

อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อ ความชอบ และการตัดสินใจซื้อ
เนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

INFLUENCES OF MARBLING LEVELS ON MEAT QUALITY,
ACCEPTANCE, AND PURCHASE INTENT OF PORK LOIN
(*Longissimus dorsi*)

ศวรรณกมล น้อยคัต
SAWANKAMOL NOIDAD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-D-064-023

อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อ ความชอบ และการตัดสินใจซื้อ
เนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

INFLUENCES OF MARBLING LEVELS ON MEAT QUALITY,
ACCEPTANCE, AND PURCHASE INTENT OF PORK LOIN
(*Longissimus dorsi*)

ศวรรณกมล น้อยดัด
SAWANKAMOL NOIDAD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-D-064-023

**INFLUENCES OF MARBLING LEVELS ON MEAT QUALITY,
ACCEPTANCE, AND PURCHASE INTENT OF PORK LOIN
(*Longissimus dorsi*)**

SAWANKAMOL NOIDAD

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY IN AGRICULTURE
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2019

KMITL-2019-AG-D-064-023

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อ ความชอบ และการตัดสินใจซื้อเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) Influences of Marbling Levels on Meat Quality, Acceptance, and Purchase Intent of Pork Loin (<i>Longissimus dorsi</i>)
นักศึกษา	นางสาวสุวรรณกมล น้อยดัด
รหัสประจำตัว	56604009
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.รุจริน ลิ่มสุวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทรี สุวรรณสิขณณ์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive sensory quality) ความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพในการรับประทาน ความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาจากสายตา และการตัดสินใจซื้อเนื้อสันนอกสุกร โดยเก็บตัวอย่างเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*; LD) จำนวน 5 รอบ รอบละ 3 ตัวต่อกลุ่มทดลอง จากซากชิกซ่ายและขาของสุกรสายพันธุ์ดุรอคเพสผู้ตอนที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย โดยแต่ละรอบของการเก็บตัวอย่างจัดกลุ่มเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1) ไขมันแทรกต่ำ คะแนน 1-2 (low marbling; LM, n=3) 2) ไขมันแทรกปานกลาง คะแนน 3-4 (medium marbling; MM, n=3) และ 3) ไขมันแทรกสูง คะแนน 5-6 (high marbling; HM, n=3) ตามระบบ The United States (US) National Pork Board (2011) เพื่อทำการศึกษาคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ การวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ความชอบของผู้บริโภค (n=389) ในด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตา และการตัดสินใจซื้อเนื้อสันนอกสุกร ซึ่งรายงานเป็นเปอร์เซ็นต์คนที่ตัดสินใจเลือกซื้อแน่นอนและอาจจะซื้อ (top two box ratings) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) และนำข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมา

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของตัวแปร โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) เวอร์ชัน 17.0 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนามาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) และใช้เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis; AHC) แล้วนำข้อมูลลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คำนวณความชอบของผู้บริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่ได้ไปสร้างแผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) ด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม XLSTAT เวอร์ชัน 2018.6.53888 (Addinsoft, Paris, France)

ผลจากการศึกษาพบว่าระดับไขมันแทรกมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณไขมันในเนื้อที่วิเคราะห์โดยทางเคมี ($r = 0.91$, $p < 0.01$) แต่ทั้งระดับไขมันแทรกและปริมาณไขมันในเนื้อมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความชื้น ($r = -0.75$ และ -0.91 , $p < 0.01$, ตามลำดับ) เมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นปริมาณเถ้า ($p < 0.05$) และโปรตีน ($p = 0.072$) ลดลง ค่า pH และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แต่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไอน้ำในระหว่างการเก็บรักษา ระหว่างการปรุงสุก ($p < 0.05$) และภายหลังการละลายมีค่าลดลง ($p = 0.088$) ขณะที่ระดับของไขมันแทรกไม่มีอิทธิพล ($p > 0.05$) ต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ความยาวซาร์โคเมอร์ ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้เมื่อได้รับความร้อน (soluble collagen) คอลลาเจนที่ไม่ละลาย (insoluble collagen) และคอลลาเจนทั้งหมด (total collagen) ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าแรงตัดผ่าน (Warner-Bratzler Shear Force; WBSF) แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนที่ละลายได้ (collagen solubility percentage) ของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$)

สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมัน พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกมากและปานกลางมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ($p < 0.05$) ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกมากมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวมากที่สุด แต่เมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นพบว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโดยรวม และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนมีค่าลดลง ($p < 0.05$) ทั้งนี้ชนิดของกรดไขมันที่มีมากในเนื้อสันนอกสุกร คือ oleic acid (42.39-44.32 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) รองลงคือ palmitic acid (25.39-26.69 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) และ stearic acid (13.01-13.66 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีปริมาณรีดิวซ์กลูตาไธโอน (reduced glutathione; GSH) น้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) แต่ปริมาณ GSH ในเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ ($p > 0.05$) ในทางตรงกันข้ามเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและไขมันแทรกปานกลางมีปริมาณออกซิไดซ์กลูตาไธโอน (oxidized glutathione; GSSG) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับของไขมันแทรกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณ guanosine monophosphate inosine monophosphate และ inosine ($p > 0.05$) แต่

ปริมาณ hypoxanthine ในเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกมากมีแนวโน้ม ($p=0.052$) ที่จะมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรดิบ โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มของกลิ่นคล้ายโลหะ (metallic aroma) และกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity aroma) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ($p<0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพล ($p>0.05$) ของระดับไขมันแทรกต่อกลิ่นหวาน (sweet aroma) ขณะที่เนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุกที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของลักษณะกลิ่นคล้ายซุปไก่ (brothy aroma) กลิ่นกระดาษลังขึ้น (cardboard aroma) ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรสคล้ายซุปไก่ ตกค้างหลังกลืน (brothy aftertaste) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ แต่มีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืน (sour aftertaste) ต่ำที่สุด ($p<0.05$) นอกจากนี้พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างระดับของไขมันแทรกกับลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คือ ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก ($r = 0.63, p<0.01$) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก ($r = 0.34, p<0.05$) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง ($r = 0.37, p<0.05$) ความเป็นน้ำมันภายในปาก ($r = 0.50, p<0.01$) รสอูมามิ ($r = 0.47, p<0.01$) และกลิ่นรสคล้ายซุปไก่ตกค้างหลังกลืน ($r = 0.52, p<0.01$)

ผลการประเมินความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านการบริโภค ความชอบต่อปริมาณไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร พบว่าระดับของไขมันแทรกไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านความชุ่มฉ่ำ ความมัน กลิ่นและรสโดยรวม (overall flavor) และความชอบโดยรวม ($p>0.05$) แต่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านความนุ่มของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาจากสายตา ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อชิ้นเนื้อที่มีไขมันแทรกระดับปานกลางมากกว่า ($p<0.05$) ชิ้นเนื้อที่มีไขมันแทรกระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ของคนที่ตัดสินใจเลือกซื้อแน่นอนและอาจจะซื้อ (คะแนน 5 และ 4) ของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางที่มีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและสูง โดยมีค่าเท่ากับ 83.03 74.04 และ 68.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p<0.01$)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการจำแนกกลุ่ม (cluster analysis) และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) พบว่าสามารถจัดกลุ่มตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ กลุ่มที่ 2 เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และกลุ่มที่ 3 เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง โดยสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างได้เป็นองค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบ ซึ่งอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 100.00 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 54.30 และ 45.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่แยกความแตกต่างกันระหว่าง

กลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ 3 (เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง) กับตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ) และกลุ่มที่ 2 (เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบที่ 1 ได้แก่ ระดับไขมันแทรก ความรู้สึกลิ้นติดริมฝีปาก ความเป็นน้ำมันภายในปาก ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก รสหวาน และรสอูมามิที่สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและปานกลาง แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับองค์ประกอบที่ 1 ได้แก่ กลิ่น metallic และกลิ่น raw pork identity ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและปานกลาง ในขณะที่องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วยลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่แยกความแตกต่างกันระหว่างตัวอย่างกลุ่มที่ 2 (เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง) และกลุ่มที่ 3 (เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง) กับกลุ่มที่ 1 (เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่สัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบที่ 2 ได้แก่ ลักษณะกลิ่นคล้ายซูเปอร์ไก่ กลิ่นกระดากลิ้น ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง และกลิ่นรสคล้ายซูเปอร์ไก่ตกค้างหลังลิ้นที่สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ

ผลจากการวิเคราะห์แผนภาพความชอบภายนอก พบว่าความเข้มของลักษณะคุณภาพที่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคด้านความนุ่ม ประกอบด้วย ระดับของไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา ความรู้สึกลิ้นติดริมฝีปาก ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง ความเป็นน้ำมันภายในปาก รสหวาน รสอูมามิ และรสคล้ายซูเปอร์ไก่ตกค้างหลังลิ้น ขณะที่ลักษณะที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ คือ ความชอบของผู้บริโภคต่อปริมาณไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตา นอกจากนี้ยังพบว่าสีของเนื้อเป็นลักษณะคุณภาพอีกประการหนึ่งที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค

Thesis	Influences of Marbling Levels on Meat Quality, Acceptance, and Purchase Intent of Pork Loin (<i>Longissimus dorsi</i>)
Student	Miss Sawankamol Noidad
Student ID.	56604009
Degree	Doctor of Philosophy
Program	Agriculture
Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Rutcharin Limsupavanich
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Chanporn Chaosap Assoc. Prof. Dr. Suntaree Suwonsichon

ABSTRACT

This research investigated influences of visual marbling level (VML) on pork loin physicochemical quality traits, descriptive sensory quality (DSQ), consumer acceptance on palatability responses, VML liking, purchase intent, and their relationships. For each of five slaughtering dates, at 24-h postmortem, nine-paired boneless *Longissimus dorsi* (LD) muscles from Duroc castrated males were categorized into low (LM, score 1-2, n=3), medium (MM, score 3-4, n=3), and high (HM, score 5-6, n=3) VML. Meat physicochemical quality traits, DSQ, and consumer responses (n=389) on palatability traits, VML liking, and purchase intent (%top two box ratings) were evaluated. The experiment was performed in Randomized Complete Block Design. Data were analyzed by Analysis of Variances using Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) version 17.0. Duncan's New Multiple Range Test was performed to compare differences among treatment means. For data with significant differences, simple correlation coefficients were determined. DSQ data were analyzed using Principal Component Analysis (PCA) and Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis (AHC) to differentiate marbling groups. Likewise, significant data of DSQ, consumer palatability and VML liking, and purchase intent were analyzed using external preference mapping (Partial Least Squares Regression; PLSR) conducted with XLSTAT version 2018.6.53888 (Addinsoft, Paris, France)

Results showed that VML was positively correlated with crude fat ($r = 0.91$, $p < 0.01$), but both were negatively correlated with moisture content ($r = -0.75$ and -0.91 , respectively, $p < 0.01$). As VML increased, ashes decreased ($p < 0.05$) and protein tended to decrease ($p = 0.072$), while pH

and b^* values increased ($p < 0.05$). Moreover, drip and cooking losses decreased ($p < 0.05$), while thawing loss tended to decrease ($p = 0.088$). Muscle fiber diameter, sarcomere length, total and insoluble collagen contents, L^* , a^* , and Warner-Bratzler Shear Force (WBSF) did not differ ($p > 0.05$) among treatments. But HM had ($p < 0.05$) lower collagen solubility percentage than LM.

For fatty acid composition, HM and MM had higher ($p < 0.05$) saturated fatty acid content than LM. HM had ($p < 0.05$) the highest amount of monounsaturated fatty acids compared to the others. As VML increased, total unsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids decreased ($p < 0.05$). The most abundant fatty acid was oleic acid (42.39-44.32 %), followed by palmitic acid (25.39-26.69 %), and stearic acid (13.01-13.66 %), respectively. Reduced glutathione content of HM was lower than that of LM ($p < 0.05$), while MM did not differ from LM and HM ($p > 0.05$). On the other hand, HM and MM had more oxidized glutathione content than LM ($p < 0.05$). No differences ($p > 0.05$) were found in guanosine monophosphate, inosine monophosphate, and inosine contents among treatments. But HM tended ($p = 0.052$) to have slightly higher hypoxanthine than LM and MM.

DSQ analysis showed that raw LM pork LD had more metallic and raw pork identity aromas than HM ($p < 0.05$). But there was no difference in sweet aroma among treatments ($p > 0.05$). For cooked LD, HM was rated more for brothy aroma, cardboard aroma, oily lip feel, crispness, moistness, oily mouth feel, sweet taste, umami taste, and brothy aftertaste than LM ($p < 0.05$). MM had more sour aftertaste than HM ($p < 0.05$), while LM did not differ ($p > 0.05$) from both MM and HM. Simple correlation coefficients showed that marbling level was positively associated with sensory traits including oily lip feel ($r = 0.63$, $p < 0.01$), crispness ($r = 0.34$, $p < 0.05$), moistness ($r = 0.37$, $p < 0.05$), oily mouth feel ($r = 0.50$, $p < 0.01$), umami taste ($r = 0.47$, $p < 0.01$), and brothy aftertaste ($r = 0.52$, $p < 0.01$).

For consumer affective test, no differences ($p > 0.05$) were found in juiciness, oiliness, overall flavor, and overall acceptability responses. HM had higher ($p < 0.05$) average tenderness liking score than MM and LM, but MM and LM were similar ($p > 0.05$). Moreover, MM had higher VML liking score than HM ($p < 0.05$). According to the top two box rating percentage, results showed that percentage of consumers who would definitely buy and probably buy (score 5 and 4) MM (83.03%) was more than LM (74.04%) and HM (68.38%), respectively ($p < 0.01$).

AHC cluster analysis and PCA results indicated that pork LD could be classified into three groups (low, medium, and high VML). The two principal components (PC1 and PC2), accounted for 100.00% of variation in DSQ, were able to explain 54.30% and 45.70% of the variations,

respectively. HM was in a positive side of PC1, which was found to be more associated with VML, oily mouth feel, oily lip feel, crispness, sweet taste, and umami taste than LM and MM. In the negative side of PC1, HM had lower metallic aroma and raw pork identity aroma than LM and MM. While MM and HM were in a positive side of PC2, they were rated more for brothy aroma, cardboard aroma, moistness, and brothy aftertaste than LM.

