บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ไส้กรอก (Sausages) (ลักขณา, 2540b)

ไส้กรอก (Sausages) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อและไขมัน ผสมกับเครื่องเทศ เกลือ และเครื่องปรุงรสต่าง ๆ ผ่านการบดจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาบรรจุในไส้หรือแบบเพื่อให้คงรูปร่างอยู่ได้ ความแตกต่างของไส้กรอกขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อสัตว์ เครื่องเทศ ไส้บรรจุ และวิธีการผลิต ไส้กรอกสามารถจัดแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. ไส้กรอกสด (Fresh sausages) เป็นไส้กรอกที่ได้จากการบดหรือสับเนื้อ แล้วนำมาผสมกับเครื่องปรุงต่าง ๆ บรรจุในไส้บรรจุชนิดแท้ (natural casing) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ลำไส้เล็กของสุกรและแกะ ไส้จะถูกมัดเป็นปล้อง ๆ เก็บในตู้เย็นหรือห้องเย็น เวลาจะรับประทานมักจะนำไปทอด ปิ้ง หรืออบให้สุกเสียก่อน ตัวอย่างของไส้กรอกกลุ่มนี้ได้แก่ ไส้กรอกหมู ไส้กรอกเนื้อ chipolatas และไส้กรอกอีสาน เป็นต้น

2. ไส้กรอกสุก (Cooked sausages หรือ Domestic sausages) เป็นไส้กรอกที่ได้จากการบดเนื้อผสมกับเครื่องปรุง บรรจุลงในไส้แท้ (natural casing) หรือไส้เทียม (artificial casing) จากนั้นอาจผ่านการรมควันหรือต้มให้สุก ตัวอย่างของไส้กรอกกลุ่มนี้ได้แก่ bologna, vienna frankfurter, blood sausages และ beef or pork luncheon เป็นต้น

3. ไส้กรอกแห้ง (Dried sausages) เป็นไส้กรอกที่ทำจากเนื้อสัตว์หลายชนิด นำมาหมักและบรรจุลงในไส้ ทำให้แห้งภายในสภาวะควบคุม ซึ่งอาจรมควันโดยใช้อุณหภูมิสูง มีบางชนิดที่ทำแห้งโดยการผึ่งแดดหรืออบด้วยความร้อนและยังไม่สุก เช่น กุนเชียง (chinese sausages) ตัวอย่างของไส้กรอกกลุ่มนี้ได้แก่ salami, pepperoni และกุนเชียง

การจัดแบ่งชนิดของไส้กรอกโดยใช้เนื้อสัมผัสเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

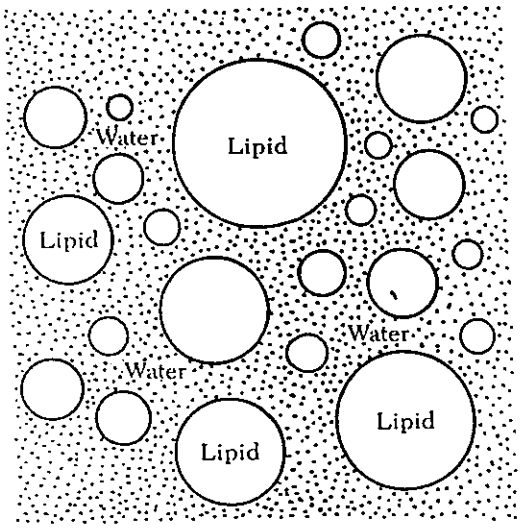
1. ไส้กรอกลักษณะเนื้อหยาบ (Coarse sausages) เนื้อไส้กรอกจะมีลักษณะหยาบ ไม่รวมตัวกันเป็นอิมัลชั่น สามารถสังเกตเห็นส่วนผสมหลัก ๆ ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากผ่านการบดด้วย

เครื่องบดเนื้อธรรมดา กล่าวคือเนื้อจะถูกลดขนาดลงแต่เส้นใยกล้ามเนื้อยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างของไส้กรอกประเภทนี้คือ กุนเชียง ซาลามี ไส้อั่ว และไส้กรอกอีสาน

2. ไส้กรอกบดละเอียด (Emulsion sausages) ส่วนผสมของเนื้อที่ใช้เป็นเครื่องปรุงหลักถูกบดและสับละเอียดจนกระทั่งโครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนไป กล่าวคือ มีโปรตีนแอกตินและไมโอซินแยกออกมานอกเส้นใย ทำให้ส่วนผสมแปรเปลี่ยนเป็นมวลเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะส่วนผสมที่เรียกว่า อิมัลชั่น ตัวอย่างของไส้กรอกประเภทนี้คือ ไส้กรอกเวียนนา ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ โบโลญญา ลูกชิ้น และหมูยอ เป็นต้น

ไส้กรอกอิมัลชั่น

อิมัลชั่น (Emulsion) หมายถึง การผสมและอยู่รวมกันของของเหลว 2 ชนิด (ที่ปกติไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน) ให้อยู่รวมกัน โดยของเหลวชนิดหนึ่งกระจายอยู่โดยทั่วไปในส่วนผสม และอยู่ในรูปของหยดเล็กละเอียด (droplets) ของเหลวชนิดนี้เรียกว่า dispersed phase ส่วนของเหลวอีกส่วนหนึ่งที่ dispersed phase กระจายตัวอยู่เรียกว่า continuous phase ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดเล็กละเอียดประมาณ 0.1-0.5 ไมโครเมตร (μm) ดังในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงอิมัลชั่นของน้ำมันในน้ำ โดยไขมันหยดเล็กละเอียดเป็น dispersed phase และน้ำเป็น continuous phase

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

อิมัลชั่นจะคงตัวอยู่ได้ไม่นานถ้าขาด emulsifying หรือ stabilizing agent เนื่องจากเมื่อหยดไขมันสัมผัสกับระบบน้ำจะมีแรงตึงผิวสูงมาก (interfacial tension) จึงต้องการ emulsifying agent มาลดแรงนี้ลง สำหรับระบบอิมัลชั่นในผลิตภัณฑ์เนื้อนั้น โปรตีนไมโอซินที่ถูกสกัดออกมานั้นจะไปทำหน้าที่เป็น emulsifying agent ซึ่งเป็นรูปแบบของอิมัลชั่นที่มีหยดไขมันเล็กละเอียดถูกห่อหุ้มไว้ด้วยโมเลกุลของ emulsifying agent และสัมผัสกับน้ำที่อยู่รอบนอกหยดไขมัน ถ้าในระบบนั้นมี emulsifying agent มากเพียงพอก็จะทำให้ทั้งระบบนั้นเป็น emulsion ที่คงทนได้นาน ส่วนโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนั้น ไม่สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้ จึงลอยตัวอยู่ได้โดยอิสระและไม่มีผลใด ๆ ต่อความเป็นอิมัลชั่น เมื่อโปรตีนถูกสกัดและละลายออกมามากพอแล้ว ก็จะทำให้อิมัลชั่นมีความคงทนมากขึ้น ซึ่งโปรตีนไมโอซินและแอกตินในเนื้อจะมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำเกลือเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการผสมเกลือเข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนแรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะบดหยาบ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมทำในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูปที่มีลักษณะเป็นอิมัลชั่น (สัญชัย, 2543) นอกจากนี้ระบบอิมัลชั่นของไส้กรอกเกิดจากการผสมระหว่างโปรตีน ไขมัน และน้ำเข้าด้วยกัน ในส่วนของโปรตีนส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่ได้จากสัตว์ สำหรับไขมันที่ได้จากส่วนอกและส่วนหลังของสัตว์ ถือว่าเป็นไขมันส่วนที่ดีที่สุดในการทำผลิตภัณฑ์ไส้กรอก (Savic, 1985)

การใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันสัตว์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ปัจจุบันนี้ผู้บริโภคให้ความสนใจด้านคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของอาหารมากขึ้น การบริโภคไขมันสัตว์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารในปริมาณมากจะทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดสูงขึ้น และอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคเส้นเลือดตีบในหัวใจได้ (Grundy, 1986; Ambrosiadis *et al.*, 1996) ไส้กรอกหมูเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทเนื้อสัตว์ที่มีส่วนผสมหลักได้แก่ เนื้อสัตว์ ไขมันสัตว์ และน้ำแข็ง ปริมาณคอเลสเตอรอลในไส้กรอกหมูที่ผ่านการทอดแล้วมีประมาณ 77 มิลลิกรัมต่อไส้กรอก 100 กรัม ส่วนประกอบหลักของไส้กรอกที่มีคอเลสเตอรอลคือไขมันหมู ซึ่งมีปริมาณคอเลสเตอรอล 89 มิลลิกรัมต่อไขมันหมู 100 กรัม และเนื้อหมูไม่ติดมันมี 49 มิลลิกรัมต่อเนื้อหมู 100 กรัม (พิมพรและวิไลลักษณ์, 2532) ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันสัตว์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชั่นจึงเป็นการช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลและสามารถลดกลิ่นหืนในไส้กรอกได้ด้วย เนื่องจากน้ำมันพืชมีคอเลสเตอรอลในปริมาณน้อยมาก (Marquez *el at.*, 1989)

