ผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ

Effect of Transglutaminase on Restructured Beef from Trimmed Meat

ลลิดา จิตติสังวร

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศกรรมแปรรูปอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถานบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ

Effect of Transglutaminase on Restructured Beef from Trimmed Meat

จัดทำโดย

ลลิดา จิตติสังวร รหัสนักศึกษา 59080179

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

เพ็ญศิริ แก้วทอง

.....

ดร. เพ็ญศิริ แก้วทอง

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

28 / พ.ค. / 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	ผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ
ชื่อนักศึกษา	ลลิดา จิตติสังวร รหัสนักศึกษา 59080179
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เพ็ญศิริ แก้วทอง

บทคัดย่อ

เอนไซม์ทรานกลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) เป็นเอนไซม์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ เพื่อใช้ในการประสานให้เกิดโครงสร้างของโปรตีนในเนื้อสัตว์ในการผลิตเนื้อขึ้นรูปใหม่ที่มีเนื้อสัมผัสที่ดี การนำเอนไซม์ทรานกลูตามิเนสมาใช้ในการผลิตเนื้อขึ้นรูปใหม่จึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มมูลค่าให้แก่เนื้อเศษเหลือ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (0 1 1.5 และ 2%) ต่อลักษณะทางกายภาพของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากส่วนเนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง โดยทำการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ (องค์ประกอบทางเคมี ค่า pH ค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อ ค่าสี ค่า Drip loss และค่า Cooking loss) ของเนื้อเศษเหลือที่ได้จากส่วนเนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง จากผลการทดลองพบว่า เศษเนื้อทั้ง 3 ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เศษเนื้อแดงมีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าสูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่เศษเนื้อพื้นท้องมีปริมาณไขมันสูงสุด ($p < 0.05$) จึงส่งผลให้เศษเนื้อพื้นท้องมีค่า Drip loss และค่า Cooking loss สูงสุด ($p < 0.05$) เศษเนื้อน่องมีปริมาณโปรตีนสูงสุดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากเศษเนื้อแดง ในขณะที่ค่า pH ของเนื้อทั้ง 3 ชนิดอยู่ในช่วง 5.39-5.47 โดยเศษเนื้อน่องมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อสูงสุด ในขณะที่เศษเนื้อพื้นท้องมีค่าต่ำสุด จากนั้นทำการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (0 1 1.5 และ 2%) ร่วมกับการใช้เกลือ (NaCl 1.5%) ต่อลักษณะทางกายภาพ (ค่าการยึดติดกัน ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) ค่าสี ค่า Cooking loss และค่า Total yield) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดง เศษเนื้อพื้นท้อง เศษและเนื้อน่อง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 1-2% ส่งผลให้ค่าการยึดติดกัน (Binding strength) ของเนื้อขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าการขึ้นรูปโดยไม่ใช้เอนไซม์ (0%) โดยการใช้เอนไซม์ 2% ส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิดมีค่าการยึดติดกัน (Binding strength) สูงสุดไม่แตกต่างจากการใช้เอนไซม์ 1.5% นอกจากนี้การใช้เอนไซม์สามารถรักษาความเป็นสีแดงของเนื้อขึ้นรูปไว้ได้จากค่าความสว่าง (L*) ที่ลดลงและค่าความเป็นสีแดง (a*) ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Cooking loss (%) ของเนื้อขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดต่ำลงเมื่อปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่า Total yield (%) สูงขึ้น ปริมาณเอนไซม์ที่ 1.5% ส่งผลให้เนื้อโคขึ้นรูปจากเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อน่องมีค่าการยึดติดกัน (Binding strength) สูงสูด แต่มีค่า Cooking loss ต่ำ โดยไม่แตกต่างจากการใช้เอนไซม์ 2% ในขณะที่เนื้อโคขึ้นรูปจากเศษเนื้อพื้นท้อง แม้จะมีค่า Cooking loss ต่ำสุดเมื่อใช้เอนไซม์ 2% แต่อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์ที่ 2% ส่งผลให้เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องมีค่าการยึดติดกัน (Binding strength) ไม่แตกต่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เอนไซม์ 1.5% ดังนั้นปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือทั้ง 3 ชนิด อยู่ที่ 1.5% ซึ่งควรใช้ร่วมกับเกลือ (NaCl 1.5%)

คำสำคัญ: เนื้อขึ้นรูปใหม่ เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เนื้อเศษเหลือ เนื้อโค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Effect of Transglutaminase on Restructured Beef from Trimmed Meat
Student name	Lalida Chittisangworn Student ID 59080179
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering
Year	2020
Adviser	Dr. Pensiri Kaewthong

ABSTRACT

Transglutaminase (TGase) is widely use in the meat industry in order to provide the crosslinkage between meat protein and a good texture of restructured meat product. The restructuring technique by using TGase is effective technique for improving the value addition of trimmed meat. The objective of the present study was to investigate the effect of TGase concentrations (0, 1, 1.5 and 2%) on the physical characteristics of restructured beef with trimmed meat obtained from red meat, plate and shank cuts. The physicochemical characteristics (proximate analysis, pH, shear force, color, drip loss and cooking loss) of trimmed meat obtained from all meat cuts was evaluated. The result showed that trimmed meat obtained from 3 meat cuts had a different chemical compositions. The trimmed meat obtained from red meat had highest moisture and ash contents ($p < 0.05$), whereas trimmed meat obtained from plate had highest fat content ($p < 0.05$). The highest fat content caused the highest drip loss and cooking loss in plate cuts. Trimmed meat from shank cut showed the highest protein content, but there was no significant differences in protein content between trimmed meat from shank and red meat. pH of all meat cuts was presented in the range of 5.39-5.47. Moreover, shank cut had the highest shear force, whereas the lowest shear fore was observed in plate cut. The effect of TGase concentrations (0, 1, 1.5 and 2%) and salt (1.5% NaCl) on the physical properties (binding strength, texture profile analysis, color, cooking loss and total yield) of restructured beef with trimmed meat obtained from red meat, plate and shank cuts. The results presented that the binding strength of restructured meat prepared using 1-2% TGase was higher than that of the restructured meat prepared without adding enzyme (0%). The restructured beef prepared from all meat cuts treated with 2% TGase had the highest binding strength with no significant difference with the using of 1.5% TGase. Moreover, the high level of TGase could maintain pink color of restructured beef prepared from all meat cuts indicated by the decrease in the L* value and the increase in a* value. The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cooking loss of the restructured beef prepared from all meat cuts was significantly decreased with increasing of TGase concentration, which was related to the increase in the total yield of restructured beef. The restructured beef prepared from red meat and shank cuts treated with 1.5% TGase had the highest binding strength and the lowest cooking loss with no significant difference with the using of 2% TGase. Although, the restructured meat prepared from plate cute treated with 2% TGase showed the lowest cooking loss, there was no significant differences in binding strength between restructured meat treated with 1.5% and 2% TGase. Therefore, the optimum TGase concentration for preparing the restructured meat from red meat, plate and shank cuts was 1.5%, which must be used together with salt (1.5% NaCl).

Keywords: Restructured meat, Transglutaminase, Trimmed meat, Beef

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ หากไม่ได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.เพ็ญศิริ แก้วทองอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ แนวคิด ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อีกทั้งยังให้กำลังใจระหว่างการทำงานมาโดยตลอดจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ ดร. สุพีรยา อาษา ที่เข้าร่วมเป็นกรรมการในการนำเสนอปัญหาพิเศษครั้งนี้ที่ท่านได้ให้ทั้งคำแนะนำและคำติชม

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ในการเป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนการทำงานชิ้นนี้มาโดยตลอด รวมถึงขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในคณะ ที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจการทำงานเสมอ ทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ลลิดา จิตติสังวร

18 พฤษภาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... V

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญภาพ..... VII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ความหมายและความสำคัญของเนื้อสัตว์..... 3

2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของเนื้อสัตว์..... 3

2.3 การตัดแต่งเนื้อสัตว์..... 4

2.4 ประเภทของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์..... 8

2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปใหม่..... 9

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 13

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี..... 13

3.2 อุปกรณ์..... 13

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง..... 14

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 18

4.1 ผลการทดลอง..... 18

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 29

5.1 สรุปผล..... 29

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 29

บรรณานุกรม..... 30

ภาคผนวก..... 35

ภาคผนวก ก..... 36

ประวัติผู้เขียน..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	Chemical composition of trimmed beef from red meat, plate..... and shank part	19
4.2	pH, shear force and color of trimmed beef from red meat, plate..... and shank part	20
4.3	Drip loss and cooking loss of trimmed beef from red meat, plate..... and shank part	21
4.4	Binding strength of the restructured beef from trimmed meat..... with the different concentrations of transglutaminase.	23
4.5	Texture profile analysis of the restructured beef from trimmed meat..... with the different concentrations of transglutaminase	24
4.6	Color of the restructured beef from trimmed meat with the different..... concentrations of transglutaminase.	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กล้ามเนื้อของเนื้อสัตว์	3
2.2	องค์ประกอบของเนื้อสัตว์	4
2.3	การตัดแต่งซากเนื้อสุกรแบบสากล	6
2.4	ผลิตภัณฑ์หมูส้ม	7
2.5	ผลิตภัณฑ์โบโลนญ่า	7
2.6	ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น	8
2.7	ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบคงรูป	9
2.8	ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบลดขนาด	9
2.9	ปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานกลูตามิเนส	10
4.1	The characteristic of the restructured beef from trimmed meat with the different concentrations of transglutaminase (TGase)	26
4.2	Cooking loss of restructured beef from meat trimming with the different levels of transglutaminase (TGase)	28
4.3	Total yield of restructured beef from trimmed meat with the different levels of transglutaminase (TGase)	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื้อสัตว์ยังคงเป็นวัตถุดิบที่นิยมของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโปรตีนคุณภาพสูง มีความสำคัญในการเสริมสร้างความเจริญเติบโตและซ่อมแซมเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย (Kerry และคณะ, 2002) โดยในระหว่างกระบวนการตัดแต่งชิ้นกล้ามเนื้อในอุตสาหกรรมชำแหละและแปรรูปเนื้อโคเพื่อให้ได้ชิ้นเนื้อที่มีขนาดตามการสั่งซื้อของผู้บริโภคจะมีเนื้อเศษเหลือเกิดขึ้น ซึ่งเนื้อโคเศษเหลือดังกล่าวเป็นเนื้อที่ยังมีคุณภาพดีแต่มีมูลค่าต่ำ โดยตำแหน่งกล้ามเนื้อที่สำคัญในการตัดแต่งได้แก่ เนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง การเพิ่มมูลค่าเนื้อเศษเหลือสามารถทำได้หลากหลายวิธี การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase ; TGase) เป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้เพิ่มมูลค่าเนื้อเศษเหลือ โดยเป็นส่วยผสมสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปใหม่

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ประสานระหว่างสายของโปรตีนได้เป็นโครงสร้างของโปรตีน (Protein networking) ที่มีการยึดติดและมีความแข็งแรงมากขึ้น (ปราณี, 2547) โดยการสร้างพันธะที่เรียกว่า เอพซิลอนแกมมากลูตามิลไลซีน (**ε**-(**γ**-glutamyl) lysine bond) ระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) และไลซีน (lysine) ที่เหลืออยู่ในสายโปรตีนของเนื้อสัตว์ (Yokoyama และคณะ, 2004; Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) นอกจากนี้เกลือยังมีคุณสมบัติที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป เนื่องจากเกลือสามารถละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ซึ่งสามารถส่งเสริมการเชื่อมติดระหว่างชิ้นเนื้อ (Kuraishi และคณะ, 1997; Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) งานวิจัยก่อนหน้าหลากหลายงานวิจัยได้ศึกษาประยุกต์ใช้เอนไซม์ TGase ร่วมกับการใช้เกลือ (Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) ร่วมกับการใช้เกลือต่ำ (Kenney และคณะ, 1992) หรือการใช้เอนไซม์ TGase โดยไม่มีเกลือ (Kuraishi และคณะ, 1997) ในการพัฒนาคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปใหม่ Nielsen และคณะ (1995) พบว่าการใช้เอนไซม์ TGase สามารถพัฒนาคุณภาพของเนื้อรูปใหม่ทางด้านการยึดติดได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับการใช้เกลือ ถึงแม้ว่าจะมีหลากหลายงานวิจัยที่มีการศึกษาการประยุกต์ใช้ TGase ในการพัฒนาคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปใหม่ แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปที่ผลิตจากเนื้อแดง (Nielsen และคณะ, 1995; Cofrades และคณะ, 2004; Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) โดยมีงานวิจัยใจส่วนน้อยที่ศึกษาผลจากการใช้ TGase ต่อการขึ้นรูปเนื้อที่ได้จากเนื้อตำแหน่งต่างๆ Seong และคณะ (2016) รายงานว่าเนื้อส่วนน่องเป็นเนื้อส่วนที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นองค์ประกอบสูง ในขณะที่เนื้อพื้นท้องเป็นเนื้อส่วนที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ดังนั้นการมีองค์ประกอบที่มีความแตกต่างกันของเศษเนื้อที่ได้จากตำแหน่งกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อคุณภาพการยึดติดของเนื้อขึ้นรูปใหม่โดยใช้เอนไซม์ TGase และเกลือ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase ; TGase) ร่วมกับใช้เกลือต่อคุณภาพ (ค่าสี ลักษณะการยึดติดกัน (Binding strength) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis) cooking loss และ total yield) ของเนื้อโค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษเหลือขึ้นรูปใหม่ที่ได้จากตำแหน่งกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน (เนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง) เพื่อหาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์โคเนื้อเศษเหลือขึ้นรูปใหม่จากตำแหน่งกล้ามเนื้อต่างๆ ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อโคเศษเหลือดังกล่าวได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของเศษเนื้อโคจากตำแหน่งกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อโคเศษเหลือขึ้นรูปใหม่ที่ได้จากเนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง

1.2.3 เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อเศษเหลือที่ยังมีคุณภาพดีจากตำแหน่งกล้ามเนื้อต่างๆ ได้แก่ เนื้อแดง เนื้อน่อง และเนื้อพื้นท้อง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาหาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมในการพัฒนาเนื้อขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่เนื้อเศษเหลือที่ได้จากตำแหน่งกล้ามเนื้อต่างๆ ได้แก่ เนื้อแดง เนื้อน่อง และเนื้อพื้นท้อง นอกจากนี้ผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปจากเนื้อเศษเหลือในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและความสำคัญของเนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ (Meat) หมายถึง เนื้อจากสัตว์ต่างๆ ประเภทของสัตว์ที่ใช้เนื้อเพื่อบริโภค ได้แก่ เนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น เนื้อหมูเนื้อวัว เนื้อแพะ เนื้อแกะ เนื้อควาย เนื้อสัตว์ปีก เช่น ไก่ เป็ด ห่าน นกทุกประเภท สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ เช่น จระเข้ กบ เต่า ตะพาบ และอื่นๆ เนื้อสัตว์ที่นำมาใช้บริโภคส่วนใหญ่ได้จากการปศุสัตว์ ผ่านการฆ่าจากโรงฆ่าสัตว์ และนำมาชำแหละเป็นชิ้นส่วนเพื่อแบ่งจำหน่ายและสะดวกในการนำมาบริโภค (นิธิยาและพิมพ์เพ็ญ, 2553)

2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของเนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ที่ใช้เป็นอาหาร ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ประเภท

2.2.1 กล้ามเนื้อ

เนื้อสัตว์ที่นำมาใช้เป็นอาหาร และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่เป็นส่วนของกล้ามเนื้อ ซึ่งกล้ามเนื้อของสัตว์ยังแบ่งออกเป็น ตามบทบาทหน้าที่การทำงานคือ

2.2.1.1 กล้ามเนื้อลาย ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ร่างกายบังคับได้ การทำงานของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของระบบประสาท เช่น กล้ามเนื้อขา และส่วนต่างๆ ของลำตัวเป็นส่วนที่มีมากที่สุด

2.2.1.2 กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ร่างกายบังคับไม่ได้ กล้ามเนื้อเรียบ ได้แก่ ส่วนของอวัยวะภายใน ที่เรียกว่าเครื่องในของสัตว์ บางส่วนนำมาใช้เป็นอาหารได้ เช่น ตับ ไต ลำไส้ กระเพาะ เป็นต้น

2.2.1.3 กล้ามเนื้อหัวใจ เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่ได้อยู่ในความควบคุมของสมอง ไม่ค่อยมีความสำคัญในการนำมาใช้เป็นอาหาร

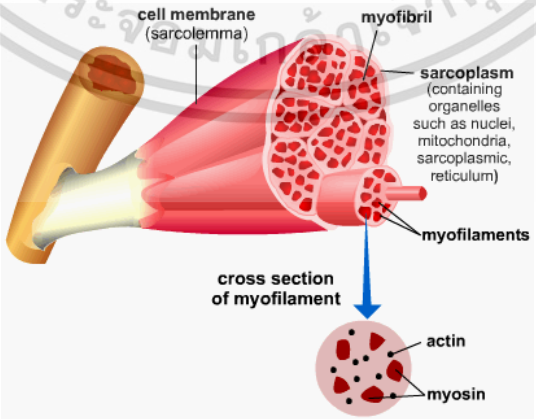

Figure 2.1 กล้ามเนื้อของเนื้อสัตว์
ที่มา : พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue)

เนื้อเยื่อชนิดนี้ทำหน้าที่เกี่ยว พัน มัด และห่อหุ้มกล้ามเนื้อชนิดต่างๆ เส้นเลือด ไขมันไว้ให้อยู่รวมเป็นก้อนเป็นมัด ยึดเนื้อให้ติดกับกระดูก ยึดกระดูกให้ติดกัน เนื้อเยื่อชนิดนี้ ที่เรารู้จักกันดีว่าเป็นพังผืด (Ligament) เส้นเอ็น (Tendon) เนื้อเยื่อส่วนนี้มีส่วนประกอบหลักเป็นเส้นใยเหนียวอยู่ 2 ชนิด เรียกว่า เส้นใยอีลาสติน (Elastin) และเส้นใยคอลลาเจน (Collagen) สัตว์ส่วนใหญ่จะมีเส้นใยคอลลาเจนมากกว่าเส้นใยอีลาสติน เมื่อสัตว์อายุมากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะยิ่งแข็งแรง ทำให้เหนียวมากขึ้น

2.2.3 เนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue)

เนื้อเยื่อไขมันจะพบตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น อยู่ในกล้ามเนื้ออยู่ใต้ผิวหนังอยู่ในช่องท้อง เป็นแหล่งสะสมของอาหาร เช่น กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential fatty acid) วิตามิน (Vitamin) ที่ละลายได้ในไขมัน ปริมาณไขมันในสัตว์จะขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กิน และได้รับการเลี้ยงดู นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับว่าเป็นเนื้อส่วนไหนเคลื่อนไหวมากหรือน้อย ถ้าเป็นเนื้อสันจะเคลื่อนไหวใช้งานน้อยและมีไขมันมากกว่าเนื้อขา

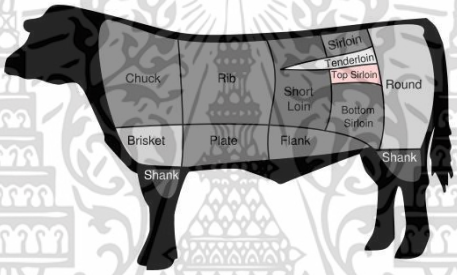

Figure 2.2 องค์ประกอบของเนื้อสัตว์
ที่มา : พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

2.3 การตัดแต่งเนื้อสัตว์

การตัดแต่งซากเป็นการแบ่งแยกส่วนต่างๆ ของซากให้เป็นชิ้นส่วน ซึ่งสะดวกในการนำไปประกอบอาหาร หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เหมาะสมต่อไป การตัดแต่งซากยังช่วยให้ความสะดวกในการบรรจุ การเก็บรักษา การขนส่ง และยังช่วยให้เกิดความยุติธรรมระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายเพราะเนื้อที่มีคุณภาพดีจะขายได้ในราคาที่แพงกว่าส่วนที่มีคุณภาพรองลงไป การตัดแต่งซากจะช่วยแยกเนื้อที่มีคุณภาพแตกต่างกันออกจากกัน การตัดแต่งซากโคในประเทศไทยในปัจจุบันแบ่งได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแบบสากล และวิธีแบบไทย วิธีแบบสากลเป็นการตัดซากออกเป็นชิ้นส่วนใหญ่ และชิ้นส่วนย่อย ซึ่งจะให้ความสำคัญต่อเนื้อที่มีคุณภาพในการบริโภคที่ดี โดยเนื้อที่มีคุณภาพดีเมื่อตัดแต่งแล้วจะมีราคาแพงกว่าเนื้อที่มีคุณภาพด้อยกว่า ส่วนการตัดแต่งด้วยวิธีแบบไทยเป็นการตัดแต่งตามตลาดสดทั่วไป การตัดแต่งแบบนี้เป็นการดำเนินการแบบง่ายๆ คุณภาพจึงไม่สม่ำเสมอและมีการปนเปื้อนสูง สำหรับการตัดแต่งซากสุกรในประเทศไทยแบ่งได้ 2 วิธี เป็นวิธีแบบสากล และวิธีแบบไทยเช่นเดียวกับการตัดแต่งซากโค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การตัดแต่งเนื้อสุกร

การตัดแต่งซากสุกรในประเทศไทยแบ่งได้ 2 วิธี ได้แก่ แบบสากลและแบบไทย

2.3.1.1 การตัดแต่งแบบสากล

การตัดแต่งซากสุกรตามแบบสากลนั้น ในประเทศไทยได้ยึดกฎเกณฑ์ของคณะกรรมการปศุสัตว์และเนื้อสัตว์แห่งชาติสหรัฐอเมริกา (U.S. National Livestock and Meat Board) เพราะคุ้นเคยกับการตัดแต่งซากแบบนี้ และใช้วิธี National Livestock and Meat Board (MB) ในการตัดแต่งเป็นชิ้นส่วนใหญ่และชิ้นส่วนย่อยเช่นเดียวกับโคซึ่งมีวิธีการตัดแต่ง ดังนี้

1. การตัดชิ้นส่วนใหญ่

การตัดชิ้นส่วนใหญ่ของซากสุกรสามารถแบ่งได้ 5 ชิ้นส่วน ได้แก่ ขาหลัง (Ham) สัน (Loin) ไหล่ (Boston shoulder) ขาหน้า (Picnic shoulder) และสามชั้น (Belly and bacon)

2. การตัดแต่งชิ้นส่วนย่อย

การตัดชิ้นส่วนย่อยของสุกรมีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับโค แต่อาจมีชื่อเรียกและกรรมวิธีในการนำไปแปรรูปแตกต่างกัน เช่น ขาหลัง นำไปทำแฮมโดยเลาะกระดูกออกม้วนด้วยเชือกแล้วนำไปต้ม หรือการนำส่วนของสามชั้นไปทำเบคอน เป็นต้น

2.3.1.2 การตัดแต่งแบบไทย

หลังจากฆ่าสุกรแล้ว การตัดแต่งแบบไทยจะแบ่งซากออกเป็น 2 ซีก จากนั้นจะตัดแต่งโดยการเลาะออก เป็นเนื้อแดง มัน สามชั้น ขาหมู เป็นต้น โดยเริ่มจากการเลาะมันเปลวในช่องท้องออกแล้วตัดแยกส่วนขา สะโพก ออกจากลำตัวหน้า ตัดแยกขาหลังออกจากส่วนขาสะโพกที่บริเวณข้อเข่า ตัดแยกขาหน้าและคางออกแล้วเลาะกระดูกซี่โครงและมันสันหลังออกจากลำตัวส่วนหน้า ตัดแยกสามชั้นออกจากส่วนอก จากนั้นจึงชำแหละแยกส่วนอกออก เป็นเนื้อแดง มัน และหนังต่อไป ส่วนขาสะโพกจะเลาะกระดูกออกแล้วจึงแยกส่วนเป็นเนื้อแดง มัน และหนัง อย่างไรก็ตาม การฆ่าและตัดชิ้นเนื้อแบบไทยอาจไม่ตรงกับหลักวิชาการโดยเฉพาะอย่างยิ่งความสะอาดในโรงฆ่า

ในการนำเนื้อสุกรมาประกอบอาหาร เนื้อสันนอกและสันในซึ่งเป็นส่วนที่ติดกับกระดูกสันหลัง มักนิยมนำ ไปอบหรือทอด ซี่โครงชนิดกระดูกอ่อนมักใช้ทอดหรือผัด อบ ย่าง ซี่โครงหมูชนิดกระดูกแข็งใช้ทำซุป หมูสามชั้นใช้ทำ ไส้กรอก กุนเชียง แคบหมู ในขณะที่ขาหมูใช้ตุ๋นเพื่อให้คอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาตินทำให้มีลักษณะอ่อนนุ่ม ส่วนหัวหมู และหูหมูนิยมนำไปต้ม นึ่ง เนื้อสะโพกนำมาทำแหนม หรือ หมูยอ เป็นต้น (บุญวิทยา, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