Results from external mapping analysis indicated that the intensity of meat quality characteristics influencing consumer liking on tenderness of pork LD included VML, oily mouth feel, oily lip feel, moistness, sweet taste, umami taste, and brothy aftertaste. Consumer purchase intent was affected by their preferences on marbling level (VML liking). In addition, color of raw meat was also associated with consumer purchase intent.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.รุจิริน ลิ้มสุวานิช และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์ และรศ.ดร.สุนทรี สุวรรณสิขณน์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีและมีคุณค่าแก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ เสริมฐกุล และรศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและกำลังใจ ตลอดจนชี้แนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์จรรยา คงฤทธิ์ และอาจารย์ณัทชัย วิจิตโรทัย ที่กรุณาให้การช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทางเคมี ตลอดจนกำลังใจ และคำแนะนำในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท เบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณบริษัท เบทาโกร เซฟตี้ มีท แพคกิ้ง จำกัด และศูนย์เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการวิจัยตลอดระยะเวลาการเก็บรวบรวมข้อมูล และเก็บตัวอย่างในการวิจัย

ขอขอบคุณรุ่นน้องนักศึกษาปริญญาโท และผศ.รัชกฤษ เลิศภัทรโกมล นักศึกษาปริญญาเอก สำหรับความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ คุณน้ำฝน โพธิสิงห์ นักวิจัยอาวุโส แผนกวิจัยและพัฒนา บริษัท ศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณนันทนาถ กิตติศรีวรพันธุ์ นักวิทยาศาสตร์ หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณสุริสุขต์ สิทธิเขตรกรณ์ นักวิทยาศาสตร์ คุณสิริพร ศิริเลิศมูล คุณธมนวรรณ ปุจฉาการ และคุณอมราภรณ์ ปิ่นสุวรรณ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย ตลอดจนแนะนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณนาวาอากาศเอกสุกษัย น้อยดัด (บิดา) และนางชมัยพร น้อยดัด (มารดา) ที่เป็นกำลังใจสำคัญและสนับสนุนทุนการศึกษา นางพิม นุชนา (คุณยาย) นายชยพล น้อยดัด นายธนาวุฒิ ชนะทอง และสมาชิกทุกท่านในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอบพระคุณแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนผู้ที่นำผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป

ศวรรณกมล น้อยดัด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VIII
สารบัญ	IX
สารบัญตาราง	XI
สารบัญภาพ	XV
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	3
1.3 สถานที่ดำเนินงาน	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ระยะเวลาดำเนินงาน	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
 บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	 6
2.1 คุณภาพเนื้อ (meat quality)	6
2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อ	7
2.3 ไขมันแทรก (marbling)	34
2.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluations)	48
 บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	 52
3.1 ตัวอย่างเนื้อและการเก็บตัวอย่าง	52
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา	57
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	68
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	87
 บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	 90
4.1 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและ กายภาพของเนื้อสันนอกสุกร	90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณ กลูตาไรโอน ปริมาณนิวคลีโอไทด์ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส เชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร	101
4.3 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อความชอบของผู้บริโภค ต่อคุณภาพด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรกและการตัดสินใจ เลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร	138
4.4 การวิเคราะห์แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) เพื่อ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก ลักษณะคุณภาพทางประสาท สัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อ เนื้อสันนอกสุกร	151
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	154
บรรณานุกรม.....	160
ภาคผนวก	176
ภาคผนวก ก คำศัพท์และนิยามของเนื้อสันนอกสุกรที่ใช้ในการประเมินลักษณะ คุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	177
ภาคผนวก ข ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส เชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน.....	187
ภาคผนวก ค แบบประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อ สันนอกสุกรโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน.....	192
ภาคผนวก ง แบบสอบถามและประเมินความชอบในการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อ สุกร.....	202
ภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมี กายภาพ และคุณภาพด้าน การบริโภคของเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกแตกต่างกัน	207
ภาคผนวก ฉ โครมาโทแกรมขององค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณนิวคลีโอไทด์ และกลูตาไรโอนของเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกแตกต่างกัน	212
ภาคผนวก ช อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน (มีลิกลิรุ่มต่อเนื้อ 100 กรัม) ในเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)....	218
ประวัติผู้เขียน	221

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อจำแนกตามคุณสมบัติทางชีวเคมี	9
2.2	อิทธิพลของสายพันธุ์ต่อชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อและคุณภาพเนื้อสันนอกสุกร...	10
2.3	อิทธิพลของคะแนนไขมันแทรกต่อส่วนประกอบทางเคมี คุณภาพทางเคมี และกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร	18
2.4	อิทธิพลของไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสันนอกสุกร (% ของกรดไขมัน).....	26
2.5	ปริมาณกลูตาไธโอนในเนื้อสัตว์	33
2.6	ปริมาณเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสในเนื้อโคและเนื้อสุกร	34
2.7	อิทธิพลของไขมันแทรกต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสันนอกสุกร	43
2.8	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อและคอเลสเตอรอลใน เนื้อสันนอกสุกร	44
2.9	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อ สันนอกโคดิบและผ่านการทำให้สุก	46
2.10	อิทธิพลของไขมันแทรกต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	47
4.1	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อ สันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	99
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพทางเคมีและ กายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	100
4.3	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน (%ของกรด ไขมันทั้งหมด) ในเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	105
4.4	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมันโดยรวม (%ของกรดไขมันทั้งหมด) ในเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>).....	108
4.5	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณกลูตาไธโอน (GSH) และปริมาณ กลูตาไธโอนไดซัลไฟด์ (GSSG) ในเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)....	110
4.6	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ใน เนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) ที่ผ่านการทำให้สุก	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.7	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรดิบ (<i>Longissimus dorsi</i>).....	115
4.8	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) ที่ผ่านการทำให้สุก.....	119
4.9	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) ที่ผ่านการทำให้สุก.....	121
4.10	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) ที่ผ่านการทำให้สุก	125
4.11	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้าน chemical feeling รสชาติ และกลิ่นรสตกค้างหลังกลิ่นของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) ที่ผ่านการทำให้สุก.....	129
4.12	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพและลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	132
4.13	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมันและลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	133
4.14	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loadings) ของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)	138
4.15	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อค่าสีของเนื้อที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเก็บรักษาที่ 3.3±0.5 องศาเซลเซียส.....	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.16	ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค (n=389) ในการประเมินความชอบด้านการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)	141
4.17	ข้อมูลพฤติกรรมการเลือกซื้อและบริโภคเนื้อสุกรของผู้บริโภค (n=389) ในการประเมินความชอบด้านการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)	143
4.18	อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อการประเมินความชอบและความพึงพอใจของผู้บริโภค (n=389) ในการเลือกซื้อและรับประทานเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	149
4.19	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ ความพึงพอใจของผู้บริโภค (n=389) ต่อความนุ่ม (tenderness acceptability; TA) ความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา (VML liking; VMLL) และการตัดสินใจเลือกซื้อ (purchase intent; PI) เนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	150
ตารางภาคผนวก		
ก ที่ 1	คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรดิบ	178
ก ที่ 2	คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : กลิ่นและกลิ่นรส	179
ก ที่ 3	คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : เนื้อสัมผัส และ chemical feeling	182
ก ที่ 4	คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : รสชาติและกลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste)	185

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวก	หน้า
จ ที่ 1 คำสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	208
จ ที่ 2 คำสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไมค์ ไอออน และนิวคลีโอไทด์ของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	209
จ ที่ 3 คำสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ ชนิดและสัดส่วนกรดไขมัน และปริมาณกลูตาไมค์ ไอออนของเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	210
จ ที่ 4 4 คำสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ ความชอบ ในการบริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	211
ช ที่ 1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม) ในเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	219
ช ที่ 2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมันโดยรวม (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม) ในเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>)	220

