บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. เนื้อคืนรูป

เนื้อคืนรูป (restructured meat) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการทำให้เป็นชิ้นเล็กเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด แล้วขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้นเนื้อแบบเดิมหรือแตกต่างกัน โดยมีเนื้อสัมผัสคล้ายคลึงกัน ตัวอย่างเนื้อคืนรูปได้แก่ เนื้อสเต็ก เนื้อออบ และเนื้อย่าง เนื้อคืนรูปยังรวมผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีการตัดและขึ้นรูปใหม่ (sectioned and formed products) (Pearson and Tauber, 1984)

2. องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อคืนรูป

เนื้อคืนรูปที่ประกอบด้วยสารเชื่อม เกลือ และฟอสเฟตในปริมาณต่างกัน ประกอบด้วยความชื้น โปรตีน และไขมันใกล้เคียงกัน แต่มีพีเอชสูงกว่าเนื้อคืนรูปปกติ (Means and Schmidt, 1986) (ตาราง 1)

3. กรรมวิธีผลิตเนื้อคืนรูป

3.1 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตเนื้อคืนรูป มี 3 กรรมวิธี (Pearson and Tauber, 1984)

3.1.1 การตัดเป็นก้อนและขึ้นรูป (Chunking and Forming)

ทำเนื้อเป็นก้อนโดยบดผ่านเครื่องบดเนื้อชนิดหยาบ เช่นเครื่องบดเนื้อหรือโดยใช้เครื่องตัดเนื้อตัดเป็นชิ้นลูกเต๋า (dicing machine) ให้มีขนาดของชิ้นเนื้อไม่เกิน 1.5 ลูกบาศก์นิ้ว แล้วผสมกับเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสมอื่นๆ ที่ช่วยในการปรุงรส ขั้นตอนผสมเนื้อช่วยให้เกิดการสกัดไมโอไฟบริลลาโปรตีน อาจเติมสารเชื่อมเพื่อช่วยให้เกิดการเชื่อมของชิ้นเนื้อ ผลิตภัณฑ์เนื้อคืนรูปชนิดนี้มี 2 แบบ คือแบบหมัก ซึ่งได้แก่ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปแท่งสี่เหลี่ยมยาว (meat loaves) และแบบสด ซึ่งจะขึ้นรูปโดยอัดใส่ไส้เทียมหรือแม่พิมพ์ แล้วแช่เยือกแข็งทันที หลังจากนั้นบ่ม แล้วหั่นเป็นชิ้นที่มีความหนาตามต้องการ แช่เยือกแข็งอีกครั้งและเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง ข้อดีของเนื้อคืนรูปชนิดนี้คือ มีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างคล้ายชิ้นเนื้อ แต่มีข้อเสียคือเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ซึ่งแก้ไขได้โดยการใช้สารกันหืนในปริมาณที่เหมาะสมในระหว่างการผลิต

ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อคืนรูป

ชนิดของเนื้อคืนรูป	ความชื้น (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	pH
สเต็กเนื้อวัวคืนรูป[1]				
- ไม่มีสารเติมแต่งอาหาร	71.1	21.4	5.2	5.45
- 1.4% เกลือและ 0.32% โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	69.1	20.9	5.7	5.85
- 0.8% โซเดียมอัลจิเนตและ 0.144% แคลเซียมคาร์บอเนต	70.4	21.2	5.5	6.03
- 1.2% โซเดียมอัลจิเนตและ 0.216% แคลเซียมคาร์บอเนต	70.4	20.6	5.6	6.13
สเต็กเนื้อหมูคืนรูป[2]				
- ไม่มีสารเติมแต่งอาหาร	-	-	-	5.70
- 0.75% เกลือและ 0.5% โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	-	-	-	6.06
- 0.7% โซเดียมอัลจิเนต	-	-	-	5.77
- 0.26% แคลเซียมคาร์บอเนต	-	-	-	6.03
- 0.26% แคลเซียมคาร์บอเนตและ 0.7% โซเดียมอัลจิเนต	-	-	-	6.33
- 0.26% แคลเซียมคาร์บอเนตและ 0.75% เกลือ	-	-	-	6.13

ที่มา : [1] ดัดแปลงจาก Means และ Schmidt (1986)

[2] ดัดแปลงจาก Trout, et al. (1990)

3.1.2 การหั่นเป็นแผ่นและขึ้นรูป (Flaking and Forming)

หั่นเนื้อเป็นแผ่นบาง ผสมกับเกลือ และฟอสเฟตจนมีความเหนียวปานกลาง อัดใส่ถุงพลาสติกภายใต้สุญญากาศ แช่เยือกแข็ง บ่ม แล้วอัดด้วยแรงดันให้มีรูปร่างตามต้องการ หั่นเป็นชิ้น บรรจุและเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เนื้อคืนรูปชนิดนี้นิยมผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สด เช่น เนื้อสเต็ก เนื้อออบ เนื้อทอด และเนื้อย่าง มักใส่เกลือปริมาณร้อยละ 0.5 ถึง 1.0 และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.25 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนและให้กลิ่นรสที่ดี ข้อดีของเนื้อคืนรูปชนิดนี้คือ มีเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสคล้ายชิ้นเนื้อปกติ ซึ่งอยู่ระหว่างเนื้อบดและเนื้อชิ้น สามารถทำเป็นชิ้นที่มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ ปราศจากกระดูก จัดเป็นการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่มีราคาต่ำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสีย คือใช้แรงงานและค่าใช้จ่ายมาก และผลิตภัณฑ์เกิดออกซิเดชันได้ง่าย ซึ่งปัญหานี้แก้ไขได้โดยการผสมภายใต้สุญญากาศ หรือใส่สารกันหืนในระหว่างการผลิต

3.1.3 การฉีกและขึ้นรูป (Tearing and Forming)

วิธีนี้ได้รับความนิยมน้อย เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการฉีกเนื้อให้ขาดจากกัน แต่มีข้อดีคือ ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดออกซิเดชันได้ง่าย และมีเนื้อสัมผัสเป็นเนื้อเดียวกัน และคล้ายชิ้นเนื้อมากที่สุด