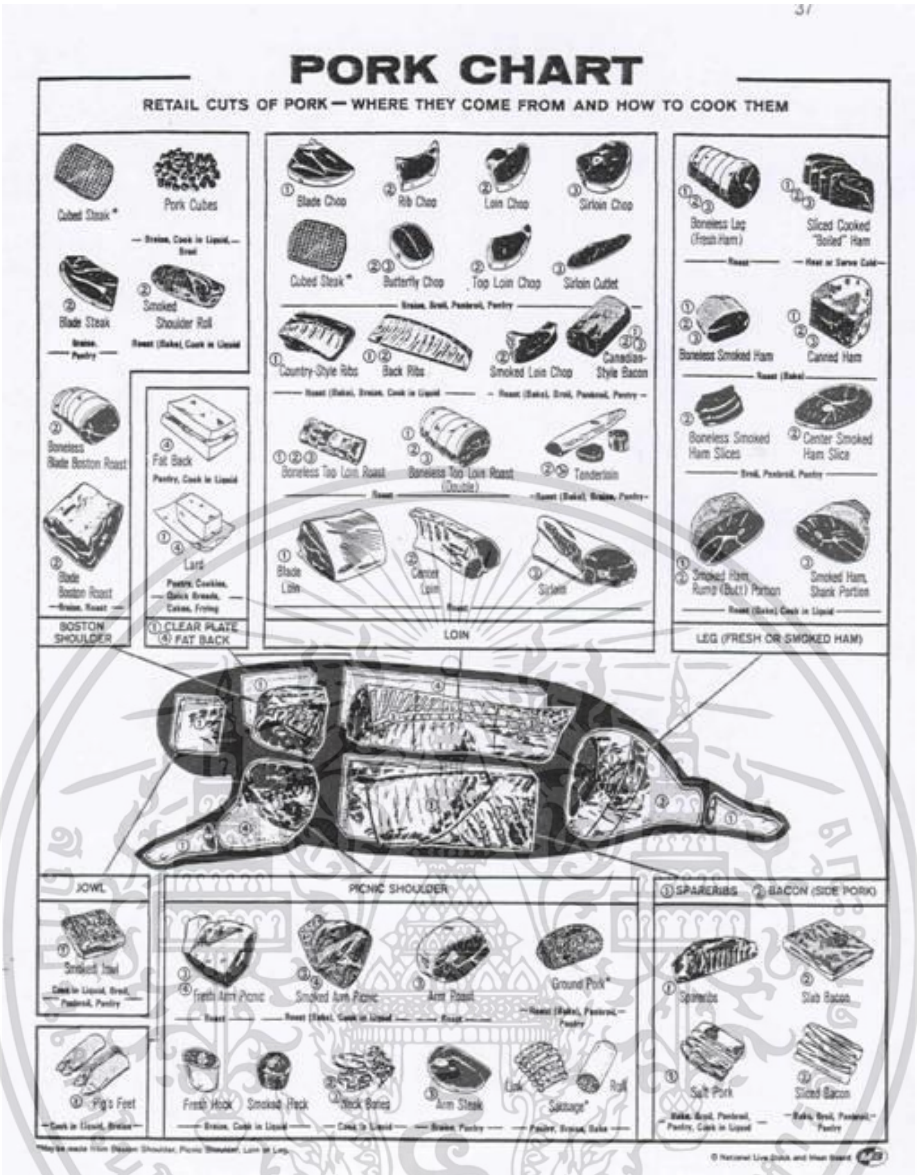

Figure 2.3 การตัดแต่งซากเนื้อสุกรแบบสากล
ที่มา : บุญวิทยา (2542)

2.3.2 เนื้อเศษเหลือระหว่างการตัดแต่งซาก

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากเนื้อเศษเหลือระหว่างการตัดแต่งซาก

หมูส้ม

หมูส้ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อหมูหมูสามชั้น หรือเอ็นหมู อย่างใดอย่างหนึ่งหรือผสมกันมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้น หรือชิ้นบาง ผสมกับเกลือ เติมข้าวเจ้าสุกหรือข้าวเหนียวสุก และกระเทียมบด ผสมให้เข้ากัน บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดเพื่อให้เกิดการหมักในระยะเวลาที่เหมาะสมจนมีรสเปรี้ยวก่อนบริโภคต้องทำให้สุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2.4 ผลิตภัณฑ์หมูส้ม
ที่มา : พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

โบโลนญ่า

โบโลนญ่า (Bologna) เป็นไส้กรอก (Sausage) ชื่อของไส้กรอกตั้งตามชื่อเมืองโบโลนญ่า (Bologna) ประเทศอิตาลี ซึ่งเป็นสูตรดั้งเดิม จัดในประเภทไส้กรอกสุก (Cooked sausage) ที่ผลิตจากเนื้อสัตว์บดละเอียดเป็นอิมัลชัน (Emulsion) มีเนื้อคล้ายไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ แต่บรรจุในไส้ (Casing) ขนาดใหญ่

Figure 2.5 ผลิตภัณฑ์โบโลนญ่า
ที่มา : พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

ลูกชิ้น

ลูกชิ้น (Meat ball) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อ เครื่องเทศ เครื่องปรุงรสและวัตถุเจือปนอาหารอื่น ๆ นำมาบด ผสมอย่างละเอียดจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำเป็นรูปร่างตามต้องการ จากนั้นลวกหรือต้มให้สุก ได้แก่ ลูกชิ้นเนื้อโค (Beef ball) และลูกชิ้นหมู (Pork ball) ลูกชิ้นเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อชนิดบดละเอียดเป็นอิมัลชันชนิดหนึ่ง ได้จากการสับผสม จนไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างเดิมของเนื้อได้ โครงสร้างของเนื้อจะถูกทำลายถึง ระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิด ลักษณะเป็นมวลเหนียวหรืออิมัลชัน ขณะสับผสมจะต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกิน 15 องศาเซลเซียสเพื่อรักษา ความคงทนของอิมัลชันไว้ การเติมวัตถุเจือปนในลูกชิ้น ได้แก่ สารประกอบฟอสเฟตที่เป็นด่างและแป้ง เพื่อช่วยให้เนื้อจับตัวกันให้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่จะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ แป้งถูกเติมเพื่อให้เป็นสารที่ช่วยในการรวมตัวกับน้ำ (Water binding agent) เพื่อลดการสูญเสียน้ำหนัก และเป็นการปรับปรุงลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์ให้มีความเหนียวและความยืดหยุ่นดีขึ้นและยังทำให้มีรสชาติดีขึ้นอีกด้วย

Figure 2.6 ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น

2.3.3 ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปใหม่

เนื่องจากความต้องการบริโภคเนื้อเพิ่มขึ้นภายหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยเฉพาะเนื้อสเต็ก แต่ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นคือเนื้อมีราคาสูงและหาได้ยาก ทำให้มีการพัฒนานำเอาส่วนของเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมาบดจนละเอียดด้วยเครื่องจักรแล้วจัดทำรูปร่างขึ้นมาใหม่เป็นเนื้อสเต็กขึ้นรูป (restructured steak) โดยชิ้นเนื้อสเต็ก นำมาจากการนำเนื้อส่วนที่มีมูลค่าต่ำ เช่น เนื้อต้นคอมาผ่านขบวนการตัดเป็นชิ้นเล็ก ผ่านการอัดขึ้นรูปตามแบบแม่พิมพ์จนได้เป็นชิ้นเนื้อที่มีรูปลักษณะ ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าที่มีราคาถูก

2.4 ประเภทของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

การจัดแบ่งผลิตภัณฑ์เนื้อตามลักษณะทางกายภาพของตัวผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบคงรูปหรือแบบขนาดคงเดิม (Non-comminuted meat products)

ผลิตภัณฑ์เนื้อที่ไม่ผ่านการบดหรือการย่อขนาดลงตัวผลิตภัณฑ์เนื้อยังคงมีรูปร่างและลักษณะของกล้ามเนื้อหรือชิ้นเนื้อ (Intact or whole muscle) แต่อาศัยวิธีการถนอมรักษาอาหารหรือกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ มาช่วยในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีกลิ่น รส สี ลักษณะเนื้อสัมผัสที่น่ารับประทาน และที่สำคัญที่สุดคือ ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค และมีอายุในการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ตัวอย่างเช่น แฮม (Ham) เบคอน (Bacon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2.7 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบคงรูป
ที่มา : พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

2.4.2 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบลดรูปหรือแบบลดขนาด (Comminuted meat products)

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ที่ทำให้ชิ้นเนื้อมีขนาดย่อยเล็กลงจนไม่เห็นเป็นชิ้นกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบลดรูปยังสามารถแบ่งออกเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบลดรูปชนิดบดหยาบ (Coarse ground meat product) คือ การที่ชิ้นเนื้อถูกบดด้วยเครื่องบดแบบธรรมดาเพื่อย่อยขนาดของชิ้นเนื้อลงแต่ไม่ถึงในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น ผลิตภัณฑ์แหนม หรือกุนเชียงของไทย หรือแฮมเบอร์เกอร์ และซาลามี่ของชาวตะวันตก และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดรูปชนิดบดละเอียดแบบอิมัลชัน (Fine ground or emulsion type meat product) เช่น ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ของชาวตะวันตก ซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน เนื้อแดง น้ำ เครื่องเทศ และสารปรุงแต่งชนิดต่างๆ ถูกบดผสมและสับละเอียดจนทำให้โครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไปจนได้เป็นมวลเหนียวที่มีลักษณะคล้ายการเกิดอิมัลชัน

Figure 2.8 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบลดขนาด
ที่มา : พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปใหม่

2.5.1 ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase)

ทรานส์กลูตามิเนสเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่เอซิล (Actyl transfer) ระหว่างหมู่แกมมาคาร์บอกซิเอไมด์ของกรดอะมิโนกลูตามีนของสายเพปไทด์ หรือโปรตีน และสารประกอบเอมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหมู่เอมีนเป็นหมู่เอพซิลอนอะมิโนของไลซีนในสายเพปไทด์ TGase จะทำให้เกิดการเชื่อมโดยพันธะโควาเลนท์ของเพปไทด์ 2 สายเกิดเป็นพันธะใหม่เรียกว่า **ε**-(**γ**-glutamyl) lysine ในสภาวะที่ไม่มีเอมีน TGase จะเร่งปฏิกิริยาการย่อยหมู่แกมมาคาร์บอกซิเอไมด์ของกลูตามีนโดยทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นกรดกลูตามิก และแอมโมเมีย (Deamidation) การทำปฏิกิริยาของ TGase (วราภรณ์และนพพล, 2556)

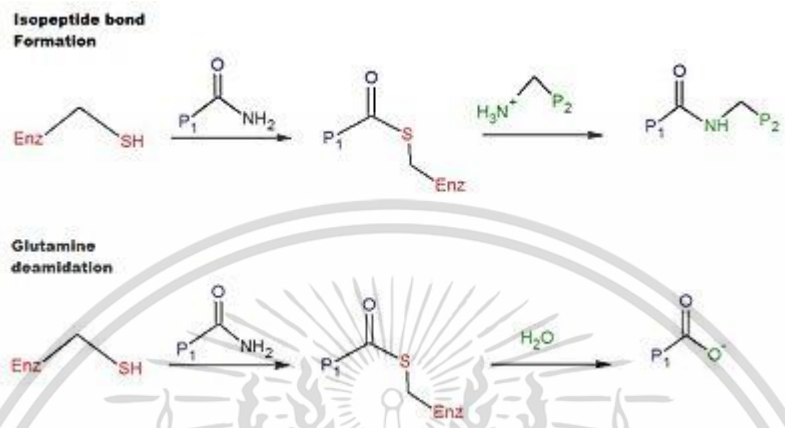

Figure 2.9 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานกลูตามิเนส
ที่มา : Motoki และ Kamazawa (2000)

TGase มีหมู่ซิสเตอีนอยู่ในบริเวณเร่งเพื่อทำปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาที่หมู่แกมมาคาร์บอกซิเอไมด์ของกลูตามีนได้เป็นแกมมากลูตามิลไทโอเอสเทอร์ และแอมโมเนีย ต่อมาจะทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนเกิดเป็นพันธะ ไอโซเพปไทด์ ถ้าไม่มีหมู่ไพรมารีเอมีน น้ำจะเป็นตัวรับหมู่เอซีลทำให้กลูตามีนเปลี่ยนเป็นกรดกลูตามิก นอกจากนี้สายเพปไทด์ที่มีไลซีนก็สามารถทำปฏิกิริยากับส่วนของกลูตามีนได้เกิดเป็นพันธะ G-L ระหว่างโปรตีน จัดเป็นพันธะโควาเลนท์ ซึ่งมีความแข็งแรง ซึ่งอาจเกิดในสายเพปไทด์หรือระหว่างสายเพปไทด์จึงมีการใช้ TGase ดัดแปลงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เช่น การละลาย การเกิดอิมัลชัน และเพิ่มคุณค่าทางอาหารโดยป้องกันการสูญเสียไลซีน

2.5.1.1 แหล่งของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase)

เอนไซม์ TGase พบทั้งในสัตว์ พืช และในจุลินทรีย์ มีการพบ TGase ในอวัยวะ เช่น ตับ และระบบเลือดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และยังพบในปลาและหอยนางรม โดยทั่วไป TGase จากสัตว์มีน้ำหนักโมเลกุล 77-90 kDa และต้องการแคลเซียมในการทำปฏิกิริยา มีพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ที่ 7.5-9.0 และอุณหภูมิ 35-50 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์หลายชนิดผลิต TGase ได้ เรียกว่า Microbial TGase (MTGase) เช่น MTGase จาก *Streptoverticidillirm mobaraense* มีน้ำหนักโมเลกุล 40 kDa มีจุดไอโซอิเลกตริก (pl) 8.9 MTGase จากจุลินทรีย์เป็นแบบมอนอเมอร์ (monomer) และไม่ต้องการแคลเซียมในการเร่งปฏิกิริยา นิยมใช้ในทางการค้าเพื่อเสริมความแข็งแรงในการเกิดเจลของโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ซูริมิ โยเกิร์ต ไส้กรอก และเบเกอรี่ เชื้อที่นิยมใช้ผลิต MTGase เช่น *S. mabaraense*, *S. ladakanum*, *Bacillus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aneurinolyticus, *B. badius* และ *Pseudomonas* มีการใช้อาหารหลายชนิดในการเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิต TGase แต่พบว่าการใช้อาหาร B หรือ SPY medium ทำให้ *Enterobacter* sp. C23617 และ *Providencia* sp. C1112 ผลิต TGase ดีที่สุด (วราภรณ์และนพพล, 2556)

2.5.1.2 การใช้ประโยชน์ของทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) ในเนื้อสัตว์

ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) มีสมบัติในการเชื่อมประสานระหว่างโมเลกุลของโปรตีน สามารถใช้เอนไซม์ดังกล่าวในการเชื่อมเศษเนื้อชิ้นเล็กๆ ที่เป็นผลพลอยได้จากการตัดแต่งเนื้อสัตว์หรือเศษเนื้อติดกระดูกเพื่อการผลิตเนื้อขึ้นรูป (Restructured meat) ซึ่งจัดเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเนื้อสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบราคาถูก นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าการใช้ TGase จากเลือดหมูในการผลิตลูกชิ้นไก่ที่ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี ในไส้กรอกมีการใช้ TGase เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความยืดหยุ่นของเจล เพิ่มสมบัติการอุ้มน้ำและการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ทำให้ใช้ฟอสเฟตและสารรีดิวส์น้อยลง (Buchert และคณะ, 2007)

