ไนเทรตและไนไตรท์จะต้องคำนึงถึงปริมาณของอนุมูลไนไตรท์ที่จะตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย เนื่องจากไนไตรท์จะสามารถรวมตัวกับ

สารประกอบเอมีน (amine) เกิดเป็นสารประกอบ ไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองหลายชนิด โดยทั่วไปแล้วปริมาณสารไนไตรท์ที่ใส่ลงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอยู่ที่ระดับ 100-300 ส่วนในล้านส่วน แต่ปริมาณสารไนไตรท์ที่ใส่ลงในอาหารซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าปลอดภัยไม่ควรเกิน 120 ส่วนในล้านส่วน

2.5 แอสคอร์เบตหรืออิริโทรเบต (ascorbate or erythrobate)

แอสคอร์เบตหรืออิริโทรเบตทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาของไนไตรท์ให้ทำงานเร็วขึ้น ทำให้สีที่เกิดจากไนไทรต์อยู่คงตัวนานขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็งจากไนโตรซามีน

2.6 ฟอสเฟต (phosphate)

ฟอสเฟตทำหน้าที่เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ ทำให้เกิดการรวมตัวกันดี ลดปฏิกิริยาการหดตัวของเนื้อสัตว์หลังต้ม ลดปฏิกิริยาการเหม็นหืน ผลิตภัณฑ์มีความชื้นและไขมันคงตัวดีขณะต้มหรือรมควัน ไส้กรอกที่ผสมฟอสเฟตจะมีลักษณะเนื้อแน่น แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะมีรสคล้ายสบู่ จึงเป็นการจำกัดระดับการใช้ฟอสเฟตในปริมาณสูง นิยมใช้โซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate) ในทางการค้าได้ผลิตสารประกอบฟอสเฟตในรูปของผสมและใช้ชื่อต่างกัน เช่น accord, fitcord เป็นต้น

2.7 ไส้ (casing) (เยาวลักษณ์, 2536)

ไส้ที่ใช้บรรจุไส้กรอกมี 2 ชนิด ดังนี้

2.7.1 ไส้เทียม (artificial casing) นิยมมากในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไส้กรอก เนื่องจากผลิตได้ปริมาณมาก ราคาถูก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้เลือกตามความต้อง การขนาดสม่ำเสมอและเก็บรักษาได้ง่าย มี 2 แบบ คือ

1) ไส้เทียมที่รับประทานได้ (edible artificial casing) ทำจากหนังสัตว์ (regenerated collagen) โดยสกัดด้วยสารละลายเบสและล้างน้ำ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับกรดให้เกิดการพองตัว และเหลวข้นเป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำเข้าแบบผ่านเบสทำให้แห้งใช้มากกับไส้ที่มีขนาดเล็ก

2) ไส้เทียมที่รับประทานไม่ได้ (inedible artificial casing) ทำจากเซลลูโลสที่สกัดจากเมล็ดฝ้าย คอลาเจนที่บริโภคไม่ได้ และพลาสติก ไส้เทียมประเภทนี้มีความแข็งแรงทนทาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 1.5-15 เซนติเมตร

2.7.2 ไส้ธรรมชาติ (natural casing) ได้จาก ไส้หมู ไส้แกะ ไส้วัว หลอดคอวัว กระเพาะหมู ไส้ติ่งวัว มีขนาดไม่สม่ำเสมอ เปื่อยและฉีกขาดง่าย ไม่ทนทาน เก็บรักษายาก ราคาแพง เมื่อบรรจุไส้กรอกจะมีรสชาติอร่อย กรอบ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

2.8 น้ำ (water)

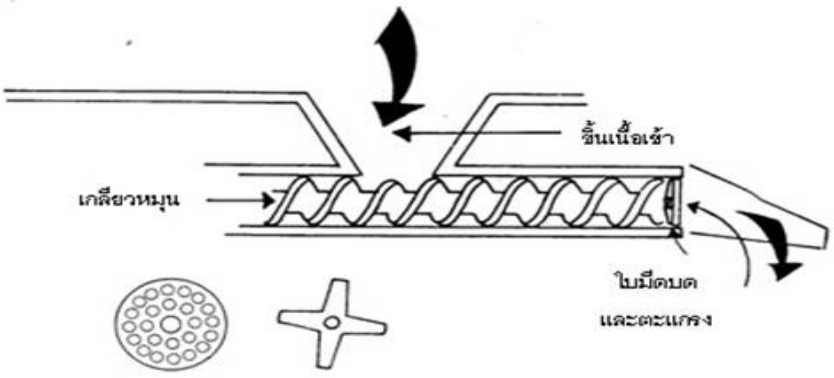
นิยมเติมน้ำในรูปน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการสับผสมหรือสับนวด น้ำเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องเติมลงในส่วนผสมของไส้กรอก น้ำจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการที่จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกนุ่มและชุ่มฉ่ำ อีกทั้งยังทำให้เกลือและส่วนผสมอื่นๆ ละลายและกระจายตัวได้ดี อิมัลชันคงตัวดีช่วยให้การบรรจุง่าย และน้ำจะช่วยทดแทนการสูญเสียน้ำระหว่างการผลิตและการให้ความร้อน

3. ขั้นตอนการผลิตไส้กรอก

3.1 การลดขนาด การปั่นผสม และการสับละเอียด

การลดขนาด เป็นการทำให้ชิ้นส่วนย่อยของเนื้อมีขนาดเล็กลงเพื่อจะสามารถ รวมตัวกันเป็นรูปแบบอื่นตามต้องการได้ การลดขนาดสามารถลดลงเพียงแค่ระดับหยาบหรือจนละเอียดเพื่อให้สร้างอิมัลชั่นก็ได้ ส่วนการปั่นผสมเป็นขั้นตอน ที่ทำให้ส่วนประกอบมีการกระจายตัวกันอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอโดยเฉพาะส่วนผสมที่มีปริมาณน้อย ขณะที่การสับละเอียดหรือ การสร้างอิมัลชั่นเป็นการทำให้ส่วนผสมที่ใช้เข้ากันได้ดีและอยู่ร่วมกันได้โดยเฉพาะของเหลวประเภทไขมันและน้ำ

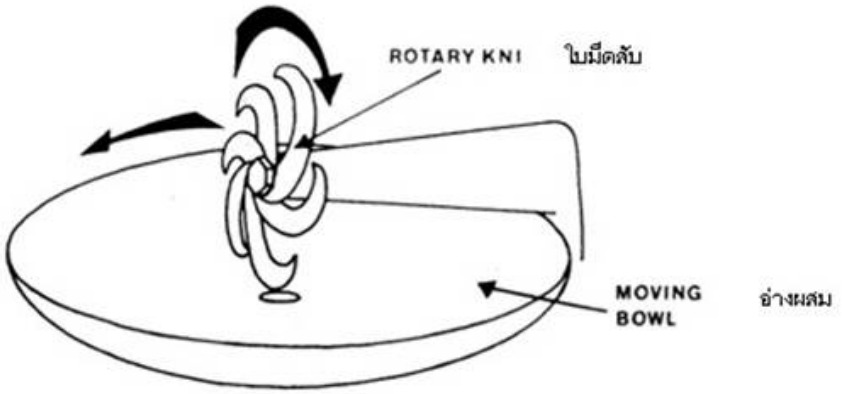
3.1.1 การลดขนาด หมายถึง การลดขนาดชิ้นส่วนย่อยของเนื้อเพื่อให้สามารถ รวมตัวกันเป็นรูปแบบอื่นตามต้องการได้ การลดขนาดชิ้นส่วนย่อยนี้สามารถทำได้หลายระดับขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องลดขนาดลงเพียงระดับหยาบแต่บางชนิดต้องลดขนาดจนละเอียดเพื่อให้สร้างอิมัลชั่นได้ เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดของชิ้นส่วนย่อย ได้แก่ เครื่องบด (grinder) (รูปที่ 1) และเครื่องสับละเอียด (chopper) (รูปที่ 2) การลดขนาดชิ้นส่วนเนื้อมีข้อดีคือ ช่วยทำให้ส่วนประกอบต่างๆกระจายไปได้อย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอและ ยังทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้นทั้งนี้เพราะถูกลดขนาดโครงสร้างกล้ามเนื้อลง



รูปที่ 1 เครื่องบดเนื้อ

ที่มา: ชัยณรงค์, 2529

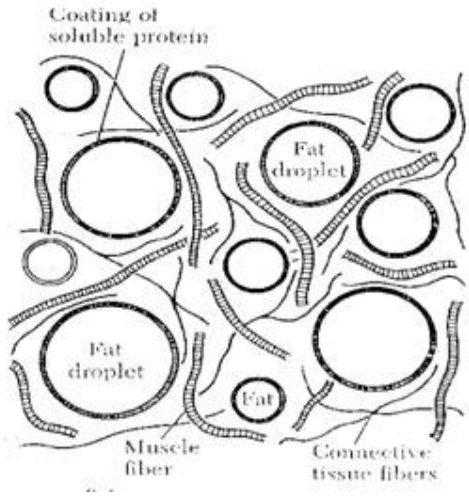
3.1.2 การปั่นผสม เป็นขั้นตอนที่ทำให้ส่วนประกอบทุกอย่างมีการกระจายตัวกันอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ ไนไตรต์ไนเตรต เครื่องเทศและสารเร่งปฏิกิริยาสี เช่น แอสคอร์เบต เป็นต้น แต่ถ้าเป็นไส้กรอกประเภทบดหยาบก็อาจปั่นผสมก่อนที่จะอัดลงไส้ ส่วนไส้กรอกบดละเอียดอิมัลชั่นอาจปั่นผสมในช่วงก่อน การสับละเอียด



รูปที่ 2 เครื่องสับละเอียด

ที่มา: ชัยณรงค์, 2529

3.1.3 การสับละเอียด หรือการสร้างอิมัลชั่น หมายถึง การสับเนื้อให้ละเอียดเพื่อให้โครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ไมโอซินถูกสกัดละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อเพื่อช่วยให้เกิดการรวมตัวของส่วนผสมที่สำคัญ คือ น้ำและไขมันได้ ตามปกติของเหลว 2 ชนิดนี้จะเข้ากันไม่ได้โดยทั่วๆไปแล้วอิมัลชั่นจะอยู่ได้ไม่นาน ถ้าขาดสารที่ช่วยในการรวมตัวที่เรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier หรือ emulsifying หรือ stabilizing agent) โปรตีนไมโอซินที่ถูกสกัดละลายออกมาในผลิตภัณฑ์เนื้อจากการสับละเอียดจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้ได้เป็นส่วนผสมที่มีลักษณะเหนียว เส้นใยกล้ามเนื้อในไส้กรอกประเภทอิมัลชั่นจะถูกสับจนละเอียดเพื่อทำให้โปรตีนไมโอซินในเส้นใยกล้ามเนื้อถูกสกัดละลายออกมารวมกับตัวถูกละลายต่างๆและน้ำเรียกทั้งหมดนี้ว่า วัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ในขณะที่ส่วนของไขมันจะถูกสับให้เป็นหยดเล็กละเอียดที่หุ้มด้วยโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้ (soluble protein) กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของวัฏภาคต่อเนื่อง โดยจะเรียกหยดไขมันเหล่านี้ว่า วัฏภาคกระจายตัว (disperse phase) ซึ่งเป็นสภาพการเป็นอิมัลชั่นในผลิตภัณฑ์เนื้อ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ลักษณะการเกิดอิมัลชั่นในผลิตภัณฑ์เนื้อ

ที่มา: วัฒนี, 2542

3.2 การบรรจุไส้

ผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทลดขนาดจนเหลวหรือเหนียวข้นเป็นเนื้อเดียวกันหลายชนิดต้องผ่านการบรรจุส่วนผสมให้มีรูปร่างตามต้องการรูปร่างและแบบของผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกันไป บางชนิดอัดลงในแบบพิมพ์ (mold) ให้เป็นรูปร่างต่างๆ แต่บางชนิดใช้ไส้บรรจุ ซึ่งมักมีการฝานเป็นแผ่นบางๆ ก่อน เช่น โบโลญา การบรรจุไส้จัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ต้องมีในการทำผลิตภัณฑ์บางชนิด

3.3 การรมควันและทำให้สุก

การรมควันเป็นกระบวนการทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกรมด้วยควันไฟในขั้นตอนของการผลิตควันไฟประกอบด้วย สารประกอบเคมีประมาณ 200 กว่าชนิด ส่วนใหญ่เป็นพวกอัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ ฟีนอล กรดอินทรีย์ และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเหล่านี้จะมีคุณสมบัติทำลายแบคทีเรียได้โดยเฉพาะฟอร์มาดีไฮด์ นอกจากนี้ ฟีนอลยังมีคุณสมบัติในการชะลอการหืนแบบออกซิเดทีฟได้ด้วย สารประกอบเหล่านี้จะช่วยสร้างรส และกลิ่นของเนื้อรมควันซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรมควัน

การรมควัน โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การรมควันในตู้รมควันโดยนำผลิตภัณฑ์ไปแขวนไว้บนราวในตู้รมควันแล้วปิดให้สนิท ควันไฟจะถูกดูดเข้าไปในตู้รมควันด้วยพัดลมหรืออาจตั้งเตาไว้ภายในตู้โดยตรงก็ได้และอาจใช้ความร้อนเพียงระดับที่ทำให้เกิดสีและกลิ่นควันเท่านั้นหรือใช้ที่ระดับสูงขึ้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุกก็ได้ หรือทำให้เกิดกลิ่นควันโดยการใช้ควันเหลวหรือควันน้ำ โดยการนำไปผสมน้ำแล้วฉีดพ่นลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ก็ได้

4. ระบบอิมัลชั่นของเนื้อ (เยาวลักษณ์, 2536)

ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกบดละเอียดอิมัลชันมีขั้นตอนพื้นฐานมาจากการสร้างอิมัลชัน โดยการทำให้ของเหลว 2 ชนิดที่ปกติ จะรวมตัวกันไม่ได้ให้อยู่ร่วมกันได้ คือ น้ำและไขมัน ซึ่งอาศัยโปรตีนที่ได้จากการสกัดออกมาจากเนื้อสัตว์เป็นตัวประสาน ที่เรียกว่าอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) หรืออาจเติมสารอื่น ๆ ลงไปในส่วนผสมเพื่อทำหน้าที่เป็น emulsifier ด้วยเช่นโปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น

เนื่องจากอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เนื้อเป็นประเภทไขมันในน้ำ (oil in water emulslion) เม็ดไขมันจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจาย (discontinuous or internal phase) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีในปริมาณน้อย ในขณะที่น้ำเป็นส่วนผสมที่มีปริมาณมากกว่า จะถูกเรียกว่าเรียกว่า ตัวทำกระจาย (continuous or external phase) ดังนั้น การที่เม็ดไขมันสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ จะต้องอาศัย emulsifier ทำหน้าที่ห่อหุ้มเม็ดไขมัน ที่กระจายอยู่ไม่ให้กลับมารวมตัวกัน ซึ่ง emulsifier ที่ทำหน้าที่นี้ได้จากโปรตีนไมโอซิน (myosin) ที่ได้จากการสกัดโปรตีนจากเนื้อสัตว์ เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำเกลือ พบว่าการสกัดโปรตีนไมโอซินจะทำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการสร้างอิมัลชันจึงต้องกระทำในขณะที่ส่วนผสมเย็น คือ ขั้นการสับผสมหรือการนวดอุณหภูมิของส่วนผสมไม่ควรเกิน 16 องศาเซลเซียส ซึ่งทำได้โดยการนำเนื้อสัตว์ และส่วนผสมอื่นๆ แช่เย็นไว้ก่อนการสับผสม การเติมน้ำแข็งก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ส่วนผสมเย็น หรือการสับผสมในห้องปรับอากาศจะช่วยรักษาความเย็นของส่วนผสมได้ดี