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางกายภาพของกรดไขมันที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของไขมัน ได้แก่ จุดหลอมเหลว (melting point) Swift *et al.* (1968) พบว่าการใช้น้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาทำผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทอิมัลชั่นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรต่ำและมีความมันเลี่ยนสูง ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวอาจพัฒนาให้ดีขึ้นได้โดยการลดปริมาณไขมันจากสูตรการผลิตให้น้อยลง หรืออาจใช้น้ำมันที่ถูกสับผสมในลักษณะที่ทำให้เกิดโฟม (pre-emulsion) เพื่อใช้ทดแทนไขมันสัตว์ ก็จะทำให้ได้ลักษณะที่ดีขึ้นและสามารถใช้ทดแทนไขมันสัตว์ได้ทั้งหมดในสูตรการผลิต อย่างไรก็ตามคุณลักษณะด้านความแน่นเนื้อ (firmness) จะมีค่าลดลง แต่ก็ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคมีมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันที่ไม่ผ่านการสับผสม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีปริมาณคอเลสเตอรอลน้อยกว่าอีกด้วย Zayas (1985) พบว่าการใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการสับผสม (pre-emulsion) ในไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ทำให้ความสามารถในการจับตัวกับน้ำ (water binding capacity) มีมากกว่าไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชที่ไม่ผ่านการสับผสม ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของน้ำมันพืชโดยการสับผสมเพื่อให้เกิดโฟมก่อนที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์ จึงเป็นแนวทางในการใช้น้ำมันพืชเพื่อทดแทนไขมันสัตว์ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวต้องอาศัยเครื่องมือ vacuum chopper ที่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันพืชด้วยการทำ pre-emulsion จึงเป็นไปได้ค่อนข้างยาก อีกวิธีหนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำมันพืชก่อนนำมาทำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยวิธีการแช่แข็ง โดยอาศัยหลักการที่ว่า จุดหลอมเหลวเป็นค่าที่บ่งชี้ความแข็งของเนื้อเยื่อที่อุณหภูมิ ณ จุดแข็งตัว (solidifying point) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว 2-3°ซ โดยจุดหลอมเหลวของน้ำมันแต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของโซ่คาร์บอน (carbon chain) ที่เพิ่มมากขึ้น และลดลงเมื่อมีพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ดังนั้นน้ำมันแต่ละชนิดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่างกันจะมีความแข็งตัวที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิเดียวกันน้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะกลายเป็นไขหรือมีความแข็งตัวได้มากกว่าน้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันพืชบางชนิดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะแปรเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไข ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทนไขมันสัตว์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้ดี จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันบางชนิดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงจุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ชนิดไขมันและน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
ไขแกะ	44-51
ไขวัว	40-48
เนย	28-36
โคค่าบัตเตอร์	28-36
น้ำมันมะพร้าว	23-28
น้ำมันข้าวโพด	-10 ถึง –12
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	-2 ถึง +2
น้ำมันหมู	33-46
น้ำมันลินสีด	-16 ถึง –25
น้ำมันมะกอกน้ำมัน	-3 ถึง 0
ปาล์มเดอเนล	24-28
น้ำมันปาล์ม	27-50
น้ำมันถั่วลิสง	-2
น้ำมันงา	-4 ถึง –0
น้ำมันถั่วเหลือง	-20 ถึง –23
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	-16 ถึง –18

ที่มา : นิธิยา (2541)

คุณสมบัติของน้ำมันและไขมัน

น้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงปริมาณขององค์ประกอบแต่ละชนิดได้ คุณสมบัติเหล่านั้นได้แก่ 1) ความถ่วงจำเพาะ ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ที่โมเลกุลของกรดไขมันมากหรือมีจำนวนคาร์บอนมากจะมีความถ่วงจำเพาะสูง 2) ค่าไอโอดีน บ่งบอกถึงปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งหากมีค่าสูงแสดงว่ามีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง 3) ค่าซาปอนนิฟิเคชั่น บ่งบอกถึงขนาดโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันนั้น ๆ ค่าซาปอนิฟิเคชั่นจะสูงเมื่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนัก

โมเลกุลต่ำ 4) ปริมาณสารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง (unsaponifiable matter) บ่งบอกถึงปริมาณสารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งจะเหลืออยู่หลังจากไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง (saponification) สารเหล่านั้นได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสารสเตอรอล 5) ค่าการหักเหของแสง กรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากหรือมีจำนวนคาร์บอนมากจะมีค่าการหักเหของแสงสูง

คุณลักษณะของน้ำมันพืชบางชนิด (นิธิยา, 2541)

น้ำมันถั่วเหลือง เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดของถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) ซึ่งมีน้ำมันประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ข้อเสียของน้ำมันชนิดนี้คือสามารถเกิดออกซิเดชั่นได้ง่าย เมื่อสัมผัสกับอากาศและความร้อนสูง องค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองจะมีกรดไขมันอิสระปนอยู่ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่สำคัญได้แก่ กรดลิโนเลอิค ซึ่งมีอยู่ประมาณ 43-56 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลนิคมีประมาณ 5-11 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดลิโนเลอิคและกรดลิโนเลนิคนั้น มีคุณสมบัติช่วยลดคอเลสเตอรอลได้ นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวประมาณ 11-26 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองตามมาตรฐานมีดังนี้ ความถ่วงจำเพาะ (25°ซ) เท่ากับ 0.917-0.921 ค่าไอโอดีน (Wijs) เท่ากับ 120-141 ค่าซาปอนิฟิเคชั่น เท่ากับ 189-195 ปริมาณสารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าการหักเหของแสง (25°ซ) เท่ากับ 1.470-1.476

น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดดอกทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) เมล็ดดอกทานตะวันมีน้ำมันประมาณ 20-36 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันประกอบด้วย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิค มีกรดลิโนเลอิค 4-8 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลนิคน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ สมบัติของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันตามมาตรฐานมีดังนี้ ความถ่วงจำเพาะ (25°ซ) เท่ากับ 0.915-0.919 ค่าไอโอดีน (Wijs) เท่ากับ 125-136 ค่าซาปอนิฟิเคชั่น เท่ากับ 188-194 ปริมาณสารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าการหักเหของแสง (25°ซ) เท่ากับ 1.472-1.474

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันที่ได้จากเนื้อ (mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) สมบัติของน้ำมันปาล์มตามมาตรฐานมีดังนี้ ความถ่วงจำเพาะ (25°ซ) เท่ากับ 0.921-0.925 ค่า

ไอโอดีน (Wijs) เท่ากับ 45-60 ค่าซาปอนิฟิเคชั่น เท่ากับ 190-209 ปริมาณสารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ และค่าการหักเหของแสง (25°ซ) เท่ากับ 1.453-1.456

เนยขาว คือไขมันหรือน้ำมันที่นำมาผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า plastic fat เนยขาวสามารถเตรียมให้มีเนื้อสัมผัสอ่อนหรือแข็งได้ตามต้องการ โดยขึ้นอยู่กับ degree of hydrogenation องค์ประกอบของเนยขาวหลังจากที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นและรสชาติออกแล้ว จะมีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่น้อยกว่า 0.02 เปอร์เซ็นต์ และมีสารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเหลืออยู่น้อยมาก เนยขาวชนิดแข็งเป็นเนยขาวที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนอย่างสมบูรณ์ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบจะเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด มีสถานะเป็นของแข็ง มีความคงตัวสูง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนยขาวชนิดนี้จะค่อย ๆ อ่อนตัวลง และเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงก็จะกลับเป็นของแข็งได้ตามเดิม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันสัตว์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ได้มีผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันสัตว์ในการผลิตไส้กรอกดังนี้ Marquez *et al.* (1989) ได้ศึกษาการเติมน้ำมันถั่วลิสงทดแทนไขมันวัวคิดเป็น 60% ของปริมาณไขมันทั้งหมดตามสูตรการผลิต โดยทำการทดลองในไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ ปริมาณของไขมันในสูตรการผลิตมี 3 ระดับคือ 12% 20% และ 29% พบว่าในสูตรไส้กรอกที่มีการเติมน้ำมันถั่วลิสงจะมีปริมาณคอเลสเตอรอลต่ำกว่าไส้กรอกที่เติมไขมันวัว ซึ่งการเพิ่มปริมาณไขมันในสูตรการผลิตจาก 12% เป็น 29% จะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง 16.93% และ 33.99% ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากการสัดส่วนการแทนที่ไขมันวัวด้วยน้ำมันถั่วลิสงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ความเสถียรของระบบอิมัลชั่นระหว่างสูตรไส้กรอกที่มีปริมาณไขมันแตกต่างกันจะมีความเสถียรแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อแสดงอยู่ในรูปปริมาณน้ำที่ไม่เสถียรและถูกปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าสูตรที่มีการเติมน้ำมันถั่วลิสงทดแทนไขมันวัวจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสูตรที่เติมเพียงไขมันวัวเท่านั้น การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านความฉ่ำน้ำ (juiciness) รสชาติ (flavor) สี (color) เนื้อสัมผัส (texture) และการยอมรับโดยรวม (overall acceptability) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามการวัดสีด้วยเครื่องมือวัดสามารถตรวจสอบได้ว่า สูตรที่เติมน้ำมันถั่วลิสงทดแทนไขมันวัวจะมีค่าความสว่าง L- value (lightness) สูงกว่าสูตรที่เติมเพียงไขมันวัวเท่านั้น

Ambrosiadis *et al.* (1996) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส กายภาพ และเคมีของไส้กรอกอิมัลชั่นที่มีการใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันสัตว์ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดในสูตรที่มีการเติมไขมันสัตว์ (control) รองลงมาคือ สูตรที่เติมน้ำมันเมล็ดคอกทานตะวัน หรือสูตรที่เติมน้ำมันเมล็ดข้าวโพด ซึ่งคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน ลำดับต่อมาได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย ตามลำดับ ความเสถียรของระบบอิมัลชั่นไม่มีความแตกต่างกันในสูตรที่มีการเติมน้ำมันพืช ยกเว้น น้ำมันปาล์ม และไขมันสัตว์ ซึ่งมีความเสถียรมากกว่า ค่าความสว่างในไส้กรอกที่มีการเติมน้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าไส้กรอกที่เติมไขมันสัตว์ ค่าสีแดง (α value) ในไส้กรอกที่เติมไขมันสัตว์จะมีสีแดงมากกว่าไส้กรอกที่เติมน้ำมันพืช นอกจากนี้การใช้น้ำมันเมล็ดคอกทานตะวันหรือเมล็ดข้าวโพดแทนที่ไขมันสัตว์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่มีการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติดีกว่าการใช้น้ำมันพืชชนิดอื่น