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หนังสือมาตรฐานสี: The Munsell book of color glossy collection ตามระบบ ค่าสีมันเซลล์ (Munsell color system)	15
2.2 CIE L* a* b* color space.....	16
2.3 การสลายตัวของ ATP	28
2.4 โครงสร้างของกลูต้าไธโอน	29
2.5 การสังเคราะห์กลูต้าไธโอน	31
2.6 การพัฒนาของเซลล์ไขมันมีลักษณะจำเพาะของเนื้อเยื่อในช่วงก่อนคลอด.....	35
2.7 การพัฒนาของเนื้อเยื่อชั้นมีโซเดิร์มในการเจริญไปเป็นเซลล์ต้นกำเนิด (mesenchymal stem cells) และเกิดการพัฒนาของเซลล์ไขมันมีลักษณะจำเพาะ	35
2.8 ขั้นตอนการเจริญและพัฒนาเซลล์ไขมัน (adipogenesis)	36
2.9 กระบวนการพัฒนาของเซลล์ไขมันมีลักษณะจำเพาะ (adipocyte differentiation)	37
2.10 ระยะเวลาในพัฒนากล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมันของสุกร	39
3.1 ตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกร (<i>Longissimus dorsi</i>) ที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน 3 ระดับ ตามระบบ US National Pork Board (2011)	53
3.2 การเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกต่างกันว่า 48 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย.....	56
4.1 การจัดกลุ่มตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกันตาม ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้วยวิธี Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis (AHC) โดย LM (low marbling) หมายถึง เนื้อที่มี ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) MM (medium marbling) หมายถึง เนื้อที่มี ไขมันปานกลาง (คะแนน 3-4) และ HM (high marbling) หมายถึง เนื้อที่มีไขมัน สูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)	136
4.2 แผนภาพ biplot จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแสดงความสัมพันธ์ของ ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และแกนองค์ประกอบที่ 2 (PC2) โดย LM (low marbling) หมายถึง เนื้อที่มี ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) MM (medium marbling) หมายถึง เนื้อที่มี ไขมันปานกลาง (คะแนน 3-4) และ HM (high marbling) หมายถึง เนื้อที่มีไขมัน สูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)	137

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.3	แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) แสดงความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านการรับประทาน และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกระดับต่ำ (low marbling; LM, คะแนน 1-2) ระดับปานกลาง (medium marbling; MM, คะแนน 3-4) และ ระดับสูง (high marbling, HM, คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011).....	152
ภาพภาคผนวก		
ข ที่ 1	หนังสือมาตรฐานสี: The Munsell book of color glossy collection ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการประเมินลักษณะปรากฏด้านสีของเนื้อสันนอกสุกดิบเพื่อบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	188
ข ที่ 2	ภาพมาตรฐานไขมันแทรกตามระบบ US National Pork Board (2011) ซึ่งใช้เป็นภาพอ้างอิงในการประเมินลักษณะปรากฏด้านปริมาณไขมันแทรกของเนื้อสันนอกสุกดิบเพื่อบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา.....	188
ข ที่ 3	ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกดิบและสุกโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน.....	189
ข ที่ 4	การนำเสนอตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกดิบที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านลักษณะปรากฏ ได้แก่ สีของเนื้อและระดับของไขมันแทรกโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	190
ข ที่ 5	การเสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกดิบที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	190
ข ที่ 6	การเสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกสุกที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	190
ข ที่ 7	การประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	191

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพภาคผนวก	หน้า
ข ที่ 8 ผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสที่ผ่านการฝึกฝน เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาปริญญาโทของหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Sensory Evaluation and Consumer Research; KUSCR)	191
จ ที่ 1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานขององค์ประกอบของกรดไขมัน C4-C24 โดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (flame ionization detector; FID) แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 เป็นเวลา 70 นาที	213
จ ที่ 2 โครมาโทแกรมเปรียบเทียบของสารละลายมาตรฐานขององค์ประกอบของกรดไขมัน C4-C24 และองค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรโดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (flame ionization detector; FID) แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 เป็นเวลา 70 นาที.....	214
จ ที่ 3 โครมาโทแกรมขององค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบของ US National Pork Board (2011) โดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (flame ionization detector; FID) แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 เป็นเวลา 70 นาที	215
จ ที่ 4 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของสารประกอบนิวคลีโอไทด์.....	216
จ ที่ 5 โครมาโทแกรมของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกร	216
จ ที่ 6 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างรีดิวซ์กลูต้าไธโอน (reduced glutathione; GSH) และออกซิไดซ์กลูต้าไธโอน (oxidized glutathione; GSSG) ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	217
จ ที่ 7 โครมาโทแกรมของรีดิวซ์กลูต้าไธโอน (reduced glutathione; GSH) และออกซิไดซ์กลูต้าไธโอน (oxidized glutathione; GSSG) ของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกร	217

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

คุณภาพด้านการบริโภคนเป็นคุณสมบัติหลักประการหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคในการรับประทานและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสัตว์ ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุกร ซึ่งปริมาณไขมันแทรก (marbling หรือ intramuscular fat) ถือได้ว่าเป็นปัจจัยภายในของเนื้อ (intrinsic factors) ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อความนุ่มและความน่ารับประทาน ดังนั้นปริมาณไขมันแทรกจึงใช้เป็นตัวชี้วัดในการแบ่งเกรดคุณภาพซาก (USDA, 1997) และคุณภาพเนื้อ (Liu *et al.* 2012) ซึ่งปริมาณไขมันแทรกมีความสำคัญอย่างมากต่อการประเมินคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุกร (Cannata *et al.* 2010) โดยทั่วไปพบว่าปริมาณไขมันแทรกมีอิทธิพลในทางบวกกับความนุ่ม (Jeremiah, 1998) และการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อสุกร (Brewer *et al.* 2001) สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนไขมันแทรกของเนื้อสุกรตามระบบ The United States (US) National Pork Board (2011) แบ่งออกเป็น 10 ระดับ คือ คะแนน 1 (ไม่มีไขมันแทรก) และคะแนน 10 (ไขมันแทรกมากที่สุด) ซึ่งระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันนี้มีผลต่อลักษณะทางเคมีและกายภาพของชิ้นเนื้อ จากการศึกษาในเนื้อโคของ Li *et al.* (2006) พบว่าปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อ โดยเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นปริมาณไขมันในเนื้อ (crude fat) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความชื้น (moisture) มีค่าลดลง เนื้อที่มีไขมันแทรกในระดับสูงจะมีความนุ่มกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากไขมันแทรกมีผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ ปริมาณไขมันแทรกที่ต่างกันจึงอาจมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อในลักษณะต่างกันโดยเฉพาะเมื่อเนื้อผ่านการทำให้สุก ประกอบกับความยาวของซาร์โคเมอร์ (sarcomere length) ของเนื้อ โคที่มีไขมันแทรกสูงมีความยาวกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำเนื้อจึงมีความนุ่มมากกว่า เมื่อพิจารณาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber diameter) ของเนื้อสันนอกโคสุก พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อเล็กกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ทั้งนี้การที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดเล็ก อาจเป็นเพราะเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำอาจมีไขมันหุ้มซากบาง ส่งผลให้เกิดการหดตัวเนื่องมาจากความเย็น (cold shortening) ในช่วงก่อนการเกิดการหดและเกร็งตัวอย่างถาวร (pre-rigor mortis) ส่งผลให้เนื้อมีความเหนียว (Savell *et al.* 2005) ในทางตรงกันข้าม Kim and Lee (2003) รายงานว่าเกรดคุณภาพของเนื้อโคและคะแนนไขมันแทรกไม่มีอิทธิพลต่อความยาวซาร์โคเมอร์ ($p>0.05$) ขณะที่ Cooper *et al.* (1968) รายงานว่าคะแนนไขมันแทรกไม่มีผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ($p>0.05$) ทั้งนี้ Li *et al.* (2006) กล่าวถึงความไม่สอดคล้องกันของผลการศึกษาอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อความยาวซาร์โคเมอร์และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อที่รายงานดังกล่าวข้างต้น อาจเป็นเพราะวิธีการเตรียม หรือการจัดการกับตัวอย่างที่แตกต่างกัน

ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญกับสุขภาพมากขึ้น จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกของเนื้อสุกร (Cannata *et al.* 2010) สอดคล้องกับ Cameron and Enser (1991) รายงานว่ากรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid; SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (monounsaturated fatty acid; MUFA) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับกลิ่นรสของเนื้อสุกร (pork flavor) ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid; PUFA) มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกร ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกรอาจมีผลเนื่องมาจากการคัดเลือกสายพันธุ์ โดยอาจนำสายพันธุ์ที่มีการสะสมไขมันแทรกน้อยมาใช้ผสม เพื่อให้ได้เนื้อสุกรที่มีเนื้อมากและมีไขมันแทรกน้อย แต่คุณภาพเนื้อและค่านำรับประทานของเนื้อจะลดลง (Lonergan *et al.* 2001; Schwab *et al.* 2006) สำหรับการเพิ่มค่านำรับประทานของเนื้อสุกรสามารถทำได้โดยการนำสายพันธุ์สุกรที่มีการสะสมไขมันแทรกสูงมาใช้ผสม ทั้งนี้เพื่อให้ได้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงขึ้นและเนื้อจะมีความนำรับประทานเพิ่มขึ้น (Ellis *et al.* 1996; Ngapo and Gariépy. 2008) ขณะที่ Rincker *et al.* (2008) พบว่าปริมาณไขมันแทรกมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อคุณภาพด้านการบริโภค (ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ กลิ่นรส และความมัน) ของเนื้อสันนอกสุกร ทั้งนี้ Huang *et al.* (2014) กล่าวว่านอกจากปริมาณไขมันแทรกจะมีอิทธิพลต่อค่านำรับประทาน (ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และกลิ่นรส) ของเนื้อสุกรแล้ว ยังมีความสัมพันธ์กับปัญหาสุขภาพ เช่น โรคหลอดเลือด เป็นต้น ขณะที่มีการศึกษาผลของปริมาณไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อสุกรก่อนและหลังการปรุงสุก พบว่าภายหลังการทำให้สุกมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อ (Cannata *et al.* 2010) โดยความร้อนจะกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เนื้อสัตว์เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีและกายภาพ ส่งผลให้กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป (Aaslyng and Meinert. 2017) สำหรับกลูตาไธโอน (glutathione; GSH) เป็นเปปไทด์สายสั้นประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ กรดกลูตามิก (glutamic acid) ซีสเทอีน (cysteine) และไกลซีน (glycine) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในการเกิดกลิ่นของเนื้อ (meaty aroma) โดยเมื่อกลูตาไธโอนได้รับความร้อน สารที่เป็นองค์ประกอบในการเกิดกลิ่นของเนื้อ (meaty aroma compounds) จะระเหยออกมา (Ueda *et al.* 1997) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างกลูตาไธโอนกับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัดว่าเมื่อปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเพิ่มขึ้นจะมีผลอย่างไรต่อกลูตาไธโอน นอกจากนี้กลูตาไธโอนยังเป็นสารตั้งต้นในการต้านการออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ โดยมีเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase;

GSHPx) เป็นเอนไซม์ที่ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาการด้านการออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ ซึ่งสังเคราะห์ได้จากตับ ไต ระบบทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย (Witschi *et al.* 1992) และกระดูก (Cichoski *et al.* 2012) เอนไซม์นี้ทำหน้าที่ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในกล้ามเนื้อและป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระขณะสัตว์มีชีวิตอยู่และทำหน้าที่ได้ภายหลังสัตว์ตาย ดังนั้นปริมาณเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสจะมีปริมาณลดลงเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น หรือเมื่อถูกใช้ไปในการกำจัดอนุมูลอิสระต่างๆ ภายในร่างกาย (Cichoski *et al.* 2012) ซึ่งการทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเอนไซม์ชนิดนี้อาจมีส่วนช่วยชะลอและป้องกันการเสื่อมสภาพของเนื้อสัตว์ได้

จากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ระบุว่าปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับคุณภาพด้านการบริโภค (Verbeke *et al.* 1999) และการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อสุกร (Brewer *et al.* 2001) โดย Savell and Cross (1988) และ Verbeke *et al.* (1999) พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกรที่มีปริมาณไขมันในเนื้อ (crude fat) ประมาณ 2.0-4.0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเนื้อจะมีความน่ารับประทานมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย สอดคล้องกับการศึกษาของ Font-i-Furnols *et al.* (2012) ทำการศึกษาในกลุ่มผู้บริโภคชาวสเปน ซึ่งผู้บริโภค 55.5 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในกลุ่ม “lean loin lovers” และ 44.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่ม “marbled loin lovers” ซึ่งพบว่าผู้บริโภคชาวสเปนทั้งสองกลุ่มชอบรับประทานเนื้อสันนอกสุกรที่มีปริมาณไขมันในเนื้อ 2.2-3.4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ O’Mahoney *et al.* (1992) รายงานว่าผู้บริโภคชาวไอร์แลนด์มีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ในทางตรงกันข้าม Brewer *et al.* (2001) พบว่าผู้บริโภคในสหรัฐอเมริกาให้การยอมรับได้โดยรวมต่อลักษณะปรากฏ (overall appearance acceptability) ของเนื้อสันนอกสุกรที่มีปริมาณไขมันแทรกมาก (3.0-3.5 เปอร์เซ็นต์) มีการยอมรับได้ต่ำกว่าเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกปานกลาง (2.0-2.5 เปอร์เซ็นต์) และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (≤ 1.0 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าในผู้บริโภคชาวไทยชอบเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกหรือไม่ ดังนั้นควรทำความเข้าใจถึงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางเคมี ทางกายภาพ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการศึกษาความชอบหรือความพึงพอใจของผู้บริโภคในการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีปริมาณไขมันแทรกต่างกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ
2. ศึกษาอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไธโอน และปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์

3. ศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive sensory quality) ของเนื้อสันนอกสุกร

4. ศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อความชอบและความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านการบริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร

1.3 สถานที่ดำเนินงาน

1. บริษัท เบทาโกร เซฟตี้ มีท แพคกิ้ง จำกัด จังหวัดลพบุรี
2. หน่วยปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ ศูนย์เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์-อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ทางกายภาพ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. หน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาถึงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพและเคมีที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านการบริโภค เช่น ค่า pH ค่าแรงตัดผ่าน ปริมาณคอลลาเจน ค่าสีของเนื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ความยาวซาร์โคเมอร์ องค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไมโน ปริมาณนิวคลีโอไทด์ การประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ความพึงพอใจของผู้บริโภคในการรับประทาน ความชอบต่อระดับไขมันแทรกเมื่อประเมินด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน ตลอดจนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก คุณภาพเนื้อทางกายภาพและเคมี ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิง

พรรณนา ความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพในการรับประทาน ความชอบต่อระดับไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก

1.5 ระยะเวลาดำเนินงาน

ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการรวม 32 เดือน (มกราคม 2559-สิงหาคม 2561)

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพและเคมีที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านการบริโภค เช่น ค่า pH ค่าแรงตัดผ่าน ปริมาณคอลลาเจน ค่าสีของเนื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ความยาวซาร์โคเมอร์ องค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไรโอน ปริมาณนิวคลีโอไทด์ ตลอดจนทราบถึงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ความพึงพอใจของผู้บริโภคในการรับประทาน ความชอบต่อระดับไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพและเคมี ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา ความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพในการรับประทาน ความชอบต่อระดับไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อสันนอกสุก

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพเนื้อ (meat quality)

คุณภาพเนื้อเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญก่อนที่จะตัดสินใจเลือกซื้อ โดยปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อก็มีหลายปัจจัย ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยก่อนสัตว์ตาย (pre-slaughter factor) เช่น สายพันธุ์ เพศ อายุ ชนิดกล้ามเนื้อ อาหาร การจัดการภายในฟาร์ม และการขนส่ง เป็นต้น และ 2) ปัจจัยภายหลังสัตว์ตาย (post-slaughter factor) เช่น กระบวนการฆ่า การลดลงของค่าความเป็นกรดค่า (pH) การจัดการซากและเนื้อสัตว์ภายหลังสัตว์ตาย และระยะเวลาการบ่ม เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อของสุกร (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529; จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, 2539) โดยลักษณะคุณภาพของเนื้อสัตว์ที่สำคัญ 5 ด้าน มีดังนี้