3.2 กระบวนการผลิต

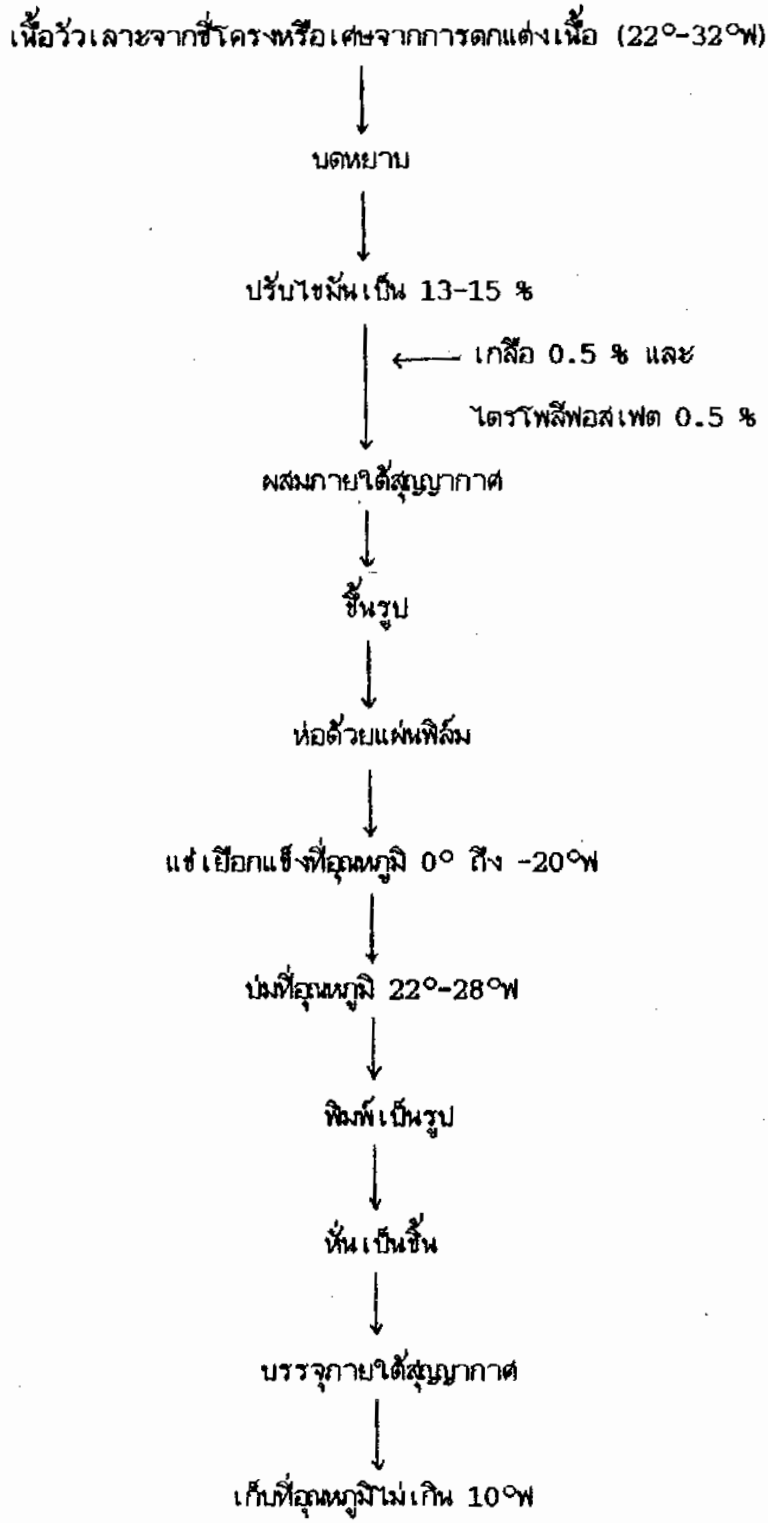
กระบวนการผลิตเนื้อคืนรูปแสดงด้วยภาพประกอบ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

3.2.1 วัตถุดิบ

ใช้เนื้อที่มีคุณภาพดี ตัดแต่งเอ็น กระดูกอ่อน ต่อม ไขมัน และเนื้อผังผืดที่มากเกินพอทิ้งไป (Pearson and Tauber, 1984) เนื้อหมูที่มีคุณภาพดีต้องมีเนื้อแน่น ผิวแห้ง สีชมพูแดง ไม่มีน้ำเยิ้ม มีไขมันแทรกอยู่บ้าง ไม่มีลักษณะชีดหรืออ่อนนุ่ม (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2519) Ensor, et al. (1990) รายงานว่าการเติมเนื้อผังผืดร้อยละ 5 หรือเนื้อผังผืดที่ผ่านการทำให้เปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติ ร้อยละ 5-10 ในเนื้อวัวคืนรูปที่ผลิตโดยใช้สารเชื่อมกลุ่มอัลจินและแคลเซียมเจล ยังคงมีคุณภาพการยอมรับทั้งด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติ

3.2.2 การทำนุ่ม

เนื้อที่มีความเหนียวสามารถทำให้นุ่มได้ โดยใช้เครื่องทำนุ่มแบบใบมีด (blade tenderization) นิยมใช้กับการผลิตเนื้อคืนรูปชนิดตัดเป็นก้อนและขึ้นรูป เนื้อ



ภาพประกอบ 1 กระบวนการผลิตเนื้อคืนรูป

ที่มา : Pearson และ Tauber (1984)

เหนียวที่ใช้การทำนุ่มวิธีนี้ ได้แก่เนื้อสัตว์ป่า เนื้อส่วนที่ใช้งานหนัก เนื้อผังผืด และเนื้อที่มีไขมันมาก (Pearson and Tauber, 1984) Booren, et al. (1981 a) รายงานว่าการทำนุ่มเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตสเต็กคืนรูปชนิดตัดและขึ้นรูป (sectioned and formed restructured steak) Booren, et al. (1981 b) รายงานว่าสเต็กคืนรูปที่ผลิตจากเนื้อส่วนเหนียวยังคงได้รับการยอมรับ เมื่อผ่านการทำนุ่ม 2 ครั้งด้วยเครื่องทำนุ่มแบบใบมีดก่อนการผลิต แต่ Rolan, et al. (1988) รายงานว่าไม่มีผลดีของการทำนุ่มในการผลิตสเต็กเนื้อวัวคืนรูปจากเนื้อส่วนเหนียว ทั้งคุณภาพเนื้อสัมผัสและปริมาณเนื้อผังผืดที่ยอมรับ และเนื่องจากมีการบดเนื้อก่อนการผสมจึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีทำนุ่มร่วมด้วย

3.2.3 การลดขนาดของชิ้นเนื้อ

ทำได้โดยการบดผ่านเครื่องบดเนื้อชนิดหยาบ การหั่นเป็นแผ่น หรือการบดผ่านเครื่องบด วิธีหลังนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งจำเป็นสำหรับการสกัดไมโอซิน และช่วยให้มีการเชื่อมชิ้นเนื้อได้ดีขึ้น (Pearson and Tauber, 1984) ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาในสเต็กเนื้อหมูคืนรูปซึ่งพบว่าเนื้อชิ้นใหญ่ทำให้การยึดติดของสเต็กลดลง แต่ขนาดของชิ้นเนื้อในช่วง 3.0-12.7 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อคุณภาพของสเต็กเนื้อหมูคืนรูปที่ผลิตได้ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความฉ่ำ กลิ่นรส ลักษณะปรากฏรวม และความคล้ายคลึงสเต็กที่ผลิตจากชิ้นเนื้อ (Chesney, et al., 1978; Marriotte, et al., 1987)

3.2.4 การผสม

ขั้นตอนนี้จำเป็นต่อการทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อกระจายตัว และเกิดการปลดปล่อยโปรตีนกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดเส้นใยตาข่ายเหนียวที่บริเวณผิวของชิ้นเนื้อ สำหรับการเชื่อมชิ้นเนื้อเข้าด้วยกัน ควรใส่เกลือและฟอสเฟตก่อนการผสมเพื่อช่วยให้เกิดการสกัดไมโอ-ไฟบริลลาโปรตีน ทำการผสมภายใต้สุญญากาศหรือแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ เพื่อขจัดออกซิเจนและช่วยชลอการเกิดออกซิเดชัน รักษาอุณหภูมิขณะผสมให้ต่ำตลอดเวลาเพื่อช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ การควบคุมอุณหภูมิในทุกขั้นตอนของการผลิตสำคัญมากต่อคุณภาพของเนื้อคืนรูป (Pearson and Tauber, 1984)

3.2.5 การบรรจุและการขึ้นรูป

โดยการบรรจุส่วนผสมใส่ในไส้หรือถาดสำหรับแช่เยือกแข็ง ทำการแช่เยือกแข็งทันทีในห้องแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า ที่อุณหภูมิช่วง 0°ฟ ถึง -20°ฟ แล้วบ่มเพื่อให้สะดวกต่อการขึ้นรูปและการหั่น อุณหภูมิที่ใช้บ่มขึ้นกับปริมาณเกลือและฟอสเฟตที่ใช้ กล่าวคือ