Pal and Agnihotri (1996) ได้ทำการศึกษาการแทนที่ไขมันแพะด้วยน้ำมันพืชจากเมล็ดมัสตาร์ด (refined mustard seed oil) ใน Chevon sausages โดยใช้ไขมันในสูตรเท่ากับ 15 % แล้วทำการแทนที่ด้วยน้ำมันพืชดังกล่าวในปริมาณ 0% 7.5% และ 15% ตามลำดับ พบว่าส่วนผสม (batter) มีความเสถียรลดลงและการแยกชั้นของไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการแทนที่ด้วยน้ำมันพืชสูงขึ้น Hammer (1992) พบว่าการแทนที่ไขมันหมูด้วยน้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดคอกทานตะวันไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกเลี่ยน (oily) แต่อาจทำให้เนื้อสัมผัสแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (crumbly) นอกจากนี้ผลการทดลองด้านสียังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ambrosiadis *et al.* (1996) กล่าวคือ ไส้กรอกที่มีการเติมน้ำมันพืชจะให้ความเข้มของสีแดงน้อยกว่าไส้กรอกที่เติมไขมันสัตว์

ดังนั้นการทดแทนไขมันหมูด้วยน้ำมันพืชในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจึงมีความเป็นไปได้ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำมันพืชโดยอาศัยจุดหลอมเหลวเป็นหลัก อย่างไรก็ตามคุณลักษณะที่ได้อาจยังไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะสีและความเสถียรของอิมัลชั่น จึงต้องมีการนำสารเติมแต่งอื่น ๆ เพิ่มเข้าไปในผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบและการเปลี่ยนสีในเนื้อสัตว์ (ลักขณา, 2540a)

1. Sarcoplasmic protein หมายถึง โปรตีนที่พบอยู่ภายในกล้ามเนื้อของสัตว์ สามารถสกัดออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อได้ด้วยการใช้น้ำเกลือชนิดเจือจาง โปรตีนชนิดนี้ประกอบด้วยสารย่อย

คาเทปซินที่มีคุณสมบัติย่อยโปรตีนอื่น ๆ ได้ด้วย โปรตีนดังกล่าวจะเป็นตัวประสาน (emulsifier) กับไขมันได้ดีเท่า ๆ หรือดีกว่าโปรตีนไมโอไฟบริลลา (myofibrilla protein) แต่อิมัลชั่นมักไม่คงทนเท่าอิมัลชั่นจากโปรตีนไมโอไฟบริลลา โปรตีนคลุ่มนี้ได้แก่ เฮโมโกลบิน (haemoglobin) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 68,000 และไมโอโกลบิน (myoglobin) มีน้ำหนักโมเลกุล 17,000 สารทั้งสองเป็นรงควัตถุในเลือดและกล้ามเนื้อตามลำดับ

ในเนื้อเยื่อของสัตว์ขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ โปรตีนไมโอโกลบินทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมออกซิเจนไว้ เพื่อนำออกมาใช้ในปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อ ความต้องการออกซิเจนแตกต่างกันในกล้ามเนื้อที่มาจากส่วนที่ต่างกัน เนื่องจากมีหน้าที่และกิจกรรมที่แตกต่างกันออกไป จึงส่งผลให้ปริมาณไมโอโกลบินไม่เท่ากัน นอกจากนี้ปริมาณไมโอโกลบินของสัตว์ต่างชนิดกันก็มีความแตกต่างกันด้วย

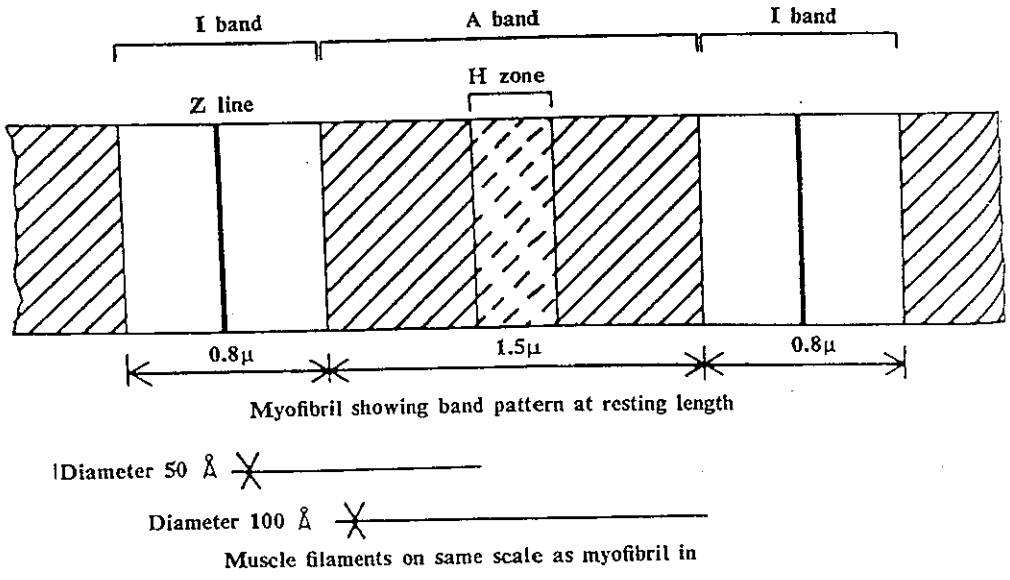
เมื่อสัตว์ถูกฆ่าตายใหม่ ๆ สีของกล้ามเนื้อจะมีสีแดงอมม่วง (purplish-red) เมื่อทิ้งไว้สักครู่ออกซิเจนในบรรยากาศจะทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบินทำให้ได้เนื้อสีแดงสดใส (bright red) เนื่องจากการเกิด "ออกซีไมโอโกลบิน" (oxymyoglobin) เนื้อจะมีสีสดคล้ายผลเชอรี่ (bright cherry red) เม็ดสีของเนื้อทั้งไมโอโกลบินและออกซีไมโอโกลบินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) หรือสูญเสียอิเล็กตรอนทำให้ได้สารสีที่เรียกว่า เมธไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ซึ่งมีสีน้ำตาล การเปลี่ยนสีดังกล่าวทั้ง 3 ชนิดนี้ จะเกิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเท่านั้น เมื่อเมธไมโอโกลบินถูกความร้อนจะเกิดเป็น "denatured metmyoglobin" มีสีน้ำตาลและไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสีอื่น ๆ ได้อีก ปฏิกิริยาแสดงในสมการดังนี้

	$+O_2$		Oxidation		Heat	
ไมโอโกลบิน	$\rightleftharpoons$	ออกซีไมโอโกลบิน	$\rightleftharpoons$	เมธไมโอโกลบิน	$\rightleftharpoons$	Denatured
(Myoglobin)	$-O_2$	(Oxymyoglobin)		(Metmyoglobin)		Metmyoglobin
สีแดงม่วง		สีชมพูสดใส		สีน้ำตาล		สีน้ำตาล-เทา

2. Myofibrilla protein หรือ Contractile protein เป็นโปรตีนในเนื้อสัตว์ที่ทำหน้าที่ในการยืดหดของกล้ามเนื้อในขณะที่สัตว์มีชีวิตอยู่ ทำให้สัตว์เคลื่อนไหวไปมาได้ โปรตีนไมโอไฟบริลลาเป็นโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือเข้มข้น คือมี ionic strength เท่ากับ 0.3 ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทไส้กรอกอิมัลชั่นนั้น การเติมเกลือ 3% ลงไปก่อน หรือขณะกำลังสับละเอียด (chopping) นั้น ทำให้สามารถสกัดโปรตีนชนิดนี้ออกมาได้ในปริมาณสูง ซึ่งโปรตีนดังกล่าวจะทำหน้าที่ประสานหรือ

ห่อหุ้มรอบ ๆ หยดไขมันต่อไป ทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า "อิมัลชั่น" ซึ่งอิมัลชั่นที่ได้จะคงทนอยู่เมื่อโปรตีนในเนื้อถูกความร้อน ทำให้คงรูปร่างเป็นเจลอยู่ได้นาน โปรตีนในกลุ่มนี้คือ แอคติน (actin) ไมโอซิน (myosin) โทรโปนีน (troponin) และโทรโปไมโอซิน (tropomyosin)

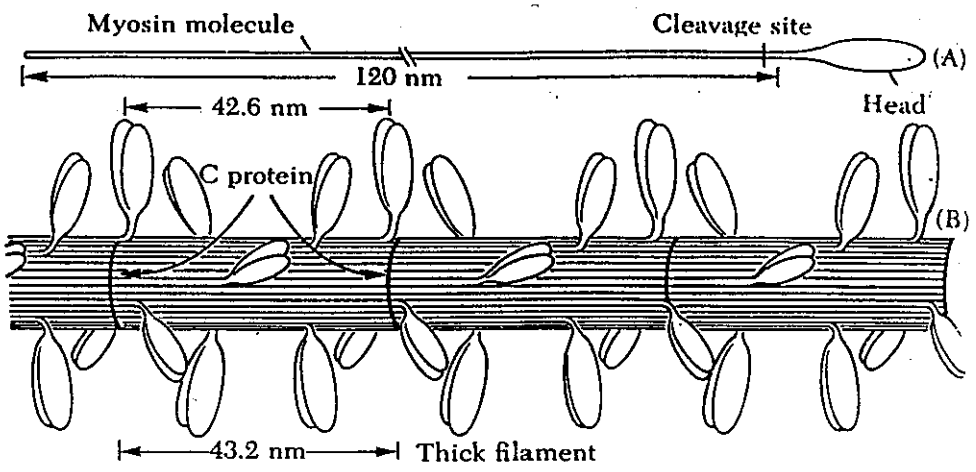
เส้นใยย่อยหรือเส้นใยฝอย (Myofibril) หมายถึงโครงสร้างที่ทำหน้าที่ยืดหดตัวภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ มีรูปร่างเป็นเส้นยาวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) ภายในเส้นใยย่อยจะปรากฏลักษณะลายให้เห็นเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เส้นใยย่อย เหล่านี้เรียงตัวตามทางยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยมีซาร์โคปลาสซึมหล่อเลี้ยงอยู่โดยตลอด เมื่อตัดเอาเส้นใยกล้ามเนื้อออกมาดู จะประกอบไปด้วยเส้นใยจำนวนมาก ในแต่ละเส้นใยย่อยจะเห็นแถบพื้นที่ทึบแสงอยู่สลับกับแถบโปร่งแสง ทำให้เกิดหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) เส้นเขตพื้นที่ของซาร์โคเมียร์จะเป็นเส้นบางแต่ชัดเจนเรียกว่า Z line ซึ่งมี 2 เส้น ภายในแต่ละซาร์โคเมียร์จะพบว่ามีแถบทึบแสงอยู่ในบริเวณส่วนกลางมีชื่อเรียกว่า A band (anisotropic band) ส่วนแถบโปร่งแสงมีพื้นที่อยู่ข้างละครึ่งของ Z line ซึ่งผ่ากลางอยู่นั้น เรียกบริเวณนั้นว่า I band (isotropic band) ภายในพื้นที่ A band จะพบว่ามีพื้นที่สีจางอยู่ตรงใจกลางปรากฏอยู่ พื้นที่นี้เรียกว่า H zone ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยย่อย