1. คุณภาพด้านโภชนาการและสุขภาพ (nutritional and health value) ขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ และวิตามินในเนื้อ รวมถึงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และปริมาณสัดส่วนของโปรตีนต่อไขมันที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์
2. คุณภาพด้านการบริโภค (eating value หรือ sensory value) ได้แก่ คุณภาพที่เกี่ยวข้องกับรสชาติ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และลักษณะเนื้อสัมผัส เป็นต้น
3. คุณภาพด้านความปลอดภัยและปลอดภัยจากสารตกค้าง (hygienic value) ซึ่งเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับความปลอดภัยของอาหาร (food safety) ได้แก่ ความปลอดภัยจากสารเคมีตกค้าง สิ่งปนเปื้อนในเนื้อ และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค
4. คุณภาพด้านการนำเนื้อไปแปรรูป (technological value) ได้แก่ ค่า pH ในเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในเนื้อ (water holding capacity; WHC) เปอรเซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) และการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (cooking loss)
5. คุณภาพด้านมนุษยธรรมและจิตใจ (ethical value) หมายถึงการเลี้ยงสัตว์ให้ตรงตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ (animal welfare) ซึ่งหมายถึง คุณภาพชีวิตที่ดีของสัตว์บนพื้นฐานการคำนึงถึงหลัก 2 ประการ คือ สภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ และสภาพทางจิตใจของสัตว์ การจัดสวัสดิภาพสัตว์ที่ดีป้องกันไม่ให้เกิดความเครียด ทำให้สัตว์แข็งแรงและมีภูมิต้านทานโรค

2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อ

2.2.1 สายพันธุ์

สายพันธุ์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตสุกร ทั้งในด้านสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อ ทั้งนี้การคัดเลือกสายพันธุ์สุกรขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคเป็นหลัก เช่น กลุ่มผู้บริโภคในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกาต้องการบริโภคสุกรที่มีไขมันน้อย ได้แก่ สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ (large white) หรือพันธุ์ยอร์กเชอร์ (yorkshire) และพันธุ์แลนด์เรซ (landrace) เป็นต้น ขณะที่ผู้บริโภคในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเกาหลี มีความต้องการในการบริโภคเนื้อที่มีไขมันแทรกมาก เช่น สุกรพันธุ์ดुरอก (duroc) เป็นต้น (Ngapo *et al.* 2007)

จากการศึกษาของ Meinert *et al.* (2008) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของสายพันธุ์ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุกร โดยใช้สุกร 5 สายพันธุ์ คือ ดुरอก แฮมป์เชียร์ (hampshire) แบล็คสปอตต์ (black spotted) สุกรป่า (wild pig) และสุกรลูกผสมดुरอก×(แลนด์เรซ×ยอร์กเชอร์) พบว่าสุกรสายพันธุ์ดुरอกเป็นสุกรที่ให้ปริมาณไขมันภายในกล้ามเนื้อมากที่สุด คือ 2.30 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สุกรสายพันธุ์แฮมป์เชียร์และสุกรป่ามีปริมาณไขมัน 0.90 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p<0.05$) สอดคล้องกับสุกรสายพันธุ์ดुरอกมีค่าแรงตัดผ่านน้อยที่สุด เนื้อจึงมีความนุ่มมากกว่าสุกรสายพันธุ์แฮมป์เชียร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.92 และ 6.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ($p<0.05$) จากการศึกษาของ Van Laack *et al.* (2001) ทำการศึกษาโดยใช้สุกรลูกผสมสามสาย คือ แแลนด์เรซ×ยอร์กเชอร์ เป็นสายแม่ และใช้พ่อพันธุ์ที่แตกต่างกัน 3 สายพันธุ์ คือ แฮมป์เชียร์ เบอร์กเชียร์ (berkshire) และดुरอก ผลจากการศึกษาพบว่าสุกรลูกผสมดुरอกมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อมากกว่าสุกรลูกผสมเบอร์กเชียร์และแฮมป์เชียร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.79 3.11 และ 2.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผู้บริโภคในประเทศสหรัฐอเมริกามีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกอย่างน้อย 2.5-3.0 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สุกรลูกผสมแฮมป์เชียร์มีค่า pH (5.51) ต่ำกว่าสุกรดुरอก (5.63) และเบอร์กเชียร์ (5.61) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างความนุ่มของเนื้อ

2.2.2 ชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber type and muscle fiber diameter)

คุณภาพเนื้อมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ เนื่องจากโครงสร้างของกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมาก โดยเส้นใยกล้ามเนื้อมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกัน ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อต่างชนิดกันจะมีสีต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งมีอยู่ในกล้ามเนื้อโดยทำให้กล้ามเนื้อมีสีแดงและทำหน้าที่เก็บออกซิเจน ดังนั้นกล้ามเนื้อที่มีไมโอโกลบินสูงจึงเรียกว่า red muscle fiber ส่วนกล้ามเนื้อที่มีปริมาณไมโอโกลบินน้อยเรียกว่า white muscle fiber ทั้งนี้เส้นใยกล้ามเนื้อมีความเร็วในการหดตัวต่างกัน

ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสลายพลังงาน adenosine triphosphate (ATP) โดย Lawrie and Ledward. (2006) กล่าวว่าชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด (ตารางที่ 2.1) ดังนี้

1) เส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง (red fiber หรือ type I) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีการหดตัวช้า (slow twitch oxidative muscle; β -red) เซลล์กล้ามเนื้อขนาดเล็กกว่าเซลล์กล้ามเนื้อชนิดอื่น (Aberle *et al.* 2012) มีหลอดเลือดฝอยจำนวนมาก ภายในเซลล์ประกอบด้วยไมโทคอนเดรียและไมโทคอนเดรีย (mitochondria) จำนวนมาก ทำให้กล้ามเนื้อมีสีแดง กล้ามเนื้อนี้สามารถขนส่งออกซิเจนได้มากและมีเมตาบอลิซึมแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism) แม้การหดตัวของกล้ามเนื้อช้าแต่มีความทนทานต่อการเมื่อยล้าได้เป็นเวลานาน เช่น กล้ามเนื้อไหล่ กล้ามเนื้อขา และกล้ามเนื้อสันใน (*Psoas major*)

2) เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด intermediate type (type IIa) เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีความสามารถในการหดตัวเร็ว (fast twitch oxidative muscle; α -red) มีหลอดเลือดฝอยจำนวนมาก ทำให้เนื้อสีแดง มีไมโทคอนเดรียมาก พลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัวจะมาจากการเผาผลาญอาหารแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ จึงทำให้เซลล์มีความพิเศษที่หดตัวได้เร็วและทนทานต่อการเมื่อยล้า เช่น กล้ามเนื้อสันในเทียม (*Supraspinatus*) และกล้ามเนื้อรักบี้ (*Triceps brachii*) เป็นต้น (Karlssona *et al.* 1999)

3) เส้นใยกล้ามเนื้อสีขาว (white fiber หรือ type IIb) เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีการหดตัวเร็ว (fast twitch glycolytic muscle; α -white) มีเซลล์กล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่กว่า มีสีซีดจาง ปริมาณไมโทคอนเดรียและเส้นเลือดฝอยมีน้อย พลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัวมาจากกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) เป็นหลัก เช่น กล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) กล้ามเนื้อพับใน (*Semimembranosus*) กล้ามเนื้อพับนอก (*Biceps femoris*) กล้ามเนื้อหางจระเข้ (*Gluteus medius*) และกล้ามเนื้อลูกมะพร้าว (*Rectus femoris*) ในสุกร เป็นต้น (Karlssona *et al.* 1999)

นอกจากนี้ยังพบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่าง type IIa และ type IIb ซึ่งมีการหดตัวเร็ว เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIx หรือ type IIc หรือ intermediate fast twitch glycolytic muscle (Schiaffino and Reggiani. 1996) โดยพบได้ในสัตว์แรกเกิดบางชนิด หรือพบในกล้ามเนื้อที่มีอาการบาดเจ็บ (Karlssona *et al.* 1999)