กรณีไม่ใช้เกลือและฟอสเฟตควรบ่มที่อุณหภูมิ 26°-28°ฟ ถ้าใช้เกลือและฟอสเฟตปริมาณร้อยละ 0.5 และ 0.3 ควรบ่มที่อุณหภูมิ 22°-24°ฟ หากใช้เกลือมากขึ้นเป็นร้อยละ 1.0 ร่วมกับฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ควรบ่มที่อุณหภูมิ 20°-22°ฟ หลังจากนั้นอัดเนื้อให้มีรูปร่างตามต้องการด้วยเครื่องอัดเนื้อแบบไฮดรอลิก การใช้เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศต่อเนื่อง (continuous vacuum stuffer) จะเหมาะสมต่อการขึ้นรูปโดยการบรรจุเนื้อในแม่พิมพ์ แช่เยือกแข็งและบ่ม แล้วหั่นให้เป็นชิ้นที่มีขนาดตามต้องการได้ทันที ทั้งนี้ควรมีการพัฒนาผลิตเครื่องมือที่สามารถขึ้นรูปและหั่นเป็นชิ้นในเครื่องเดียวกันได้ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อคืนรูปได้ในอนาคตอันใกล้นี้ (Pearson and Tauber, 1984)

3.2.6 การเก็บรักษา

โดยการห่อเนื้อคืนรูปด้วยแผ่นฟิล์มชนิดโพลีเอทิลีนหรืออื่นๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°ฟ หรือไม่สูงกว่า 10°ฟ (Pearson and Tauber, 1984)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อคืนรูป

4.1 สารเชื่อม (Binders)

สารเชื่อมแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือโปรตีนเนื้อ (meat protein) และสารเชื่อมอื่นที่ไม่ใช่เนื้อ (non-meat protein)

4.1.1 โปรตีนเนื้อ (meat protein)

ผลิตภัณฑ์เนื้อคืนรูปอยู่ในลักษณะของอิมัลชันของเนื้อ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เนื้อบด ประกอบด้วย 2 ระบบคือส่วนของเหลวต่อเนื่อง (continuous aqueous phase) ซึ่งมีชิ้นเนื้อกระจายตัวอยู่ในน้ำ และส่วนที่กระจาย (dispersed phase) ซึ่งได้แก่อนุภาคไขมัน ในส่วนของเหลวต่อเนื่องนั้น นอกจากมีเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันกระจายตัวในน้ำแล้ว ยังมีโปรตีนที่ละลายน้ำและส่วนประกอบของกล้ามเนื้อชนิดอื่นที่ละลายน้ำได้อยู่ด้วย การผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อคืนรูปจึงต้องการการเชื่อมตัวของไขมันและน้ำโดยเจลโปรตีนที่คงตัวเมื่อผ่านความร้อน เพื่อให้มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะปรากฏ และรสชาติที่ดี (Tarrant, 1981)

โปรตีนเนื้อที่ละลายน้ำและกระจายอยู่ในส่วนของเหลวต่อเนื่องของอิมัลชันของเนื้อประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ ไมโอไฟบริลลาโปรตีน (myofibrillar protein) และซาร์โคพลาสมิกโปรตีน (sarcoplasmic protein) ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายอิงเอเจน (emulsifying agent) โดยล้อมรอบผิวของอนุภาคไขมันซึ่งอยู่ในส่วนที่กระจาย ทำให้

เกิดการตกตะกอนของโปรตีนดังกล่าวเกิดเป็นเส้นใยตาข่ายโปรตีน 3 มิติ อุ้มอนุภาคไขมัน และอุ้มน้ำไว้ด้วยแรงคะปิลลารี (capillary force) ทำให้เกิดความคงตัวของอิมัลชันได้ตลอดไป ทั้งนี้พบว่าไมโอไฟบริลลาโปรตีนมีประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลซิฟายอิงเอเจนได้ดีกว่าซาร์โคพลาสมิกโปรตีน และในอิมัลชันของไส้กรอกที่ประกอบด้วยเกลือร้อยละ 2.5-3.0 (0.5-0.6 M NaCl) หรือทำการผสมภายใต้สุญญากาศ ทำให้เกิดการสกัดและการละลายของไมโอไฟบริลลาโปรตีนได้มากขึ้น และมีความสามารถในการอุ้มอนุภาคไขมันเพิ่มขึ้น (Tarrant, 1981)

ในสภาวะที่มีเกลือ ไมโอซินมีความสามารถในการเชื่อมขึ้นเนื้อได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับโปรตีนเนื้ออีก 2 ชนิด คือแอกโตไมโอซิน (actomyosin) และซาร์โคพลาสมิกโปรตีน ซึ่งโปรตีนชนิดหลังนี้จะลดความสามารถดังกล่าวของไมโอซินลงในสภาวะที่มีเกลือ แต่สามารถส่งเสริมความสามารถของไมโอซินในสภาวะที่ไม่มีเกลือได้ โดยการถ่ายทอดประจุให้ไมโอซินในลักษณะเดียวกับเกลือ (Tarrant,1981)

ไมโอซิน เป็นโปรตีนเนื้อเพียงชนิดเดียวที่สามารถสร้างเจลแข็งแรง เมื่อผ่านความร้อน แต่แอกติน (actin) ก็มีส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณสมบัติการยืดหยุ่นในอิมัลชันของไส้กรอกด้วย ซาร์โคพลาสมิกโปรตีนสามารถทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายอิงเอเจนได้ โดยการสร้างแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่ผิวของน้ำและไขมัน แต่คุณสมบัติในการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนมีน้อย สำหรับคอลลาเจนสามารถเชื่อมน้ำในระบบของอิมัลชันได้ แต่เมื่อได้รับความร้อนเกิดการหดตัวและบางส่วนเปลี่ยนสภาพไปเป็นเจลาติน ทำให้ไม่สามารถเชื่อมอนุภาคไขมัน แต่ยังคงเชื่อมน้ำได้ เนื้อที่มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและไขมันมากมีความสามารถในการเชื่อมต่ำน้อย (Tarrant, 1981)

4.1.2 สารเชื่อมอื่นที่ไม่ใช่เนื้อ (non-meat protein)

การใช้วัตถุดิบอื่นที่ไม่ใช่เนื้อในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ได้แก่สารเชื่อม (binders) หรือสารเสริมเนื้อ (extenders) สารเหล่านี้อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้ในปริมาณหนึ่งและต้องมีการควบคุมปริมาณการใช้ด้วย ซึ่งในสหรัฐอเมริกามีหน่วยงานที่รับผิดชอบเรื่องนี้โดยเฉพาะ คือ USDA (Pearson and Tauber, 1984) นอกจากนี้ยังใช้สารเติม (fillers) สารคงตัว (stabilizers) และอิมัลซิฟายเออ (emulsifiers) แต่สารกลุ่มนี้ได้รับความนิยมน้อยกว่า จุดประสงค์ในการใช้สารอื่นที่ไม่ใช่เนื้อมีหลายประการ ได้แก่เพื่อปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชัน เพื่อปรับปรุงการเชื่อมต่ำของไขมัน เพื่อเพิ่ม