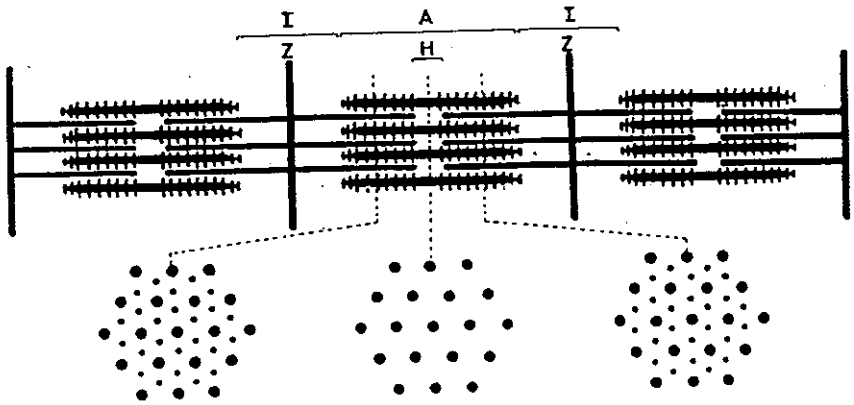
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

เส้นใยฝอยชนิดหนาหรือไมโอซิน จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 14-16 นาโนเมตร ยาวประมาณ 1.5 ไมครอน ใน A band จะประกอบไปด้วยโปรตีนไมโอซินเกือบทั้งหมด ดังนั้นจึงเรียกชื่อโดยทั่วไปว่า เส้นใยฝอยไมโอซิน (myosin filament) โปรตีนไมโอซินจะมีอยู่ประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย (myofibrillar protein) รูปร่างของโมเลกุลไมโอซินมีลักษณะรูปกลมยาว ปลายข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นก้อนหนา ๆ จึงเรียกว่า ส่วนหัว (head region) ซึ่งจะเป็นคู่ยื่นกางออกมาจากแนวยาวของเส้นใยฝอย ส่วนที่เป็นแท่งกลมยาวออกมาเรียกว่า ส่วนหาง (tail region) โดยมีส่วนเชื่อมระหว่างหัวกับหางเรียกว่า ส่วนคอ (neck) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงเส้นใยฝอยไมโอซิน (A) ไมโอซิน แสดงส่วนหัว หาง และคอ (B) เส้นใยฝอยไมโอซินแสดงส่วนหัวคู่ที่ยื่นกางออกมา ทั้งนี้โดยมี C โปรตีนผูกรอบทุก ๆ 42.6 นาโนเมตร
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

ส่วนกึ่งกลางของ A band นั้น จะเป็นส่วนหางของเส้นใยฝอยไมโอซินล้วน ๆ โดยไม่มีส่วนหัวของไมโอซินโมเลกุลอยู่เลย และบริเวณที่อยู่ภายในขอบเขตของ H zone เรียกว่า pseudo H zone ส่วนหัวที่ยื่นกางออกมาของไมโอซินโมเลกุล จะทำหน้าที่ในการเกิดการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยจะจับกับเส้นใยฝอยแอคตินสร้าง crossbridge ขึ้นมาก่อนที่จะปล่อยไปอีกตามจังหวะของการยืดหดตัว การเกิดขึ้นของ crossbridge นี้เองที่ทำให้เกิดส่วนผสมทางเคมีที่เรียกว่า actomyosin ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอาการเกร็งและแข็งตัวของกล้ามเนื้อ actomyosin จะมีปริมาณสูงในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตายโดยทั่ว ๆ ไป สภาวะของ crossbridge จะเปลี่ยนแปลงคือหมดสภาพเมื่อเกิดการคลายตัว (relaxation) ขึ้นในวงจรของการยืดหดตัว ดังภาพที่ 2.4

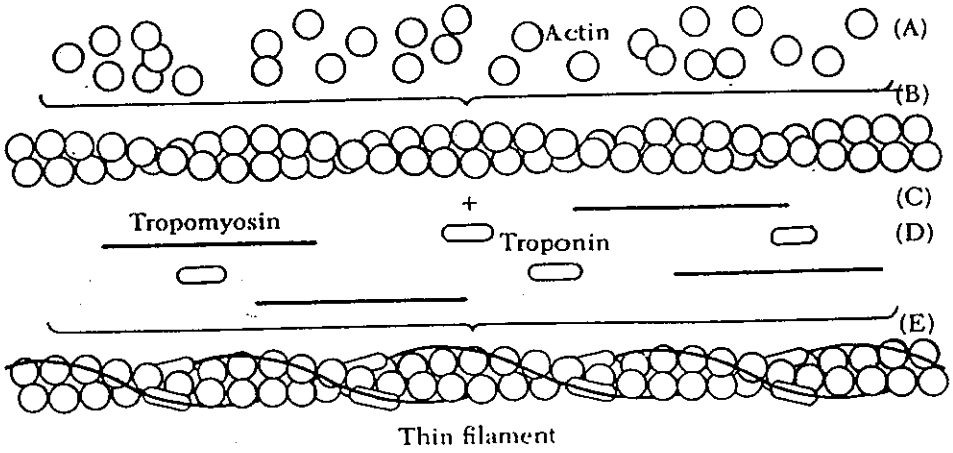


ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของเส้นใยฝอยชนิดหนาและบางในซาร์โคเมียร์ โดยตัวอย่างกล้ามเนื้อตามยาวและตามขวาง
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

เส้นใยฝอยชนิดบางหรือแอคตินมีอยู่ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย โมเลกุลของแอคตินประกอบด้วยกรดอะมิโน proline ในระดับสูง กรดชนิดนี้มีคุณสมบัติทำให้ polypeptide chain ของโมเลกุลแอคตินม้วนตัวเข้าหากันและเกาะกลุ่มกันเป็นรูปก้อนกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.5 นาโนเมตร เรียกว่า G-actin (globular actin) โมเลกุลของแอคตินจะเรียงตัวกันเป็นเส้นยาวโดยกระบวนการ polymerization เรียกเส้นนี้ว่า F-actin (fibrous actin) โดย F-actin จำนวน 2 เส้นจะม้วนตัวเข้าหากันเป็นเกลียวเชือกลักษณะ super helix และมีจุด isoeletric pH เท่ากับ 4.7 ดังแสดงในภาพที่ 2.5

โปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่พบในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดบางคือ tropomyosin ซึ่งมีประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย เป็นโปรตีนที่มีประจุไฟฟ้าสูงเหมือนไมโอซิน คือมีกรดอะมิโนที่เป็นกรดและเป็นด่างในปริมาณค่อนข้างสูง จุด isoeletric pH เท่ากับ 5.1 และเนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโน proline ต่ำ ดังนั้นจึงมีลักษณะเป็นเส้น (fibrous) โปรตีนชนิดนี้จะพันอยู่โดยรอบเส้นใยฝอยแอคติน โดยวางตัวไปตามลักษณะเกลียวเชือก และอยู่ในร่องของเส้นใยฝอยแอคติน แต่ละโมเลกุลของ tropomyosin จะยาวประมาณ 7 G-actin โมเลกุล

ในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดบางจะมีโปรตีนอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า troponin มีลักษณะเป็นแท่งกลมสั้น ๆ สร้างขึ้นจาก globular protein โปรตีนชนิดนี้มีอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย โปรตีนชนิดนี้อยู่ใต้เส้น tropomyosin โดยจะพบ 1 โมเลกุลของ troponin ในทุก ๆ 7-8 โมเลกุล G-actin โปรตีน troponin ทำหน้าที่เกี่ยวกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ในการเกิด Actomyosin-tropomyosin complex



ภาพที่ 2.5 แสดงเส้นใยฝอยชนิดบางหรือแอคติน (A) โมเลกุล G-actin (B) เส้นยาว F-actin 2 เส้นม้วนเข้าหากัน (C) โมเลกุลของ tropomyosin (D) โมเลกุลของ troponin และ (E) thin filament
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

3. Stroma protein เป็นโปรตีนจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ คอลลาเจน (collagen) เมื่อถูกความร้อนจะสามารถหดตัวได้มากและแปรสภาพไปเป็นเจลาติน และเป็นสาเหตุทำให้ไขมันมารวมตัวกันมากและไส้กรอกจะมีรอยเว้าเป็นรูอยู่ภายใน เนื่องจากโปรตีนชนิดนี้ขาดกรดอะมิโนที่มีธาตุกำมะถันอยู่ (S-containing amino acid) เพราะฉะนั้นจึงต้องเสริมด้วยการเติมกรดอะมิโนพวก tryptophan และ cystine เข้าไปด้วยเสมอ ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต และเพิ่มขั้นตอนในการผลิตมากขึ้น (ลักขณา, 2540a; ชัยณรงค์, 2529)