เมื่อพิจารณาถึงมัดกล้ามเนื้อ (muscle bundle) ซึ่งเป็นมัดของเส้นใยกล้ามเนื้อมารวมกันและเป็นที่ผู้บริโภคนสังเกตเห็นได้ และยังใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างชนิดของเนื้อสัตว์ได้ รวมถึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้ออีกประการหนึ่ง โดยพบว่าเนื้อที่มีความนุ่มจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็ก ทั้งนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับอายุ ชนิดของสัตว์ ชนิดกล้ามเนื้อ และลักษณะการใช้งานของกล้ามเนื้อ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น ซึ่งเนื้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย-

กล้ามเนื้อขนาดใหญ่กว่าจะมีความเหนียวมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็ก (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อจำแนกตามคุณสมบัติทางชีวเคมี

คุณสมบัติ	ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ		
	Type I	Type IIa	Type IIb
	Slow oxidative	Fast oxidative	Fast glycolytic
การสร้างพลังงาน	ใช้ออกซิเจน	ใช้ออกซิเจน	ไม่ใช้ออกซิเจน
สีของเนื้อ	แดง	ชมพู-แดง	ขาว
ความเร็วในการหดตัว	ช้า	เร็ว	เร็ว
ความทนทานในการทำงาน	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ	เล็ก	ปานกลาง	ใหญ่
ปริมาณไกลโคเจน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ปริมาณไมโอโกลบิน	สูง	สูง	ต่ำ
ปริมาณไมโทคอนเดรีย	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ปริมาณเส้นเลือดที่มาเลี้ยง	สูง	สูง	ต่ำ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Lengerken *et al.* (2002)

Lee *et al.* (2012) ทำการศึกษาอิทธิพลของสายพันธุ์ต่อชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อและคุณภาพของเนื้อสันนอกสุกร โดยใช้สุกร 4 สายพันธุ์ คือ เบอร์กเชียร์ ดูรอก แลนด์เรซ และยอร์กเชอร์ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าสุกรพันธุ์ดูรอกมีคะแนนไขมันแทรกสูงที่สุด (2.89) รองลงมา คือ เบอร์กเชียร์ (2.36) ซึ่งมีคะแนนไขมันแทรกสูงกว่ายอร์กเชอร์ (1.70) และแลนด์เรซ (1.60) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อของสุกรพันธุ์ดูรอกมีค่าความสว่าง (lightness; L^*) และค่าสีเหลือง (yellowness; b^*) สูงกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ค่าสีแดง (redness; a^*) ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อสันนอกของสุกรดูรอกมีแนวโน้มของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I ซึ่งเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดง (red fiber) ต่ำ และ type IIb ซึ่งเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาว (white fiber) สูงกว่ากลุ่มอื่น ส่งผลให้เนื้อมีสีซีด (ค่าความสว่างสูง และค่าสีแดงต่ำ) และมีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาสูง (ตารางที่ 2.2) สอดคล้องกับ Ryu and Kim (2005) รายงานว่าอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่า pH ที่ 45 นาทีและความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าความสว่างและค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา ขณะที่ถ้าอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb สูงจะให้ผลในทางตรงกันข้าม

ตารางที่ 2.2 อิทธิพลของสายพันธุ์ต่อชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อและคุณภาพเนื้อสันนอกสุกร

ลักษณะที่ศึกษา	เบอร์รี่เชอร์	คูรอก	แลนด์เรซ	ยอร์กเชอร์
pH 45 นาที	6.24 ^a	6.34 ^a	6.12 ^b	6.14 ^b
pH 24 ชั่วโมง	5.77 ^a	5.60 ^{bc}	5.58 ^c	5.65 ^b
ค่าความสว่าง (lightness; L*)	44.75 ^c	48.99 ^a	48.06 ^b	45.47 ^c
ค่าสีแดง (redness/greenness; a*)	7.06 ^{ab}	6.04 ^c	6.62 ^b	7.14 ^a
ค่าสีเหลือง (yellowness/blueness; b*)	1.96 ^c	2.90 ^a	2.40 ^b	2.48 ^b
การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา (%)	2.31 ^c	3.40 ^b	4.56 ^a	3.14 ^b
การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างปรุงสุก (%)	26.25 ^d	29.46 ^c	35.54 ^a	31.28 ^b
ค่าแรงตัดผ่าน (kg/cm ²)	4.55 ^c	5.89 ^b	6.18 ^{ab}	6.57 ^a
ระดับไขมันแทรก ¹⁾	2.36 ^b	2.89 ^a	1.60 ^c	1.70 ^c
อัตราส่วนของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ (%)				
Type I	6.54	6.08	6.49	6.90
Type IIa	9.39 ^a	9.06 ^{ab}	7.55 ^c	8.29 ^{bc}
Type IIb	84.07	84.86	85.96	84.81

^{a b c d} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.001$)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ NPPC (2000)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Lee *et al.* (2012)

จากการศึกษาของ Ryu and Kim (2005) ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อต่อคุณภาพเนื้อสันนอกสุกร พบว่าชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับคุณภาพเนื้อสุกร โดยค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I ($r = -0.25$) และ IIa ($r = -0.26$) แต่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIb ($r = 0.39$) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อกับค่าแรงตัดผ่าน ($r = -0.22$ ถึง -0.25) สอดคล้องกับการศึกษาของ Maltin *et al.* (1997) พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIb มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพเนื้อด้านความนุ่ม

นอกจากชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อแล้ว Dransfield *et al.* (1992) กล่าวว่าชนิดของกล้ามเนื้อมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของความนุ่มจากการศึกษาของ Rhee *et al.* (2004) ซึ่งทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความนุ่มกับกล้ามเนื้อ 11 ชนิดของเนื้อโค ได้แก่ กล้ามเนื้อสันนอกส่วนหน้า (*Longissimus thoracis*) กล้ามเนื้อสันนอกส่วนหลัง (*Longissimus lumborum*) กล้ามเนื้อสันใน (*Psoas major*) กล้ามเนื้อหางจระเข้ (*Gluteus*

medius) กล้ามเนื้อพับใน (*Semimembranosus*) กล้ามเนื้อพับนอก (*Biceps femoris*) กล้ามเนื้อหมอน (*Semitendinosus*) กล้ามเนื้อลูกมะพร้าว (*Rectus femoris*) กล้ามเนื้อรักบี้ (*Triceps brachii*) กล้ามเนื้อใบพาย (*Infraspinatus*) และกล้ามเนื้อสันในเทียม (*Supraspinatus*) พบว่ากล้ามเนื้อสันใน และกล้ามเนื้อใบพายมีค่าแรงตัดผ่านต่ำ และมีคะแนนความนุ่มสูงกว่ากล้ามเนื้อชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการศึกษาของ Shackelford *et al.* (1995) พบว่าค่าแรงตัดผ่านในกล้ามเนื้อชนิดต่างๆ ของเนื้อโคมีค่าจากน้อยไปหามากดังนี้ คือ กล้ามเนื้อสันใน (*Psoas major*) 2.60 กิโลกรัม กล้ามเนื้อรักบี้ (*Triceps brachii*) 3.90 กิโลกรัม กล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) 4.10 กิโลกรัม กล้ามเนื้อพับนอก (*Biceps femoris*) 4.30 กิโลกรัม กล้ามเนื้อพับใน (*Semimembranosus*) 4.30 กิโลกรัม และกล้ามเนื้อหางจระเข้ (*Gluteus medius*) 4.40 กิโลกรัม