เทคนิคการสร้างอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เนื้อ ได้แก่

1) การเลือกใช้เนื้อสัตว์ที่จะนำมาแปรรูป ต้องใช้เนื้อที่สด หรือเนื้อที่ฆ่าใหม่ๆ เนื้อประเภทนี้จะมี pH เป็นกลาง ซึ่งเป็นสภาวะที่เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ได้ดีที่สุด

2) การเตรียมส่วนผสม จะต้องนำส่วนผสม ได้แก่ เนื้อสัตว์ ไขมัน ไปแช่เย็นไว้ก่อนเพื่อให้อุณหภูมิส่วนผสมในขณะการสับผสม หรือนวดไม่เกิน 16 องศาเซลเซียส

3) การสับผสม หรือนวด จะต้องเลือกใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพดีพอสมควร เพื่อทำให้ส่วนผสมละเอียดและเนียนได้ในเวลาสั้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับความคมของใบมีด

4) ความเร็วรอบของสับผสม หรือนวด โดยมีเป้าหมายว่า จะต้องทำให้ส่วนผสมละเอียดได้ที่ในขณะที่ส่วนผสมยังคงเย็นอยู่

5) ขั้นตอนการสร้างอิมัลชั่น จะต้องเริ่มจากการทำให้ส่วนผสมมีความเย็น แล้วจึงนำมาสกัดโปรตีนไมโอซิน โดยการสับผสมหรือนวดเพื่อให้เซลล์ของเนื้อแตก เนื่องจากโปรตีนไมโอซิน เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำเกลือที่อุณหภูมิต่ำ ในขั้นตอนนี้จึงต้องมีเกลือและน้ำแข็ง การสกัดโปรตีนไมโอซินจึงจะได้ผลดี สังเกตได้จากส่วนผสมจะละเอียดเนียน มีความเหนียว เมื่อใช้มือดึงแผ่ส่วนผสมจะยังคงติดยึดกันดี ไม่ขาดจากกันง่าย และส่วนผสมยังคงเย็นอยู่เมื่อสัมผัส จากนั้นจึงเติมไขมันที่ผ่านการบดแล้วลงไป ใบมีดของเครื่องสับ

ผสมจะทำให้เม็ดไขมันกระจายตัว โปรตีนไมโอซินจะทำหน้าที่เป็น emulsifier ไปหุ้มเม็ดไขมันไว้ไม่ให้กลับมารวมตัวกันอีก

ขั้นตอนการสร้างอิมัลชันจะมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันที่จะเกิดขึ้น ซึ่งหากสกัดไมโอซินจากเนื้อสัตว์ไม่เสร็จสมบูรณ์ ก็จะได้อิมัลชั่นที่ไม่คงตัว เช่น การสับผสม หรือนวดเนื้ออุณหภูมิสูงเกินไป หรือไม่มีเกลือและน้ำแข็ง ในขั้นตอนการสับผสม หรือนวด หรือใส่ไขมันเร็วเกินไปก่อนที่เนื้อจะละเอียดเนียน ทั้งหมดนี้มีผลทำให้อิมัลชันมีความคงตัวน้อย ในขณะที่การสับผสมหรือนวดนานเกินไป (over chopping) จนทำให้โปรตีนไมโอซินไม่สามารถห่อหุ้มเม็ดไขมันไว้ได้หมด อิมัลชันก็จะไม่มีความคงตัวเช่นกัน เนื่องจากมีเม็ดไขมันบางส่วนที่ไม่ถูกโปรตีนห่อหุ้ม และกลับมารวมตัวกันได้เมื่อทำให้สุก สังเกตได้จากจะมีไขมันไหลออกมา อิมัลชันไม่เกาะกันเนื้อสัมผัสไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากปริมาณไมโอซินที่จะทำหน้าที่เป็น emulsifier มีไม่เพียงพออันเกิดจากสูตรที่ใช้มีปริมาณเนื้อแดงน้อยเกินไป หรือคุณภาพของเนื้อมีคอลลาเจนมากเกินไป จะมีผลให้อิมัลชันไม่คงตัวเช่นเดียวกัน และการสังเกตลักษณะการสร้างอิมัลชันที่มี emulsifier ไม่เพียงพออาจสังเกตได้จากมีไขมันแยกตัวออกจากส่วนผสม ติดตามผิวของผลิตภัณฑ์หรือมีไขมันลอยอยู่ในน้ำที่ใช้ต้ม ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์เป็นโพรง มีน้ำเหนียวข้น เป็นต้น

5. การลดไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

USDA ซึ่งรับผิดชอบและควบคุมฉลากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สัตว์ปีกและไข่ไก่ ได้กำหนดความหมายของคำต่างๆ ที่ระบุบนฉลากอาหารของผลิตภัณฑ์ที่มีการลดปริมาณไขมัน โดย “ extra lean ” หมายถึง ผลิตภัณฑ์นั้นมีไขมันเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก “ lean ” และ “ low-fat ” จะมีไขมันต่ำกว่าร้อยละ 10 ส่วน “ light , leaner ” ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันลดลงร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ปกติ (Taki, 1991; Giese, 1992; Romans และคณะ, 1994)

Pearson และ Gillett (1996) กล่าวว่าไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารเกี่ยวข้องกับความหนืด ลักษณะเนื้อ (body) การหล่อลื่น ความชุ่มน้ำ ความเรียบเนียน ลักษณะการกัด (bite) แลไขมันเป็นตัวพา (carrier) สำหรับวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และการเกิดร่วมกันของลักษณะกลิ่นรส กลิ่นรสเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ เนื่องจากพบว่าผู้บริโภคไม่นิยมที่จะซื้ออาหารไขมันต่ำมารับประทานหากไม่พอใจในรสชาติ (taste) เมื่ออาหารถูกเปลี่ยนแปลงสูตรผสมใหม่โดยใช้สารทดแทนไขมัน ต้องคำนึงถึง ค่าการยึดเกาะตัวกันของตัวอย่าง (cohesiveness) ความแน่น (firmness) ความแห้ง (dryness) ความชุ่มน้ำ (juiciness) กลิ่นรส (flavour) เนื้อสัมผัสลักษณะปรากฏ (appearance) ราคา การนำไปใช้ความสะดวกในการใช้ การติดฉลากความปลอดภัยของอาหาร ค่าวอเตอร์แอกติวิตี อายุการเก็บ ปริมาณของน้ำที่มีมากในสูตรผสมของผลิตภัณฑ์จะทำให้อายุการเก็บลดลง และเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

การผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำ โดยปกติอาศัย 2 วิธีหลัก คือ ใช้วัตถุดิบที่เป็น เนื้อแดง (ซึ่งจะมีราคาสูงขึ้น) การลดปริมาณไขมันและแคลอรีโดยการเติมน้ำและส่วนผสมอื่นๆที่ให้แคลอรีต่ำหรือไม่มีแคลอรีเลย เป้าหมายของการลดระดับไขมัน คือ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของไขมัน และการผลิต

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้อยู่ในระดับที่เป็นที่ยอมรับทั้งทางด้านหน้าที่ ความปลอดภัย คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส และความคงตัว (Colmenero, 1996)

5.1 ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำ

ส่วนประกอบหลักที่ใช้ในสูตรผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำ สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ดังนี้ (McAuley และ Mauson, 1994)

5.1.1 สารที่ทำให้ข้นหนืด (thickening agent) เติมลงไปช่วยในการยึดเกาะหรืออุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป นิยมใช้สตาร์ชเพื่อเพิ่มความข้นหนืด โดยสตาร์ชจะเริ่มดูดซับน้ำที่อุณหภูมิ 65 – 75 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่โปรตีนในเนื้อเริ่มเปลี่ยนเป็นเจล

5.1.2 สารช่วยในการยึดเกาะ (binder) สมบัติช่วยในการจับและยึดเกาะน้ำ เพื่อให้เกิดอิมัลชันกับไขมัน ลดการสูญเสียความชื้นขณะทำให้สุก ช่วยไม่ให้ผลิตภัณฑ์เสียน้ำหนัก และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อ สี รสชาติดีขึ้น สารประกอบเหล่านี้หมายถึงสารประกอบพวกโปรตีน เช่น กลูเตนในข้าวสาลี โปรตีนจากถั่วเหลือง หางนมปราศจากไขมัน ผลิตภัณฑ์พวกเคซิเนต (caseinate) เป็นต้น

5.1.3 สารที่เพิ่มปริมาณ (filler) หน้าที่หลักของสารเพิ่มปริมาณคือ ช่วยลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นสารเพิ่มปริมาณจึงมีราคาถูก และมักทำจากแป้งต่างๆ นอกจากนั้น สารเพิ่มปริมาณใช้เพื่อทำให้อิมัลชันเกิดความคงตัว ช่วยทำให้กลิ่นรสดีขึ้น ช่วยปรับปรุงคุณภาพระหว่างการหั่น (slice) และมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกด้วยเช่นกัน เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี แป้งข้าวโพดแป้งดัดแปลงชนิดต่างๆ มอลโทเดกซ์ทริน หรือรำข้าว เป็นต้น

5.1.4 สารที่ทำหน้าที่ทดแทนไขมัน (fat replacer) มีเป้าหมายเพื่อที่จะให้มีความหนืด ความลื่นมัน การดูดซับ และคุณภาพต่างๆ เช่นเดียวกับไขมัน พบว่าไม่สามารถใช้สารทดแทนไขมันเพียงชนิดเดียวเพื่อลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูปได้ ส่วนใหญ่มักใช้ร่วมกับน้ำ เนื่องจากไขมันมีหน้าที่หลากหลาย และมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ยากจะเลียนแบบได้ ในระบบการแทนที่ไขมันด้วยสารประกอบอื่นๆ พบว่าไขมันส่วนใหญ่จะถูกแทนที่ด้วยน้ำ

Ahmed และคณะ (1990) พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับไส้กรอกหมูที่เติมน้ำแทนที่ไขมันที่ลดลงเหลือร้อยละ 15 แต่มีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Claus และคณะ (1990) ซึ่งพบว่าการเติมน้ำแทนที่ไขมันไส้กรอกโบโลญ่า (ไขมันร้อยละ 10) ช่วยปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับไส้กรอกลดไขมันที่ไม่มีการเติมน้ำเพิ่ม การแทนที่ไขมันด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความอ่อนนุ่มมากเกินไป การเติมน้ำส่งผลให้มีปริมาณน้ำที่ซึมออกระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสนิ่มเละมากขึ้น และอาจมีการสูญเสียของน้ำใน

ระหว่างการต้มสุก หากมีการใช้เนื้อแดง (lean meat) เพื่อทดแทนไขมันจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวมากขึ้น แห้งขึ้น และมีราคาแพงขึ้นด้วย

6. สารทดแทนไขมัน (นิรนาม, 2550)

เมื่อมีการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำ (reduced – fat food) ขึ้น จึงได้มีการคิดค้น วิจัย และนำสารทดแทนไขมัน (fat replacer) มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย การลดปริมาณของไขมันในผลิตภัณฑ์ลงทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จึงต้องมีการใช้ส่วนผสมอาหารที่ให้คุณสมบัติทางหน้าที่คล้ายไขมัน (functional ingredients) ซึ่งการเลือกชนิดของส่วนผสมเพื่อใช้ในการแทนที่ไขมัน จะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับของปริมาณไขมันที่ต้องการให้ลดลง ซึ่งจะต้องทำให้เกิดสมดุล เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

6.1 การแบ่งชนิดของสารทดแทนไขมัน (classification of fat replacers)

6.1.1 สารทดแทนไขมันแบ่งตามหน้าที่ ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) fat substitute เป็นคำที่ใช้เรียกส่วนผสมของอาหารที่นำมาใช้ในการทดแทนไขมัน ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้มีโครงสร้างทางเคมี และ ลักษณะทางกายภาพคล้ายไขมันแต่ ไม่สามารถย่อยสลายโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ได้ (digestive enzyme) และให้พลังงานน้อยที่สุดหรือไม่ให้พลังงานต่อร่างกายเลย

2) fat mimetics เป็นโปรตีน หรือ คาร์โบไฮเดรต หรือ ส่วนผสมของสารทั้งสองชนิด ซึ่งสามารถเลียนแบบคุณสมบัติทางหน้าที่ของไขมัน ได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก (mouth feel) และ คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไขมัน

6.1.2 สารทดแทนไขมัน แบ่งตามแหล่งที่มาออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) สารทดแทนไขมันกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate based fat replacer) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) กัม (gum) สตาร์ช (starch) ไฟเบอร์ (fiber) และ polydextrose คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ทดแทนไขมันส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็น thickenners และ stabilizers และสามารถใช้ทดแทนไขมันได้ใน formulated food หลายชนิด รวมถึง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการให้ความร้อนแต่ไม่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่านการทอด (frying foods) สารทดแทนไขมันกลุ่มคาร์โบไฮเดรต มีดังต่อไปนี้

1.1) เซลลูโลส (cellulose) เซลลูโลสที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมันจะถูกลดขนาดให้อยู่ในรูป microparticulate cellulose ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะกระจายตัวทำให้เกิดโครงข่ายของอนุภาคซึ่งให้ความรู้สึก เมื่ออยู่ในปากและคุณสมบัติในการไหลคล้ายไขมัน เซลลูโลสเป็นสารทดแทนไขมันที่ไม่ให้พลังงานกับร่างกายสามารถใช้ทดแทนไขมัน ได้บางส่วนหรือทั้งหมดในผลิตภัณฑ์นม ซอส ผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือก

แข็ง และ น้ำสลัด ตัวอย่างเซลลูโลสทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Avicel, cellulose gel, Methocel, Solka – Floc

1.2) เดกซ์ทริน (dextrin) เดกซ์ทรินผลิตได้จากมันสำปะหลัง (tapioca) เป็นสารซึ่งใช้ทดแทนไขมันทั้งหมด หรือบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดซึ่งให้พลังงาน 4 kcal/g สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ น้ำสลัด พุดดิ้ง ผลิตภัณฑ์นม และผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง ตัวอย่าง เดกซ์ทรินทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Amylum , N- oil

1.3) ไฟเบอร์ (fiber) ไฟเบอร์สามารถใช้ในรูปของสารทดแทนไขมันได้โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มี ความสามารถในการคงตัว และมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (moisture holding capacity)ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดไขมันต่ำ สามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ meat spreads และ extruded products ตัวอย่างไฟเบอร์ทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Opta, Oat fiber, Snowite, Ultracel, Z – Trim