ความสามารถในการอุ้มน้ำ เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน เพื่อปรับปรุงผลผลิตเมื่อสุก เพื่อให้สะดวกต่อการหั่นเป็นชิ้น เพื่อปรับปรุงกลิ่นรส และเพื่อลดต้นทุนการผลิต สารเชื่อมจึงหมายถึง สารที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมตัวกับน้ำและไขมันให้เกิดความคงตัวของอิมัลชันได้ (Peason and Tauber, 1984) และจำแนกตามปริมาณโปรตีนในองค์ประกอบของสารชนิดนั้น สารเชื่อม (binders) มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสารเติม (fillers) ตัวอย่างสารเชื่อม ได้แก่นมผงพร่องไขมัน นมผงพร่องไขมันแคลเซียมต่ำ หางนมผง และโซเดียมเคซีเนท นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง ได้แก่ แป้งถั่วเหลือง เกล็ดถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Kramlich, 1971) สำหรับสารคงตัวนิยมใช้ในไส้กรอกบ้าง มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมาก ได้แก่ พวกกัมต่างๆ เช่น อัลจิเนต (alginate) กัมอราบิก (gum arabic) และกัมทรากาแคนท์ (gum tragacanth)

USDA อนุญาตให้ใช้สารอื่นที่ไม่ใช่เนื้อกลุ่มนี้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้ร่วมกัน ในปริมาณร้อยละ 3.5 ได้แก่ธัญพืช แป้ง แป้งจากผัก แป้งถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น นมผงพร่องไขมัน และนมผงพร่องไขมันแคลเซียมต่ำ ส่วนโปรตีนถั่วเหลืองสกัดให้ใช้ได้เพียงร้อยละ 2 การใช้สารทั้ง 2 กลุ่มนี้ในปริมาณที่มากกว่ากำหนด ต้องบอกกำกับไว้ในฉลาก สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อชิ้นรูปแท่งสี่เหลี่ยมยาวมี 2 ชนิด ได้แก่ชนิดธรรมดา ซึ่งถูกจำกัดปริมาณการใช้สารเสริมเนื้อ และชนิดพิเศษ (luxury loaves) ที่ไม่ถูกจำกัดปริมาณการใช้สารเสริมเนื้อ (Pearson and Tauber, 1984)

4.1.2.1 อัลจินและแคลเซียมเจล

มีการใช้อัลจิเนตซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งเป็นสารคงตัว และช่วยเพิ่มการไหลของโซล (sol) ในอาหาร ไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติในการเกิดเจลในอาหารทั่วไป (Rees and Welsh, 1977) และยังสามารถดูดซับน้ำได้มาก (Glicksman, 1982) อัลจินแตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ตรงที่สามารถชักนำให้เกิดเจลได้โดยคุณสมบัติทางเคมีมากกว่าการใช้ความร้อน อัลจินเจลเกิดขึ้นได้โดยการเชื่อมตัวภายในระหว่างอนุมูลที่มีประจุบวก ยกเว้นแมกนีเซียม กับโมเลกุลของโพลีแซค-คาไรด์ ในส่วนของกรดกูลูโรนิก (guluronic acid) (Rees and Welsh, 1977) เจลของอัลจินและแคลเซียม และโปรตีนในกล้ามเนื้อ ทำปฏิกิริยากันด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) (Bernal, et al., 1987) นอกจากนี้แคลเซียม และอัลจินยังทำให้เกิดสภาพการเรียงตัวใหม่ ของแอกตินและไมโอโกลบิน (myoglobin) เมื่อ

ผ่านความร้อนแล้ว (Ensor, et al., 1990) แคลเซียมดีกว่าอนุมูลที่มีประจุบวกชนิดอื่น เนื่องจากมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับอัลจิน และนิยมใช้เป็นแหล่งของประจุบวกในวงการอาหารโดยทั่วไป (Sanderson, 1981) อัลจินมีคุณสมบัติในการเกิดเจล โดยสามารถทำปฏิกิริยากับเกลือแคลเซียมเกิดเจลอย่างรวดเร็ว ใช้เป็นสารเชื่อมในผลิตภัณฑ์เนื้อบดได้ดีทั้งในสภาพสดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็นและสภาพสุกได้ (Johnson, et al., 1990)

Means และ Schmidt (1986) รายงานการศึกษาผลของอัลจินร่วมกับแคลเซียมเจลต่อคุณภาพของสเต็กดีนรูป โดยใช้โซเดียมอัลจิเนต 3 ระดับได้แก่ร้อยละ 0.4, 0.8 และ 1.2 ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 3 ระดับ ได้แก่ร้อยละ 0.072, 0.144 และ 0.216 ร่วมกับโซเดียมอิริทอร์เบต (sodium erythorbate) ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน เปรียบเทียบผลการทดลองกับสเต็กดีนรูป ที่มีส่วนผสมของเกลือและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 1.4 และ 0.32 สเต็กที่ผลิตจากชิ้นเนื้อ และสเต็กดีนรูปที่ไม่มีสารเติมแต่งอาหารซึ่งเป็นชุดควบคุม ผลการทดลองสรุปได้ว่า อัลจินและแคลเซียมเจลมีประสิทธิภาพในการเป็นสารเชื่อมชิ้นเนื้อดิบที่ดี และปริมาณที่เหมาะสมในการเชื่อมตัวของเนื้อทั้งสุกและดิบ คือการใช้โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนร้อยละ 0.8-1.2 และ 0.144-0.216 การใช้โซเดียมอัลจิเนตระดับสูงมีผลต่อการเกิดกลิ่นรสผิดปกติ และความรู้สึกเนียนหรือลื่น (slippery, mealy) โดยเกิดจากส่วนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในระดับสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อขจัดความรู้สึกเนียนหรือลื่นของเนื้อ สำหรับกลิ่นของเนื้อสุกและการกระจายตัวของไขมันในเนื้อดิบไม่มีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะใช้โซเดียมอัลจิเนตร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตที่ระดับใดก็ตาม ทั้งนี้สเต็กดีนรูปที่ผลิตได้มีพีเอชสูงกว่าปกติ กล่าวคือพีเอชของสเต็กดีนรูปที่มีอัลจินและแคลเซียมเจลเป็นสารเชื่อม และสเต็กดีนรูปที่ไม่มีสารเติมแต่งอาหารเป็น 5.97 และ 5.45 ตามลำดับ แต่เนื่องจากเนื้อที่มีพีเอชสูง (5.8-5.6) มักมีการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ต่างชนิด และเร็วกว่าเนื้อที่มีพีเอชปกติ (ประมาณ 5.5) จึงควรใช้กรดร่วมในการผลิต เพื่อยืดอายุการเก็บของสเต็กดีนรูปให้ยาวนานขึ้น

Means, et al. (1987) รายงานว่า การใช้กลูโคโนเดลตาแลคโตน (Glucono-Delta-Lactone, GDL) เป็นกรดในการผลิตเนื้อดีนรูป สามารถป้องกันการเกิดกลิ่นรสผิดแผกได้ โดยกรดทำให้พีเอชลดลง และเพิ่มความสามารถในการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งในปฏิกิริยาการเกิดเจลของอัลจินและแคลเซียม ต้องการปริมาณ

อนุมูลแคลเซียมอย่างเพียงพอในการเกิดเจลที่สมบูรณ์และรวดเร็ว แต่การใช้ GDL ร้อยละ 0.2 ร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.72 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.14 ไม่ทำให้เกิดผลดีของผลิตภัณฑ์ ทั้งด้านการเชื่อมตัวของเนื้อและกลิ่นรส

Clarke, et al. (1988 a) ศึกษาการใช้อัลจินและแคลเซียมร่วมกับกรดแลคติก เป็นสารเชื่อมในการผลิตเนื้อวัวคืนรูป โดยใช้อัตราส่วนสารเชื่อม 6 ระดับ คือ 0, 0.28, 0.57, 0.85, 1.13 และ 1.42 พบว่าที่อัตราส่วน 0.57 ซึ่งประกอบด้วยโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.4 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.067 และส่วนผสมของกรดแลคติกและแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 0.10 หรือที่อัตราส่วนสูงกว่า ให้ผลของการเชื่อมตัวของเนื้อสุกและผลผลิตเมื่อสุกที่ดี โดยไม่แตกต่างกันเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น ส่วนการเชื่อมตัวของเนื้อดิบเพิ่มขึ้นตามระดับของสารเชื่อมที่เพิ่มขึ้น