ปฏิกิริยาเคมีของการสร้างสารสีในผลิตภัณฑ์เนื้อ

โดยทั่วไปผู้บริโภคให้ความสนใจในการเลือกผลิตภัณฑ์อาหารโดยดูจากลักษณะปรากฏ ได้แก่ สี รูปร่าง ขนาด และตำหนิที่ผิว จากคุณลักษณะทั้งหมด สีอาจมีอิทธิพลมากที่สุด เพราะว่าสีที่ผิดปกติจะทำให้ผู้บริโภคปฏิเสธอาหารชนิดนั้น แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นรสหรือเนื้อสัมผัสดีก็ตาม (Bloukas *et al.*, 1999; Ling *et al.*, 1996; Beauhamp, 1990) อย่างไรก็ตามการเติมสีสังเคราะห์บางชนิดเช่น azorubin หรือ tartrazine อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ได้ (Fabre *et al.*, 1993; Multon, 1992) สีแดงชมพูในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเกิดจากการเติมสารไนเตรท ไนไตร์ท โดยสารเหล่านี้จะเกิดการแตกตัวเป็นไนตริกออกไซด์และทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อเกิดเป็นสารไนโตรโซไมโอโกลบิน เมื่อถูกความร้อนจะเปลี่ยนเป็นสารไนโตรโซฮีโมโครมที่มีความเสถียรมากขึ้นแสดงได้ดังสมการนี้

ไมโอโกลบิน + ไนตริกออกไซด์ ⟶ ไนโตรโซไมโอโกลบิน ⟶ ไนโตรโซฮีโมโครม

โทษของสารไนไตร์ทประการหนึ่งคือสามารถรวมตัวกับสารเอมีนในเนื้อ (2^{nd} และ 3^{rd} amines) กลายเป็นสารไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งได้ อย่างไรก็ตามการเติมกรดแอสคอร์บิกจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดไนโตรซามีนได้ (Adam and Moss, 2000) ตามกฎหมายประเทศไทยกำหนดให้ใช้สารไนไตร์ทได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สายสนม, 2539) และปริมาณไนไตร์ทที่คงเหลือในผลิตภัณฑ์ (residual nitrite) มีได้ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มอก. 848-2532 UDC 637.525) นอกจากสารไนไตร์ทจะช่วยให้เกิดสีในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแล้ว ยังสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในสภาวะไม่มีอากาศ (anaerobic condition) โดยเฉพาะเชื้อ *Clostridium botulinum* ได้ (Jay, 1996)

ดังนั้นข้อจำกัดของการใช้สารไนไตร์ทในผลิตภัณฑ์เนื้อได้แก่ ปริมาณไนไตร์ทที่คงเหลือในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ซึ่งต้องไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามการใช้ไนไตร์ทในปริมาณที่น้อยเกินไปจะเป็นการเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ซึ่งการเก็บรักษาไส้กรอกในสภาวะปกติหรือไม่ใช้สุญญากาศจะช่วยลดโอกาสการเจริญของเชื้อดังกล่าวได้ ในขณะที่การใช้สารไนไตร์ทในปริมาณสูง ก็จะทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งได้เช่นกัน

เครื่องปรุงที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอิมัลชั่น (หน่วยผลิตภัณฑ์สัตว์เชียงใหม่, 2544; ชัยณรงค์, 2529)

เครื่องปรุงแต่งรส (Seasoning) เป็นส่วนประกอบที่เติมเข้าไปในส่วนผสมไส้กรอก เพื่อปรับหรือแปรสภาพรสชาติของผลิตภัณฑ์ ซึ่งนอกจากจะเป็นสารที่ช่วยปรุงแต่งรสชาติแล้ว บางชนิดสามารถใช้เป็นสารถนอมอาหารได้ด้วย

1. เกลือโซเดียมไนไตร์ท ($NaNO_2$) ใช้เพื่อทำให้ไส้กรอกมีสีชมพูอมแดงและสีดังกล่าวมีความคงตัว นอกจากนี้ยังใช้ถนอมอาหาร ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะพวก *Clostridium* และยังทำให้ไส้กรอกมีรสชาติที่ดีขึ้นด้วย การเติมไนไตร์ทในไส้กรอกไม่ควรผสมรวมกับเครื่องเทศเตรียมไว้ก่อน เพราะจะทำให้ไนไตร์ททำปฏิกิริยากับเอมีนในเครื่องเทศ เกิดเป็นสารไนโตรซามีนได้ องค์การอาหารและยา กำหนดปริมาณการใช้ไนไตร์ทในระดับที่ปลอดภัยไม่เกิน 125 ppm (สุมาลี, 2539)

2. ฟอสเฟต (Phosphate) ได้แก่ STPP (Sodium tripolyphosphate), TSPP (Tetrasodium pyrophosphate) และ TKPP (Tetrapotassium pyrophosphate) ปัจจุบันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชั่นนิยมใช้ STPP กันมาก หน้าที่สำคัญคือช่วยให้อิมัลชั่นคงทนได้นาน นั่นคือเพิ่มความแข็งแรงของ meat emulsion power นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียส่วนของของเหลวในเนื้อมากเกินไปในช่วงการทำให้เนื้อสุก STPP เป็น Alkaline phosphate salt เมื่อเติมลงไปในผลิตภัณฑ์เนื้อจะทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจะทำปฏิกิริยากับ Actomyosin ทำให้แตกตัวเป็น Actin และ Myosin ช่วยในการอุ้มน้ำของเนื้อได้ ประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.5% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สำเร็จ แต่ตามพระราชบัญญัติอาหารกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.3%

3. เกลือ (NaCl) มีหน้าที่ลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์หรือ aw (water activity) ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพิ่มอายุการเก็บรักษา (Shelf life) เพิ่มรสชาติ สกัดโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำโดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นอิมัลชั่น ปริมาณการใช้อยู่ในช่วง 1.5-3.0%

4. Binders คือโปรตีนที่ได้จากพืชหรือนม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและช่วยในการเกาะยึดของส่วนผสมได้ดีขึ้น รวมทั้งช่วยในการกระจายตัวของไขมันในระบบอิมัลชั่นได้อีกด้วย โปรตีนที่นิยมใช้ได้แก่ caseinate (90% protein), soy protein isolate (90% protein), wheat gluten (80% protein) และ soy concentrate (70% protein) ปริมาณการใช้ไม่เกิน 3% การใช้มากเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสคล้ายยาง (rubbery texture) และกลิ่นไม่ดี (off-flavor)

5. Fillers คือผลิตภัณฑ์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ช่วยในการดูดซับน้ำ แต่ไม่มีผลในการเป็น emulsifier ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งดัดแปลง (modified starch) ปริมาณการใช้อยู่ในช่วง 1.0-10.0%

6. สีเติมแต่งอาหาร (coloring agent) สีเป็นคุณลักษณะที่สำคัญมากของคุณภาพการมองเห็นสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป สีที่นิยมใช้ได้แก่ อังคัก (ang-kak) พริกป่น ปาปริกา betanin (red beet pigment) และ carmine red ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้บริโภคมากที่สุด

7. เครื่องเทศ (spice) ในสูตรของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีสูตรเครื่องเทศแตกต่างกันออกไป หน้าที่หลักของเครื่องเทศคือเป็นสารช่วยเพิ่มรสชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อ นอกจากนี้เครื่องเทศบางชนิดอาจมีฤทธิ์เป็น antioxidant ได้ด้วย เครื่องเทศที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้แก่ พริกไทย (pepper) ลูกจันทน์ (mazis) ดอกจันทน์ (mace) พริกป่นสเปน (spaniash paprika) เมล็ดผักชี (coriander) เมล็ดยี่หร่าป่น (caraway) และแอคคอร์ท (accord)

ขั้นตอนในการผลิตไส้กรอกอิมัลชั่น (ลักขณา, 2540b)

1. การบดเนื้อ การลดขนาดของเนื้อเริ่มต้นด้วยการหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อน แล้วจึงบดละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (meat mincer) ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องคือ ใบมีด และตะแกรงขนาดรูต่าง ๆ กัน

2. การสับผสม ขั้นตอนนี้จะใช้ Bowl chopper เป็นเครื่องสับผสม ซึ่งจะทำให้ได้ส่วนผสมไส้กรอกที่มีความละเอียดและเหนียว ปริมาณของส่วนผสมที่ใส่เข้าไปจะขึ้นอยู่กับ capacity ของเครื่องสับผสม เริ่มต้นการสับผสมโดยการนำเนื้อแดงที่บดแล้วใส่ลงไปในเครื่องพร้อมกับน้ำแข็งและเครื่องปรุง สับเป็นเวลา 1-2 นาที แล้วจึงเติมส่วนของไขมันลงไป สับต่อจนกระทั่งได้ลักษณะที่ต้องการ เวลาที่ใช้ในการสับควรต่ำกว่า 6-8 นาที (Savic, 1985)

3. การบรรจุไส้ การบรรจุเนื้อไส้กรอกลงไปในไส้เทียมจะใช้เครื่อง stuffer ซึ่งอาจจะเป็นแบบลูกสูบและปั๊ม แบบมือหมุน หรือแบบใช้อากาศอัดก็ได้

4. การมัดไส้กรอก สามารถใช้เครื่อง linking equipment หรือใช้มือผูกเป็นปล้อง ๆ ก็ได้

5. การทำให้สุก ทำได้โดยการรมควันที่ 70°ซ นาน 30 นาที หรือต้มในน้ำร้อนประมาณ 70-75°ซ นาน 10-15 นาที หรือใช้ทั้ง 2 วิธีโดยผ่านการรมควันก่อนจึงต้มให้สุก ในผลิตภัณฑ์รมควันทั้งหลาย ถึงแม้การรมควันจะใช้อุณหภูมิสูง แต่ก็ยังไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์สุกถึงขั้นรับประทานได้ จึงต้องนำไปต้มอีกครั้ง หลังจากกระบวนการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้เย็นลงโดยการแช่ในน้ำเย็น ก่อนที่จะตัดเป็นท่อน ๆ ตรงรอยที่มัดไว้

6. การบรรจุ บรรจุได้ทั้งแบบสุญญากาศและไม่ใช้สุญญากาศ หรืออาจมีอากาศบ้าง (Partially)

ปัญหาในการผลิตไส้กรอก (สัญชัย, 2543)