1.4) กัม (gum) กัมเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากพืชหรือสัตว์หรือได้จากการสังเคราะห์ กัมที่สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ กัวร์กัม (guar gum) กัมอาระบิก (gum arabic) โลคัสบีนกัม (locust bean gum) แซนแทนกัม (xanthan gum) คาราจีแนน (carageenan) และเพกติน (pectin) ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน ทำหน้าที่เป็น thickening agent และบางครั้งอาจทำให้เกิด gelling effect ซึ่งเป็นผลทำให้ เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายครีม (creamy texture) สารประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ น้ำสลัดไขมันต่ำหรือ น้ำสลัดปราศจากไขมันและใช้ในการลดปริมาณไขมันใน formulated food รวมถึงผลิตภัณฑ์ขนมหวาน และ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ตัวอย่างกัมทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ KELCOGEL, KELTROL, Splendid TM

1.5) Oatrim (hydrolyzed oat flour) เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในรูปไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ ผลิตได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโอ๊ตโดยใช้เอนไซม์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย beta – glucan soluble fiber ซึ่งสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมัน โดยใช้ในรูป bodying และ texturizing ingredients ให้พลังงาน 1- 4 cal /g สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม ชีส น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ตัวอย่าง oatrim ทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Beta - Trim , Trim Choice

1.6) สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร (starch & modifier starch) ใช้เป็นสารทดแทนไขมันโดยใช้ในรูป bodying agent และ texture modifier ให้พลังงาน 1-4 cal /g ผลิตได้จากมันฝรั่ง ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต ข้าว ข้าวสาลี หรือ มันสำปะหลัง สามารถใช้ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ โปรตีนและกัม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซอส ผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง

และ ผลิตภัณฑ์นม ตัวอย่าง สตาร์ช และสตาร์ชดัดแปรทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Amalean I&II, Fairnex TM VA15 & VA20, Instant Stellar TM, N - Lite, OptaGrade, Perfectamyl TM AC, AX - 2, PURE - GEL, STA - SLIM TM

2) สารทดแทนไขมันกลุ่มโปรตีน (protein - based fat replacer) สารทดแทนไขมันประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิดโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง (frozen product) และผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็น (refrigerated products) ถึงแม้ว่าสารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีนจะไม่เหมาะกับการใช้กับอาหารประเภททอดแต่ก็สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ได้แก่ cream soups ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ และ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ สารทดแทนไขมันกลุ่มโปรตีนมีดังต่อไปนี้

2.1) Microparticulated protein เป็นสารที่ได้จากเวย์โปรตีน (whey protein) โปรตีนนม (milk protein) และโปรตีนไข่ (egg protein) ซึ่งให้พลังงาน 1-2 cal /g การย่อยสลายสารชนิดนี้ในร่างกายจะเป็นการย่อยในรูปของโปรตีน สารทดแทนไขมันชนิดนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม เนย ครีมเปรี้ยว ชีส โยเกิร์ต น้ำสลัด มาการีน และ มายองเนส ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซุป และซอส ตัวอย่างสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้ คือ simplesse

2.2) Modified whey protein concentrate สารทดแทนไขมันชนิดนี้ ได้จากการนำเวย์โปรตีนเข้มข้น (whey proteinconcentrate) มาผ่านกระบวนการให้ความร้อนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายไขมัน (fat – like properties) การประยุกต์ใช้สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์นมได้แก่ ชีส โยเกิร์ต ครีมเปรี้ยว ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และ มายองเนส ตัวอย่างสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้ คือ Dairy – Lo

2.3) Others ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่สารทดแทนไขมันซึ่งผลิตได้จากไข่ขาว (egg white) โปรตีนนม และ โปรตีนข้าวโพด (corn protein) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมี คุณสมบัติคล้าย microparticulated protein แต่ผลิตโดยใช้กระบวนการผลิต ที่แตกต่างกัน สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็งและผลิตภัณฑ์ขนมอบ ตัวอย่างสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้ คือ K – Blazer, ULTRA–BAKE, ULTRA–FREEZE, Lita

3) สารทดแทนไขมันกลุ่มไขมัน (Fat – based fat replacer) สารทดแทนไขมันกลุ่มไขมัน ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักวิทยาศาสตร์ โดยได้ศึกษาและทดลองเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันเพื่อผลิตสารทดแทนไขมันซึ่งไม่ให้พลังงานกับร่างกาย สารทดแทนไขมันประเภทนี้เมื่อผ่านเข้าสู่ร่างกายจะไม่สามารถย่อยสลายโดย digestive enzyme ตัวอย่างของสารทดแทนไขมัน ประเภทนี้ได้แก่ Olestra ซึ่งสารชนิดนี้มีความเสถียรต่อความร้อนสามารถใช้กับ ผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอดและสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ (cocoa butter substitute) ได้ สารทดแทนไขมันกลุ่มไขมัน มีดังต่อไปนี้

3.1) Caprenin สารทดแทนไขมันชนิดนี้ให้พลังงาน 5 cal/g มีคุณสมบัติคล้ายเนยโกโก้ (cocoa butter) ผลิตจาก caprylic capric และ behenic acids สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน

3.2) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ตัวอย่างสารทดแทนไขมันประเภทนี้ได้แก่ น้ำมันพืช (vegetable oil) โมโนและไดกลีเซอไรด์อิมัลซิไฟเออร์ (mono – and di - glyceride emulsifiers) ซึ่งสามารถใช้แทนที่เนยขาวบางส่วนหรือทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ สารประเภทนี้จะให้ พลังงาน 9 kcal /g เช่นเดียวกับไขมัน ระบบอิมัลชั่นที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองแทนไขมันจากสัตว์ สามารถลดปริมาณไขมันอิ่มตัว แคลอรี่ และคอเรสเตอรอลได้ ตัวอย่างสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ Dur – Lo, EM TM – 25

3.3) Salatrim ประกอบด้วยโมเลกุลของไทรกลีเซอไรด์ (triglyceride molecule) ซึ่งมีสายโมเลกุลทั้งสั้นและยาวประกอบกัน สารชนิดนี้จะให้พลังงาน 5 cal /g สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์ขนมหวานและผลิตภัณฑ์นม ตัวอย่างสารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้คือ Benefat TM

3.4) Esterified Propoxylated Glycerol (EPG) เป็นสารที่ใช้ทดแทนไขมันและน้ำมันบางส่วนหรือทั้งหมดสามารถใช้ได้กับ formulated products ผลิตภัณฑ์ขนมอบและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอด

3.5) Olestra (Olean) เป็นสารทดแทนไขมันซึ่งผลิตโดยบริษัท Procter & Gamber ภายใต้เครื่องหมายการค้า “Olean” สถาบันอาหารและยา (Food and Drug Adminitration; FDA) ได้อนุญาตให้มีการใช้สารชนิดนี้ในปี ค. ศ. 1996 เพื่อทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่าน การทอด ซึ่ง Olestra สามารถทน อุณหภูมิสูงระหว่างขั้นตอนการทอดได้และให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะ rich taste และ เนื้อสัมผัสคล้ายครีม (creamy texture) เนื่องจาก Olestra ไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ในร่างกาย ดังนั้น Olestra จึงไม่ให้พลังงานและไขมันกับร่างกาย

7. การใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชั่น

Choi และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของระบบอิมัลชั่นเนื้อไขมันต่ำ ที่ใช้ใยอาหารจากรำข้าวร่วมกับน้ำมันพืชเป็นสารทดแทนไขมัน โดยน้ำมันพืชที่ใช้ ได้แก่ น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดองุ่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการ pre-emulsified ซึ่งพบว่า การใช้น้ำมันพืชร่วมกับใยอาหารจากรำข้าวเป็นสารทดแทนไขมัน จะทำให้มีการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกมีค่าน้อยกว่าสูตรควบคุม และสูตรที่มีการใส่น้ำมันมะกอก (T1) จะมีค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกน้อยที่สุด สำหรับผลของความแตกต่างของความคงตัวของอิมัลชัน พบว่าตัวอย่างสูตรควบคุม มีปริมาณของเหลวที่ได้มากที่สุด จึงทำให้มีค่าความคงตัวของอิมัลชันน้อยที่สุดจากตัวอย่างที่ทำการทดลองทั้งหมดพบว่า เนื้อบดละเอียดที่มีการใช้น้ำมันปาล์ม (T4) และน้ำมันถั่วเหลือง (T5) มีปริมาณของเหลวที่ได้ต่ำที่สุด ทำให้มีค่าความชื้นมากขึ้น โดยจะ

ดูดน้ำเข้าไปในเส้นใย ส่วนปริมาณของไขมันที่สูญเสียไปในสูตรควบคุมมากกว่าสูตรอื่นที่มีการใช้น้ำมันพืชและใยอาหารจากรำข้าว (ตารางที่ 1) ดังนั้น สามารถใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการ pre-emulsified ร่วมกับใยอาหารจากรำข้าว เป็นสารทดแทนไขมันในส่วนผสมของเนื้อบดละเอียดได้

ตารางที่ 1 ร้อยละการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก และความคงตัวของอิมัลชั่น ของเนื้อบดละเอียดที่ใช้น้ำมันพืชร่วมกับใยอาหารจากรำข้าว เป็นสารทดแทนไขมัน

สูตร	ร้อยละการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก (กรัม/100 กรัม)	ความคงตัวของอิมัลชั่น	
		ปริมาณของเหลวทั้งหมด (มิลลิลิตร/100 กรัม)	ไขมันที่สูญเสีย (มิลลิลิตร/100 กรัม)
ควบคุม	6.19 ^{a} ± 0.28	10.97 ^{a} ± 0.92	2.93 ^{a} ± 0.05
T1	5.66 ^{c} ± 0.50	8.88 ^{b} ± 1.03	1.85 ^{bc} ± 0.27
T2	5.83 ^{b} ± 0.25	8.49 ^{b} ± 1.36	2.33 ^{b} ± 0.61
T3	5.75 ^{bc} ± 0.32	7.95 ^{b} ± 1.04	1.81 ^{bc} ± 0.25
T4	5.82 ^{b} ± 0.45	5.51 ^{c} ± 1.26	1.33 ^{c} ± 0.47
T5	5.81 ^{b} ± 0.42	5.88 ^{c} ± 0.54	1.58 ^{c} ± 0.47

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ชุดควบคุม คือ ใช้มันหมูแข็งทั้งหมด T1 คือน้ำมันมะกอก T2 คือน้ำมันเมล็ดองุ่น T3 คือน้ำมันข้าวโพด T4 คือน้ำมันปาล์ม และ T5 คือน้ำมันถั่วเหลือง

Cengiz และ Gokoglu (2005) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานและคอเลสเตอรอลในไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ลดไขมันและการใช้สารทดแทนไขมัน โดยผลิตไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ ที่แตกต่างกัน 9 สูตร ที่มีระดับไขมันต่างกันคือ ร้อยละ 5 10 และ 20 และมีการเติมใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม (CF) และ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (SPC) ในอัตราส่วนร้อยละ 2 เปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีการเติมใยอาหารลงไปเลย (control) พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 2) และ มีระดับพลังงานและปริมาณคอเลสเตอรอล (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ของไส้กรอกสูตรต่างๆ

	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)			
สูตร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต
5- control	67.04^{a} ± 0.02	17.1^{ad} ± 0.45	5.74^{a} ± 0.12	3.40^{a} ± 0.01
5-CF	67.28^{a} ± 0.32	18.1^{a} ± 1.02	5.58^{a} ± 0.07	3.44^{ad} ± 0.02
5-SPC	66.70^{a} ± 0.01	16.3^{ad} ± 0.85	5.69^{a} ± 0.26	3.44^{ad} ± 0.03
10- control	65.70^{b} ± 0.11	16.3^{be} ± 0.66	9.89^{b} ± 0.25	3.32^{b} ± 0.08
10-CF	65.32^{b} ± 0.62	16.2^{b} ± 0.28	10.16^{b} ± 0.28	2.83^{be} ± 0.06
10-SPC	65.40^{b} ± 0.44	15.5^{be} ± 0.21	10.13^{b} ± 0.16	2.88^{be} ± 0.02
20- control	60.67^{c} ± 0.14	14.0^{cf} ± 0.21	19.59^{c} ± 0.01	3.29^{c} ± 0.06
20-CF	59.59^{c} ± 0.82	15.2^{c} ± 0.24	19.37^{c} ± 0.11	3.23^{cf} ± 0.07
20-SPC	60.35^{c} ± 0.49	14.0^{cf} ± 0.02	19.55^{c} ± 0.13	3.13^{cf} ± 0.18

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 3 ระดับพลังงานและปริมาณคอเลสเตอรอลของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์สูตรต่างๆ

	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
สูตร	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	ปริมาณคอเลสเตอรอล (กรัม/100กรัม)
5- control	151^{aA} ± 0.85	0.201^{a} ± 0.00
5-CF	155^{a} ± 0.06	0.184^{b} ± 0.00
5-SPC	155^{a} ± 2.34	0.179^{c} ± 0.00
10- control	178^{bB} ± 0.96	0.252^{d} ± 0.00
10-CF	183^{b} ± 4.13	0.216^{e} ± 0.00
10-SPC	183^{b} ± 2.51	0.206^{f} ± 0.00
20- control	247^{cC} ± 0.36	0.371^{g} ± 0.00
20-CF	250^{c} ± 3.06	0.324^{h} ± 0.00
20-SPC	248^{c} ± 0.59	0.300^{j} ± 0.00

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

A,B,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ระดับพลังงานของไส้กรอกมีค่าตั้งแต่ 151-250 กิโลแคลอรี ต่อ 100 กรัม ส่งผลกระทบต่อปริมาณของไขมันที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$) การลดระดับของไขมันลงจากเดิมร้อยละ 50 และร้อยละ 75 จะทำให้ระดับพลังงานลดลงร้อยละ 27.7 และร้อยละ 38.6 ตามลำดับ ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุด พบในไส้กรอกสูตรที่มีไขมันร้อยละ 5

ระดับพลังงานของไส้กรอกที่มีการเติมใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม และ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จากไส้กรอกสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมสารทดแทนไขมัน แต่ผลการทดลองที่ได้ ไม่มีความแตกต่างระหว่างสารทดแทนไขมันทั้ง 2 ชนิด ที่เติมลงไป ในด้านปริมาณคอเลสเตอรอล ก็จะลดลงไปพร้อมกับปริมาณไขมันที่ลดลง โดยปริมาณคอเลสเตอรอลสูงสุด พบในไส้กรอกสูตรควบคุมที่มีไขมัน ร้อยละ 20 เมื่อมีการลดปริมาณไขมันลงเหลือร้อยละ 10 และร้อยละ 5 ก็จะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงร้อยละ 32.0 และ ร้อยละ 45.8 ตามลำดับ และมีปริมาณคอเลสเตอรอลตั้งแต่ 0.18-0.37 กรัม/100 กรัม

การเติมใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม และ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น สามารถลดระดับพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$) แต่ปริมาณคอเลสเตอรอลที่ต่ำที่สุด พบในไส้กรอกที่ผลิตด้วยการเติมใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ระหว่างไส้กรอกที่เติมใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม กับ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น ปริมาณคอเลสเตอรอลในไส้กรอกที่เติมใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม อยู่ระหว่าง 0.18 และ 0.3 กรัม/100 ดังนั้น ใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม หรือ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น สามารถใช้เป็น สารทดแทนไขมันในไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ได้ และมีปริมาณมันหมูแข็งลดลงร้อยละ 75 โดยทำให้ค่าพลังงานลดลงร้อยละ 27.7-38.6 และ ปริมาณคลอเลสเตอรอลร้อยละ 32-45.8

Cierach, และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของคาราจีแนนต่อคุณสมบัติของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ไขมันต่ำ โดยเตรียมไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ ที่ประกอบไปด้วยไขมันร้อยละ 20 หรือ ร้อยละ 10 ที่มีการเติมและไม่เติมคาราจีแนนชนิด G-WG ปริมาณไขมันที่ลดลงจะถูกแทนที่ด้วยน้ำและคาราจีแนน ในการผลิตไส้กรอกสูตร Ⅰc และ Ⅱc จะใช้คาราจีแนนร้อยละ 0.41 และ ร้อยละ 0.5 ตามลำดับ ส่วนสูตร Ⅰd และ Ⅱd จะใช้คาราจีแนนร้อยละ 0.57 และ ร้อยละ 0.7 ตามลำดับ ซึ่งระดับของคาราจีแนนที่แตกต่างกันในแต่ละสูตร จะมีการเติมน้ำลงไปเพื่อทำให้มีน้ำหนักเท่ากัน พบว่า คะแนนทางประสาทสัมผัส ที่วิเคราะห์จากผลของการเติมคาราจีแนนลงในส่วนผสมของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งจากตารางพบว่าไส้กรอกที่มีการเติมคาราจีแนน จะมีคะแนนสูงกว่าไส้กรอกที่ไม่มีการเติมคาราจีแนน

ตารางที่ 4 คะแนนทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกสูตรต่างๆ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนน					
	C20	Ⅰc	Ⅰd	C10	Ⅱc	Ⅱd
ความแข็ง	2.75 [b]	3.72 [a]	4.11 [a]	2.18 [b]	4.22 [a]	4.44 [a]
ความชุ่มน้ำ	3.65 [a]	3.93 [a]	4.09 [a]	2.54 [b]	4.12 [a]	4.25 [a]
สี	3.44 [b]	3.72 [ab]	4.27 [a]	3.75 [b]	4.33 [a]	4.47 [a]
รสชาติ	3.18 [b]	4.00 [a]	4.16 [a]	1.91 [c]	4.30 [a]	4.36 [a]

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

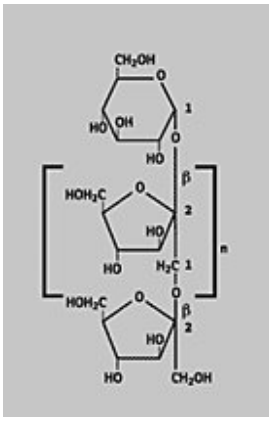
เนื่องจากคาราจีแนนช่วยปรับปรุงเรื่องลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกไขมันต่ำให้ดีขึ้น ส่วนค่าความชุ่มน้ำมีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นไส้กรอกสูตรที่มีไขมันร้อยละ 10 และไม่เติมคาราจีแนน ซึ่งจะให้ค่าดังกล่าวต่ำกว่าสูตรอื่นๆ ส่วนคะแนนเรื่องสี จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับของการเติมคาราจีแนน ซึ่งอาจเกิดจากการเจือจางของสีเนื้อสัตว์ตามปริมาณน้ำที่เติม ส่วนคะแนนความชอบโดยรวม มีผลจากความชอบส่วนตัวของผู้ทดสอบ รวมทั้งคะแนนด้านรสชาติ จะเพิ่มขึ้นตามระดับของคาราจีแนน ดังนั้นการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบแสดงให้เห็นว่า การใช้คาราจีแนนชนิด G-WG kappaⅠเป็นสารทดแทนไขมันในไส้กรอกไขมันต่ำ ที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 10 ช่วยปรับปรุงคุณภาพของไส้กรอกได้

8 อินนูลิน (Inulin) (ปิติ, 2550)

อินนูลิน เป็นสาร Polysaccharides ที่พืชเก็บไว้เป็นอาหาร พบในพืชมากกว่า 36,000 ชนิด เช่น Chicory root เห็ด หัวหอม หัวกระเทียม กล้วย แต่ Inulin นี้ย่อยไม่ได้โดยน้ำย่อยในลำไส้ จึงจัดว่าเป็นใยอาหารชนิดหนึ่ง จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยอินนูลินได้ สารประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันและสารให้ความหวานซึ่งจะให้พลังงาน 1-1.2 kcal /g จัดอยู่ในกลุ่มของไฟเบอร์ สกัดจาก chicory root สารชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในการทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น โยเกิร์ต ชีส ผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ขนมอบ วิปครีม (whipped cream) ผลิตภัณฑ์นม fiber supplement และ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ตัวอย่างอินนูลินทางการค้าที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ Raftiline, Fruitafit, Fibruline

อินนูลิน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลฟรุกโทสที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงที่ตำแหน่ง β - 2, 1 linked polyfructan และมีโมเลกุลของกลูโคส 1 โมเลกุลอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง ตามขนาดของโครงสร้าง Inulin

มีค่า DP (Degree of Polymerization) ประมาณ 2-60 และตามโครงสร้างจะมี Fructo-Oligosaccharides ประกอบอยู่เป็นโครงสร้างกลุ่มย่อย



รูปที่ 4 โครงสร้างของ Inulin

9 การทดแทนไขมันด้วยอินนูลิน

Garcia และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของอินนูลินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของ Mortadella ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อปรุงสุกจากสเปน โดยมีการเติมลงไปในรูปแบบ 7.5% ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายในไส้กรอกที่มีการลดไขมัน พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกที่มีการเติมอินนูลิน 6% ในด้านความแข็งมีค่าน้อยกว่าและมีความชุ่มน้ำที่ต่ำกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอินนูลินสามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มน้ำและส่งผลให้มีความแข็งลดลงด้วย ส่วนการเกาะติดกันของตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างของไส้กรอกที่มีการเติมอินนูลินเทียบกับสูตรควบคุม

	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
สูตร	ค่าความแข็ง (N)	ความชุ่มน้ำ (cm)	การยึดเกาะกันของตัวอย่าง ^{ns}
ควบคุม	6.32 ^{a} ± 1.49	5.38 ^{b} ± 1.77	7.20 ± 1.48
7.5% G	5.19 ^{b} ± 0.85	7.09 ^{a} ± 1.88	7.08 ± 1.95

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

แต่อย่างไรก็ตาม คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส(ตารางที่ 6) ของไส้กรอกทั้งสองสูตรทุกด้านมีค่าไม่ความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ยกเว้นด้านสีจะพบว่า ในสูตรที่มีการเติมอินนูลินลงไปในรูปแบบ

เจล 7.5% จะมีคะแนนการยอมรับน้อยกว่าสูตรควบคุมที่มีไขมัน 18% ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากอินนูลินมีสีขาว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีซีดจางลง ดังนั้นอินนูลินสามารถใช้ในรูปเจลได้ถึง 7.5% ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปรุงสุกลดไขมัน mortadella โดยที่ความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลง เพราะอินนูลินทำให้รู้สึกนุ่มซึ่งกระตุ้นการรับรู้ไขมันของปากและมีความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยกับผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานสูง

ตารางที่ 6 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกที่มีการเติมอินนูลินเทียบกับสูตรควบคุม

	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
สูตร	กลิ่น^{ns}	สี	เนื้อสัมผัส^{ns}	รสชาติ^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
ควบคุม	6.11 ± 1.43	7.54 ^{a} ± 1.69	6.60 ± 1.84	6.38 ± 1.46	6.45 ± 1.44
7.5% G	6.22 ± 1.62	7.41 ^{b} ± 2.08	5.95 ± 1.66	7.21 ± 1.89	7.08 ± 1.69

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

Careres และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกปรุงสุก โดยมีการเติม FOS 12% ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายใน ไส้กรอกที่มีการลดไขมันลง 40% จากสูตรมาตรฐาน พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง ความยืดหยุ่น และการยึดเกาะกันของตัวอย่างของตัวอย่างที่มีการเติม FOS 12% มีค่าไม่แตกต่างกันจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างของไส้กรอกที่มีการเติม FOS เทียบกับสูตรควบคุม

	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความแข็ง^{ns}	ความยืดหยุ่น^{ns}	การยึดเกาะกันของตัวอย่าง^{ns}
สูตร	(N)	(cm)	
ควบคุม	43.65±3.41	0.46±0.03	0.57 ±0.01
12%	41.65±4.10	0.43±0.02	0.57±0.01

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สำหรับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 8) ของไส้กรอกทั้งสองสูตรทุกด้านมีค่าไม่ความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นความชุ่มน้ำจะพบว่า ในสูตรที่มีการเติม FOS ลงไป จะมีคะแนนการ

ยอมรับมากกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจาก FOS มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงส่งผลให้ไส้กรอกมีความชุ่มน้ำสูง ดังนั้น FOS เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปรุงสุกลดไขมัน mortadella ได้

ตารางที่ 8 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างของไส้กรอกที่มีการเติม FOS เทียบกับสูตรควบคุม

	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
สูตร	กลิ่น^{ns}	สี^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชุ่มน้ำ	ความชอบโดยรวม^{ns}
ควบคุม	0.436±0.28	0.521±0.35	0.464±0.35	0.243^{b}±0.32	0.241±0.35
12%	0.457±0.40	0.538±0.52	0.500±0.40	0.656^{a}±0.33	0.600±0.36

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

นอกจากนี้ Salazar และคณะ (2009) ได้ศึกษาฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์สายสั้น (FOS) ในไส้กรอกชนิดหมักแห้ง โดยมีการเติม FOS 6% ลงในไส้กรอกหมักแห้งที่มีปริมาณไขมันลดลง 80% จากสูตรมาตรฐาน เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของสูตรที่มีการเติม FOS ลงไป มีค่ามากกว่าสูตรควบคุม เนื่องจาก FOS มีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ ส่วนความยืดหยุ่น และการยึดเกาะกันของตัวอย่างของตัวอย่างที่มีการเติม FOS 6% มีค่าไม่แตกต่างกันจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างของไส้กรอกที่มีการเติม FOS เทียบกับสูตรควบคุม

	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
สูตร	ความแข็ง (N)	ความยืดหยุ่น^{ns} (cm)	การยึดเกาะกันของตัวอย่าง^{ns}
ควบคุม	102.72^{a} ± 8.36	0.22 ± 0.01	0.59 ± 0.02
6%	81.51^{b} ± 5.64	0.23 ± 0.01	0.58 ± 0.02

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สำหรับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 10) ของไส้กรอกทั้งสองสูตรทุกด้านมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ดังนั้น FOS เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้งได้

ตารางที่ 10 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างของไส้กรอกที่มีการเติม FOS เทียบกับสูตรควบคุม

	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
สูตร	กลิ่น^{ns}	สี^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชุ่มน้ำ	ความชอบโดยรวม^{ns}
ควบคุม	7.37±1.33	7.28±1.69	7.01±1.69	6.70 ±2.14	6.80±1.88
6%	7.30±1.41	7.26±1.31	6.84±1.74	6.76±1.90	6.28±1.62

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

โรคความดันโลหิตสูงเป็นโรคที่คุกคามสุขภาพของประชาชน เนื่องจากเป็นภาวะที่เสี่ยงต่อการตายด้วยโรคหัวใจ โรคไต โรคหลอดเลือดในสมอง เป็นต้น (Goodfriend, 1999) จากสถิติการตายที่เกิดจากโรคความดันโลหิตสูงคิดเป็น 6% ของอัตราการตายทั่วโลก (Murray, 1996) ความดันโลหิตสูงเป็นความดันเลือดที่มีค่าสูงกว่าระดับปกติ ซึ่งความดันปกติมีค่าประมาณ 130/85 ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยความดันโลหิตค่าบน (Systolic blood pressure) คือ ความดันโลหิตขณะที่หัวใจบีบตัว และความดันโลหิตค่าล่าง (Diastolic blood pressure) คือ ความดันโลหิตขณะที่หัวใจคลายตัว

ตารางที่ 11 ระดับของความดันโลหิตในลักษณะต่างๆ

การจำแนก	ความดันโลหิตตัวบน (Systolic blood pressure) (มิลลิเมตรปรอท)		ความดันโลหิตตัวล่าง (Diastolic blood pressure) (มิลลิเมตรปรอท)
ความดันโลหิตที่เหมาะสม	< 120	และ	< 80
ความดันโลหิตปกติ	< 130	และ	< 85
ความดันโลหิตสูงเล็กน้อย แต่ยังปกติ	130-139	หรือ	85-89
ความดันโลหิตสูง			
ระยะที่ 1 (อ่อน)	140-159	หรือ	90-99
ระยะที่ 2 (ปานกลาง)	160-179	หรือ	100-109
ระยะที่ 3 (รุนแรง)	> 180	หรือ	> 110

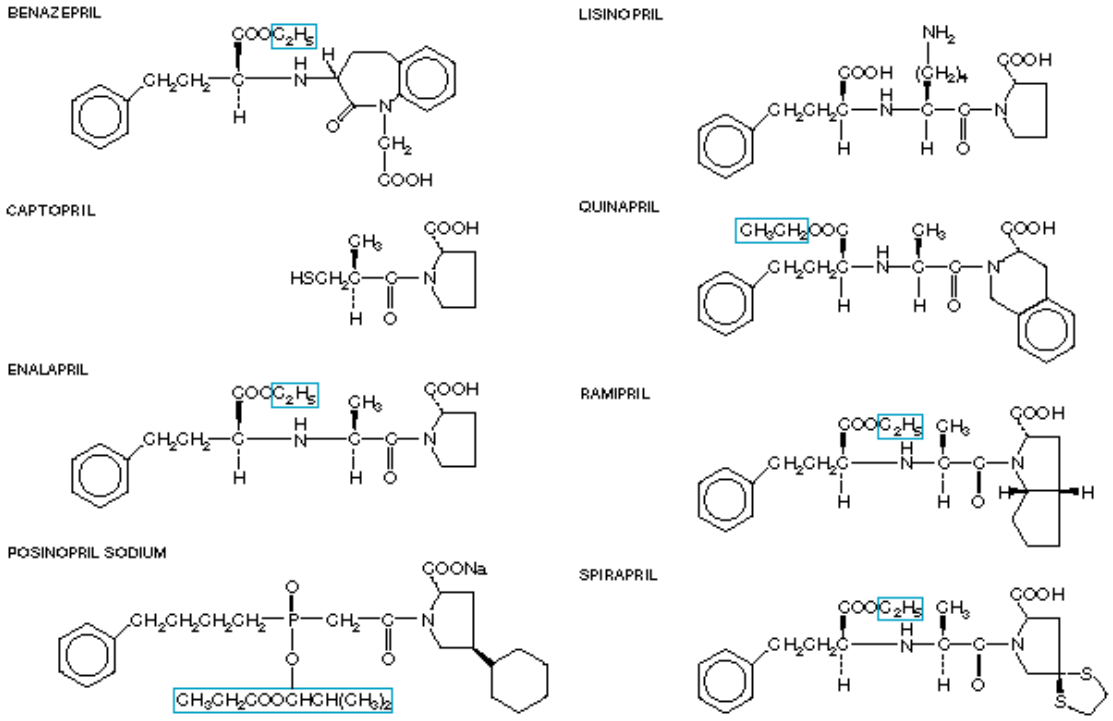
ตัวอย่างของยาที่ใช้ได้ผลในการลดความดันโลหิต เช่น ตัวยับยั้งแองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงเอนไซม์ (Angiotensin converting enzyme inhibitor หรือ ACE inhibitor) แคลเซียมชาแนลบล็อกเกอร์ (Calcium channel blocker) ไดยูเรติก (Diuretic) และอะดรีเนอจิกรีเซปเตอร์แอนตาโกนิสต์ (Adrenergic receptor antagonist) เป็นต้น โดย ACE inhibitor ซึ่งเป็นตัวยาสังเคราะห์ทางเคมี มีประสิทธิภาพสูงในการรักษาและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย (McAlister *et al*., 2001)

แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงเอนไซม์ (Angiotensin converting enzyme, ACE, EC 3.4.15.1) เป็นเอนไซม์ที่พบในระบบเรนนิน-แองจิโอเทนซิน (Renin-angiotensin system) เอนไซม์นี้มีความสำคัญในการควบคุมสมดุลของเหลวและอิเลคโตรไลท์ในร่างกาย รวมทั้งควบคุมความดันโลหิตของร่างกาย (Erdos and Skidgel, 1987 ; Laragh *et al*., 1972) โดยเอนไซม์นี้จะเปลี่ยนสารแองจิโอเทนซินวัน (Angiotensin I) ให้กลายเป็นสารแองจิโอเทนซินทู (Angiotensin II) สารแองจิโอเทนซินทูมีฤทธิ์เพิ่มการบีบตัวของหลอดเลือดโดยตรง ทำให้ความดันเลือดเพิ่มสูงขึ้น และสารแองจิโอเทนซินทูยังมีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่งของ aldosterone ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการดูดน้ำกลับที่ท่อไต ทำให้ปริมาณของเหลวในเลือดลดลง ส่งผลให้ความดันเลือดเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้น ACE ยังไปลดประสิทธิภาพการทำงานของสารขยายตัวของหลอดเลือด (Bradykinin) ซึ่งเป็นสารที่พบในระบบคาลลิเครอิน-ไคนิน (Kallikrein-Kinin System) มีผลทำให้หลอดเลือดบีบตัวได้มากขึ้น

การยับยั้งเอนไซม์นี้โดยการใช้ตัวยับยั้งแองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงเอนไซม์ (Angiotensin converting enzyme inhibitor หรือ ACE inhibitor) ทำให้ลดการเกิดขึ้นของสารแองจิโอเทนซินทู และลดการหลั่งของฮอร์โมน aldosterone มีผลทำให้ลดการบีบตัวของหลอดเลือด ลดการดูดกลับน้ำที่ท่อไต รวมทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารขยายตัวของหลอดเลือดอีกด้วย (Johnston, 1992)

ACE inhibitor ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นสารสังเคราะห์ทางเคมี และใช้เป็นยารักษาโรคความดันสูงอย่างได้ผล (McAlister *et al*., 2001) แต่จะให้ผลข้างคียงกับผู้ใช้คือ ทำให้มีอาการไอแบบแห้งๆ เกิดภาวะโปแทสเซียมสูง ความดันโลหิตต่ำ ปวดศีรษะ มีผื่นขึ้น การรับรสผิดปกติ และอาจทำให้เกิดไตวายเฉียบพลันได้ในผู้ป่วยที่แพ้ยา (Opie, 1994)

โลกรู้จัก ACE inhibitor ครั้งแรกจากการศึกษาในพิษของงูเห่า (*Bothrops jararaca*) (Ferreira, 1965) ซึ่งพบภายหลังว่าสารนี้สามารถนำไปใช้ในการลดความดันเลือดของผู้ป่วยโรคความดันสูง ดังนั้นยาที่ใช้ในการลดความดันโลหิตจึงถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยเลียนแบบโครงสร้างของ ACE inhibitor ในพิษของงูเห่าและถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โครงสร้างของ ACE inhibitor บางชนิดได้แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ACE inhibitor บางชนิดที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

การค้นพบ ACE inhibitor ครั้งต่อมาในอาหารประเภทเจลลาติน (Oshima *et al*.,1979) ทำให้นักวิจัยหันมาสนใจศึกษาสาร ACE inhibitor ที่มีในอาหาร เนื่องจากความคิดที่ว่าสารที่สกัดจากอาหาร

ธรรมชาติไม่น่าที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ การทดลองทางพิษวิทยาของ Maeno และคณะ (Maeno *et al*., 2005) ซึ่งพบว่าสาร ACE inhibitor ที่สกัดได้จากนมเปรี้ยวมีความปลอดภัยสูง ได้สนับสนุนทฤษฎีนี้

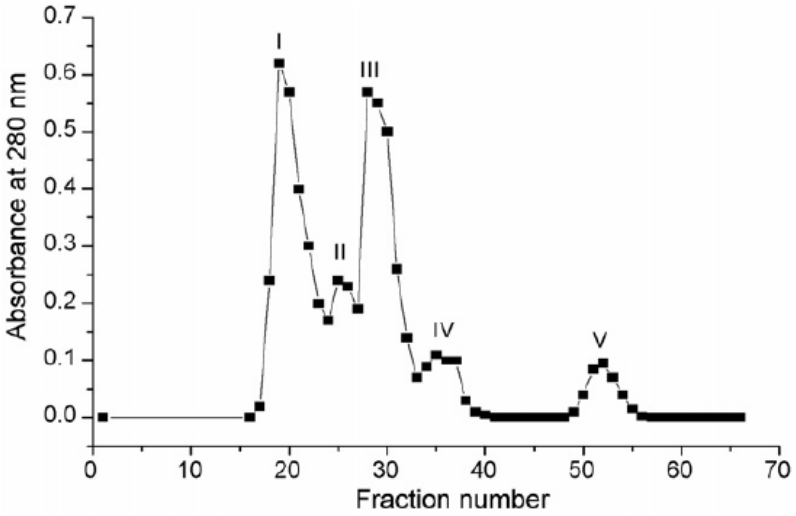
สาร ACE inhibitor ได้ถูกค้นพบในอาหารหลากหลายชนิด เช่น อาหารที่ย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ เช่น ทริปซิน โปรติเนสเค ไคโมทริปซิน (Maruyama and Suzuki, 1982 ; Maruyama *et al*., 1985 ; Maruyama *et al*., 1987 ; Abubakar *et al*., 1998 ; Kusump *et al*., 2007) หรืออาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก เช่น เต้าเจี้ยว (Shin *et al*., 2001) โยเกิร์ต (Yamamoto et al., 1999) นมเปรี้ยว (Nakamura *et al*., 1995) เนยแข็ง (Meisel *et al*., 1997) ได้มีการนำเอา ACE inhibitor ที่สกัดได้นี้มาทดลองลดความดันเลือดในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ พบว่า สามารถลดความดันเลือดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Nakamura *et al*., 1995 ; Hata *et al*., 1996 ; Takano, 1998) และไม่พบผลข้างเคียง ตัวอย่างของการทดลองที่โด่งดังของการใช้ ACE inhibitor ที่ผลิตได้จากอาหารคือ การทดลองของ Nakamura และคณะ ในปี 1995 (Nakamura *et al*., 1995) โดยใช้ Lactic acid bacteria ชื่อ *Lactobacillus helveticus* หมักนมวัวให้เป็นนมเปรี้ยว Calpis และนำนมเปรี้ยวที่ผลิตได้ไปทดสอบประสิทธิภาพในการลดความดันเลือดของผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง พบว่า ผู้ป่วยที่รับประทานนมเปรี้ยว Calpis เป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีความดันเลือดลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$) จาก Placebo ซึ่งเป็นผู้ป่วยที่รับประทานนมรสเปรี้ยวที่ได้จากการปรับความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าใกล้เคียงกับนมเปรี้ยว Calpis

อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยน้อยมากที่ศึกษาการใช้เลือดสัตว์เป็นแหล่งของ ACE inhibitor ในปี พ.ศ. 2549 Yu และคณะ (Yu *et al*., 2006) พบสาร ACE inhibitor จาก hemoglobin ของเลือดหมูที่ย่อยด้วยเอนไซม์ต่างๆ คือ เปบซิน ทริปซิน และปาเปน (ตารางที่ 12) และจากการนำ hydrolysate ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์เปบซินมาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีโครมาโตกราฟฟี พบว่าส่วนที่ผ่าน gel filtration chromatography Sephadex LX-20 (รูปที่ 6 และ ตารางที่ 13) มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติง และเมื่อนำส่วนที่มี ACE inhibitory activity สูงที่สุดไปหาองค์ประกอบพบว่า เป็น 2 เปบไทด์ที่มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเป็น VVYPWT และ LGFPTTKTYFPHF โดยมีค่า IC_{50} (ความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ 50%) เท่ากับ 6.02 และ 4.92 μM ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 12 ACE inhibitory activity ของ Hemoglobin ของเลือดหมูที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ต่างๆ

เอนไซม์	**IC_{50} (mg/ml)**
เปบซิน	1.19
ทริปซิน	8.79
ปาเปน	2.21

หมายเหตุ IC_{50} คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ 50 %



รูปที่ 6 Gel filtration chromatography ของ hemoglobin ของเลือดหมูที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Pepsin

ตารางที่ 13 ACE inhibitory activity ของส่วนต่างๆ ที่แยกได้จาก Gel filtration chromatography

ส่วนที่	**ปริมาณเปปไตด์รวม (mg)**	**Recovery yield (%)**	**IC_{50} (mg/ml)**
I	451.6	22.58	17.99
II	426.8	21.34	2.10
III	959.4	47.97	1.80
IV	156	7.8	0.67
V	6.2	0.31	0.10

หมายเหตุ IC_{50} คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ 50 %

ตารางที่ 14 เปปไตด์ที่มีสมบัติเป็น ACE inhibitory activity ใน hemoglobin ของเลือดหมู

เปปไตด์	**ตำแหน่งใน hemoglobin ของเลือดหมู**	**IC_{50} (μM)**
VVYPWT	β (34-39)	6.02
LGFPTTKTYFPHF	α (34-46)	4.92

หมายเหตุ IC_{50} คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ 50 %

จากงานวิจัยในปีที่ผ่านมา พบว่าเลือดจระเข้ที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เปปซินมีฤทธิ์ยับยั้ง ACE (สิรินดา กุสุมภ์ และคณะ, 2551) โดย ACE inhibitor ที่มีฤทธิ์สูง มีค่า IC_{50} เท่ากับ 447.35 μg/ml สามารถผลิตได้จากการใช้เอนไซม์เปปซินย่อยเลือดจระเข้เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 2 (ตารางที่ 15) และเมื่อนำ Blood cell ที่แยกมาได้จากเลือดมาย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน พบว่าให้ฤทธิ์ ACE inhibitor ที่สูงที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 404.12 μg/ml จากการศึกษาการจำลองสภาวะการย่อยอาหารในร่างกายมนุษย์พบว่า การรับประทานเลือดจระเข้สามารถผลิต ACE inhibitory peptide ได้เช่นกัน แต่ ACE inhibitory peptide ที่ผลิตได้มีฤทธิ์ต่ำกว่าเปปไตด์ที่ได้จากการใช้เอนไซม์เปปซิน

ตารางที่ 15 ACE inhibition ของ Hydrolysate ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pepsin

Hydrolysate		IC_{50}
เอนไซม์	เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)	(μg/ml)
Pepsin	4	728.05
	6	565.88
	10	447.35

หมายเหตุ IC_{50} คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ 50 %

ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาชนิดและปริมาณของเครื่องเทศที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

ผลิตไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นจากสูตรต้นแบบ 3 สูตรที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดมา 2 สูตรแล้วปรับปรุงและพัฒนาต่อเพื่อเลือก 1 สูตรที่ดีที่สุดเป็นสูตรควบคุมสำหรับการทดลองขั้นต่อไป

ปัจจัยที่ศึกษา

ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นต้นแบบ 3 สูตร มีรายละเอียดส่วนผสมแต่ละสูตรดังแสดงในตารางที่ 16 – 17 โดยมีวิธีทำดังรูปที่ 7

ตารางที่ 16 ส่วนผสมของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

ส่วนผสม	**ปริมาณ (กรัม)**
เนื้อหมู	250
มันหมูแข็ง	75
น้ำแข็ง	62.5
เกลือ	6.25
น้ำตาล	8.75
ไนไตรท์	1.25
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	1.50
ผงชูรส	2.0
เครื่องเทศ (พริกแกง)	68.75

ตารางที่ 17 ชนิดและปริมาณของเครื่องเทศในไส้กรอกสูตรต่างๆ

เครื่องเทศ	ปริมาณ (กรัม)		
	สูตรที่ 1	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**
พริกแห้ง	6	6	6
ข่า	6	8	6
ตะไคร้	18	20	16
ใบมะกรูด	3.5	4	4
หอมแดง	13	13	16
กระเทียม	9	4.75	7
กระชาย	8	13	6
กะปิ	5.25	-	3
ขมิ้นผง	-	-	3
ผิวมะกรูด	-	-	1.75

หมายเหตุ เครื่องเทศเหล่านี้ถูกตำจนแหลกละเอียดก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของไส้กรอก

เนื้อหมูบดด้วยเครื่องบดขนาดหน้าแปลน 2 มม.

⬇

สับผสมกับเกลือและฟอสเฟต

⬇

เติมน้ำแข็งครึ่งส่วน

⬇

เติมมันหมูแข็งที่บดด้วยเครื่องบดขนาดหน้าแปลน 2 มม.