Clarke, et al. (1988 b) ศึกษาผลของพีเอชและอัลจินและแคลเซียมเจลต่อคุณภาพของเนื้อวัวคืนรูป พบว่าเนื้อที่มีพีเอช 5.7-5.8 ให้ผลการเชื่อมตัวของเนื้อดิบที่ดี การลดพีเอชของเนื้อ มีผลให้ความแข็งของเนื้อคืนรูปสุกและดิบเพิ่มขึ้น แต่มีผลผลิตลดลง ส่วนการใช้ส่วนผสมของอัลจิเนต แคลเซียม และแลคเตท ในอัตราส่วนร้อยละ 0.06, 0.10 และ 0.15 ตามลำดับ ให้ผลการเชื่อมตัวของเนื้อดิบที่ดี และมีแนวโน้มทำให้ความแข็งของเนื้อคืนรูปลดลง โดยแลคเตททำให้พีเอชลดลงเล็กน้อย และส่งเสริมการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต

Trout (1989) ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมอัลจิเนตต่อสีและความอยู่ตัวของเนื้อหมูคืนรูป โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.00-0.26 และโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.0-1.4 พบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว จะช่วยรักษาสีของเนื้อหมูคืนรูปไม่ให้เปลี่ยนแปลง และเมื่อใช้โซเดียมอัลจิเนตเพียงอย่างเดียว สีของเนื้อหมูคืนรูปจะเปลี่ยนแปลงไปมาก แต่เมื่อใช้สารทั้งสองชนิดนี้ร่วมกัน พบว่าได้ผลดีเนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยรักษาการเปลี่ยนแปลงสี ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตได้ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมอัลจิเนต ที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นน้อยที่สุด และมีการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อในเนื้อหมูคืนรูปทั้งดิบ และสุกที่ดี คือร้อยละ 0.13 และ 0.7 ตามลำดับ

Trout, et al. (1990) ศึกษาเนื้อสัมผัส สี และความคงตัวของสีของเนื้อหมูคืนรูปที่ผลิตโดยใช้สารเชื่อมต่างๆ ดังต่อไปนี้

ชุดที่ 1 ไม่ใช้สารเติมแต่งอาหาร เป็นชุดควบคุม

ชุดที่ 2 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.26

ชุดที่ 3 โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.7

ชุดที่ 4 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.26 และโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.7

ชุดที่ 5 เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.5 (รหัส S+P)

ชุดที่ 6 เกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.26 (รหัส S+CC)

ผลการทดลองแสดงในตาราง 2 และภาพประกอบ 2 จากตาราง 2 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว หรือเมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตหรือเกลือทำให้เนื้อคืนรูปที่ผลิตได้มีพีเอชสูงกว่าเนื้อคืนรูปปกติ ส่วนโซเดียมอัลจิเนตไม่มีผลต่อพีเอชของเนื้อคืนรูป

จากตาราง 2 สรุปได้ว่าเนื้อหมูคืนรูปที่ผลิตโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.26 เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับเกลือร้อยละ 0.75 มีเนื้อสัมผัสและความคงทนของสีดีที่สุด แคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มแรงเฉือนของเนื้อหมูคืนรูป ส่วนโซเดียมอัลจิเนตไม่มีผลต่อแรงเฉือนของเนื้อหมูคืนรูป แต่ทำให้ความเหนียวลดลง ไม่ว่าจะใช้เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตก็ตาม โดยสารเชื่อม 2 ชนิดไม่มีผลของปฏิกิริยาร่วมกัน

ผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับรายงานการศึกษาของ Trout (1989) ซึ่งพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตไม่มีผลต่อแรงเฉือนของเนื้อหมูคืนรูป ในขณะที่โซเดียมอัลจิเนตมีผลทำให้แรงเฉือนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการทำให้สุกแตกต่างกัน กล่าวคือในการศึกษาของ Trout (1989) ทำให้สุกโดยการอบ ส่วนการทดลองนี้ทำให้สุกโดยการทอด ซึ่งสเต็กที่ทำให้สุกโดยการอบนั้นเกิดการพองตัวขึ้นระหว่างการอบ มีผลให้ค่าแรงเฉือนผิดพลาดไป

จากภาพประกอบ 2 พบว่าเนื้อหมูคืนรูปที่มีโซเดียมอัลจิเนต ไม่ว่าจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตหรือไม่ก็ตาม มีการเปลี่ยนแปลงสีในระยะแรกสูงกว่าสเต็กเนื้อหมูคืนรูปชุดอื่นเล็กน้อย แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีตลอดระยะเวลาการเก็บที่อุณหภูมิ -20°ซ เป็นเวลา 3 เดือน สำหรับเนื้อหมูคืนรูปที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียวหรือมีโซเดียมอัลจิเนตอยู่ด้วย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บ แต่เมื่อมีเกลืออยู่ด้วยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นในอัตราเดียวกับชุดควบคุมซึ่งไม่มีสารเติมแต่งอาหาร เนื้อหมูคืนรูปที่มีเกลือและฟอสเฟตมีการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นในอัตราเร็วประมาณสองเท่าของชุดควบคุม และมีการเปลี่ยนแปลงสีมาก

ตาราง 2 พีเอชและแรงเฉือนของเนื้อสุก ความแข็ง การยึดติด และความยืดหยุ่นของสเต็กเนื้อหมูคืนรูป

ชุดการทดลอง		pH	แรงเฉือน	ความแข็ง[x]	การยึดติด[y]	ความยืดหยุ่น[z]
แคลเซียมคาร์บอเนต (ร้อยละ)	โซเดียมอัลจิเนต (ร้อยละ)		(กรัม/ซม.^{2})	(กก.)		(ซม.)
0.00	0.0	5.70^a	170^a	8.62^b	0.395^b	0.656^b
0.26	0.0	6.03^b	347^c	10.84^c	0.429^c	0.717^b
0.00	0.7	5.77^a	203^b	4.61^a	0.320^{ab}	0.465^b
0.26	0.7	6.33^c	277^b	5.56^a	0.284^a	0.449^a
S+P		6.06^b	207^b	9.57^{bc}	0.386^b	0.652^b
S+CC		6.13^b	228^b	9.23^b	0.372^b	0.650^b

abc : ในหลักเดียวกันที่มีอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่าง ($p>0.05$)

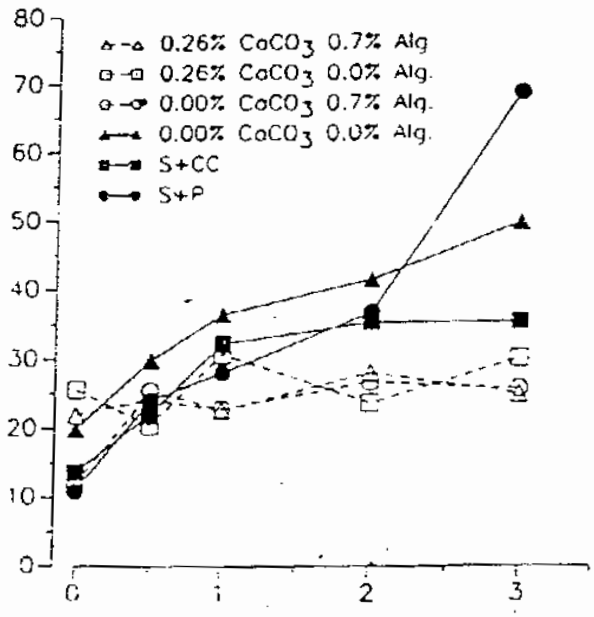
x : แรงสูงสุดที่ต้องใช้ในการกดตัวอย่างลงไปร้อยละ 25 ของความสูงเริ่มต้น

y : ส่วนขยายที่ตัวอย่างเสียรูปร่างก่อนขาดจากกัน

z : ความสูงที่ตัวอย่างกลับสู่สภาพเดิมระหว่างจุดสุดท้ายของการกดครั้งแรกและจุดแรกของการกดครั้งที่ 2