2.5.2 เกลือ

เกลือที่ใช้ในการแปรรูปเนื้อสัตว์จะอยู่ในรูปเกลือแกงหรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีบทบาทและความสำคัญในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อิมัลชัน เนื่องจากเกลือทำหน้าที่ในการละลายพวกไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน (Myofibrillar protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ และการเติมเกลือมีผลต่อการยังยั้งเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้เกลือยังส่งผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ (Siegel และคณะ, 1979)

2.5.2.1 บทบาทของเกลือที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่

1. เกลือมีผลต่อการลดน้ำในผลิตภัณฑ์และทำให้แรงดันออสโมติค (Osmotic pressure) ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป ค่า Water activity ลดลง จึงมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และป้องกันการเน่าเสีย

2. เกลือทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเค็มจัด รสไม่นุ่มนวล และสีของเนื้อแดง (Lean meat) มีสีดำ ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เหี่ยวย่น ไม่เป็นที่พึงปรารถนาต่อผู้บริโภค

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dimitrakopoulou และคณะ (2005) และ Yang และคณะ (2019) ศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนส (0 U/g และ 3 U/g ; 0, 0.075 และ 0.15%) พบว่า มีผลต่อเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง โดยค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness ; F1) ค่าการเกาะติด (Cohesiveness) ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) และค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่าการยึดติด (Adhesiveness) ลดต่ำลง ค่า cooking loss และค่าสี (L*, a* และ b*) ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 0.15%

Dimitrakopoulou และคณะ (2005) และ Lee และคณะ (2017) ศึกษาผลของการใช้เอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร่วมกับเกลือที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (0.15, 0.30 และ 0.45 M ; 1% และ 2%) ส่งผลให้ความสามารถในการเกิดเจลดีขึ้น ซึ่งระดับความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 0.45 M และการใช้ระดับความเข้มข้นของเกลือสูงส่งผลให้ค่า Cooking yield (%) สูงขึ้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น (2%) ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) สูง ขณะที่ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดต่ำลง แสดงให้เห็นว่าเนื้อขึ้นรูปยังมีสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

- เนื้อโคเศษเหลือทั้ง 3 ตำแหน่งกล้ามเนื้อ (เนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง) (สหกรณ์โคเนื้อ จังหวัดนครปฐม)
- เกลือ (Sodium chloride; NaCl)
- เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase; ACTIVA TG-BP) ที่มีเอนไซม์บริสุทธิ์อยู่ 0.5% (บริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด)

3.1.2 สารเคมี

- กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- สารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_2$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1 : 9
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20% และ 40% (โดยน้ำหนัก)
- สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% (โดยน้ำหนัก)
- สารละลายกรดเกลือเขมขน 0.1 นอรมอล (โดยน้ำหนัก)
- ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส
- น้ำกลั่น
- กรดไฮโดรคลอลิคเข้มข้น 6%
- ถ่านกัมมันต์
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 M และ 1 M

3.2 อุปกรณ์

- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK)
- หัววัดแบบ Warner-Bratzler แบบ Cylinder และ self-tightening roller grips
- พิมพ์ทรงกระบอกกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และยาว 15 เซนติเมตร
- ตู้อบไฟฟ้า (Electric oven)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
- ขวดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
- ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
- บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
- ชุดย่อยโปรตีน ประกอบด้วย เตาย่อย (Heater) และเครื่องจับไอกรด (Scrubber)
- ชุดกลั่นโปรตีน Kjeltech system distilling unit
- เตาเผา
- ถ้วยเผาพร้อมฝา
- เครื่องชั่งแบบละเอียด (Analytical balance) สามารถอ่านค่าละเอียดได้ 0.1 มิลลิกรัม
- โถดูดความชื้นที่มีการดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพ เช่น ซิลิกาเจล (Silica gel)
- คีมคีบ (Tong) สำหรับจับถ้วยเผา
- ถุงมือ
- หมึกสำหรับทำเครื่องหมาย (Marking ink) ชนิดทนความร้อน สำหรับทำเครื่องหมาย หรือเขียนเลขที่ถ้วยเผา หากใช้ปากกาหมึกธรรมดาจะถูกเผาไหม้หายไปหมด
- เตาบุนเซน หรือเตาให้ความร้อน (Hot plate) ที่มีเทอร์โมสแตตควบคุมความร้อนให้คงที่
- ที่วางแบบ 3 ขา (Tripod) ทำด้วยเหล็ก
- อ่างไอน้ำ
- เครื่องวัด pH
- ชุดสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus) พร้อมทิมเบิล (Thimble) และบีกเกอร์ไขมัน
- boiling chip จำนวน 2 เม็ด
- HunterLab chromatometer
- ถุงพลาสติกซิปล็อคโพลีเอทิลีน
- ตู้เย็น

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะคุณภาพทางกายภาพของเศษเนื้อโค

นำตัวอย่างเนื้อโคเศษเหลือทั้ง 3 ตำแหน่งกล้ามเนื้อ (เนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่อง) ที่ได้จากสหกรณ์โคเนื้อ จังหวัดนครปฐม มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะคุณภาพทางกายภาพดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น (Hot air oven method ; AOAC, 1999) โปรตีน (Kjeldahl method ; AOAC, 1999) ไขมัน (Soxhlet apparatus ; AOAC, 1999) และเถ้า (Furnance ashing 600 องศาเซลเซียส ; AOAC, 2000) โดยมีวิธีวิเคราะห์ดังภาคผนวก

3.3.1.2 ค่า pH (Wattanachant และคณะ, 2004)

ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัด pH นำตัวอย่างมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการผสมด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:5 (wt/vol) ตัวอย่างที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์แล้ว นำไปทำการวัดด้วยเครื่องวัดค่า pH โดยใช้หัววัดกระเปราะแก้ว

3.3.1.3 วิเคราะห์ค่า drip loss (Kaewthong และคณะ, 2018)

นำตัวอย่างเนื้อโคเศษเหลือทั้ง 3 ตำแหน่งกล้ามเนื้อ คือ เนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง มาตัดให้มีขนาด 1.5 × 3.0 × 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณหาค่าบนฐานร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เย็น คำนวณหาค่าร้อยละของการสูญเสียน้ำ (% Drip loss) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Drip loss (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนแช่เย็น} - \text{น้ำหนักหลังแช่เย็น})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่เย็น}} \times 100$$

3.3.1.4 วิเคราะห์ค่า cooking loss (Kaewthong และคณะ, 2018)

นำตัวอย่างเนื้อทั้ง 3 ตำแหน่งกล้ามเนื้อ คือ เนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง มาตัดให้มีขนาด 1.5 × 3.0 × 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนนำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบถุงซิปล็อค จากนั้นนำตัวอย่างไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำตัวอย่างภายหลังการให้ความร้อนมาลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น ให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการซับตัวอย่างให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู่ แล้วนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักหลังการทำสุก คำนวณหาค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน (% cooking loss) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนให้ความร้อน} - \text{น้ำหนักหลังให้ความร้อน})}{\text{น้ำหนักก่อนให้ความร้อน}} \times 100$$

3.3.1.5 ค่าสี

นำตัวอย่างเนื้อโคเศษเหลือมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (HunterLab chromatometer ; DP-9000, RESTON, VIRGINIA, USA) โดยใช้ sensor D65 รายงานค่าด้วยระบบ CIELAB (L* = ค่าความสว่าง, a* = ค่าความเป็นสีแดง และ b* = ค่าความเป็นสีเหลือง)

3.3.1.6 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

นำตัวอย่างเนื้อโคเศษเหลือทั้ง 3 ตำแหน่งกล้ามเนื้อ คือ เนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง มาตัดให้มีขนาด 1.5 × 3.0 × 0.5 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยใช้เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Texture Analyzer (รุ่น TA-HD plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK) ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงตัดแบบ Warner-Bratzler และใช้ load cell ขนาด 100 kg โดยมีการตั้งค่าการวัด

3.3.1.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designs, CRD) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ สำหรับวิเคราะห์ทางเคมีและ 10 ซ้ำ สำหรับวิเคราะห์ทางกายภาพ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3.3.2 ผลของปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ

ทำการเตรียมเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่อง โดยนำเนื้อโคมาตัดให้มีขนาด 1.5 × 3.0 × 0.5 เซนติเมตร จากนั้นทำการตรียมเนื้อโคขึ้นรูปใหม่โดยใช้ปริมาณเกลือ (1.5%, w/w) และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0 (สูตรควบคุม), 1, 1,5 และ 2%, w/w แล้วทำการนวดเป็นเวลา 4 นาที จากนั้นทำการขึ้นรูปใหม่โดยให้พิมพ์ทรงกระบอกกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และยาว 15 เซนติเมตร แล้วทำการบ่มเนื้อที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นให้ความร้อนแก่เศษเนื้อโคขึ้นรูปใหม่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ทำการลดอุณหภูมิภายหลังการให้ความร้อนโดยการเก็บตัวอย่างภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อโคเศษเหลือขึ้นรูปใหม่ดังต่อไปนี้

3.3.2.1 วิเคราะห์ค่า cooking loss และ total yield (Kaewthong และคณะ, 2018)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปก่อนและหลังการให้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียมเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง คำนวณหาค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน และค่าร้อยละผลผลิตทั้งหมด (total yield) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนให้ความร้อน} - \text{น้ำหนักหลังให้ความร้อน})}{\text{น้ำหนักก่อนให้ความร้อน}} \times 100$$

$$\text{Total yield (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังให้ความร้อน})}{\text{น้ำหนักก่อนให้ความร้อน}} \times 100$$

3.3.2.2 ค่าสี

นำตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (HunterLab chromatometer ; DP-9000, RESTON, VIRGINIA, USA) โดยใช้ illuminant D65 รายงานค่าด้วยระบบ CIELAB (L* = ค่าความสว่าง, a* = ค่าความเป็นสีแดง และ b* = ค่าความเป็นสีเหลือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis)

นำตัวอย่างเนื้อขึ้นรูปมาตัดให้มีขนาด 2 x 2 x 2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่อุณหภูมิห้องด้วยโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA XT plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK) ด้วยหัววัดแบบ Cylinder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตร ทำการกดตัวอย่างด้วยหัววัดที่ 50% ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น โดยการกำหนดระยะเวลาระหว่างการกด 2 ครั้ง เป็นเวลา 3 วินาที และความเร็วในการกด 2 มิลลิเมตร/วินาที รายงานผลเป็นค่าความแข็ง (hardness), ค่าการเกาะติด (cohesiveness), ค่าความเด้ง (springiness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness)

3.3.2.4 ค่าการยึดติดกัน (Binding strength)

นำเศษเนื้อโคขึ้นรูปใหม่มาตัดให้ได้ขนาด 1 x 10 x 1 เซนติเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์การยึดติดเศษเนื้อโคขึ้นรูปใหม่ โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK) ด้วยหัววัด self-tightening roller grips

3.3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designs, CRD) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ สำหรับวิเคราะห์ทางเคมีและ 10 ซ้ำ สำหรับวิเคราะห์ทางกายภาพ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan’s Multiple Range test (DMRT)) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะคุณภาพทางกายภาพของเศษเนื้อโค

องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ของเนื้อโคเศษเหลือที่ได้จากส่วนของเนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่อง แสดงดังตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองพบว่า เศษเนื้อแดงมีความชื้นสูงกว่าเศษเนื้อจากส่วนของเนื้อน่องและเนื้อพื้นท้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเศษเนื้อจากเนื้อน่องและเนื้อพื้นท้องมีปริมาณความชื้นรองลงมาตามลำดับ ส่วนของปริมาณเถ้ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณความชื้น พบว่าเนื้อเศษเหลือจากเนื้อแดงมีปริมาณเถ้าสูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่เศษเนื้อจากเนื้อส่วนน่องมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าเศษเนื้อแดงและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเศษเนื้อพื้นท้อง และเมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน พบว่า เศษเนื้อจากเนื้อพื้นท้องมีปริมาณไขมันสูงสุดเมื่อเทียบกับเศษเนื้อจากส่วนเนื้อน่องและเนื้อพื้นท้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเศษเนื้อจากเนื้อพื้นท้อง เนื้อน่อง และเนื้อแดง มีปริมาณไขมันอยู่ที่ 13.46 8.22 และ 3.88 ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเศษเนื้อส่วนที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีปริมาณความชื้นที่ต่ำ จากการศึกษาก่อนหน้าของ Oh และคณะ (2016) มีผลศึกษาไปในทิศทางเดียวกับการศึกษานี้ พบว่า เนื้อโคส่วนพื้นท้องที่อยู่ใกล้ส่วนขาหน้า (Brisket) มีปริมาณไขมันสูงกว่าเนื้อสะโพกส่วนบน (Top side) และส่วนน่อง (Shank) นอกจากนี้ Seong และคณะ (2016) ยังพบว่า เนื้อส่วนพื้นท้องที่อยู่ใกล้ส่วนขาหน้าของเนื้อม้า (Short-plate-brisket) มีปริมาณไขมันสูง (12.14%) กว่าส่วนของเนื้อสัน (5.27%) และเนื้อน่อง (3.41%) เช่นกัน นอกจากนี้ Li และคณะ (2006) พบว่า ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันของเนื้อโค โดยเนื้อส่วนที่มีปริมาณไขมันสูงจะมีปริมาณของความชื้นต่ำ องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์มีผลมาจากหลากหลายปัจจัย โดยเฉพาะปริมาณโปรตีน ปริมาณคอลลาเจน และปริมาณไขมัน มีผลมาจากสายพันธุ์ ระบบการเลี้ยง อายุสัตว์ อาหาร เป็นต้น (Wattanachant และคณะ, 2008) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนถือเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเนื้อสัตว์อีกองค์ประกอบหนึ่ง โดย Fennema (1996) รายงานว่าเนื้อโคมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับเนื้อหมูและเนื้อแกะ โดยเนื้อโคมีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ 20.78% จากผลการทดลองพบว่า เศษเนื้อน่องมีปริมาณโปรตีนสูงสุด ($p < 0.05$) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเศษเนื้อแดง เนื่องจากเศษเนื้อน่องมีปริมาณคอลลาเจนสูง (Seong และคณะ, 2016) ซึ่งคอลลาเจนเป็นโปรตีนที่ส่งผลให้เศษเนื้อน่องมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากเศษเนื้อแดง ในขณะที่เศษเนื้อพื้นท้องมีปริมาณโปรตีนต่ำสุดซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไขมันของเศษเนื้อพื้นท้องที่มีปริมาณสูงสุด ดังตารางที่ 4.1 นอกจากนี้คุณภาพของเนื้อสัตว์ยังมีผลมาจากปริมาณคอลลาเจนและปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ จากผลการทดลองของ Seong และคณะ (2016) พบว่า เนื้อน่องมีปริมาณคอลลาเจนสูงสุด ($p < 0.05$) โดยเนื้อส่วน shoulder-chuck-roll, shoulder-clod และส่วนอื่นๆ รองลงมาตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณคอลลาเจนของเนื้อส่วน tender-loin, loin, strip-loin, top-round และ outside-round ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความแตกต่างกันของคอลลาเจนในเนื้อส่วนต่างๆ นั้น มีผลมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนไหวทางกายภาพ และจากผลการทดลองของ Putra และคณะ (2017) พบว่า Saanen leg, Saanen shoulder, Boer leg และ Boer shoulder มีปริมาณของไมโอโกลบินที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโคในแต่ละส่วนจากการศึกษานี้อาจมีผลการลักษณะคุณภาพของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือในตอนต่อไป

Table 4.1 Chemical composition of trimmed beef from red meat, plate and shank part

Samples	Moisture (%)	Fat (%)	Protein (%)	Ash (%)
Red Meat	75.37±0.65^{a}	3.88±0.02^{c}	20.98±1.66^{ab}	1.06±0.15^{a}
Shank	68.17±0.77^{b}	8.22±0.19^{b}	24.46±1.80^{a}	0.76±0.14^{b}
Plate	65.11±0.39^{c}	13.46±0.24^{a}	18.23±0.53^{b}	0.78±0.05^{b}

$^{a-c}$ Means ± SD Different superscripts within the same column indicate a significant difference ($p < 0.05$).

ค่า pH ค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อ และค่าสีของเนื้อโคเศษเหลือที่ได้จากส่วนเนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง แสดงดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่า ค่า pH ของเศษเนื้อโคสำหรับการทดลองนี้อยู่ในช่วง 5.39-5.47 โดยมีค่าไปในทิศทางเดียวกับค่า pH ของเนื้อโคที่รายงานโดย Ramsbottom และ Strandine (1948) ซึ่งรายงานว่า ค่า pH เนื้อโคจากหลากหลายตำแหน่งกล้ามเนื้อมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.4 - 6.0 โดยจากผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่า เนื้อพื้นท้องมีค่า pH สูงสุด ($p < 0.05$) ส่วนเศษเนื้อแดงมีค่า pH ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเศษเนื้อน่อง Seong และคณะ (2016) กล่าวว่า pH ที่แตกต่างกันของกล้ามเนื้อแต่ละส่วนมีผลมาจากความแตกต่างทางด้านกายภาพ ปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อ และอัตราการสลายตัวของไกลโคเจนของแต่ละตำแหน่งกล้ามเนื้อ ค่า pH ของเนื้อสัตว์จะมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity) ของเนื้อสัตว์ โดยหากค่า pH ของเนื้อสัตว์เข้าใกล้ค่า isoelectric point (pI) ของโปรตีนในเนื้อสัตว์ (pI ของโปรตีนในสัตว์เนื้อแดงมีค่าประมาณ 5.2-5.3) จะส่งผลให้โปรตีนในเนื้อสัตว์มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดต่ำลง (Cheng และ Sun, 2008) จากผลการทดลองค่า pH ของเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิดยังมีค่าที่สูงกว่าค่า pI ของโปรตีนในสัตว์เนื้อแดง ดังนั้นความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อดังกล่าวอาจมีผลกระทบมาจากค่า pH น้อย

ส่วนค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อ เนื้อน่องมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อพื้นท้อง โดยเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อจากส่วนของเนื้อพื้นท้องมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อรองลงมาตามลำดับ โดยเนื้อพื้นท้องมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อต่ำสุด ซึ่งเศษเนื้อน่องมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อถึง 43.49 kg ในขณะที่เศษเนื้อแดงและเศษเนื้อพื้นท้องมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อเพียง 13.36 และ 3.57 kg ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวเกิดจากเนื้อน่องเป็นเนื้อส่วนที่มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (พังผืด) อยู่ในปริมาณสูงกว่าเนื้อแดงและเนื้อพื้นท้อง จากการศึกษาของ Ramsbottom และ Strandine (1947) พบว่า เนื้อในส่วนของเนื้อขาตอนล่าง (foreshank) มีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อเฉลี่ย 12.7 lb. (5.8 kg) ซึ่งสูงกว่าเนื้อในส่วนของเนื้อพับ (round) ที่มีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อเฉลี่ย 3.6 kg และเนื้อน่องมีปริมาณกรดอะมิโน hydroxyproline ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของคอลลาเจนที่อยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงกว่าเนื้อส่วนเนื้อแดง โดยปกติปริมาณคอลลาเจนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสัตว์มีผลต่อคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส และจากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 เนื้อพื้นท้องมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูงสุด เช่นเดียวกับการรายงานของ Seong และคณะ (2016) ซึ่งพบว่าเนื้อส่วนพื้นท้องของเนื้อม้ามีองค์ประกอบของไขมันสูง โดยปกติไขมันเป็นองค์ประกอบในเนื้อสัตว์ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้มีความนุ่มขึ้น (Fortin และคณะ, 2005) เนื่องจากไขมันมีความสามารถช่วยปรับปรุงทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ เพิ่มความฉ่ำและเพิ่มความชอบโดยรวมให้แก่ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ (Muguerza และคณะ, 2002) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันที่สูงในกล้ามเนื้อยังส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ เนื่องจากไขมันเป็นองค์ประกอบที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถจับกับโปรตีนและน้ำได้ในเนื้อสัตว์ได้ จึงส่งผลต่อการสูญเสียน้ำและไขมันระหว่างการแปรรูปเนื้อสัตว์ Akinwunmi และคณะ (1993) รายงานว่าสเต็กเนื้อวัวที่มีปริมาณไขมันแทรกสูงจะมีการสูญเสียไขมันระหว่างการทำสุกมากกว่าสเต็กเนื้อวัวที่มีปริมาณไขมันแทรกต่ำ และเมื่อพิจารณาค่าสีของเนื้อโคเศษเหลือพบว่า เศษเนื้อจากเนื้อพื้นท้องมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สูงสุด ($p < 0.05$) โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเศษเนื้อแดง ในขณะที่เศษเนื้อจากส่วนของเนื้อน่องมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ต่ำสุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อพื้นท้องมีลักษณะเป็นสีแดงสว่างมากกว่าเนื้อน่อง เนื้อพื้นท้องมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ดังตารางที่ 4.1 จึงส่งผลต่อค่าความสว่าง (L*) ของเศษเนื้อพื้นท้องที่สูงกว่าเศษเนื้อส่วนอื่นๆ นอกจากนี้จากผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับ Jung และคณะ (2015) พบว่า ความแตกต่างของค่าสีในซากเนื้อฮันอูที่ทำการตัดแบ่ง พบว่า ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของซากเนื้อในส่วนของ เนื้อสันใน (Ansim) และ เนื้อบริเวณหัวไหล่ (Moksim) มีค่าสูงกว่าเนื้อส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ และค่าความสว่าง (L*) ของซากเนื้อในส่วนของ เนื้อสันใน (Ansim) เนื้อสันนอก (Dungsim) เนื้อท้องส่วนหน้า (Yangjee) และ เนื้อซี่โครง (Kalbi) สูงกว่าซากเนื้อส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ซากเนื้อในส่วนของ Satae มีค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความสว่าง (L*) ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับซากเนื้อ ส่วนอื่นๆ อย่างไรก็ตามค่าความเป็นสีแดง (a*) ของ เนื้อน่อง (Satae) และเนื้อสะโพก (Udun) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) Putra และคณะ (2017) รายงานว่าตัวอย่างเนื้อสัตว์ที่มีปริมาณไขมันสูง มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านอื่นๆ ที่อธิบายถึงค่าความสว่าง (L*) ที่เพิ่มสูงขึ้นในเนื้อสัตว์ เช่น ความแปรปรวนของค่าความคงตัวต่อออกซิเจนของไมโอโกลบิน

Table 4.2 pH, shear force and color of trimmed beef from red meat, plate and shank part

Parameters		Red Meat	Shank	Plate
pH		5.39 ± 0.03^{b}	5.41 ± 0.02^{b}	5.47 ± 0.02^{a}
Shear force (kg)		13.36 ± 0.60^{b}	43.49 ± 5.01^{a}	3.57 ± 0.88^{c}
Color	L*	40.89 ± 2.07^{a}	34.57 ± 1.24^{b}	40.06 ± 2.86^{a}
	a*	18.67 ± 2.05^{a}	19.47 ± 2.66^{a}	20.44 ± 2.55^{a}
	b*	15.12 ± 1.93^{ab}	14.16 ± 2.15^{b}	16.67 ± 1.90^{a}

$^{a-c}$ Means ± SD Different superscripts within the same row indicate a significant difference ($p < 0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า drip loss และค่า cooking loss ของเนื้อโคเศษเหลือที่ได้จากส่วนของเนื้อแดง เนื้อพื้นท้อง และเนื้อน่อง แสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่า เศษเนื้อจากส่วนของเนื้อพื้นท้องมีค่า drip loss สูงสุด ($p < 0.05$) โดยเศษเนื้อจากส่วนของเนื้อน่องมีค่า drip loss รองลงมา และเศษเนื้อแดงมีค่า drip loss ต่ำสุด โดยค่า drip loss ของเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่า cooking loss ซึ่งพบว่า เศษเนื้อจากส่วนของเนื้อพื้นท้องมีค่า cooking loss สูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่เศษเนื้อน่องและเศษเนื้อแดงมีค่า cooking loss ต่ำกว่าเศษเนื้อจากเนื้อส่วนพื้นท้อง และค่า cooking loss ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเศษเนื้อน่องและเศษเนื้อแดง ค่า drip loss และค่า cooking loss บ่งบอกถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อระหว่างการแช่เย็นและระหว่างการทำสุกตามลำดับ (Honikel, 1998) ความสามารถในการอุ้มน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ เนื่องจากมีผลกระต่อคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ และยังมีผลกระทบต่อผลผลิตที่จะได้ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ซึ่งมีผลกระทบต่อผลกำไรที่จะได้ของผู้ประกอบการผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Cheng และ Sun, 2008) จากผลการทดลองในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า เศษเนื้อส่วนพื้นท้องมีความสามารถในความอุ้มน้ำต่ำกว่าเนื้อส่วนอื่นๆ เนื่องมาจากเศษเนื้อส่วนพื้นท้องมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูงกว่าส่วนอื่นๆ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งปัจจัยจากองค์ประกอบทางด้านเคมีของเนื้อสัตว์ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ (Cheng และ Sun, 2008) ในทางทฤษฎี การสูญเสียน้ำระหว่างการทำสุก (รวมถึงน้ำที่เป็นส่วนประกอบ) และไขมัน (Sorapukdee และ Tangwatcharin, 2018) การสูญเสียสภาพของโปรตีนนั้น สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อสัตว์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการทำสุก (Honikel, 1998) โดยที่โปรตีนไมโอไฟ บริลลาร์และโปรตีนซาร์โคพลาสมิกนั้น จะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 80°C และ 70°C ตามลำดับ (Kijowski และ Mast, 1988)

ดังนั้นระหว่างการแช่เย็นและการให้ความร้อน เศษเนื้อส่วนพื้นท้องซึ่งมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูงจึงไม่สามารถจับกับโปรตีนและน้ำได้ในเนื้อสัตว์ได้ จึงส่งผลต่อการสูญเสียน้ำและไขมันระหว่างการให้ความร้อนสูง ส่วนเศษเนื้อส่วนน่องมีองค์ประกอบของคอลลาเจนสูง (Seong และคณะ, 2016) ซึ่งมีความสามารถในการเก็บน้ำในเนื้อสัตว์ระหว่างการเก็บแบบแช่เย็นไว้ได้ต่ำส่งผลให้เศษเนื้อส่วนน่องมีค่า drip loss สูงกว่าเศษเนื้อแดง แต่อย่างไรก็ตามคอลลาเจนดังกล่าวไม่ได้สูญเสียระหว่างการให้ความร้อน จึงส่งผลให้มีค่า cooking loss ของเศษเนื้อน่องไม่แตกต่างจากเศษเนื้อแดง