⬇

เติมน้ำแข็งอีกครึ่งส่วนที่เหลือ

⬇

เติมเครื่องปรุงรสและเครื่องเทศที่ตำจนละเอียดตามสูตร

⬇

อัดไส้รีเจเนอเรเตดคอลลาเจนและมัดเป็นท่อน ยาวท่อนละ 5 นิ้ว

ลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}$C นาน 30 นาที

ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

คัดเลือกสูตรที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด

สูตรไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นมาตรฐาน

รูปที่ 7 ขั้นตอนการผลิตและคัดเลือกสูตรมาตรฐาน

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินผล

ในการคัดเลือกสูตรมาตรฐานทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 80 คน

การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completed Block Design (RCBD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 15.0 for Windows วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อคัดเลือกสูตรที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุด

2. การทดลองที่ 2 การศึกษาการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

2.1 แปรอินนูลินเป็นร้อยละ 9 และ 12 โดยน้ำหนัก

มีการลดปริมาณมันหมูแข็งลงเหลือเพียงร้อยละ 25% โดยน้ำหนักของปริมาณมันหมูแข็งในสูตรควบคุมและกำหนดปริมาณของอินนูลินที่จะนำมาใช้ในขั้นต้น คือ ร้อยละ 9 และ 12 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย การนำอินนูลินมาใช้ จะต้องละลายอินนูลินในน้ำอุ่นก่อน โดยปริมาณน้ำที่ใช้ จะเท่าๆกันในทุกอัตราส่วน ซึ่งก็คือปริมาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้อินนูลินร้อยละ 12 ละลายได้ คือ 20 มล. ลำดับการใส่อินนูลินในขั้นตอนการผลิตไส้กรอก จะใส่พร้อมกับมันหมูแข็ง

ปัจจัยที่ศึกษา

ปริมาณอินนูลินที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 9 และ 12 ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินผล

การคัดเลือกปริมาณที่เหมาะสมจะใช้การสังเกตลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของไส้กรอก จะไม่มีการประเมินผลทางประสาทสัมผัส เพราะเป็นการกำหนดช่วงของอินนูลินเท่านั้น เมื่อได้ผลการทดลองในขั้นนี้แล้ว จึงจะกำหนดระดับของอินนูลินที่แน่นอนต่อไป ซึ่งจากการทดลองพบว่าการเติมอินนูลินร้อยละ 12 ไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มเกินไป จึงกำหนดปริมาณอินนูลินที่ใช้ทดแทนไขมันเป็นร้อยละ 3, 6 และ 9 โดยทดแทนมันหมูแข็งในสูตรไส้กรอกที่มีปริมาณมันหมูแข็งร้อยละ 25 ของมันหมูแข็งในสูตรควบคุม

2.2 แปรอินนูลินเป็นร้อยละ 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนัก

ทำการผลิตไส้กรอกที่ใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมัน 3 อัตราส่วน คือ ร้อยละ 3 6 และ 9 โดยทดแทนมันหมูแข็งในสูตรไส้กรอกที่มีปริมาณมันหมูแข็ง25% เทียบกับสูตรมาตรฐานและสูตรมันหมูแข็ง 25% ที่ไม่มีการเติมอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมัน

ปัจจัยที่ศึกษา

- ไส้กรอกสูตรมาตรฐาน เรียกว่าสูตรควบคุม
- ไส้กรอกสูตรไขมันต่ำ 25%
- ไส้กรอกสูตรไขมันต่ำ 25% และเติมอินนูลิน 3%
- ไส้กรอกสูตรไขมันต่ำ 25% และเติมอินนูลิน 6%
- ไส้กรอกสูตรไขมันต่ำ 25% และเติมอินนูลิน 9%

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินผล

1. การประเมินคุณภาพทางกายภาพของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น ดังนี้

- การวัดการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking loss) โดยคำนวณจากสมการ

$$\% \text{ cooking loss} = \frac{\text{น้ำหนักดิบ (กรัม)-น้ำหนักสุก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักดิบ (กรัม)}} \times 100$$

- ความคงตัวของอิมัลชั่น (emulsion stable) จะประเมินผลจาก (%TEF) หรือปริมาณของเหลวที่แยกได้ทั้งหมด (Bloukas และ Honikel, 1992) จากการนำส่วนผสมอิมัลชั่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน มาต้มให้สุกในหลอดเซนตริฟิวส์ ที่น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นลงแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2,958 g เป็นเวลา 3 นาที จากนั้น เทแยกส่วนของเหลวออก แล้วนำไปคำนวณดังสมการ

$$\%\text{TEF} = \frac{\text{ปริมาณของเหลว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักส่วนผสม (กรัม)}} \times 100$$

- ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA.XT หัวกดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ใช้การกดตัวอย่าง 2 ครั้ง ด้วยแรงขนาด 5 g ระยะการกด 50% ของความหนาตัวอย่าง โดยหั่นตัวอย่างหนา 2 เซนติเมตร ประเมินผลด้านด้านความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และความสามารถในการยึดเกาะของตัวอย่าง (cohesiveness)
- วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี Minolta CR-300 Japan และลำแสง D-65 โดยวิธี CIE Lab

2. ประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale กำหนดให้คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิห้อง ใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 80 คน

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. การทดสอบทางกายภาพของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น วางแผนการทดลองแบบ complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

2. การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยวิธี Dancan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 15.0 for Windows วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3. การทดลองที่ 3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรทดแทนไขมันด้วยอินนูลินเทียบกับสูตรควบคุม

ไส้กรอกสูตรที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 2 และสูตรควบคุม (ไม่มีการทดแทนไขมัน) มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย เถ้า และ คาร์โบไฮเดรต(AOAC, 1995)

4. ศึกษาสัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหารโดยใช้เลือดไฮโดรไลเซททดแทนไขมัน

นำไส้กรอกลดไขมันเสริมใยอาหารสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 2 มาทำการศึกษา โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) โดยมีทรีตเมนต์ คือสัดส่วนของไขมันต่อเลือดไฮโดรไลเซทแห้งทั้งหมด 3 สัดส่วน รวม 3 ทรีตเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำ (ปริมาณเลือดที่ใช้ในสูตรเป็นปริมาณที่แนะนำให้รับประทานเลือดจระเข้ต่อวันเพื่อให้เกิดประโยชน์ทางยา)

การผลิตเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซทแห้งใช้กระบวนการเดียวกับสิรินดาและคณะ (2551) โดยการนำเลือดที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จากจระเข้น้ำจืดพันธุ์ไทย (*Crocodylus siamensis*) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง อายุ 2-4 ปี มาละลายในน้ำ deionized ในอัตราส่วนเลือดต่อน้ำ 1:9 เติมเอนไซม์ pepsin ทำการย่อยที่ pH 2 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยมีการปรับ pH ของ hydrolysate ให้คงที่ที่ pH ที่กำหนดตลอดเวลาที่ทำการย่อย เมื่อครบเวลาแล้วหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำ hydrolysate ไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิห้องที่ความเร็ว 9000 g เป็นเวลา 30 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ก่อนที่จะทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) ด้วยเครื่อง Freeze dryer (Lyophilization System, Inc., USA)* แล้วเก็บ hydrolysate แห้งไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อทำการทดลองต่อไป

(*ขั้นตอนนี้ทำที่ห้างหุ้นส่วนจำกัดวานิไทย ห้อง 602 ชั้น 6 อาคารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

การประเมินผล

1. สมบัติทางกายภาพ

สี ด้วยเครื่องวัดสี

Texture profile analysis ทางด้าน hardness springiness adhesiveness cohesiveness gumminess และ chewiness ด้วยเครื่อง texturometer

2. สมบัติทางเคมี

Water activity (a_w)

Proximate analysis ตามวิธี AOAC (1995) โดยวัดปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

3. ประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัส

ประเมินสมบัติทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม และการยอมรับรวมโดยใช้แบบทดสอบแบบ 9-point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 60 คน

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดสอบทางกายภาพของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น วางแผนการทดลองแบบ complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยวิธี Dancan’s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 15.0 for Windows วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. **การศึกษาชนิดและปริมาณของเครื่องเทศที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น**

ศึกษาสูตรไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น 3 สูตร เพื่อคัดเลือกเป็นสูตรควบคุมสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป โดยพิจารณาจากการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale กำหนดให้คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิห้อง ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 80 คน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 18 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบสูตรต้นแบบทั้ง 3 สูตร แสดงดังตารางที่ 19

พบว่า คะแนนการยอมรับทางประสารทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยคะแนนด้านลักษณะปรากฏ และสี พบสูงสุดในตัวอย่างไส้กรอกเครื่องเทศสูตรที่ 3 ส่วนคะแนนด้านรสชาติพบสูงสุดในตัวอย่างไส้กรอกเครื่องเทศสูตรที่ 1 ส่วนคะแนนในด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงทำให้สรุปไม่ได้ว่าจะใช้สูตรใดเป็นสูตรต้นแบบ

ตารางที่ 18 คะแนนเฉลี่ยจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบ

สูตร	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
1	5.88^{b} ±1.15	5.84^{b} ±1.14	6.41^{a} ±1.27	6.44^{a} ±1.47	6.06±1.36	6.25±0.94
2	5.40^{c} ±1.30	5.25^{c} ±1.52	5.90^{a} ±1.34	6.34^{ab} ±1.34	6.13±1.41	6.16±1.24
3	6.33^{a} ±1.36	6.51^{a} ±1.53	5.84^{b} ±1.60	5.91^{b} ±1.68	6.31±1.59	6.26±1.49

a,b,... ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบสูตรต้นแบบทั้ง 3 สูตร

SOV	Df	MS					
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
การทดลอง(สูตร)	2	17.117*	31.929*	7.963*	6.217	1.354	0.237
ผู้ทดสอบ	79	1.532	1.912	2.085	2.258	2.228	1.669
Error	118	1.661	2.030	1.941	2.263	2.067	1.478

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นจึงได้นำสูตรเครื่องเทศที่ 1 และสูตรที่ 3 มาปรับปรุงอีกครั้ง โดยปรับปรุงปริมาณเครื่องเทศใหม่อีกครั้ง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 20 และจากการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการและจำนวนผู้บริโภคเหมือนเดิม ได้ผลแสดงดังตารางที่ 21 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบทั้ง 2 สูตร แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 20 ชนิดและปริมาณของเครื่องเทศในไส้กรอกสูตรต้นแบบ 1 และ 3

เครื่องเทศ	ปริมาณ (กรัม)	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 3
พริกแห้ง	5	5
ข่า	6.25	6
ตะไคร้	16.25	15
ใบมะกรูด	3.75	4
หอมแดง	13.75	16
กระเทียม	8.75	8
กระชาย	8.75	6
กะปิ	5	4
ขมิ้นผง	1.25	3
ผิวมะกรูด	-	1.75

หมายเหตุ เครื่องเทศเหล่านี้ถูกตำจนแหลกละเอียดก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของไส้กรอก

ตารางที่ 21 คะแนนเฉลี่ยจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบ (ครั้งที่ 2)

สูตร	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.85[a]±1.23	6.83[a]±1.39	7.10[a]±1.38	7.15[a]±1.43	6.45[a]±1.64	7.08[a]±1.11
3	6.30[b]±1.44	6.40[b]±1.44	6.40[b]±1.37	6.48[b]±1.80	5.55[b]±1.68	6.48[b]±1.49

a, b ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรต้นแบบสูตรต้นแบบทั้ง 2 สูตร

SOV	df	MS					
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
การทดลอง(สูตร)	1	12.100*	7.225*	19.600*	18.225*	32.400*	14.400*
ผู้ทดสอบ	79	2.622*	2.493*	2.354*	3.840*	4.633*	2.404*
Error	118	0.961	1.491	1.423	1.453	0.881	1.058

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 21 และ 22 พบว่า ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรที่ 1 ได้รับคะเนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรที่ 3 ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรนี้เป็นสูตรควบคุม สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป คือการทดแทนไขมันที่ใช้ในไส้กรอกด้วยอินนูลิน

2. ศึกษาการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

2.1 ผลการแปรอินนูลินเป็นร้อยละ 9 และ 12 โดยน้ำหนัก

จากการทดลองทำไส้กรอกเครื่องเทศที่ลดปริมาณไขมันลงจากสูตร 25% และมีการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันที่ระดับร้อยละ 9 และ 12 เทียบกับสูตรที่ไม่เติมอินนูลิน ให้ผลแสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 23 คุณภาพของไส้กรอกเครื่องเทศที่ใช้อินนูลินที่ระดับแตกต่างกัน

ระดับอินนูลิน (ร้อยละ)	คุณภาพของไส้กรอกเครื่องเทศเทียบกับสูตรที่ไม่เติมอินนูลิน
9	สีจางลงจากสูตรที่ไม่เติมอินนูลิน ชุ่มน้ำมากขึ้น เนื้อสัมผัสนิ่มมากขึ้น
12	สีจางลง ชุ่มน้ำมากขึ้น มีความยืดหยุ่นน้อย เนื้อสัมผัสนิ่มมากไม่เหมือนไส้กรอก

จากตารางที่ 23 จะพบว่าสามารถผลิตไส้กรอกเครื่องเทศที่มีการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันที่ระดับร้อยละ 9 และ 12 ได้ผลที่แตกต่างกัน คือ การใช้อินนูลิน ร้อยละ 9 จะทำให้ไส้กรอกมีความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้นแต่มีเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้น ส่วนการใช้อินนูลินร้อยละ 12 จะทำให้ไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสที่ด้อยลงมาก กล่าวคือ เนื้อสัมผัสนิ่มมาก ไม่ยืดหยุ่น แสดงระดับอินนูลินที่ใช้ควรเกิน ร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก จึงทำการทดสอบการใช้อินนูลินที่ระดับร้อยละ 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนัก

2.2 ผลการแปรอินนูลินเป็นร้อยละ 3,โดยน้ำหนัก 9 และ 6

1) การเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก และค่าความคงตัวของอิมัลชั่น

จากตารางที่ 24 และ 25 พบว่าไส้กรอกสูตรไขมันต่ำ มีค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก (cooking loss) สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่า การนำไขมันสัตว์ออกจากผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก (Chin และคณะ, 2004) ส่วนสูตรควบคุม และสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 3% (3I) ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรไขมันต่ำ 6I และ 9I ที่มีการเติมอินนูลิน 6 และ 9% ตามลำดับ จะมีค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Paneras และ Bloukas (1994) ที่กล่าวในรายงานวิจัยว่า เนื้อบดละเอียดสูตรที่มีการเติมใยอาหารจากรำข้าว จะมีค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกน้อยกว่าสูตรที่ไม่ได้เติมใยอาหารจากรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนค่าความคงตัวของอิมัลชั่น ซึ่งพิจารณาจากปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้ (TEF) พบว่าไส้กรอกสูตรไขมันต่ำ มีปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้มากที่สุด ซึ่งแสดงถึงส่วนผสมมีค่าความคงตัวของอิมัลชั่นต่ำที่สุด ส่วนสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 9% มีปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกได้ต่ำที่สุด แสดงว่าส่วนผสมมีความคงตัวของอิมัลชั่นที่ดีที่สุด ซึ่งความคงตัวของอิมัลชั่นของสูตรที่เติมอินนูลิน มีผลมาจากอินนูลินมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ ทำให้ส่วนผสมมีความสามารถในการจับน้ำไม่ให้เสียออกมาในระหว่างกระบวนการผลิตและกระบวนการปรุงสุก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของผู้วิจัยหลายท่าน ที่พบว่า สารจำพวกใย

อาหารจะช่วยให้ผลิตภัณฑจากเนื้อสัตว์มีความคงตัวของอิมัลชันดีขึ้น (Choi และคณะ, 2007; Turhan และคณะ, 2005)

ตารางที่ 24 ค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกและค่าความคงตัวของอิมัลชั่นของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

สูตร	ปริมาณ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนัก)	
	การเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก	ค่าความคงตัวของอิมัลชั่น
control	0.72^{b} ± 0.06	1.20^{b} ± 0.02
25F	1.13^{a} ± 0.07	3.14^{a} ± 0.04
3I	0.35^{b} ± 0.02	1.21^{b} ± 0.03
6I	-0.97^{c} ± 0.21	1.15^{b} ± 0.05
9I	-1.35^{c} ± 0.26	0.45^{c} ± 0.53