ที่มา : Trout, et al. (1990)

การเปลี่ยนแปลงสี (ร้อยละ)



ระยะเวลาเก็บ (เดือน)

ภาพประกอบ 2 ผลของระยะเวลาเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสเต็กเนื้อหมูคืนรูป

ที่มา : Trout, et al. (1990)

ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลองที่เก็บ 3 เดือน ทั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.26 เพียงอย่างเดียว สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหมูคืนรูปในระหว่างการเก็บได้ โดยสามารถป้องกันได้ดีที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับอัลจิเนตร้อยละ 0.7 และป้องกันได้บ้างเมื่อใช้ร่วมกับเกลือร้อยละ 0.75 และการศึกษานี้ยังสรุปได้ว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหมูคืนรูปที่มีเกลือได้ดีกว่าโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

การศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานอื่นๆ ที่กล่าวว่าสเต็กคืนรูปที่มีแคลเซียมอัลจิเนตมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าสเต็กคืนรูปที่มีการใช้เกลือและฟอสเฟต (Means and Schmidt, 1986; Means, et al., 1987) และแคลเซียมอัลจิเนตยังปรับปรุงสีของเนื้อหมูคืนรูปได้โดยอาศัยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในสารเชื่อมกลุ่มอัลจิเนตเป็นตัวปรับปรุงสี (Trout, 1989)

4.1.2.2 สารเชื่อมกลุ่มโปรตีนถั่วเหลือง

สารเชื่อมกลุ่มโปรตีนถั่วเหลืองโดยทั่วไปได้แก่แป้งถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แป้งถั่วเหลืองมีทั้งแป้งที่มีไขมันสูงและแป้งที่สกัดไขมันออกแล้ว ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 30 และไขมันร้อยละ 20 และโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 50 ตามลำดับ โดยปกติแป้งถั่วเหลืองที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อมักใช้แป้งที่สกัดไขมันออกแล้วเท่านั้น โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเตรียมจากแป้งถั่วเหลืองหรือเกล็ดถั่วเหลือง (grits) ผ่านการกำจัดคาร์โบไฮเดรท มีปริมาณโปรตีนต่ำสุดร้อยละ 70 และ 90 ตามลำดับ โปรตีนถั่วเหลืองไม่เพียงแต่เป็นสารเสริมโปรตีน แต่ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มไขมัน โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดยังมีคุณสมบัติในการเกิดเจล ซึ่งช่วยเพิ่มการยึดติดกันของชิ้นเนื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีการตัดและขึ้นรูปใหม่ (Pearson and Tauber, 1984) องค์ประกอบของสารเชื่อมกลุ่มโปรตีนถั่วเหลืองแสดงในตาราง 3 (ลักขณา รุจนะโกรกานต์, 2529)

Rockower, et al. (1983) ศึกษาการใช้แป้งถั่วเหลืองและโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 10-30 ร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.2-4.4 ในปลาบดแผ่น (minced fish patties) พบว่าเมื่อโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นและโซเดียมอัลจิเนตลดลง ทำให้ความแน่นของแผ่นปลาเพิ่มขึ้น แผ่นปลาที่มีแนวโน้มได้รับการยอมรับมากที่สุดได้จากการใช้เนื้อปลา แป้งถั่วเหลือง และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นในอัตราส่วน 78:11:11

ตาราง 3 องค์ประกอบของสารเชื่อมกลุ่มโปรตีนถั่วเหลือง

สารเชื่อม	องค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)			
	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรท	เถ้า
แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน	44-55	1	30	6.5
โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น	65-70	0.3	18	5
โปรตีนถั่วเหลืองสกัด	90-95	-	-	2

ที่มา : ดัดแปลงจาก ลักขณา รุจนะไกรกานต์ (2529)

Alvarez, et al. (1990) รายงานว่าการใช้แป้งข้าวโพดปริมาณร้อยละ 10-30 ในเนื้อไก่ตีนรูป ยังคงให้ประสิทธิภาพการยอมรับ และมากกว่าการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตนจากข้าวสาลี

Romijn, et al. (1991) รายงานว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดปริมาณร้อยละ 8-24 ที่เติมในเนื้อวัวบดมีคุณสมบัติป้องกันการหืนได้ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติกันหืนได้ ได้แก่สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenolic compound) กรดฟีโนลิก (phenolic acid) อะโรมาติกเอมีน (aromatic amine) สารประกอบซัลไฮดริล (sulfhydryl compound) ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) กรดอะมิโน (amino acid) เปปไตด์ (peptide) และไฟเตท (phytate)

4.1.2.3 สารเชื่อมกลุ่มอนุพันธุ์โปรตีนนม

อนุพันธุ์โปรตีนนมที่นิยมใช้กันมากในผลิตภัณฑ์เนื้อ ได้แก่นมผงพร่องไขมัน นมผงพร่องไขมันแคลเซียมต่ำ หางนมผงแห้ง โปรตีนหางนมเข้มข้น เนยผง เคซีเนต และนมผงพร่องไขมันแบบตกตะกอนร่วม นิยมใช้นมผงพร่องไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เนื่องจากช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำและไขมัน มีราคาถูกกว่าโปรตีนเนื้อคุณภาพสูง และเมื่อใช้ในปริมาณสูงสุดที่ USDA อนุญาตให้ใช้ได้คือร้อยละ 3.5 พบว่าช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากนมผงพร่องไขมันมีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 36 และมีไขมันต่ำเพียงร้อยละ 0.8 แต่นมผงพร่องไขมันมีข้อเสียคือ มีปริมาณแลคโตสและเถ้าสูง องค์ประกอบโดยประมาณของอนุพันธุ์โปรตีนนม แสดงในตาราง 4 (Pearson and Tauber, 1984)

Girard, et al. (1990) ใช้โซเดียมเคซีเนตร้อยละ 0-6 ในการผลิตไส้กรอกแฟรงเฟอเตอร์ (frankfurter) พบว่าเคซีเนตปริมาณร้อยละ 1-3 สามารถลดปริมาณแก๊สในไส้กรอกได้ แต่ทำให้น้ำหนักเนื้อหลังจากทำให้สุกลดลงร้อยละ 10-37 การใช้ปริมาณเคซีเนตมากขึ้น มีผลให้อุทกภูมิชณะผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้ความแข็งของไส้กรอกเพิ่มขึ้น ส่วนความฉ่ำและความยืดหยุ่นลดลง

4.2 เกลือ

ผลิตภัณฑ์เนื้อวัวและเนื้อหมูเมื่อมีเกลืออยู่ด้วยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาที่ใช้ผสม (Booren, et al., 1981 b) และระยะเวลาการเก็บแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น (Trout, et al., 1990) เกลือเร่งการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อดีนรูปที่ผลิตจากเนื้อวัว เนื้อ