Table 4.3 Drip loss and cooking loss of trimmed beef from red meat, plate and shank part

Samples	Drip loss (%)	Cooking loss (%)
Red Meat	1.70 ± 0.57^{c}	36.71 ± 0.62^{b}
Shank	5.50 ± 0.53^{b}	36.64 ± 1.30^{b}
Plate	6.37 ± 0.38^{a}	38.32 ± 0.87^{a}

$^{a-c}$ Means ± SD Different superscripts within the same column indicate a significant difference ($p < 0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ผลของปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ

ค่าการยึดติดกัน (Binding strength) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากส่วนของเนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่อง โดยใช้ปริมาณเกลือ (1.5%, w/w) ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิ เนสในระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0 (สูตรควบคุม) 1 1.5 และ 2% (w/w) แสดงดังตารางที่ 4.4 จากผลการทดลองพบว่า เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้เฉพาะเกลือแต่ไม่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (0%) ในการขึ้นรูปมีค่าการยึดติดต่ำสุด ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้เอนไซม์ทุกความเข้มข้นร่วมกับเกลือ โดยค่าการยึดติดกันของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดงและเนื้อน่องด้วยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้น 1-2% มีค่าสูงกว่าเศษเนื้อโคขึ้นรูปสูตรควบคุม โดยที่ค่าการยึดติดของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดงและเนื้อน่องด้วยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้น 1-2% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ค่าการยึดติดกันของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ประสานระหว่างสายของโปรตีนได้เป็นโครงสร้างของโปรตีน (Protein networking) ที่มีการยึดติดและมีความแข็งแรงมากขึ้น (ปราณี, 2547) โดยการสร้างพันธะที่เรียกว่า เอพซิลอนแกมมากลูตามิลไลซีน (ε-(γ-glutamyl) lysine bond) ระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) และไลซีน (lysine) ที่เหลืออยู่ในสายโปรตีนของเนื้อสัตว์ (Yokoyama และคณะ, 2004; Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) เมื่อพิจารณาเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด พบว่า เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดงมีค่าการยึดติดที่สูงกว่าเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อน่องและเนื้อพื้นท้อง โดยปกติในการผลิตเนื้อขึ้นรูปใหม่ เกลือทำหน้าที่ในการละลายไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนออกมาจากเนื้อแดงซึ่งจะช่วยส่งเสริมในการยึดติดของชิ้นเนื้อ (Schmidt, 1986) ในขณะที่เอนไซม์ทำหน้าที่ในการเพิ่มการยึดติด (cross-linking) ของชิ้นเนื้อ (Kuraishi และคณะ, 1997) ด้วยสาเหตุนี้เนื้อขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากเนื้อน่องและเนื้อพื้นท้องมีค่าการยึดติดกันน้อยกว่าเนื้อขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดง อาจส่งผลมาจากเนื้อน่องมีปริมาณคอลลาเจนสูง ในขณะที่เนื้อพื้นท้องมีปริมาณไขมันสูง (Seong และคณะ, 2016) โดยทั้งคอลลาเจนและไขมันมีผลต่อการยึดติดที่ต่ำลงของชิ้นเนื้อในการผลิตเนื้อขึ้นรูป Sorapukdee และ Tangwatcharin (2018) กล่าวว่า การผลิตเนื้อขึ้นรูปใหม่ต้องมีการควบคุมปริมาณไขมัน เนื่องจากไขมันมีผลในการขัดขวางการยึดติดของชิ้นเนื้อในการผลิตเนื้อขึ้นรูปใหม่ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ค่าการยึดติดของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 1.5% มีค่าการยึดติดกันสูงสุด ($p < 0.05$) และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อขึ้นรูปใหม่ที่ใช้เอนไซม์ 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.4 Binding strength of the restructured beef from trimmed meat with the different concentrations of transglutaminase.

Samples	TGase levels (%)	Binding strength (Kg)
Red meat	0	0.24±0.01[b]
	1	0.43±0.03[a]
	1.5	0.49±0.03[a]
	2	0.47±0.06[a]
Shank	0	0.08±0.04[b]
	1	0.30±0.04[a]
	1.5	0.32±0.01[a]
	2	0.31±0.02[a]
Plate	0	0.08±0.02[c]
	1	0.23±0.02[b]
	1.5	0.34±0.03[a]
	2	0.31±0.05[a]

[a-c] Means ± SD Different superscripts within the same column of each meat part indicate a significant difference ($p < 0.05$), TGase = transglutaminase.

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากส่วนของเนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่อง (ตารางที่ 4.5) พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่ที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโปรตีนมีการเชื่อมติดกันโดยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Yokoyama และคณะ, 2004; Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) ซึ่งปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 0, 1, 1.5 และ 2% ไม่ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าการเกาะติด (cohesiveness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อน่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสส่งผลต่อค่าความแข็ง (hardness) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อน่องที่มีแนวโน้มต่ำลง เช่นเดียวกับการใช้ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) ของเศษเนื้อแดงขึ้นรูปใหม่มีแนวโน้มต่ำลง ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น (springiness) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเนื้อโคขึ้นรูปใหม่มีการสูญเสียน้ำระหว่างการทำสุกน้อย ส่งผลให้มีปริมาณน้ำอยู่มากในเนื้อขึ้นรูปใหม่เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ เนื้อขึ้นรูปใหม่ที่ได้จึงมีค่าการเกาะติด (cohesiveness) เพิ่มขึ้นแต่มีค่าความแข็ง (hardness) ลดลง ส่วนของค่าการเกาะติด (cohesiveness) ของเศษเนื้อแดง พบว่า ที่ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 2% มีค่าการเกาะติด (cohesiveness) สูงสุด ($p < 0.05$) และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 1 และ 1.5% ในขณะที่ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 0% ของเศษเนื้อแดงมีค่าการเกาะติด (cohesiveness) ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการขึ้นรูปใหม่ของเศษเนื้อโคนั้น จะมีลักษณะที่แข็งขึ้น มีการยึดติดของชิ้นเนื้อและมีลักษณะแน่นเนื้อมากกว่าเศษเนื้อโคขึ้นรูปที่ไม่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสสามารถทำให้เกิดพันธะ ε-(γglutamyl) lysine ระหว่างกรดอะมิโน ไลซีน และกลูตามีนในเนื้อสัตว์ (วราภรณ์และนพพล, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็ง (hardness), ค่าความยืดหยุ่น (springiness), ค่าการเกาะติด (cohesiveness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) ของเศษเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากส่วนของเนื้อพื้นท้องมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเศษเนื้อจากส่วนของเนื้อพื้นท้องนั้นมีปริมาณไขมันที่สูง (ตารางที่ 4.1) ที่ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่ำจะมีค่าการยึดติดกันต่ำเช่นกัน (ตารางที่ 4.4) ส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปมีค่าความแข็ง (hardness), ค่าความยืดหยุ่น (springiness), ค่าการเกาะติด (cohesiveness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) ต่ำไปด้วย แต่เมื่อปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้นการยึดติดของเศษเนื้อเพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อการยึดติดของชิ้นเนื้ออย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเนื้อขึ้นรูปที่ใช้ปริมาณเอนไซม์สูงจึงมีลักษณะเนื้อแน่นขึ้นค่าทางด้านเนื้อสัมผัสต่างๆ จึงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการใช้เอนไซม์ที่ 2% ในการผลิตเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องมีค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) สูงสุด ($p < 0.05$)

Table 4.5 Texture profile analysis of the restructured beef from trimmed meat with the different concentrations of transglutaminase.

Samples	TGase levels (%)	Texture Profile Analysis			
		Hardness (Kg)	Springiness	Cohesiveness	Chewiness (Kg)
Red meat	0	9.37±3.95^{a}	0.7004±0.04^{c}	0.4394±0.03^{b}	2.93±0.48^{a}
	1	8.00±1.08^{a}	0.7786±0.05^{b}	0.5056±0.02^{a}	3.18±0.25^{a}
	1.5	7.63±0.51^{a}	0.7942±0.02^{ab}	0.4748±0.04^{ab}	2.47±0.56^{b}
	2	3.63±1.63^{b}	0.8424±0.01^{a}	0.5132±0.03^{a}	1.80±1.18^{b}
Shank	0	8.34±2.04^{a}	0.7684±0.02^{a}	0.5042±0.03^{a}	3.26±0.82^{a}
	1	6.20±1.66^{a}	0.7644±0.04^{a}	0.5286±0.03^{a}	3.20±0.38^{a}
	1.5	3.25±0.67^{b}	0.7868±0.05^{a}	0.5200±0.04^{a}	3.29±1.56^{a}
	2	3.07±0.14^{b}	0.8156±0.06^{a}	0.5278±0.01^{a}	1.60±0.46^{a}
Plate	0	3.73±1.36^{b}	0.71±0.04^{b}	0.43±0.02^{c}	1.55±0.52^{b}
	1	6.22±1.90^{ab}	0.77±0.06^{ab}	0.49±0.05^{b}	1.85±0.81^{b}
	1.5	5.09±1.82^{ab}	0.81±0.02^{a}	0.55±0.03^{b}	1.67±0.70^{b}
	2	7.21±0.67^{a}	0.81±0.02^{a}	0.57±0.03^{a}	3.40±0.38^{a}

$^{a-c}$ Means ± SD Different superscripts within the same column of each meat part indicate a significant difference ($p < 0.05$), TGase = transglutaminase.

ค่าสีของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากส่วนของเนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่องโดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด ด้วยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 0% มีค่าความสว่าง (L*) สูงสุด ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิดที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 1% มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่ที่ใช้เอนไซม์ 1.5% ในขณะที่การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเนสปริมาณ 2% ในการผลิตเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดง (a*) ของเศษเนื้อขึ้นรูปใหม่ พบว่า ค่าความเป็นสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.1) โดยค่าความเป็นสีแดง (a*) ของเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อพื้นท้องขึ้นรูปใหม่ที่ใช้เอนไซม์ 1.5% มีค่าสูงสุด ($p < 0.05$) ในขณะที่เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 2% มีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงสุด ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้ในการขึ้นรูปเนื้อโคจากเนื้อเศษเหลือทั้ง 3 ชนิด ส่งผลกระทบต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) น้อยมาก โดยค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดง เศษเนื้อน่อง และเศษเนื้อพื้นท้อง มีค่าอยู่ในช่วง 11.19-12.04 12.22-13.22 และ 12.44-13.10 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้นในเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่าการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือมีลักษณะสีแดงกว่าเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ความเข้มข้นต่ำ (ภาพที่ 4.1) โดยปกติความเป็นสีแดงของเนื้อโคเกิดจากสีแดงของไมโอโกลบินที่อยู่ในกล้ามเนื้อของโค เมื่อนำเศษเนื้อโคมาขึ้นรูปใหม่ด้วยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปมีการยึดติดกัน (Binding strength) มากขึ้นเมื่อใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.4 เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ประสานระหว่างสายของโปรตีนด้วยพันธะเอพซิลอนแกมมากลูตามิลไลซีน (ε-(γ-glutamyl) lysine bond) ระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) และไลซีน (lysine) ที่เหลืออยู่ในสายโปรตีนของเนื้อสัตว์ (Yokoyama และคณะ, 2004; Dimitrakopoulou และคณะ, 2005) การยึดติดกันของเนื้อขึ้นรูปใหม่ดังกล่าวส่งผลให้เกิดการสูญเสียระหว่างทำสุก (cooking loss) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.2 ดังนั้นจึงสามารถลดการสูญเสียไมโอโกลบินระหว่างการทำสุกของเนื้อขึ้นรูปใหม่ได้ Kim และคณะ (2010) กล่าวว่าปริมาณไมโอโกลบินที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นสีแดง (a*) ของเนื้อสัตว์ ด้วยเหตุนี้เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือทั้ง 3 ชนิดที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ความเข้มข้นสูงจึงมีลักษณะสีแดงกว่าเนื้อโคขึ้นรูปใหม่ที่ใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.6 Color of the restructured beef from trimmed meat with the different concentrations of transglutaminase.

Samples	TGase levels (%)	Color		
		L*	a*	b*
Red meat	0	48.74±1.33[a]	5.26±0.11[c]	11.41±0.11[b]
	1	46.90±1.17[b]	6.00±0.07[b]	11.19±0.29[a]
	1.5	46.79±0.55[b]	6.47±0.27[a]	12.04±12.04[a]
	2	45.24±0.82[c]	6.26±0.31[ab]	11.26±0.26[b]
Shank	0	50.38±1.15[a]	5.14±0.17[c]	12.88±0.42[a]
	1	47.13±0.56[b]	5.98±0.18[b]	12.22±0.27[b]
	1.5	48.21±0.95[b]	6.57±0.17[a]	13.22±0.15[a]
	2	47.34±1.06[b]	6.15±0.20[b]	12.44±0.16[b]
Plate	0	48.87±0.38[a]	6.71±0.31[b]	12.44±0.30[b]
	1	48.47±1.15[a]	6.89±0.11[b]	12.61±0.67[ab]
	1.5	48.26±0.90[a]	6.81±0.12[b]	12.64±0.32[ab]
	2	46.64±0.35[b]	7.25±0.15[a]	13.10±0.15[a]

[a-c] Means ± SD Different superscripts within the same column of each meat part indicate a significant difference ($p < 0.05$), TGase = transglutaminase.