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน จากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกและค่าความคงตัวของอิมัลชั่นของไส้กรอกเครื่องเทศ

SOV	df	MS	
		การเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก	ค่าความคงตัวของอิมัลชั่น
การทดลอง (สูตร)	4	2.336*	2.025*
error	5	0.024	0.057

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไส้กรอก

จากตารางที่ 26 และ 27 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น พบว่าค่าความแข็งสูงสุดในตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ อธิบายได้ว่า การลดลงของปริมาณไขมัน มีผลทำให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากไขมันมีผลต่อความนุ่ม และความชุ่มน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่มีการลดไขมัน และไม่ได้เติมสารทดแทนไขมัน จึงมีลักษณะแห้ง และแข็งกว่าสูตรอื่นๆ คล้ายคลึงกับผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของ Barbut และ Mittal (1989) ที่กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโปรตีนคงที่ แต่ใช้ไขมันปริมาณน้อยลง จะทำให้ค่า

ความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งที่ต่ำสุดพบในไส้กรอกสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 9% เนื่องจากอินนูลินช่วยในการอุ้มน้ำไว้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มน้ำ ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จึงต่ำที่สุด ส่วนค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกันแต่พบสูงสุดในตัวอย่างสูตรควบคุม เนื่องจากมันหมูแข็งให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าสารทดแทนไขมัน ซึ่งก็คืออินนูลิน ส่วนค่าความสามารถในการยึดเกาะของตัวอย่าง มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ตารางที่ 26 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น	การยึดเกาะกัน ^{ns}
control	3572.76 ^{b} ± 38.21	0.94 ^{a} ± 0.02	0.31 ± 0.36
25F	4325.49 ^{a} ± 270.02	0.93 ^{a} ± 0.00	0.58 ± 0.01
3I	3552.74 ^{b} ± 6.22	0.87 ^{c} ± 0.00	0.54 ± 0.01
6I	3329.04 ^{bc} ± 5.20	0.90 ^{b} ± 0.00	0.55 ± 0.00
9I	3144.41 ^{c} ± 27.70	0.90 ^{b} ± 0.00	0.57 ± 0.11

a,b,c ...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

SOV	df	MS		
		ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น	การยึดเกาะกัน
การทดลอง (สูตร)	4	405475.486*	0.002	0.025*
error	5	15040.406	0.00008	0.026

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3) ค่าสี

ค่าสีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น แสดงดังตารางที่ 28 และ 29 พบว่า ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) มีค่าที่ไม่แตกต่างกันในทุกๆสูตร ($p > 0.05$) เนื่องจาก อินนูลินมีสีขาวคล้ายคลึงกับสีของไขมัน ทำให้ค่าสีที่วัดได้มีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การกระจายตัวของเครื่องเทศยังมีผลต่อค่าสีที่ได้ เนื่องจากถ้าบริเวณที่วัดมีเครื่องเทศอยู่มากหรือวัดตรงบริเวณที่มีพริก หรือใบมะกรูดอยู่พอดี ก็จะทำให้ได้ค่าที่แตกต่างกันไป

ตารางที่ 28 ค่าสีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L[ns]	a[ns]	b[ns]
control	63.12 ± 9.28	3.18 ± 2.97	27.44 ± 3.22
25F	68.18 ± 1.73	3.42 ± 1.84	30.45 ± 6.97
3I	67.92 ± 4.00	3.61 ± 1.84	29.66 ± 5.31
6I	63.69 ± 7.38	3.67 ± 2.49	29.02 ± 2.17
9I	66.95 ± 9.24	2.88 ± 2.82	27.77 ± 4.99

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าสีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

SOV	df	MS		
		L	A	b
การทดลอง (สูตร)	4	11.473	0.212	3.201
error	5	48.990	5.947	23.254

4) การยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 80 คนแสดงดังตารางที่ 30 และ 31 พบว่าลักษณะปรากฏของไส้กรอกเครื่องเทศ มีค่าสูงสุดในตัวอย่างสูตรควบคุม ซึ่งแตกต่างจากสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่มีการลดปริมาณมันหมูแข็งและเติมอินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) คะแนนด้านสี พบสูงสุดในตัวอย่างสูตรควบคุม และพบต่ำสุดในตัวอย่างสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 9% ทั้งนี้อาจมีผลมาจาก การเติมอินนูลินซึ่งมีสีขาวในปริมาณมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีซีดจาง คะแนนด้านกลิ่นรส พบว่ามีค่าที่ไม่แตกต่างกันในทุกๆสูตร ($p > 0.05$) สำหรับคะแนนด้านความชุ่มน้ำ ด้านเนื้อสัมผัส และด้านความชอบโดยรวม พบว่าตัวอย่างที่มีการลดปริมาณมันหมูแข็งและไม่ได้เติมสารทดแทนไขมันได้คะแนนที่ต่ำกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไขมันมีผลต่อความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการลดปริมาณไขมันลงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง และส่งผลกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภค ส่วนตัวอย่างที่มีการลดปริมาณมันหมูแข็งและเติมอินนูลินเป็นสารทดแทน

ไขมัน จะส่งผลให้มีความชุ่มน้ำ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) เนื่องจากอินนูลินสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ดี หากนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ลดไขมันจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ ทำให้รสชาติและลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

ตารางที่ 30 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

สูตร	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส ^{ns}	ความชุ่มน้ำ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
control	7.00^{a}±0.87	6.19^{a} ±1.21	6.43±0.87	6.58^{a}±1.23	6.33^{a}±1.20	6.63^{a}±1.27
25F	6.00^{c}±1.21	5.91^{bc} ±1.32	6.00±1.51	6.05^{b}±1.19	5.60^{b}±1.57	5.93^{b}±1.04
3I	6.13^{bc}±1.22	6.15^{ab} ±1.26	6.18±1.37	6.43^{a}±1.35	6.40^{a}±1.35	6.63^{a}±1.34
6I	6.15^{bc}±1.22	6.08^{ab} ±1.27	6.23±1.18	6.50^{a}±1.31	6.23^{a}±1.30	6.63^{a}±1.27
9I	6.30^{b}±1.32	5.78^{c} ±1.38	6.38±1.36	6.48^{a}±1.31	6.48^{a}±1.46	6.71^{a}±1.16

a,b,c ...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

SOV	df	MS					
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	ความชุ่มน้ำ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
การทดลอง(สูตร)	4	12.640*	2.391*	2.290	3.385*	9.835*	8.453*
ผู้ทดสอบ	79	3.827*	5.730*	2.463*	2.729*	1.595	2.303*
Error	316	0.777	0.651	1.422	1.365	1.987	1.284

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลที่ได้จากการประเมินทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส จึงเลือกไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 6% เนื่องจากมีค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกต่ำ มีความคงตัว

ของอิมัลชั่นที่ดี และมีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรควบคุม และสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 6% ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 แสดงดังตาราง 32 และ 33 พบว่าไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรไขมันต่ำเสริมอินนูลิน 6% มีปริมาณความชื้น ไขมัน และโปรตีนแตกต่างจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีน มีค่าสูงสุดกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากอินนูลินสามารถอุ้มน้ำได้ดี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นมากกว่า และปริมาณของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นมาจากสัดส่วนของไขมันที่ลดลง ส่วนปริมาณไขมันจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรนี้ มีการลดปริมาณมันหมูแข็งลงจากสูตรควบคุม ซึ่งทำให้มีปริมาณไขมันลดลงถึง 47.22% โดยน้ำหนักของไขมันในสูตรควบคุม สำหรับปริมาณเถ้า ใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$)

ตารางที่ 32 องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนัก)	
	สูตรควบคุม	สูตรอินนูลิน 6%
ความชื้น	$65.59^{b} \pm 0.21$	$69.47^{a} \pm 0.75$
เถ้า^{ns}	1.70 ± 0.11	1.83 ± 0.07
ไขมัน	$13.19^{a} \pm 2.90$	$6.96^{b} \pm 2.80$
โปรตีน	$17.61^{b} \pm 0.04$	$19.19^{a} \pm 0.19$
เส้นใย^{ns}	1.06 ± 0.23	1.00 ± 0.09
คาร์โบไฮเดรต^{ns}	0.75 ± 2.93	1.55 ± 3.13

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน จากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่น

SOV	df	MS					
		ความชื้น	เถ้า	ไขมัน	โปรตีน	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
การทดลอง (สูตร)	1	28.539*	0.35	77.626*	5.056*	0.008	1.256
error	6	0.304	0.008	8.128	0.019	0.031	9.196

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4. ศึกษาสูตรของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นเลือดจระเข้

เมื่อทำการแปรสัดส่วนของไขมันต่อเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซท โดยแปรปริมาณไขมันเป็น 15, 20 และ 25 % โดยเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 เพื่อคัดเลือกเป็นสูตรสำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยเลือดที่ใส่ในไส้กรอกมีปริมาณคงที่และเพียงพอต่อการออกฤทธิ์ทางยาของเลือด คือคิดที่ผู้บริโภคจะได้รับเลือด 500 มิลลิกรัมต่อการรับประทานไส้กรอกใน 1 วัน

เมื่อพิจารณาจากการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale กำหนดให้คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิห้อง ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 60 คน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 34 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรลดไขมันผสมเลือดจระเข้ทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 35

พบว่า คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้ทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยคะแนนด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้ที่มีการเติมไขมัน 15% มีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้สูตรควบคุม จึงสามารถสรุปได้ว่า จะใช้สูตรไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้ที่มีการเติมไขมัน 15% เป็นสูตรต้นแบบในการทดลองต่อไป

ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไส้กรอกลดไขมันผสมเลือดจระเข้โดยใช้เครื่อง Texturometer (ตารางที่ 36 และ 37) พบว่าค่าความแข็งของไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้ที่เติมไขมัน 15% มีค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้สูตรควบคุม

ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น การยึดเกาะ และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว มีค่าต่ำกว่าไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้สูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 34 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรลดไขมันผสมเลือดจระเข้

สูตร	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นรส	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชุ่มน้ำ^{ns}	ความชอบโดยรวม
control	5.97±1.29	5.78±1.45	6.13^{a}±1.44	6.15±1.49	6.30^{a}±1.33	5.90±1.32	6.18^{a}±1.27
25%fat	5.83±1.42	5.61±1.53	5.70^{b}±1.53	5.77±1.70	5.90^{b}±1.52	5.83±1.50	5.92^{ab}±1.55
20%fat	5.85±1.33	5.73±1.42	5.62^{b}±1.73	5.67±1.49	5.90^{b}±1.45	5.67±1.35	5.72^{b}±1.39
15%fat	5.95±1.21	5.77±1.48	5.98^{ab}±1.45	6.03±1.53	6.02^{ab}±1.44	6.08±1.41	6.20^{a}±1.38

a,b,... ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศสูตรลดไขมันผสมเลือดจระเข้ทั้ง 4 สูตร

SOV	df	MS						
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชุ่มน้ำ	ความชอบโดยรวม
การทดลอง (สูตรลดไขมัน)	3	0.278	0.339	3.494*	3.049	2.137*	1.782	3.215*
ผู้ทดสอบ	59	5.498*	7.091*	5.622*	6.102*	6.052*	5.631*	5.479*
Error	177	0.476	0.523	1.305	1.196	0.731	0.731	0.701

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 36 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศลดไขมันผสมเลือดจระเข้

สูตร	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ความแข็ง	ความยืดหยุ่น	การยึดเกาะกัน	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว
control	5254.67[a]±103.59	0.677[a]±0.016	0.887[a]±0.009	3154.62[a]±122.78
25%fat	4656.61[b]±128.54	0.678[a]±0.041	0.894[a]±0.014	2828.98[b]±249.73
20%fat	5339.56[a]±193.11	0.622[b]±0.026	0.871[b]±0.012	2895.14[b]±199.75
15%fat	5179.16[a]±232.05	0.625[b]±0.025	0.874[b]±0.011	2831.84[b]±217.44

a,b,... ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศลดไขมันผสมเลือดจระเข้

SOV	df	MS			
		ความแข็ง	ความยืดหยุ่น	การยึดเกาะกัน	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว
การทดลอง (สูตรลดไขมัน)	3	662531.601*	0.007*	0.001*	166807.659*
Error	24	29598.411	0.001	0.000	41155.711

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการวัดค่าสีของไส้กรอกเครื่องเทศลดไขมันผสมเลือดจระเข้ (ตารางที่ 38 และ 39) พบว่า ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีแดง (a*) ของไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้ที่มีการเติมไขมัน 15% มีค่าความสว่างและค่าสีแดง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้สูตรควบคุม ในขณะที่ค่าสีเหลือง (b*) ของไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้ที่มีการเติมไขมัน 15% มีค่าต่ำกว่าค่าสีเหลืองของไส้กรอกเครื่องเทศผสมเลือดจระเข้สูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 38 ค่าสีของไส้กรอกเครื่องเทศลดไขมันผสมเลือดจระเข้

สูตร	คะแนนเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
control	50.99^{bc} ±1.13	9.97^{a} ±0.40	42.86^{ab} ±0.44
25%fat	53.61^{a} ±1.23	9.16^{b} ±0.30	43.60^{a} ±0.89
20%fat	52.34^{ab} ±0.43	9.61^{a} ±0.29	42.45^{b} ±0.56
15%fat	50.70^{c} ±1.11	9.56^{ab} ±0.22	41.07^{c} ±0.31

a,b,... ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าสีของไส้กรอกเครื่องเทศลดไขมันผสมเลือดจระเข้

SOV	df	MS		
		L*	A*	b*
การทดลอง (สูตรลดไขมัน)	3	9.026*	0.547*	5.673*
Error	16	1.058	0.096	0.347

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นสูตรไขมัน 15% เสริมใยอาหารและเลือดจระเข้ แสดงดังตารางที่ 40 พบว่าไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหารที่มีเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซทมีปริมาณไขมัน 3.5% ซึ่งต่ำลงจากสูตรไส้กรอกตั้งต้น คือไส้กรอกเครื่องเทศที่ยังไม่มีการลดไขมันหรือยังไม่มีการเติมอินนูลิน (ตารางที่ 32) ซึ่งมีปริมาณไขมัน 13% และ 7% ตามลำดับ แต่มีปริมาณโปรตีนและเส้นใยลดลงจากสูตรตั้งต้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเลือดจระเข้ที่เติมลงไปซึ่งมีสัดส่วนของไขมันสูงกว่าโปรตีนและเส้นใย ทำให้ไปลดสัดส่วนของโปรตีนและเส้นใยในไส้กรอกลง อย่างไรก็ตามค่าเส้นใยที่วัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่ได้รวมถึงใยอาหารจากอินนูลิน เพราะวิธีวิเคราะห์วิธีนี้ไปทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลฟรุกโตส กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถติดตามผลการสลายตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ (AOAC, 1995) และยังส่งผลให้เพิ่มค่าปริมาณ

คาร์โบไฮเดรตที่ได้ ดังนั้นปริมาณเส้นใยและคาร์โบไฮเดรตที่แสดงในตารางจึงไม่ใช่ค่าที่เป็นจริงของทั้ง 2 องค์ประกอบในไส้กรอก