ตาราง 4 องค์ประกอบโดยประมาณของอนุพันธุ์โปรตีนนม

สารเชื่อม	องค์ประกอบโดยประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)				
	โปรตีน	ไขมัน	แลคโตส	ความชื้น	เถ้า
นมผงพร่องไขมัน	35.9	0.8	52.3	3.0	8.0
นมผงพร่องไขมันลดแคลเซียม	36-39	0.8	52.3	3.0	4-7
หางนมผงแห้ง	12.0	1.1	73.5	4.5	8.0
โปรตีนหางนมเข้มข้น	20-60	2-9	18-60	2.0	3-18
เนยแห้ง	34.4	5.3	50.0	2.8	7.6
เคซีเนต	92.0	0.8	-	4.0	1.5
นมผงพร่องไขมันแบบตกตะกอนร่วม	83.0	1.5	0.0	4.0	10.0

ที่มา : Pearson และ Tauber (1984)

หมู และเนื้อไก่งวง ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์กัน (Akamittath, et al., 1990) สอดคล้องกับการศึกษาของ Means และ Schmidt (1986) ซึ่งรายงานว่าเนื้อวัวคืนรูปที่มีเกลือมีสีคล้ำกว่าปกติ โดยเกลือเพิ่มอัตราการเกิดออกซิเดชันของเม็ดสีในเนื้อแดงคือ ออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) และออกซีไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) และหรือฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และไมโอโกลบิน (myoglobin) ตามลำดับ

Chu, et al. (1987) รายงานว่าเกลือร้อยละ 1.5 เร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อวัวคืนรูป Wheeler, et al. (1990) พบว่าเนื้อวัวคืนรูปที่ไม่มีเกลือมีปริมาณการดไทโอบาบิทูริค (thiobarbituric acid, TBA) ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่มีเกลือร้อยละ 0.375 และ 0.750 Akamittath, et al. (1990) รายงานว่าเกลือเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในสเต็กคืนรูปที่ผลิตจากเนื้อหมูและเนื้อไก่งวง กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบสเต็กคืนรูปที่มีเกลือร้อยละ 0.5 และไม่มีเกลือ ที่อายุการเก็บ 6 สัปดาห์ พบว่าสเต็กคืนรูปที่ผลิตจากเนื้อหมู มีค่า TBA เพิ่มขึ้นจาก 0.21 และ 0.14 เป็น 1.93 และ 0.53 ตามลำดับ ทำนองเดียวกันกับสเต็กคืนรูปที่ผลิตจากเนื้อไก่งวงมีค่า TBA เพิ่มขึ้นจาก 1.34 และ 0.49 เป็น 3.23 และ 0.90 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของเม็ดสีอย่างรวดเร็ว อาจเป็นตัวกระตุ้นที่เป็นการเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระบบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Akamittath, et al., 1990)

Farouk, et al. (1991) รายงานว่าเกลือเพียงอย่างเดียว หรือเกลือร่วมกับเหล็ก (Fe^{2+}) มีผลให้เนื้อวัวบดทั้งเนื้อสดและเนื้อสุกที่เก็บที่อุณหภูมิ 8-9°ซ เป็นเวลา 7 วัน มีค่า TBA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับรายงานของ Salih, et al. (1989) ซึ่งกล่าวว่าเกลือ และเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่ออยู่ร่วมกันมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันในเนื้อไก่งวงมากกว่าเกลือ เหล็ก (Fe^{2+}) หรือทองแดง (Cu^{2+}) เพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่ง Tichivangana และ Morrissey (1985) รายงานว่าอนุมูลเหล็ก (Fe^{2+}) มีผลการกระตุ้นการหืนในเนื้อสุกได้มากกว่าทองแดง (Cu^{2+}) โคบอลท์ (Co^{2+}) และไมโอโกลบิน ตามลำดับ

กลไกการทำงานของเกลือยังไม่สามารถอธิบายได้แจ่มชัด แต่ก็พอจะอธิบายได้ว่าเกี่ยวข้องกับค่า a_w (water activity) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการแช่เยือกแข็ง กล่าวคือค่า a_w ในเนื้อมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลของการทำขึ้นแบบแช่เยือกแข็งและเกลือ

JOHN F. KENNEDY LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
PATTANI, THAILAND

โดยเปลี่ยนสภาวะไปเป็นอาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food) ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดออกซิเดชันของไขมันได้รวดเร็ว (Labuza, 1971) และอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งอธิบายโดย Chu, et al. (1987) คืออาจเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโอโกลบินซึ่งเกิดขึ้นโดยเกลือร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (Autoxidation) เนื่องจากการเร่งของอนุมูลลบ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองของไมโอโกลบินสามารถนำไปสู่การเกิดเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin, MMb) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากันได้สารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาคือ metmyoglobin-MMb-H_2O_2 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Harel and Kanner, 1985; Kanner and Harel, 1985)

การเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อที่สำคัญ คือปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (Autoxidation) ทำให้เกิดสารประกอบพวกอัลดีไฮด์หรือคีโตน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสไม่ดีในอาหาร แหล่งของกลิ่นรสผิดปกติที่เกิดขึ้นคือกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในเนื้อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศโดยเกิดขึ้นตลอดเวลาเหมือนปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้ได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) จำนวนมากขึ้น ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร จะสลายตัวทำให้ได้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยลง เช่นคีโตน (ketone) อัลดีไฮด์ (aldehyde) อัลกอฮอล์ (alcohol) และกรด สารพวกนี้จะระเหยเกิดกลิ่นและรสหืนในอาหาร ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นเมื่อมีอากาศและถูกเร่งโดยความร้อน แสง รังสีพลังงานสูง และตัวกระตุ้นปฏิกิริยา (pro-oxidant catalyst) นอกจากนี้ยังเกิดขึ้นได้เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โอโซน กรดไนทริก เปอร์มังกาเนต กรดโครมิก และอื่น ๆ (Dugan, 1976) กรดไขมันในเนื้อประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟลิปิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดสารประกอบอัลดีไฮด์ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืนในเนื้อดิบแช่เยือกแข็ง การเกิดออกซิเดชันของไขมันถูกเร่งโดยสารประกอบพวกฮีม (heme compounds) ซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบ (Bhattacharya, et al., 1988)

กลไกการเกิดออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ (Dugan, 1976)

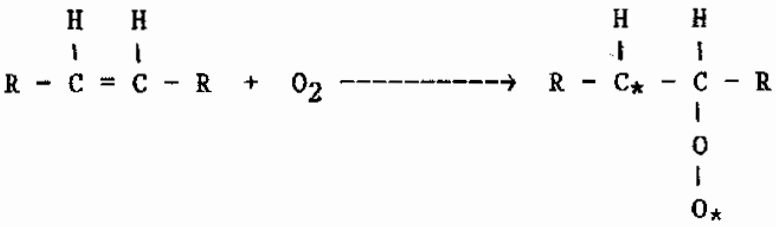
1. ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation reaction) เป็นการเกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (free radical) โดยที่ไฮโดรเจนอะตอมที่เกาะอยู่กับคาร์บอนอะตอม

ACC. No 091055
DATE RECEIVED 26 N.A. 2537
641.364
ว345ค

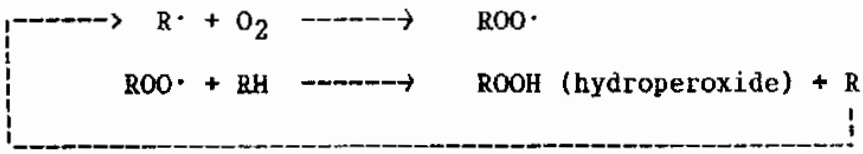
ที่อยู่ถัดไปจากคาร์บอนอะตอมที่มีพันธะคู่หลุดออกไป ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจมีแสง อุณหภูมิ หรือโลหะเป็นตัวเร่งก็ได้ ดังสมการ

$$RH + \text{initiator} \longrightarrow \text{free radical } (R\cdot) + H\cdot$$

ออกซิเจนจะเข้าไปรวมกับตัวกับไฮโดรคาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่ เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy) ดังสมการ