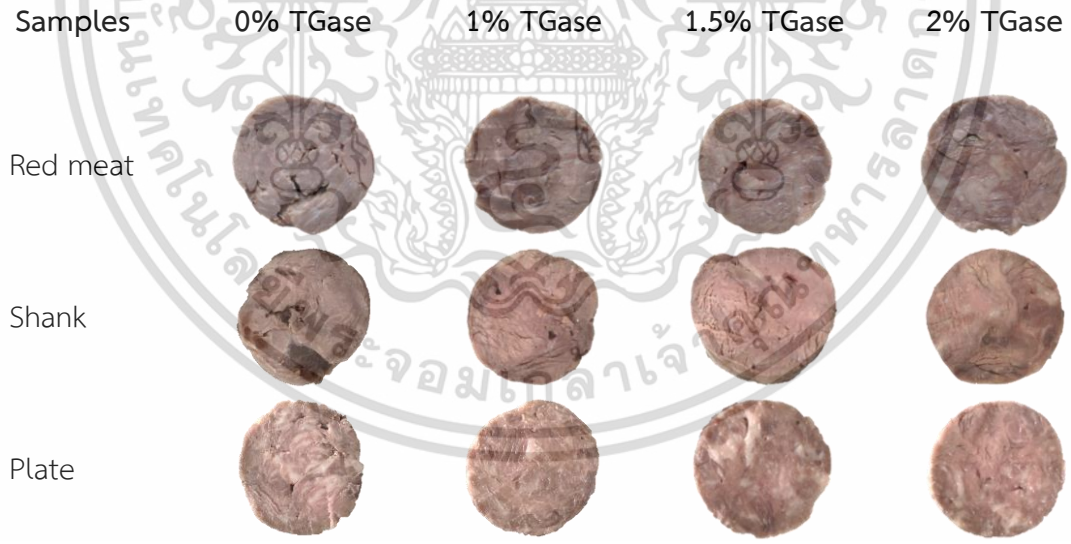

Figure 4.1 The characteristic of the restructured beef from trimmed meat with the different concentrations of transglutaminase (TGase).

ค่า cooking loss และค่า total yield ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากเนื้อทั้ง 3 ส่วน โดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ค่า cooking loss ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้เฉพาะเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ไม่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (0%) ในการขึ้นรูปมีค่า cooking loss สูงสุด ($p < 0.05$) ค่า cooking loss ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น โดยค่า cooking loss ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อน่องด้วยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้น 1-2% มีค่าต่ำกว่าเศษเนื้อโคขึ้นรูปสูตรควบคุม (0%) ($p < 0.05$) โดยที่ค่า cooking loss ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อน่องด้วยเอนไซม์ ที่ระดับความเข้มข้น 1-2% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่า cooking loss ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้น 2% มีค่า cooking loss ต่ำสุด ($p < 0.05$) จากผลการสูญเสียระหว่างการทำสุกของเนื้อโคขึ้นรูปที่ลดลงเมื่อขึ้นรูปด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า total yield ของเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือทั้ง 3 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสส่งผลให้การสูญเสียระหว่างการทำสุกลดลง โดยที่เศษเนื้อโคขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสนั้นมีค่า cooking loss สูง โดยปกติการสูญเสียระหว่างการทำสุกบ่งบอกถึงการสูญเสียน้ำ (และองค์ประกอบที่ละลายน้ำ) และไขมัน (Sorapukdee และ Tangwatcharin, 2018) การเสียสภาพของโปรตีนจากความร้อนในระหว่างการทำสุกส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นน้ำที่อยู่ในชิ้นเนื้อเกิดการสูญเสีย (Honikel, 1998) จากผลการทดลองนี้ในการผลิตเนื้อขึ้นรูปมีการทำงานร่วมกันระหว่างเกลือและเอนไซม์ โดยเกลือทำหน้าที่ในการละลายไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนออกมาจากเนื้อแดงซึ่งจะช่วยส่งเสริมในการยึดติดของชิ้นเนื้อ (Schmidt, 1986) ในขณะที่เอนไซม์ทำหน้าที่ในการเพิ่มการยึดติด (cross-linking) ของชิ้นเนื้อ (Kuraishi และคณะ, 1997) และจากผลการยึดติดของชิ้น ดังตารางที่ 4.4 เห็นได้ว่าเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสสามารถช่วยเพิ่มการยึดติดของชิ้นเนื้อในการผลิตเนื้อโคขึ้นรูปจากเนื้อเศษเหลือ ดังนั้นค่าการยึดติดที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ระหว่างการทำสุก ดังนั้นการสูญเสียระหว่างการทำสุกจึงลดลง และมีผลให้ค่าผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองนี้มีผลไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Lee และคณะ (2017) ซึ่งพบว่าคุณสมบัติเนื้อขึ้นรูปใหม่สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้เอนไซม์ทรานกลูตามิเนสร่วมกับการใช้เกลือ โดยเฉพาะการลดลงของค่า cooking loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

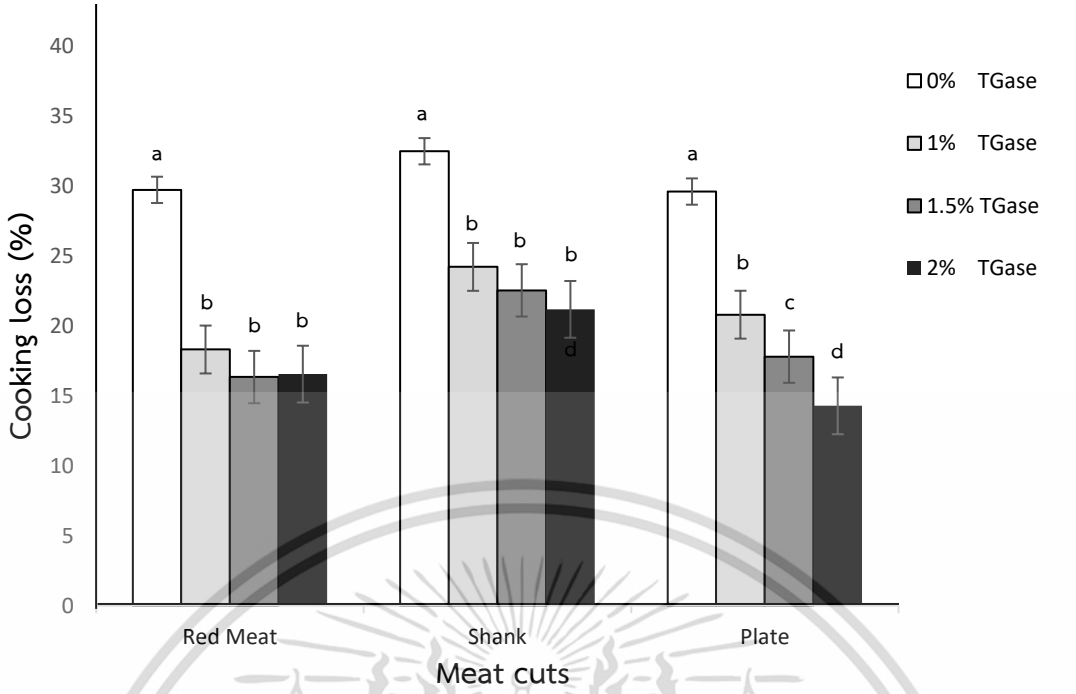

Figure 4.2 Cooking loss of restructured beef from meat trimming with the different levels of transglutaminase (TGase). [a-d] Indicate significant differences in cooking loss of restructured beef prepared from the same meat cut ($p < 0.05$).

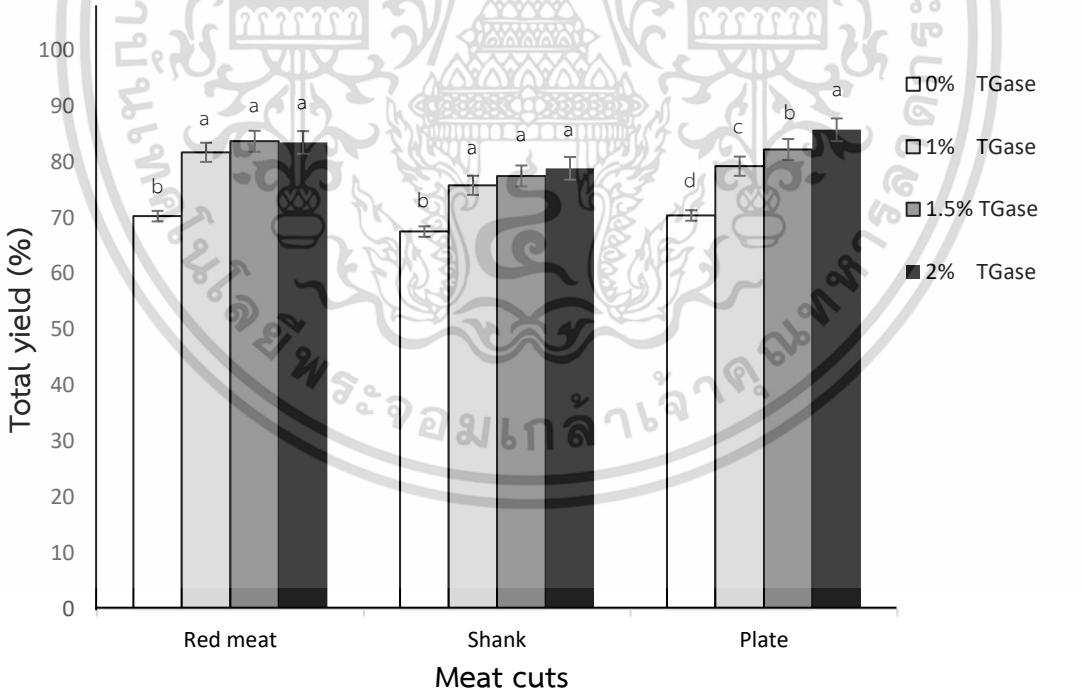

Figure 4.3 Total yield of restructured beef from trimmed meat with the different levels of transglutaminase (TGase). [a-d] Indicate significant differences in total yield of restructured beef prepared from the same meat cut ($p < 0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษานี้ พบว่า การใช้เกลือร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสสามารถใช้ในการผลิตเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด ได้แก่เศษเนื้อแดง เศษเนื้อพื้นท้อง และเศษเนื้อน่องได้ โดยเมื่อพิจารณาค่าการยึดติดกันและค่า cooking loss พบว่าปริมาณเอนไซม์ที่ 1.5% ส่งผลให้เนื้อโคขึ้นรูปจากเศษเนื้อแดงและเศษเนื้อน่องมีค่าการยึดติดสูง แต่มีค่า cooking loss ต่ำ โดยไม่แตกต่างจากการใช้เอนไซม์ 2% ในขณะที่เนื้อโคขึ้นรูปจากเศษเนื้อพื้นท้อง แม้จะค่า cooking loss ต่ำสุดเมื่อใช้เอนไซม์ 2% แต่อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์ที่ 2% ส่งผลให้เนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อพื้นท้องค่าการยึดไม่แตกต่างจากการใช้เอนไซม์ 1.5% ดังนั้นปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือทั้ง 3 ชนิด อยู่ที่ 1.5% ร่วมกับการใช้เกลือ 1.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปของเนื้อโคเศษเหลือจากเนื้อส่วนต่างๆ ได้แก่ เศษเนื้อแดง เศษเนื้อน่อง และเศษพื้นท้อง ทำให้เนื้อสัมผัสเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้น เนื่องจากเป็นเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีหน้าที่ประสานให้เกิดโครงสร้างของโปรตีน (Protein networking) ทำให้โครงสร้างโปรตีนมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อขึ้นรูปใหม่ มีค่าการยึดติดกัน (binding strength) เพิ่มขึ้น และส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีค่าการสูญเสียระหว่างการทำสุก (Cooking loss) ลดลง ตัวอย่างเนื้อมีการกักเก็บน้ำไว้ในเนื้อขึ้นรูปใหม่ได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้เนื้อขึ้นรูปลักษณะยืดหยุ่นขึ้น (Springiness) มีการรักษาความเป็นสีแดงของเนื้อสัตว์ไว้ได้ดีขึ้น โดยปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ 1.5% มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเนื้อขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือที่ได้จากเศษเนื้อแดง เศษเนื้อน่อง และเศษเนื้อพื้นท้องร่วมกับการใช้เกลือ 1.5% จากผลการทดลองนี้เห็นได้ว่าเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนสมีประสิทธิภาพสูงในการนำมาใช้พัฒนาคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปใหม่จากเนื้อเศษเหลือ ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อเศษเหลือดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

นำเนื้อโคขึ้นรูปใหม่จากเศษเนื้อแดง เนื้อพื้นท้องและเนื้อน่องที่ได้จากการวิจัยนี้ นำไปศึกษาต่อในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การศึกษาผลของความร้อนสูง (sterilization) ต่อลักษณะการยึดติดกัน (binding strength) และคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปใหม่ต่อไป เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อโคขึ้นรูปใหม่พร้อมบริโภคและสามารถรับประทานได้อย่างสะดวกเหมาะกับผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน อีกทั้งยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่เนื้อโคเศษเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กาพันสิทธิ์ วราภรณ์ และเล็กสวัสดิ์ นพพล. 2556. เอนไซม์ทรานกลูตามิเนส. สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57/57-027.pdf. 6 ตุลาคม 2562.

บทเรียนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. 2549. บทที่ 6 การฆ่าและการตัดแต่ง. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/meattech/index.htm. 5 ตุลาคม 2562.

บทเรียนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. 2549. บทที่ 6 เนื้อหาค้นคว้าเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/meattech/index.htm. 5 พฤศจิกายน 2562.

บุญวิทยา วัฒนี. 2542. เทคโนโลยีเนื้อและผลิตภัณฑ์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0936/protein-denaturation-การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน. 16 กันยายน 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. โครงสร้างและองค์ประกอบของเนื้อสัตว์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3351 / โครงสร้างและส่วนประกอบของเนื้อสัตว์. 5 ตุลาคม 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. เนื้อสัตว์ (meat). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1141/meat. 5 ตุลาคม 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2805/ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์-meat-products. 5 ตุลาคม 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. หมูส้ม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/ 4220/หมูส้ม. 1 พฤศจิกายน 2562.

อ่านเปรื่อง ปราณี. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 4 ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 323-328. 1 พฤศจิกายน 2562.

AOAC International. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. (Horwitz, W. ed.) AOAC International, Gaithersburg, MD, Official Method 900.02 (chapter 44, p. 3), 923.03 (chapter 32, p. 2) and 938.08 (chapter 35, p. 8).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Akinwunmi, I., Thompson, L.D., and Ramsey, C.B. 1993. Marbling, fat trim and doneness effects on sensory attributes, cooking loss and composition of cooked beef steaks. Journal of Food Science. 58(2): 242-244.

Buchert, J., Selinheimo, E., Kruus, K., mattinen, M-L., Lantto, R., and Autio, K. 2007. Using crosslinking enzymes to improve textural and other properties of food in Novel Enzyme Tehnology for Food Applications (edited by R. Rastall). Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.

Cheng, Q., and D.-W. Sun. 2008. Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 48: 137–159.

Dimitrakopoulou, M.A., Ambrosiadis, J.A., Zetou, F.K. and Bloukas J.G. 2005. Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. Meat Science. 70: 743-749.

Fennema, O.R. 1996. Food Chemistry. 3rd ed. Marcel Dekker,Inc., New York, USA

Fortin A., Robertson, W.M. and Tong, A.K.W. 2005. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat. Meat Science 69: 297-305.

Honikel, K.O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science. 49: 447-457.

Jung, E.-Y., Hwang, Y.-H. and Joo, S.-T. Chemical Components and Meat Quality Traits Related to Palatability of Ten Primal Cuts from Hanwoo Carcasses. Korean J. Food Sci. An. 35 (6): 859-866.

Kaewthong, P., Wattanachant, S. 2018. Optimizing the electrical conductivity of marinade solution for water-holding capacity of broiler breast meat. Poultry Science. 97: 701–708.

Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. 2002. Meat Processing: Improving Quality. CRC Press LLC and Woodhead Publishing Ltd. New York.

Kenney, P.B., Kastner, C.L. and Kropf, D.H. 1992. Muscle washing and raw material source affect quality and physicochemical properties of low-salt, low-fat, restructured beef. Journal of Food Science. 57(3): 545-550.

Kumar, M. and Sharma, B.D. 2004. The storage stability and textural, physico-chemical and sensory quality of low-fat ground pork patties with Carrageenan as fat replacer. J. Food Sci Tech. 39: 31-42.

Kuraishi, C., Sakamoto, J., Yamazaki, K. Susa, Y., Kuhara, C. and Soeda, T. 1997. Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. Journal of Food Science, 62(3): 488-491.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lee, H.C., Jang, H.S., Kang, I. and Chin, K.B. 2017. Effect of red bean protein isolate and salt levels on pork myofibrillar protein gels mediated by microbial transglutaminase. LWT – Food Science and Technology. 76: 95-100.

Li, C., Zhou1, G., Xu, X., Zhang, J., Xu, S. Ji, Y. 2006. Effects of Marbling on Meat Quality Characteristics and Intramuscular Connective Tissue of Beef Longissimus Muscle. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19(12): 1799 – 1808.

Motoki, M. and Kumazawa, Y. 2000. Recent research trends in transglutaminase technology for food processing. Journal of Food Science and Technological Research. 6: 151-160.

Muguerza, E., Fistab, G.,Ansorenaa, D., Astiasarana, I. and Bloukasb, J.G. 2002. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. Meat Sci. 61: 397-404.

Nielsen, G.S., Peterson, B.R. and Møller, A.J. 1995. Impact of salt, phosphate and temperature on the effect of a transglutaminase (F XIIIa) on the texture of restructured meat. Meat Science. 41: 293–299.

Oh, M., Kim, E.-K., Jeon, B.-T., Tang, Y., Kim, M.S. Seong, H.J. and Moon, S.H. 2016. Chemical compositions, free amino acid contents and antioxidant activities of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) beef by cut. Meat Science. 119: 16-21.

Putra AA, Wattanachant S, Wattanachant C (2017) Potency of culled Saanen crossbred goat in supplying raw meat for traditional Thai butchery. Media Peternakan 40:128-135.

Ramsbottom, J. M., & Strandine, E. J. (1948). Comparative tenderness and identification of muscles in wholesale beef cuts. Journal of Food Science, 13(4), 315–330.

Schmidt, G.R., 1986. Processing and fabrication. In P.J. Bechtel (Eds.). Muscle as Food Chapter 5 (pp. 201). Orlando, FL: Academic Press.

Seong, P.N., Park, K.M., Kang, G.H., Cho, S.H., Park, B.Y., Chae, H.S. and Ba, H.V. 2016. The differences in chemical composition, physical quality traits and nutritional values of horse meat as affected by various retail cut types. Australasian Journal of Animal Sciences. 29(1): 89-99.

Siegel, D.G. and Schmidt, G.R. 1979. Ionic, pH, and temperature effects on the binding ability of myosin. Journal of Food Science. 44: 1686-1689.

Sorapukdee, S. and Tangwatcharin, P. 2018. Quality of steak restructured from beef trimmings containing microbial transglutaminase and impacted by freezing and grading by fat level. Australasian Journal of Animal Sciences, 31(1): 129-137.

Wattanachant, S., Benjakul, S. and Ledward, D.A. 2004. Composition, Color, and Texture of Thai Indigenous and Broiler Chicken Muscles. Poultry Science. 83: 123-128.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yang, X. and Zhang, Y. 2019. Expression of recombinant transglutaminase gene in *Pichia pastoris* and tis uses in restructured meat products. Food Chemistry. 291: 245-252.

Yokoyama, K., Nio, N. and Kikuchi, Y. 2004. Properties and applications of microbial transglutaminase. Applied Microbiology and Biotechnology. 64: 447-454.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 ความชื้น (Hot air oven method)

ปริมาณความชื้น (AOAC, 1999)

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

ก.2 โปรตีน (Kjeldahl method)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ดัดแปลงมาจาก AOAC, 1999) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ (นอร์มัล)} = \frac{\text{น้ำหนักของโซเดียมเทตราบอเรต (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตเตรต (มล.)} \times 0.1907}$$

(กรัมสมมูลของโซเดียมเทตราบอเรต = 190.72)

วิธีการ

1. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมทิลเรด เมทิลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน

1.1 ชั่งเมทิลเรด 0.125 กรัม และเมทิลีนบูล 0.082 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.2 ชั่งโบรโมครีซอลกรีน 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

1.3 ผสมสารละลายจากข้อ 1.1 และ 1.2 ในอัตราส่วน 5 : 1

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งน้ำหนัก (ของแข็ง) ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม (ตัวอย่างของเหลวใช้ปริมาตร 1-10 มิลลิลิตร) ใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนที่ตัวอย่าง

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติมกรดซัลฟูริกเขมขนปริมาตร 20 มิลลิลิตร

4. วางหลอดยอยในเตายอยแล้วประกอบสายยางระหวางฝาครอบ ขวดใสดางที่มีสารละลายโซเดียมโฮดรอกไซดเขมขน 20 เปอรเซ็นต ปริมาตร 500-600 มิลลิลิตร และเครื่องจับไอกรดใหเรียบรอย

5. เปดเครื่องจับไอกรดและเตายอย แล้วตั้งอุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส เปนเวลา 60 นาที ยอยจนไดสารละลายใส ปลอยทิ้งไวใหเย็นลง

ขั้นตอนกลั่น

1. เปดสวิทซชุดกลั่นโปรตีนและน้ำหลอน้ำเย็น

2. กลั่นลางเครื่องดวยน้ำกลั่น 2 ครั้ง

3. นำขวดยอยโปรตีนตอเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซดเขมขน 40% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4. นำขวดรูปชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีการเติมกรดบอริกร้อยละ 2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร และอินดิเคเตอรไปรองรับของเหลวที่จะกลั่นออกมา โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณควบแนนจุมลงในสารละลาย

5. กลั่นโดยใชเวลาประมาณ 4 นาที

6. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายกรดเกลือเขมข้น 1 เปอรเซ็นต สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเปนสีมวง คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(a - b) \times N \times 1.4007}{W}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times F$$

โดยที่

a = ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ใชไตเตรตกับตัวอยาง (มิลลิลิตร)

b = ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ใชไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเขมขนของสารละลายกรดเกลือ (นอรมอล)

W = น้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอยางเริ่มตน (กรัมหรือมิลลิลิตร)

F = แฟกเตอรที่ใชในการคำนวณหาปริมาณโปรตีนสำหรับอาหารชนิดตางๆ (แฟกเตอรที่ใชในการคำนวณหาปริมาณโปรตีนสำหรับผลิตภัณฑจากปลาเทากับ 6.25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ไขมัน (Soxhlet apparatus)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 1999)

วิธีการ

1. อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)

2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดอบไล่ความชื้นแล้ว 5.00-10.00 กรัม (ปริมาณของตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในตัวอย่าง ถ้าปริมาณไขมันน้อยให้ใช้ตัวอย่างมาก) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ในทิมเบิล (Extraction thimble)

3. ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 140-180 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง

4. เมื่อครบเวลานำบีกเกอรไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก

5. นำบีกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อรอให้เย็น ก่อนนำบีกเกอร์ไขมันไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

6. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์รวมไขมัน} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก} = \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ของแข็ง} \times \text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน}}{100}$$

โดยที่

เปอร์เซ็นต์ของแข็ง = 100 - เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ก.4 เถ้า (Furnace ashing 600 องศาเซลเซียส)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

วิธีการ

1. นำถ้วยเผาที่สะอาดและเขียนเลขหรือทำเครื่องหมายกำกับไว้ ไปอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปิดเตาเผาให้มีอุณหภูมิลดลง ย้ายถ้วยเผาไปในโถดูดความชื้นจนเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง

2. ใช้คีบคีบถ้วยเผาไปชั่งหาน้ำหนักอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้ดูดความชื้นกลับ

3. ชั่งตัวอย่างอาหารแห้งประมาณ 2 กรัม (ชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) หากเป็นอาหารเปียกใช้ตัวอย่างประมาณ 5-10 กรัม ใส่ลงในถ้วยเผาที่ทราบน้ำหนักหรือหักน้ำหนักออกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หากเป็นตัวอย่างอาหารที่มีความชื้นสูงควรนำไปวางบนเตาเพื่อให้ความร้อน หรืออ่างไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำบางส่วนออกไป หรืออบตัวอย่างให้แห้งก่อนนำมาใช้

5. นำถ้วยเผาไปใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส หากเตาเผาร้อนต้องใช้คีมคีบสวมถุงมือและสวมแว่นตา

6. เผาเป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง หรือค้างคืน หรือจนแน่ใจว่าได้เถ้ามีสีเทาอ่อนหรือสีขาว

7. ปิดเตาเผาให้อุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส แล้วจึงค่อยๆเปิดเตาเผาอย่างระมัดระวัง เพราะเถ้าที่เป็นปุยเบาๆ (fluffy) อาจปลิวออกมาได้ หรืออาจปิดฝาถ้วยเผาก่อนนำออกจากเตาเผา

8. ใช้คีมคีบถ้วยเผาใส่ในโถดูดความชื้นที่มีถาดกระเบื้อง (porcelain plate) รองอยู่และ มีการดูดความชื้นอยู่ด้านล่าง ปิดฝาถ้วยเผาและปิดฝาโถดูดความชื้น ปล่อยให้ถ้วยเผาเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งหาน้ำหนักเถ้า

9. หากตัวอย่างอาหารมีคาร์โบไฮเดรตสูง ควรวางถ้วยเผาบนที่วางแบบ 3 ขาที่ทำด้วย เหล็ก แล้วเผาด้วยเตาบุนเซน หรือเตาให้ความร้อนจนได้เป็นเถ้าสีดำ ประมาณ 30 นาที ก่อนนำไปใส่ในเตาเผา

10. เมื่อเผาครบตามเวลาที่กำหนด หากยังมีเถ้าสีดำเหลืออยู่ ให้ปิดเตาเผาจนมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงในถ้วยเผา 2-3 หยด ตรงตำแหน่งที่มีสีดำแล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อีกประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วจึงปิดเตาเผาอีกครั้งหนึ่ง

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเถ้าคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ลลิดา จิตติสังวร
วัน เดือน ปี เกิด	17 กันยายน 2540
ประวัติการศึกษา	ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเมรี่อิมมาคุเลตคอนแวนต์
	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา
	สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2562 วิทยาศาสตร์บัณฑิต
	สาขาวิชาวิศกรรมแปรรูปอาหาร
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้