การผลิตไส้กรอก มีปัจจัยหลักที่มีผลต่อการผลิตและคุณภาพของไส้กรอกดังนี้

1. ปริมาณเนื้อและไขมันไม่สมดุล ทำให้การเกิดลักษณะอิมัลชั่นของไส้กรอกไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นการเพิ่มไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอื่น ๆ ในปริมาณมากเพื่อลดต้นทุนลง จะทำให้ปริมาณของโปรตีนไมโอซินจากเนื้อแดงไม่เพียงพอที่จะห่อหุ้มเม็ดไขมันได้ หรือบางครั้งเมื่อให้ความร้อนกับเม็ดไขมันที่ห่อหุ้มด้วยคอลลาเจน ก็อาจทำให้คอลลาเจนหดตัวและเปลี่ยนเป็นเจลาตินอย่างรวดเร็ว ไขมันจึงไหลออกมา แต่ถ้ามีไมโอซินมากเกินพอ เมื่อได้รับความร้อนก็จะเกิดการตกตะกอนและห่อหุ้มเม็ดไขมันไว้ได้

2. การสับละเอียด (chopper) ที่นานเกินไป มีผลทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดให้มากขึ้น ทำให้ไมโอซินในส่วนผสมไม่สามารถห่อหุ้มเม็ดไขมันได้หมด ดังนั้นไขมันที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มจะไหลออกมาทำให้ได้อิมัลชั่นที่ไม่เกาะตัวกัน Brauer (1992) พบว่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการสับเนื้อมีผลต่อความแน่นเนื้อและเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ที่มีไขมันต่ำ ซึ่งความแน่นเนื้อมากเกินไปและเนื้อสัมผัสที่หยุ่นคล้ายยางสามารถแก้ไขได้โดยใช้เวลาในกระบวนการสับให้สั้นลง

3. คุณภาพของเนื้อที่นำมาผลิตไส้กรอก พบว่าเนื้อที่ดีที่สุดเหมาะสมในการทำไส้กรอก คือ เนื้อที่มี pH ปกติ ไม่เป็น PSE (pale, soft and exudative) หรือ DFD (dark, firm and dry) เนื่องจากเนื้อที่ดีจะมีค่า water holding capacity ดี

การเกิดลักษณะของเนื้อที่ผิดปกติแบบ PSE และ DFD

การเกิดเนื้อซีด เหลว และไม่คงรูป (PSE หรือ pale, soft and exudative) หมายถึงเนื้อสุกรที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์ที่มีลักษณะสีซีด เหลว และไม่คงรูป ซึ่งเป็นลักษณะด้อยที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เนื้อ PSE เกิดจากการย่อยสลายพลังงานที่สะสมในกล้ามเนื้อสัตว์ที่เรียกว่า glycogen โดยกระบวนการ anaerobic glycolysis อย่างรวดเร็วทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติคจำนวนมากในระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งกรดนี้จะไม่ถูกย่อยภายในเนื้อ มีผลทำให้ pH ของกล้ามเนื้อลดลงจากสภาพปกติ (pH 7) เป็น pH 5.6-5.8 ภายใน 45 นาทีหลังถูกฆ่า และเป็น 5.7-6.0 ภายใน 24

ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย ค่า pH สุดท้ายของกล้ามเนื้อ (ultimate pH) จะมีค่าเท่าใดขึ้นอยู่กับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมอยู่ ซึ่งค่า pH มีค่า 5.3-5.7 เนื่องจากเอ็นไซม์ต่าง ๆ ในกระบวนการ glycolysis จะไม่ทำงานที่ pH ต่ำกว่า 5.4 ดังนั้นการสะสมกรดแลคติคจะหยุดลงเมื่อ pH เท่ากับ 5.3-5.7 ภายใน 1 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย การลดลงของค่า pH ในขณะที่อุณหภูมิซากยังสูงอยู่ เป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้กระบวนการ anaerobic glycolysis เกิดได้เร็วขึ้น ทำให้โปรตีนเกิด denature ไม่สามารถรักษาคุณสมบัติในการจับน้ำ (water holding capacity) ทำให้ไม่สามารถอุ้มน้ำได้และยังเกิดการไหลของน้ำอีกด้วย ดังนั้นสีจึงออกจากกล้ามเนื้อและเซลล์เกิดการหดตัวอย่างหลวม ๆ ทำให้ไม่สามารถเกาะกันคงรูปไว้ได้ จึงปรากฏให้เห็นเนื้อด้านหน้าตัดมีสีซีด เหลว และไม่คงรูป ทำให้แสงที่มาตกกระทบสะท้อนออกไปได้มาก จึงเห็นเนื้อมีสีจาง ผิดปกติ

การเกิดเนื้อคล้ำ แข็ง และแห้ง (DFD หรือ dark, firm and dry) เกิดจากการที่เนื้อมีปริมาณไกลโคเจน (glycogen) ในกล้ามเนื้อปริมาณน้อยในขณะที่เริ่มฆ่าสัตว์ เมื่อสัตว์ถูกฆ่าจะมีการเปลี่ยนแปลงในกล้ามเนื้อโดยกระบวนการ anaerobic glycolysis ได้ผลผลิตขั้นสุดท้ายคือกรดแลคติคทำให้ pH สุดท้ายของเนื้อมีมากกว่า 6.0 ค่า pH ที่สูงขึ้นทำให้คุณสมบัติบางประการของเนื้อแตกต่างจากเนื้อปกติคือ โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี ทำให้เฟอร์รัสอิออนจับตัวกับโมเลกุลของน้ำได้ดีไปด้วย เส้นใยกล้ามเนื้อจึงเบียดเสียดกันแน่น เป็นผลให้ออกซิเจนจากภายนอกไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปตามผิวหน้าของกล้ามเนื้อได้ง่าย ๆ จึงทำให้เนื้อมีสีคล้ำ แข็ง และแห้ง ซึ่งสีที่ปรากฏเกิดจากการดูดแสงได้มาก แต่มีการกระจายแสงน้อยมาก

การใช้สารสีธรรมชาติเพื่อเติมแต่งในอาหาร

อาหารแปรรูปหลายชนิดมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งเป็นผลมาจากการผ่านกระบวนการแปรรูปในหลากหลายรูปแบบ เช่น การลดขนาด การให้ความร้อน ความเย็น หรือแม้กระทั่งอาหารสดบางชนิดก็ต้องการการเติมแต่งสี เพื่อให้เป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภค สีธรรมชาติที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในประเทศต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสีธรรมชาติที่ได้รับการอนุญาตให้ใช้ในประเทศต่าง ๆ

สีธรรมชาติ	ไทย	ญี่ปุ่น	อินเดีย	สหภาพยุโรป	คานาดา	สหรัฐอเมริกา
-อัลคาเนต	-	-	-	+	+	-
-แคแสด	+	-	+	+	+	+
-แอนโทซัยยานินส์	+	-	-	+	+	-
-บีตา-อะโป-8-แคโรทีนอล	+	-	+	-	-	+
-น้ำมันแครอท	-	-	-	-	-	+
-คาราเมล	-	-	+	-	-	+
-บีตา-แคโรทีน	+	-	+	+	+	+
-คลอโรฟิลล์	+	-	+	-	-	-
-สีสกัดจากแมลงกระบองเพชร	-	-	-	-	-	+
-ขมิ้น	-	-	+	-	-	+
-สีสกัดจากเปลือกองุ่น	-	-	-	-	-	+
-สีสกัดจากผลองุ่น	-	-	-	-	-	+
-ไลโคปีน	-	-	-	+	-	-
-พริก	+	-	+	+	-	+
-ราทาจอท	-	-	+	-	-	-
-ไรโบฟลาวิน	-	-	+	-	+	+
-หญ้าฝรั่น	-	-	+	-	-	-
-หัวบีตผง	-	-	-	+	-	+
-เวทเจทเทเบิล คาร์บอน	-	-	-	+	-	-
-แซนโทฟิลส์	+	+	-	+	+	+
-ลูทีน	-	-	-	+	-	-
-น้ำผัก น้ำผลไม้	+	+	-	-	-	+
-แป้งเมล็ดฝ้ายอบ	-	-	-	-	-	+
-สีเชื้อราโมแนสคัส	-	+	-	-	-	-
-ครั่ง	-	+	-	-	-	-
-สารสกัดจากชิโซนิน	-	+	-	-	-	-
-ดอกพุดซ้อน	-	+	-	-	-	-
-ดอกคำฝอย	+	+	-	-	-	-

หมายเหตุ : + อนุญาตให้ใช้

- ไม่มีข้อมูล

ที่มา : บุษบา (2542)

Shehata *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาสารสีจากธรรมชาติที่เหมาะสมเพื่อเติมลงไปใน Egyptian fresh beef sausage โดยสารสีธรรมชาติที่ศึกษาได้แก่ angkak, canthaxanthin, red beet, red beet juice เมื่อทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับดีที่สุดในตัวอย่างไส้กรอกที่เติมอังคัก รองลงมาคือ canthaxanthin และ red beet juice นอกจากนี้ผลของการเติมสารสีจาก *Monascus* ร่วมกับสารไนไตร์ทในไส้กรอกยังให้ความเสถียรของสีดีกว่าการเติมสารไนไตร์ทเพียงอย่างเดียว (Fink-Gremmels *et al.*, 1991) นอกจากนี้สารสีจากอังคักยังมีความเสถียรต่อความร้อนและค่า pH ที่เปลี่ยนไปในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง 12 (Francis, 1987)

Fabre *et al.* (1993) ได้ทดลองเติมสารสีสกัดจาก *Monascus ruber* ลงไปใน Strasbourgan sausage พบว่าการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารสีจาก 0.5 กรัมต่อกิโลกรัม เป็น 1 กรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสเปลี่ยนไป โดยการเพิ่มความเข้มข้นจะทำให้สีแดง ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่นเครื่องเทศ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้กลิ่นแป้งลดลง และยังมีผลต่อรสชาติของไส้กรอกด้วย โดยจะเพิ่มรสเค็มและรสหวาน แต่ลดความขมให้น้อยลง ทั้งนี้อาจเกิดจากอังคักมีสารเมแทบอไลต์ชนิดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (primary and secondary metabolite) หลายชนิดด้วยกัน และยังมีเอ็นไซม์บางชนิดที่อาจส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ (บุษบา, 2542) ส่วน เรณู และคณะ (2543) ได้ทดลองเติมอังคักลงในไส้กรอกหมูเพื่อเพิ่มสี พบว่าปริมาณอังคักที่เหมาะสมในสูตรไส้กรอกเท่ากับ 1.5% และการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองอาจช่วยเพิ่มคุณลักษณะด้านความเป็นเนื้อเดียวกันและความฉ่ำน้ำในไส้กรอกให้สูงขึ้น