2. ระยะขยายตัวของปฏิกิริยา (Propagation reaction) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (ROO·) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ทำให้ได้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) สะสมเป็นจำนวนมาก ดังสมการ



ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจเกิดปฏิกิริยาต่อไปอีกเมื่อมีแสง ความร้อน และโลหะเป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอีก และในทำนองเดียวกันอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่เกิดอนุมูลเปอร์ออกซีขึ้นอีก และปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ แบบปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้มีอนุมูลอิสระสะสมมากขึ้นในระบบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเร่งเร็วขึ้นเรื่อย ๆ

3. ระยะสิ้นสุด (Termination reaction) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระต่างๆ รวมตัวกันเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่คงตัว เป็นระยะสิ้นสุดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน ดังสมการ

$$R\cdot + R\cdot \longrightarrow RR$$

$$ROO\cdot + R\cdot \longrightarrow ROOR$$

$$ROO\cdot + ROO\cdot \longrightarrow ROOR + O_2$$

เมื่อถึงระยะสิ้นสุดแล้วจะมีสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์สะสมในระบบจำนวนมาก โดยปกติสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไม่มีกลิ่นเฉพาะตัว แต่สารประกอบนี้สามารถสลายตัว

และทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ อัตราการเกิดออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองจะเร็วหรือช้าขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ชนิดของกรดไขมัน แสง อุณหภูมิ ออกซิเจน โลหะ และเอนไซม์ ทั้งนี้อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด

วิธีที่ใช้พิจารณาการเกิดออกซิเดชัน โดยพิจารณาความสัมพันธ์กับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide number) คือการทดสอบด้วยกรดไทโอบาบิทูริค (thiobarbituric acid) โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า TBA อาศัยหลักการที่กรดไทโอบาบิทูริคจะเข้าทำปฏิกิริยากับมาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากออกซิเดชันของไขมัน ผลจากการทำปฏิกิริยากันจะได้สารสีแดง (red chromogen) ซึ่งสามารถวัดปริมาณได้โดยใช้ spectrophotometer แต่อย่างไรก็ตามอาจจะมีอัลดีไฮด์บางชนิดที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิทูริคได้เป็นสารสีแดง และการออกซิไดซ์โปรตีนหรือสารประกอบอื่น ๆ ในอาหารสามารถเกิดสารที่มีสีได้ ทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนจากค่าจริง จึงมีการป้องกันผลจากสารชนิดอื่นโดยทำการสกัดเม็ดสี (pigment) ในอาหารก่อน หรือต้มกลั่นตัวอย่าง และใช้ส่วนที่กลั่นได้ทำปฏิกิริยากับสารที่จะทดสอบ (Allen, 1983)

4.3 ฟอสเฟต

ฟอสเฟตยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในสเต็กคีนรูปที่ผลิตจากเนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่งวง กล่าวคือสเต็กคีนรูปที่มีฟอสเฟตและเกลือมีค่า TBA น้อยกว่าสเต็กคีนรูปที่มีเกลือเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการเป็นสารกระตุ้นการหืน (pro-oxidant) ของเกลือและปัจจัยอื่น เช่น metmyoglobin-MMb-H_2O_2 ร่วมกับการมีโลหะที่มีอนุมูลอิสระ ทำให้บดบังประสิทธิภาพการป้องกันการหืนของฟอสเฟตได้ (Akamittath, et al., 1990) ฟอสเฟตยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้โดยการทำหน้าที่เป็นตัวจับโลหะ (chelator) โดยเฉพาะเหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองของไมโอโกลบิน (Chu, et al., 1987) และหรือโดยการเพิ่มพีเอช (Miller, et al., 1986; Chu, et al., 1987) ทำให้สามารถลดอัตราการเกิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองของไมโอโกลบินได้ (Chu, et al., 1987)

ฟอสเฟตป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของสเต็กคีนรูปที่ผลิตจากเนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่งวง ตลอดระยะเวลาการเก็บ 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งได้ แต่ฟอสเฟตไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 สัปดาห์ได้

ทั้งนี้เนื่องจากมีรายงานจาก Kanner, et al. (1988) กล่าวว่าเนื้อสัตว์ปีกเช่น ไก่ หรือไก่งวงประกอบด้วยอนุมูลเหล็กอิสระจำนวนมาก ซึ่งทำให้กล้ามเนื้อไวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และจำนวนอนุมูลเหล็กอิสระเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บนานขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ใช้จึงมีประสิทธิภาพจำกัดในช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องจากได้จับเหล็กอิสระไปหมดแล้ว ซึ่งเมื่อจำนวนอนุมูลเหล็กอิสระเพิ่มขึ้น ทำให้สมดุลอนุมูลของเหล็กเปลี่ยนไป ทั้งเหล็กอิสระไว้จำนวนมากซึ่งไม่มีฟอสเฟตอิสระเป็นตัวจับ (Akamittath, et al., 1990)

Trout และ Schmidt (1986) ศึกษาผลของชนิดของฟอสเฟตต่อคุณสมบัติการทำงานในเนื้อวัวดีนรูป โดยใช้ส่วนผสมของเกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับฟอสเฟต 5 ชนิด ซึ่งมีความยาวของสายโซ่ (chain length) เป็น 1.0-12.8 กำลังไอออน (ionic strength) เป็น 0.15-0.43 และพีเอชเป็น 5.50-6.25 พบว่าความสามารถในการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 80 ตามกำลังไอออนและพีเอช โดยมีค่าสูงสุดที่พีเอช 5.95-6.35 และกำลังไอออนเป็น 0.29-0.43 ตามลำดับ (คือมีเกลือร้อยละ 1.7-2.5 ร่วมกับฟอสเฟต และมีเกลือร้อยละ 1.1-2.2 โดยไม่มีฟอสเฟต) โพลีฟอสเฟตทุกชนิด ได้แก่ tetrasodium pyrophosphate, sodium tripolyphosphate, sodium tetrapolyphosphate และ sodium hexametaphosphate มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ที่ความเข้มข้น กำลังไอออน และพีเอชเดียวกัน ในขณะที่ disodium-phosphate มีประสิทธิภาพต่ำกว่า

4.4 เวลาผสม

Booren, et al. (1981 a) ศึกษาเวลาผสมต่อคุณภาพของสเต็กเนื้อวัวดีนรูปที่ผลิตจากเนื้อชิ้นใหญ่ โดยใช้เวลาผสม 4 ระดับ คือ 0, 8, 16, และ 24 นาที พบว่าสเต็กดีนรูปที่ผลิตโดยใช้เวลาผสมต่างกัน ไม่มีความแตกต่างของค่า TBA ความฉ่ำ และรสชาติของเนื้อ การใช้เวลาผสม 24 นาทีมีผลให้ผลผลิตลดลง ส่วนการใช้เวลาผสม 16 นาที มีผลให้ความนุ่มและการเชื่อมตัวของเนื้อดีขึ้น จึงสรุปว่าการใช้เวลาผสม 16 นาที ร่วมกับเกลือร้อยละ 0.5 ในการผสมเนื้อ เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการผลิตสเต็กดีนรูปจากเนื้อชิ้นใหญ่