ตารางที่ 40 องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนัก)
ความชื้น	69.25 ± 0.88
เถ้า	2.53 ± 0.03
ไขมัน	3.54 ± 0.16
โปรตีน	16.47 ± 0.53
เส้นใย	0.72 ± 0.17
คาร์โบไฮเดรต	7.49 ± 0.94

การศึกษาอายุการเก็บ

จากการนำไส้กรอกเครื่องเทศไขมันต่ำผสมอินนูลินและเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซทไปทำการศึกษาอายุการเก็บ โดยเก็บไว้ในถุง LDPE บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ซึ่งเป็นอายุการเก็บปกติของไส้กรอกประเภทนี้ พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ตามข้อกำหนดตลอดอายุการเก็บ ทั้งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคคือ *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* และ *Salmonella* spp. (ตารางที่ 41 และ 42) การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่า ไส้กรอกที่เก็บไว้ 0, 7 และ 14 วัน ได้รับการยอมรับของผู้บริโภคในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำ และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย (ตารางที่ 43 และ 44) และเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่าทางกายภาพคือ ความแข็งลดลง ($p\leq0.05$) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวมีค่าลดลง (ตารางที่ 45 และ 46)

ตารางที่ 41 ปริมาณจุลินทรีย์ของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้ที่บรรจุในถุง LDPE บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์		การประเมินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.330/2547)
	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	
0	< 30	<30	ผ่าน
7	< 30	<30	ผ่าน
14	< 30	<30	ผ่าน

ตารางที่ 42 ปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้ เก็บไว้ในถุง LDPE บรรจุแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่อายุการเก็บ 14 วัน

เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค	ปริมาณจุลินทรีย์	มาตรฐานสากล
Escherichia coli	<3.0 MPN per g	ผ่าน
Listeria monocytogenes	0 cfu per 25 g	ผ่าน
Salmonella spp.	0 cfu per 25 g	ผ่าน

ตารางที่ 43 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้ที่บรรจุในถุง LDPE บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชุ่มน้ำ^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
0	5.95±1.33	5.90±1.64	6.23±1.84	6.30±1.82	5.82±1.83	6.07±1.87	6.48±1.53
7	6.08±1.43	6.00±1.59	6.57±1.52	6.77±1.54	5.97±1.56	6.05±1.51	6.42±1.38
14	6.05±1.36	5.95±1.55	6.58±1.31	6.28±1.61	6.08±1.48	5.85±1.56	6.15±1.51

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้

SOV	df	MS						
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชุ่มน้ำ	ความชอบโดยรวม
การทดลอง (วันที่)	2	0.289	0.150	2.339	4.517	1.072	0.872	1.867
ผู้ทดสอบ	59	1.371	2.371	2.295	2.506	2.988	2.711	2.174
Error	118	2.148	2.630	2.548	2.878	2.485	2.748	2.177

ตารางที่ 45 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้

วันที่	ความแข็ง	ความยืดหยุ่น ns	การยึดเกาะ ns	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว
0	5015.371 b ±176.445	0.860±0.011	0.574±0.032	2473.587 b ±145.570
7	4920.949 b ±250.937	0.861±0.013	0.569±0.072	2420.583 b ±389.634
14	4048.205 a ±160.602	0.872±0.016	0.565±0.038	1995.946 a ±206.752

a, b, และ c อักษรที่กำกับ มีความแตกต่างจากแถวตั้งเดียวกัน ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 46 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าลักษณะทางกายภาพของไส้กรอกเครื่องเทศอิมัลชั่นเสริมใยอาหารและเลือดจระเข้

SOV	df	MS			
		ความแข็ง	ความยืดหยุ่น	การยึดเกาะ	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว
การทดลอง (วันที่)	2	2274678.740*	0.000	0.003	548356.708*
Error	21	39965.175*	0.000	0.003	71917.133*

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อผลิต Functional food จากเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซทที่ผ่านการพิสูจน์ว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงซึ่งเป็นสารที่ใช้ลดความดันโลหิต โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำเสริมใยอาหาร

งานวิจัยเริ่มจากการผลิตไส้กรอกที่ใส่ส่วนผสมของเครื่องเทศสมุนไพรที่ตำบดละเอียด เพื่อใช้ลดกลิ่นคาวของเลือดจระเข้ที่จะใส่ในภายหลัง นอกจากนั้นการใส่เครื่องเทศสมุนไพรตำบดละเอียดยังเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารในไส้กรอก จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเป็นสูตรที่มีพริกขี้หนูแห้ง 7.3% ข่า 8.7% ตะไคร้ 21.8% ใบมะกรูด 5.8% หอมแดง 23.3% กระเทียม 11.6% กระชาย 8.7% กะปิ 5.8% ขมิ้นผง 4.4% และผิวมะกรูด 2.5% หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาการทดแทนไขมันในไส้กรอกด้วยอินนูลิน เนื่องจากอินนูลินเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลฟรุกโตสต่อกันเป็นสายและต่อกับน้ำตาลกลูโคส สามารถอุ้มน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ลดไขมันมีความชุ่มน้ำ ไม่แห้งกระด้าง และอินนูลินยังเป็นใยอาหารประเภทที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจะช่วยเสริมปริมาณใยอาหารที่มีในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ผลการทดลองพบว่าไส้กรอกสูตรที่ลดไขมันลงเหลือ 25% ของไขมันในสูตรตั้งต้นและเติมอินนูลิน 6% ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าการเสียน้ำหนักหลังปรุงสุกต่ำที่สุด และมีความเสถียรของอิมัลชั้นสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไส้กรอกสูตรที่มีการเติมอินนูลิน

เมื่อทำการศึกษาการทดแทนไขมันในไส้กรอกสูตรดังกล่าวด้วยเลือดจระเข้ไฮโดรไลเซทที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติง โดยใส่เลือดในไส้กรอกในปริมาณที่เพียงพอกับการออกฤทธิ์ทางยาของเลือด ซึ่งคิดที่ 500 มิลลิกรัมต่อวัน พบว่าไส้กรอกที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงที่สุดคือไส้กรอกที่มีการลดไขมันลงเหลือ 15% ของไขมันในสูตรตั้งต้น โดยไส้กรอกดังกล่าวมีค่าความแข็งสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าความยืดหยุ่น การเกาะติดกัน และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไส้กรอกสูตรลดไขมันสูตรอื่น จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบโดยประมาณพบว่า ไส้กรอกสูตรนี้มีปริมาณเส้นใย 0.72% และไขมันเพียง 3.5% ซึ่งถือว่ามีไขมันต่ำมากเมื่อเทียบกับไส้กรอกทั่วไปซึ่งมีไขมันประมาณ 25 – 45% และมีใยอาหาร 0%

จากการทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ผลิตได้ พบว่าไส้กรอกที่เก็บในถุง LDPE บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสสามารถเก็บได้ 14 วัน โดยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ และไม่พบความเปลี่ยนแปลงความชอบของผู้บริโภค ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ 14 วัน โดยได้รับความชอบระดับชอบเล็กน้อย

ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้ทราบถึงฤทธิ์ที่แท้จริง และสามารถอ้างสรรพคุณทางยาของไส้กรอกที่ผลิตได้ในฐานะที่เป็น Functional food ควรมีการทดสอบฤทธิ์การลดความดันโลหิตใน Clinical trial
2. ถ้ามีการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น คาราจีแนน หรือ แซนแทนกัม อาจช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไส้กรอกให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น หรือมีความต้านแรงกัดได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

นิรนาม. 2550. สารทดแทนไขมัน (fat replacers). มหาวิทยาลัยรามคำแหง. แหล่งที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-5.pdf. เข้าถึงเมื่อ 4 มิถุนายน 2552.

ปิติ นิยมศิริวนิช. 2550. อินนูลิน (inulin). แหล่งที่มา : http:// www.thaifittips.com/ supplement019 .html. [online]. เข้าถึงเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2552.

พัชรีย์ พัฒนากุล. 2545. การใช้น้ำมันพืชอังคัก โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาคุณภาพในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์.. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สหมิตรออฟเซต. 2536

สิรินดา กุสุมภ์, จินดาวรรณ สิรันทวิเนติ และวิน เชยชมศรี. 2551. สารยับยั้งแองจิโอเทนซินคอนเวอร์ตติงเอนไซม์ในเลือดจระเข้ไทย. รายงานการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยแผนงานสนับสนุนการวิจัยรองรับการเปลี่ยนแปลงและพลวัตโลกเพื่อแก้ปัญหาสำคัญของชาติอย่างสมดุลและยั่งยืน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

Abubakar, A., Saito, T., Kitazawa, H., Kawai, Y., and Itoh, T. 1998. Structural analysis of new antihypertensive peptides derived from cheese whey protein by proteinase K digestion. *J. Dairy Sci*. 81 : 3131-3138.

Ahmed, S., Kozma, R., Monfries, C., Hall, C., Lim, H.H., and Smith, P., 1990. Human brain n-chimaerin cDNA encodes a novel phorbol ester receptor. Biochem. J. 272 : 767-773

AOAC. 1995. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Washington DC.

Barbut, S., and Mittal, G.S. 1989. Effect of salt reduction on the rheological and gelation properties of beef pork and poultry meat batters. Meat Science 26(3) : 177-191

Cengiz, E., and Gokoglu, N. 2005 Changes in energy and cholesterol contents of frankfurter-type sausages with fat reduction and far replacer addition. Food Chem. 91 : 443

Choi, Y.S., Choi, J.H., Han, D. J., Kim, H. Y., Lee, M. A., Kim, H. W., Jeong, J. Y., and Kim, C. J. 2009. Characteristics of low-fat emulsion systems with pork fat replaced by vegetable oils and rice bran fiber. Meat Science 82(2) : 266-271

Cierach, M., Modzelewska-Kapitula M., and Szacilo, K. 2009. The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters. Meat Science 82 : 295-299.

Cierach, M., Modzelewska-Kapitula M., and Szacilo, K. 2009. The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters. Meat Science 82 : 295-299.

Claus, J.R., Hunt, M.C. and Kastner, C.L. 1990. Effects of substituting added water for fat on the textural, sensory, and processing characteristics of bologna. J. Muscle Foods 1(1) : 1-21

Colmenero, F. J. 1996. Technologies for developing low-fat meat products. Trends in Food Sci Technol. 7 : 41-48

Garcia, M.L., Caceres, E., and Selgas, M.D. 2006. Effect of inulin on the textural and sensory properties of mortadella, a spainish cooked meat product. International Journal of Food Science and Technology 41 : 1207-1215.

Hata, Y., Yamamoto, M., Ohni, M., Nakajima, K., Nakamura, Y., and Takano, T. 1996. A placebo-controlled study of the effect of sour milk on blood pressure in hypertensive subjects. *Am. J. Clin. Nutr*. 64 : 767-771.

Johnston, C. 1992. Renin-angiotensin system: A dual tissue and hormonal system for cardiovascular control. *J. hypertension*. 10 (suppl 7) : s13-s26.

Kusump, S., Silva-Hernandez, E.R., and Ozimek, L. 2007. Isolation of angiotensin converting enzyme inhibitory peptides from casein hydrolysates by ultrafiltration. *Milchwissenschaft*. 62(3) : 260-263.

Maeno, M., Nakamura, Y., Mennear, J.H., and Bernard, B.K. 2005. Studies of the toxicological potential of tripeptides (L-valyl-L-prolyl-L-proline and L-isoleucyl-L-prolyl-L-proline): III. Single-and/or repeated-dose toxicity of tripeptides containing Lactobacillus helvelitcus fermented milk powder and casein hydrolysate in rats. *Int. J. Toxicol*. 24 : 13-23 Suppl. 4.

Maruyama, S., and Suzuki, H. 1982. A peptide inhibitor of angiotensin converting enzyme in the tryptic hydrolysate of casein. *Agric. Biol. Chem*. 46(5) : 1393-1394.

Maruyama, S., Mitachi, H., Awaya, J., Kurono, M., Tomizuka, N., and Suzuki, H. 1987. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of the C-terminal hexapeptide of α(S1)-casein. *Agric. Biol. Chem*. 51(9) : 2557-2561.

Maruyama, S., Nakagomi, K., Tomizuka, N., and Suzuki, H. 1985. Angiotensin-I converting enzyme inhibitor derived from an enzymatic hydrolysate of casein. II. Isolation and bradykinin potentiating activity on the uterus and the ileum of rats. *Agric. Biol. Chem*., 49(5) : 1405-1409.

McAlister, F.A., Levine, M., Zarnke, K.B., Campbell, N., Lewanczuk, R., Leenen, F., Rabkin, S., Wright, J.M., Stone, J., Feldman, R.D., Lebel, M., Honos, G., Fodor, G., Burgess, E., Tobe, S., Hamet, P., Herman, R., Irvine, J., Culleton, B., Petrella, R., and Touyz, R.

2001. The 2000 Canadian recommendations for the management of hypertension: Part one — Therapy. *Can. J. Cardiol*. 17 : 543-559.

McAuley, C. and Mauson, R. 1994. Low fat and low salt meat product ingredients. Food Australia 46 (6) : 283-286

Meisel, H., Goepfert, A., and Gunther, S. 1997. ACE-inhibitory activities in milk products. *Milchwissenschaft*. 52 : 307-311.

Mendoza, E., Garcia, M.L., Casas, C., and Selgas, M.D. 2001. Inulis as fat substitute in low fat, dry fermented sausage. Meat Science 57 : 387-393.

Mittal, G. S. and Barbut, S. 1994. Effects of carrageenans and xanthan gum on the texture and acceptability of low fat frankfurters. Journal of Food Processing and Preservation 18(3) : 201–216.

Nakamura, Y., Yamamoto, N., Sakai, K., Okubo, A., Yamazaki, S., and Takano, T. 1995. Purification and characterization of angiotensin-I converting enzyme inhibitors from sour milk. *J. Dairy Sci*. 78 : 777-783.

Opie, L. H. 1994. *Angiotensin Converting Enzyme Inhibitors – Scientific Basic for Clinical Use*. John Willey and Sons. New York. 218-225.

Oshima, G., Shimabukuro, H., and Nagasawa, K. 1979. Peptide inhibitors of angiotensin I-converting enzyme in digests of gelatin by bacteria collagenase. *Biochimica et Biophysica Acta*. 566 : 128-137.

Paneras, E.D. and Bloukas, J.G. 1994. Vegetable oils replace pork backfat for low-fat frankfurters. J. Food Sci 59 : 725

Pearson, A.W. and Gillett, T.A. 1996. Processed Meat. 3nd ed. New York Chapman & Hall

Takano, T. 1998. Milk derived peptides and hypertension reduction. Int. Dairy J., 8(5-6) : 375-381.

TaKi, G.H. 1991. Functional ingredient blend produces low-fat meat products to meat consumer expectation

Yamamoto, N., Akino, A., and Takano, T. 1994. Antihypertensive effect of the peptides derived from casein by an extracellular proteinase from *Lactobacillus helveticus* CP790. *J. Dairy Sci*. 77(4) : 917-922.

Yu, Y., Hu, J., Miyaguchi, Y., Bai, X., Du, Y., and Lin, B. (2006) Isolation and characterization of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides derived from porcine hemoglobin. *Peptides*. 27 : 2950-2956.