ประวัติความเป็นมาของอังคัก

อังคักหรือข้าวแดง (Angkak) คือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวที่หมักด้วยเชื้อรา *Monascus purpureus* การเจริญของเชื้อเกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ข้าวจะถูกย่อยจนนิ่มในขณะที่เชื้อจะสร้างสารสีแดงขึ้น เมื่อหลายร้อยปีที่ผ่านมาอังคักถูกใช้เป็นสารเติมแต่งสีในอาหารหลายชนิด เช่น ปลา เนื้อ เต้าหู้ยี้ และใช้ในกระบวนการผลิตไวน์แดง ในสมัยก่อนมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในแถบเอเชียตะวันออก โดยต้นกำเนิดของอังคักมาจากประเทศจีน (Hesseltine, 1965; อรัญและคณะ, 2531) ตามประวัติความเป็นมากล่าวว่า อังคักเป็นสินค้าส่งออกชนิดหนึ่งและมีการผลิตที่ตำบลหนึ่งของประเทศจีน ได้มีการใช้ชื่อเรียกอังคักแตกต่างกันหลายรูปแบบเช่น ข้าวแดง (red rice) ข้าวแดงจีน (chinese red rice) แอนแคก (ankak) แองคา (anka) อังคเวต (angquac) เบนนิโคจิ (beni-koji) และอะกาโคจิ (aka-koji) ในปี 1960 Palo *et al.* นักวิทยาศาสตร์ชาวฟิลิปปินส์ได้ทำ

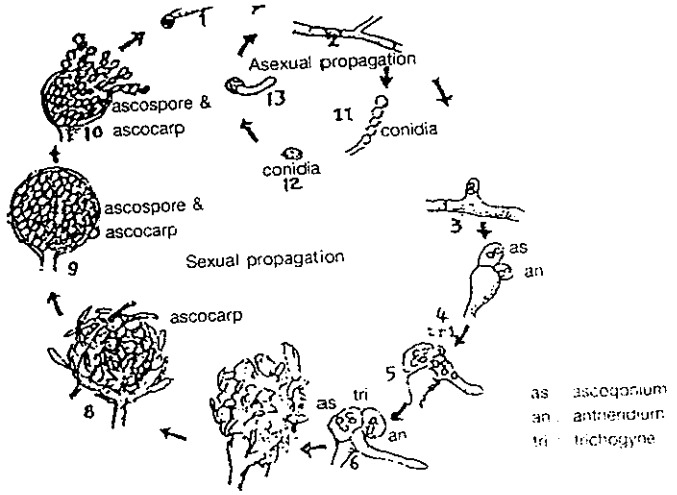
การทดลองผลิตอังคัก โดยศึกษาพันธุ์ข้าว ความชื้น อุณหภูมิ และค่า pH ที่มีผลต่อสีของ อังคัก พบว่าเชื้อราชนิดนี้สามารถเจริญได้ในช่วง pH 3.5 ถึง 7.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างสีแดงคือ 27°ซ การเจริญเกิดขึ้นได้บนข้าวเจ้า แต่เจริญบนข้าวเหนียวได้ไม่ดีนัก ข้าวที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาฆ่าเชื้อด้วย autoclave จะมีความชื้นเหมาะสมในการนำมาผลิตอังคัก บุษบา (2542) ได้ทดสอบพันธุ์ข้าวไทยต่อการสร้างสีของ *Monascus purpureus* โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวแดงของ Palo *et al.* (1960) พบว่าข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูและข้าวพันธุ์หอมมะลิให้สีเข้มใกล้เคียงกัน แต่ข้าวเหนียวกลับให้กลิ่นหอมกว่าข้าวหอมมะลิ กลิ่นหอมดังกล่าวคือกลิ่นเอสเทอร์และกลิ่นแอลกอฮอล์ปนกัน ทั้งนี้อังคักที่ผลิตจากข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงูและข้าวเจ้าหอมมะลิให้สีใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ญี่ปุ่น ในขณะที่ข้าวสายพันธุ์อื่น ๆ ของไทย คือ พันธุ์เสาไห้ พันธุ์ธรรมดา ฯลฯ นั้นล้วนแต่ให้ความหอมน้อยกว่ามาก อรัญและคณะ (2531) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสีของอังคัก จากการทดสอบ *M. purpureus* 9 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ที่สร้างสีแดงได้สูงสุดได้แก่ *M. purpureus* CMU-KU รองลงมาคือ *M. purpureus* TISTR 3090 และ *M. purpureus* CMU-FST ตามลำดับ อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่มีความเหมาะสมต่อการสร้างสีแดงได้แก่ 1 : 1 และ 3 : 4 ข้าวสายพันธุ์ที่ให้สีแดงสูงสุดได้แก่ เหลือง 148 ภายหลังได้มีผู้สนใจศึกษาการเจริญของเชื้อราสายพันธุ์นี้ในสภาพหมักเปียก (submerged cultivation) ซึ่งมีการพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่งสามารถผลิตได้ในปริมาณมากและนำมาสกัดสีเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Shin *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 1992; Shepherd and Carels, 1983; อ้างโดย บุษบา, 2542) Nishikawa (1932) ได้แยกสารสีจาก *Monascus purpureus* Went 2 ชนิดคือ Monascorubin ซึ่งให้สีแดง มีสูตรเป็น $C_{22}H_{24}O_5$ และ Monascoflavin ซึ่งให้สีเหลือง มีสูตรเป็น $C_{17}H_{22}O_4$ (Hesseltine, 1965)

ลักษณะรูปร่างของเชื้อรา *Monascus* (อ้างโดย บุษบา, 2542)

เชื้อรา *Monascus* spp. จัดอยู่ในวงศ์ (family) Monascaceae กลุ่ม (class) Ascomycetes กลุ่มย่อย (subclass) Plectomycetidae อันดับ (order) Eurotiales (Hawksworth *et al.*, 1995; Alexopoulos and Mims, 1979) เส้นใยมีผนังกั้น (septate) มีการสืบพันธุ์แบบมีเพศและไม่มีเพศ เส้นใยมีการแตกกิ่งก้านสาขามากมายและมักเจริญแบบชิดเกาะแน่นบนผิวของอาหารแข็ง เส้นใยเมื่อมีอายุอ่อนมีสีขาว แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีสีแดงหรือสีแดงม่วง

การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ มีการสร้างโคนิเดียเจริญมาจากโคนิดิโอฟอร์ (conidiophore) โคนิเดียมีลักษณะกลมหรือรูปไข่ อาจมีอันเดียวหรือเกิดติดต่อกันเป็นลูกโซ่ (Hawsworth and Pitt, 1983) โคนิเดียมักไม่มีสี แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะเกิดสีแดงได้บ้าง โคนิดิโอฟอร์มีขนาดสั้นอาจมีผนังกั้นหรือเซพเตต การงอกของโคนิเดียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสูตรอาหาร เช่น C medium ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดโคนิเดียของ *Monascus* (Hiroi *et al.*, 1979) นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกหลายประการ เช่น อายุสปอร์ ความหนาแน่นของสปอร์ ความเป็นกรดด่าง แสงและอุณหภูมิ

ส่วนการสืบพันธุ์แบบมีเพศจะคล้ายกับเชื้อราอื่นใน Class Ascomycetes คือมีการสร้างเพอริทีเซียม (perithecium) ซึ่งเป็นแอสโคคาร์ป (ascocarp) ที่มีรูปร่างกลม โดยจะเกิดบนก้าน (Stalk) ที่มีหรือไม่มีผนังกั้นก็ได้ (Kolotila *et al.*, 1980; Von Arx, 1970; Smith, 1969) แอสโคคาร์ปเกิดขึ้นบนเส้นใยซึ่งเป็นแบบโฮโมแทลลิก (homothallic) โดยสร้างโครงสร้างออกมา 2 ชนิด คือ แอนเทอริเดียม (antheridium) และแอสโคโกเนียม (ascogonium) ซึ่งจะเกิดการรวมตัว (fusion) ที่ปลายของแอสโคโกเนียมกับส่วนฐานหรือส่วนกลางของแอนเทอริเดียม แล้วจึงมีการวิวัฒนาการต่อไปคือ แบ่งเซลล์แบบไมโอซีส และไมโตซีส มี daughter nuclei จากการแบ่งตัว มีการขยายผนังเซลล์รวมออกเรียกว่า การสร้างแอสโคคาร์ป (Kolotila *et al.*, 1978; Carels and Shepherd, 1975) ภายในเพอริทีเซียมมีแอสโคสปอร์ (ascospores) มากมาย โดยแอสโคสปอร์จำนวน 2-8 จะรวมตัวอยู่ในแอสคัส (ascus) แอสโคสปอร์มีลักษณะเป็นรูปไข่ อาจมีสีน้ำตาล สีแดง สีส้ม หรือไม่มีสี เมื่อผนังแอสโคคาร์ปแตกออกก็จะปล่อยแอสโคสปอร์ออกมาเพื่อให้งอกเป็นเส้นใหม่ขึ้น วัฏจักรชีวิตของเชื้อราชนิดนี้แสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงวงจรชีวิตของเชื้อรา *Monascus*

ที่มา : บุษบา (2542)

ประโยชน์ของอังคักในการผลิตยาเพื่อใช้ลดคอเลสเตอรอล

ในสมัยราชวงศ์มิงค์ (1368-1644) ได้มีการนำอังคักมาใช้เพื่อปรุงยาจีนโบราณ ซึ่งได้มีบันทึกในตำรายาชื่อ Ben Cao Gang Mu-Dan Shi Bu Yi ประสิทธิภาพของอังคักจะออกฤทธิ์อ่อน ๆ ช่วยให้ระบบการไหลเวียนโลหิตในร่างกายดีขึ้น นักวิจัยในประเทศจีนได้ศึกษาการบริโภคอังคักในมนุษย์ พบว่าการบริโภคอังคักประมาณ 14-55 กรัมต่อคนต่อวันจะสามารถลดความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลลงได้ 11-32% และลดความเข้มข้นของ Triacylglycerol ได้ 12-19% (Heber *et al.*, 1999; Ying Sing *et al.*, 1966) ในปี 1979 Endo ได้แยกสาร Monacolin K ที่ผลิตโดย *Monascus* spp. สารดังกล่าวมีจุดหลอมเหลวที่ 157-159°ซ มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{24}H_{36}O_5$ (MW 404) มีค่า LD_{50} ในหนูเท่ากับ 1,000 mg/kg น้ำหนักตัว ฤทธิ์ของสาร Monacolin K จะเป็นตัวยับยั้งการสร้างเอ็นไซม์ HMG CoA Reductase (3-Hydroxy-3-Methylglutaryl Coenzyme A) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่อยู่ในตับและเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย

ในปี 1998 บริษัท Pharmanex ได้ผลิตอาหารเสริม (Dietary supplement) ที่ชื่อ Cholestin ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักเชื้อรา *Monascus* ลงบนข้าว โดยกรรมวิธีการผลิตอังคักจะผลิตเพื่อให้ได้สารลดคอเลสเตอรอลในปริมาณสูง ฉลากบนภาชนะบรรจุของ Cholestin ระบุให้ผู้ใช้บริโภคได้ไม่เกิน 2 แคปซูลในแต่ละครั้ง และบริโภควันละ 2 ครั้ง กล่าวคือผู้บริโภคจะได้รับ Cholestin ในปริมาณ 4 แคปซูลต่อวัน แต่ละแคปซูลบรรจุ 0.6 กรัม ดังนั้นผู้บริโภคจะได้รับ Cholestin ในปริมาณ 2.4 กรัมต่อวัน นอกจากนี้ฉลากยังระบุคำเตือนของอาหารเสริมชนิดนี้ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อตับและกล้ามเนื้อ ดังนั้นในฉลากจึงระบุเจาะจงกลุ่มผู้ใช้ที่ต้องการลดระดับคอเลสเตอรอลเท่านั้น ผลการทดสอบการใช้ Cholestin กับผู้บริโภคจำนวน 83 คนโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ให้บริโภค Cholestin 2.4 กรัมต่อวัน จำนวน 42 คน และกลุ่มควบคุม (ไม่ให้ Cholestin) จำนวน 41 คน พบว่าผู้บริโภคที่ได้รับ Cholestin อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 สัปดาห์จะมีความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลลดลงจาก 6.57 mmol/L เป็น 5.38 mmol/L นอกจากนี้ยังลด LDL cholesterol จาก 4.63 mmol/L เป็น 3.47 mmol/L และลด Triacylglycerols จาก 1.60 mmol/L เป็น 1.33 mmol/L ดังนั้นผลของการใช้ Cholestin จึงสามารถยืนยันการลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายอย่างได้ผล (Heber *et al.*, 1999; Havel, 1999)

คุณสมบัติและหน้าที่ของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy protein isolate) จะทำหน้าที่เป็นสาร binder ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยใน polymer เดียวกันจะมีทั้งกลุ่มของ lipophilic และ hydrophilic ทำให้สามารถยึดเกาะกับน้ำและไขมันได้สูง มีการกระจายตัวได้ง่ายในน้ำและลดปัญหาการเกิดกลิ่นถั่วเหลือง (beany flavor) ในผลิตภัณฑ์ จึงเหมาะที่จะใช้แทนแป้งถั่วเหลือง (Soy flour) ได้ Soy protein isolate (SPI) มีโปรตีน 90% มีช่วงการละลายได้เท่ากับ 5-95 NSI (Nitrogen Solubility Index) Emulsion capacity แปรผันระหว่าง 10-35 มิลลิลิตรของน้ำมันต่อ 100 มิลลิกรัมของโปรตีน และสามารถดูดซับน้ำได้เกิน 400% หน้าที่สำคัญของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกคือช่วยในการก่อตัวเป็นเจล เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่สามารถห่อหุ้มน้ำ ไขมัน และของแข็ง ให้อยู่ด้วยกันได้ ซึ่งเป็นผลทำให้ค่า yield stress และความเสถียรของอิมัลชั่นดีขึ้น (Bianchi, 1985) อย่างไรก็ตามเมื่อเติม SPI สูงเกิน 4% ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก จะทำให้สีแดงลดลงและสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น (Chin *et al.*, 1999)

ประโยชน์ของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในการลดคอเลสเตอรอล

เนื่องจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีสารประเภท Isoflavone ซึ่งได้แก่ genistein และ daidzein ที่สามารถช่วยลดปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจได้ (Potter *et al.*, 1998) โดยผลงานวิจัยของ Katsuda และ คณะ (1997) ได้ทดสอบผลการยับยั้งการเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมของร่างกาย การทดสอบจะใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้ชายจำนวน 13 คนที่มีอายุ 27-62 ปี โดยทำการบริโภคไส้กรอกที่มีส่วนผสมของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองร่วมกับการบริโภคอาหารที่มีไขมันสูง ซึ่งต้องบริโภคให้ได้พลังงานเท่ากับ 110% ของพลังงานเฉลี่ยที่ต้องการต่อวัน มีการเตรียมไส้กรอกโดยมีส่วนผสมของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองปริมาณ 9.9 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เมื่อตรวจระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมของผู้ทดสอบ พบว่าระดับคอเลสเตอรอลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) Anthony และคณะ (1998) ได้ทดสอบผลของ Soy isoflavones ที่มีผลต่อระดับ LDL (Low density lipoprotein), VLDL (Very low density lipoprotein) และ HDL (High density lipoprotein) cholesterol ในเลือดของลิง โดยใช้ลิงเพศผู้จำนวน 85 ตัวและเพศเมียจำนวน 75 ตัว จัดแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกให้โปรตีน Casein-lactalbumin ซึ่งไม่มี Isoflavone กลุ่มที่สองให้โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy protein isolate) ซึ่งมี Isoflavone จำนวน 16 มิลลิกรัมต่อวัน และกลุ่มที่สามให้โปรตีนจากถั่วเหลือง (Soy protein) ซึ่งมี Isoflavone จำนวน 143 มิลลิกรัมต่อวัน

สำหรับอาหารที่ใช้เลี้ยงลิงเป็นเวลา 14 เดือนเพื่อให้มีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้นมีพลังงานดังนี้ โปรตีน 18.5 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 40.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 40.9 เปอร์เซ็นต์ และมีคอเลสเตอรอล 0.074 ไมโครกรัมต่อจูล หรือ 0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลแคลอรี่ พบว่าเมื่อตรวจวัดปริมาณ LDL + VLDL cholesterol ของลิงเพศผู้กลุ่มแรกเท่ากับ 10.78 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่มที่สองและสามมีปริมาณ LDL + VLDL cholesterol ลดลงจากกลุ่มแรกเท่ากับ 10.01 และ 6.47 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนลิงเพศเมียกลุ่มแรกมี ปริมาณ LDL + VLDL cholesterol เท่ากับ 11.30 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่มที่สองและสามมีปริมาณ LDL + VLDL cholesterol ลดลงจากกลุ่มแรกเท่ากับ 10.42 และ 7.84 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อตรวจวัดปริมาณ HDL cholesterol ของลิงเพศผู้กลุ่มแรกเท่ากับ 0.98 ± 0.08 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่มที่สองและสามเพิ่มขึ้นจากกลุ่มแรกเท่ากับ 1.19 และ 1.50 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนลิงเพศเมียกลุ่มแรกมีปริมาณ HDL cholesterol เท่ากับ 1.09 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่มที่สองและสามเพิ่มขึ้นจากกลุ่มแรกเท่ากับ 1.29 และ 1.60 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นการใช้โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกนอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัว binder เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นแล้ว ยังสามารถลดปริมาณ LDL + VLDL cholesterol และเพิ่มปริมาณ HDL cholesterol ซึ่งมีผลต่อการลดโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจได้อีกด้วย

ประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลังในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกแป้งมันสำปะหลังในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ปี 1999 ปริมาณการส่งออกมีประมาณ 58,681 เมตริกตันคิดเป็นมูลค่าประมาณ 401,452,704 ล้านบาท (สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2543) การนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จะเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบ ซึ่งคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นสาร filler ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้ แป้งมันสำปะหลังประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิดคือ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน อะไมโลสเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการเปลี่ยนเป็นเจล (gelling) ของแป้ง การพองตัวจะเกิดขึ้นกับเม็ดแป้งและแปรผันตามอุณหภูมิ เวลา และระดับความเป็นกรดด่าง ดังนั้นเมื่อแป้งสัมผัสกับน้ำจะเกิดการพองตัวและเกิดเจลเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนจะทำให้ไส้กรอกคงรูปอยู่ได้

Lyons *et al.* (1999) ได้ศึกษาการเติมแป้งมันสำปะหลัง (0-3%) เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะต่าง ๆ ของไส้กรอกไขมันต่ำ พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น แต่จะทำให้ความเข้มของกลิ่นรสและความฉ่ำน้ำลดน้อยลง Chizzolini and Allen (1995) ได้ศึกษาการแทนที่ไขมันในไส้กรอกไขมันต่ำโดยใช้แป้งมันสำปะหลัง คาราจีแนน เส้นใยข้าวโอ๊ต เพคติน โปรตีนจากเวย์ และส่วนผสมของคาราจีแนนกับ Locust bean gum พบว่าสูตรที่มีการยอมรับสูงที่สุดและค่าคะแนนความชอบสูงกว่าไส้กรอกที่มีไขมันสูงได้แก่ สูตรไส้กรอกไขมันต่ำที่มีการแทนที่ไขมันบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังหรือเส้นใยข้าวโอ๊ต Skrede (1989) พบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกซึ่งผ่านกระบวนการต้มที่อุณหภูมิต่ำ ๆ มีความเหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับแป้งชนิดอื่น ๆ ดังนั้นการนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไส้กรอก โดยทำหน้าที่เป็นสาร filler จึงเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าแก่วัตถุดิบและทำให้ไส้กรอกสามารถอุ้มน้ำและเกิดเจลได้ดีขึ้น