นอกจากชนิดของกล้ามเนื้อแล้ว ตำแหน่งของกล้ามเนื้อชนิดเดียวกันในบริเวณที่แตกต่างกันก็มีผลต่อความนุ่มและปริมาณไขมันแทรกเช่นกัน โดยจากการศึกษาของ Faucitano *et al.* (2003) ซึ่งทำการศึกษาก่อนการชำแหละเนื้อสันนอกสุกรลูกผสมดอร์ค×(แลนด์เรซ×ยอร์กเชอร์) โดยใช้สุกรสาวและสุกรเพศผู้ตอน น้ำหนักเข้าฆ่าที่ 107 ± 5 กิโลกรัม โดยใช้กล้ามเนื้อสันนอกตั้งแต่บริเวณซี่โครงซี่ที่ 5 นับจากด้านหัว (*Longissimus thoracis*) จนถึงบริเวณซี่โครงซี่ที่ 3 นับจากด้านท้ายของลำตัว (*Longissimus lumborum*) พบว่าปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 เปอร์เซ็นต์ โดยสุกรเพศผู้ตอนมีปริมาณไขมันแทรกสูงกว่าสุกรสาว (2.77 เทียบกับ 2.35 เปอร์เซ็นต์, $p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าตำแหน่งของกล้ามเนื้อสันนอกที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณไขมันแทรกมีความแตกต่างกัน ซึ่งในการประเมินคะแนนไขมันแทรกและการวัดเปอร์เซ็นต์ไขมันนั้นควรทำการวัดที่บริเวณซี่โครงซี่ที่ 10-12 (*Longissimus thoracis*) และบริเวณซี่โครงซี่ที่ 3-5 จากด้านท้ายของลำตัว (*Longissimus lumborum*) เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ดีของการวัดและการประเมินเกรดคุณภาพเนื้อเพราะมีความแปรปรวนต่ำกว่าตำแหน่งอื่น ขึ้นอยู่กับการเจริญและพัฒนาของไขมันแทรกโดยที่ส่วนท้ายจะเกิดขึ้นช้าที่สุด

2.2.3 ความยาวซาร์โคเมียร์ (sarcomere length)

เมื่อพิจารณาถึงความยาวซาร์โคเมียร์ ซึ่งหมายถึงหน่วยที่เล็กที่สุดของกล้ามเนื้อ (muscle cell) บริเวณตรงกลางของ I band จะมีเส้นทึบที่เรียกว่า z-line ระยะห่างระหว่าง z-line 2 เส้นที่อยู่ติดกันเรียกว่า 1 ซาร์โคเมียร์ ในสภาวะปกติซาร์โคเมียร์จะมีความยาวประมาณ 2.5 ไมโครเมตร ความยาวของซาร์โคเมียร์มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อโดยพบว่าถ้าเนื้ออยู่ในสภาวะคลายตัว ความยาวของซาร์โคเมียร์จะยาวกว่าเนื้อที่หดตัวและเนื้อจะมีความนุ่มมากกว่า (Vandendriessche *et al.* 1984)

การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของเนื้อหลายประการ เช่น การเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย (rigor mortis) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างถาวรภายหลังสัตว์ตาย เกิดได้เมื่อพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปไกลโคเจน และ ATP

ถูกใช้ไปจนหมด ปริมาณของกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ anaerobic metabolism เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก สภาวะเช่นนี้เนื้อจะมีสภาพแข็งตัวเนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อหดสั้นเข้าเป็นอย่างมาก โดยพบว่าความยาวซาร์โคเมอร์สั้นลงอย่างมากทำให้เนื้อที่ได้ภายหลังสตัว์ตายจึงมีความเหนียวมากกว่าปกติ (Anderson *et al.* 1999) ทั้งนี้ Ngapo *et al.* (2012) ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อสันนอกสุกร โดยแบ่งตามระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกัน 3 กลุ่ม ซึ่งประเมินตามระบบ National Pork Producers Council (NPPC) ปี 1999 ของประเทศสหรัฐอเมริกา คือ กลุ่มที่ 1 เนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกน้อยซึ่งมีคะแนน NPPC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.00 กลุ่มที่ 2 เนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางที่มีคะแนน NPPC เท่ากับ 2.25-2.75 และกลุ่มที่ 3 เนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกมากที่มีคะแนน NPPC มากกว่าหรือเท่ากับ 3.00 พบว่าระดับของไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านและความยาวซาร์โคเมอร์ของเนื้อสันนอกสุกร ($p>0.05$) ขณะที่ Li *et al.* (2006) ซึ่งทำการศึกษาในเนื้อสันนอกโคที่ระดับของไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณ 2.20 เปอร์เซ็นต์ เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณ 3.71 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณ 4.85 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเนื้อสันนอกโคที่มีไขมันแทรกปานกลางและสูงมีค่าแรงตัดผ่านน้อยกว่าเนื้อโคที่ไขมันแทรกน้อย เนื้อจึงมีความนุ่มมากกว่า ($p<0.05$) สอดคล้องกับความยาวซาร์โคเมอร์ (2.05 ไมโครเมตร) ของเนื้อโคที่ผ่านการทำให้สุกที่ไขมันแทรกปานกลาง และไขมันแทรกสูง (1.96 ไมโครเมตร) มีความยาวมากกว่าเนื้อโคที่มีระดับไขมันแทรกน้อย (1.81 ไมโครเมตร) ส่งผลให้เนื้อโคที่มีไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกสูงมีความนุ่มมากกว่า ($p<0.05$)

2.2.4 ปริมาณคอลลาเจน (collagen content)

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มโครงสร้างในร่างกายของสัตว์ โดยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยอีพีมัยเซียม (epimysium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบๆ กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) และห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อหลายๆ มัดให้อยู่รวมกันเป็นกล้ามเนื้อโครงร่าง มัดกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเพอร์ริมัยเซียม (perimysium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบๆ มัดกล้ามเนื้อและห่อหุ้มเส้นใยกล้ามเนื้อหลายๆ เส้นให้รวมเป็นมัดกล้ามเนื้อ และเส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเอนโดมัยเซียม (endomysium) ซึ่งมีเส้นเลือดฝอยทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้องค์ประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมากที่สุด คือ เส้นใยคอลลาเจน โดยกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวมากจะมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเอนโดมัยเซียมและเพอร์ริมัยเซียมสูง

ปริมาณคอลลาเจนในเนื้ออาจบ่งบอกถึงปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความนุ่มเหนียวของเนื้อ โดยเนื้อที่มีคอลลาเจนมากจะเหนียว ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อของสัตว์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และปริมาณคอลลาเจนจะเพิ่มขึ้นตามอายุของสัตว์ โดยคอลลาเจนบางส่วนสามารถละลายได้เมื่อได้รับความร้อนเรียกว่า soluble collagen ส่วนคอลลาเจน

ที่ไม่สามารถละลายได้ เรียกว่า insoluble collagen ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด เรียกว่า total collagen และเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนที่สามารถละลายได้เมื่อได้รับความร้อน เรียกว่า collagen solubility percentage ซึ่งถ้าเนื้อมีคอลลาเจนที่ละลายได้เมื่อได้รับความร้อน และเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนที่สามารถละลายได้สูง เนื้อจะมีความนุ่ม (Torrescano *et al.* 2003)

จากการศึกษาของ Nishimura *et al.* (1999) พบว่าการเจริญและพัฒนาของไขมันแทรกส่งผลให้เนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกมากจะมีความนุ่มมากขึ้น โดยโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อจะเสถียรภาพไป คือ หลวม ไม่เกาะกันแน่น อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีผลเนื่องมาจากอายุของสัตว์ที่เพิ่มขึ้นและส่วนประกอบของไมโอไฟบริลโปรตีน (myofibrillar proteins) ภายในเนื้อที่ทำให้เกิดความนุ่มเหนียวของเนื้อ (Li *et al.* 2006) จากการศึกษาของ Li *et al.* (2006) ซึ่งทำการศึกษาในเนื้อโคคืบและผ่านการทำให้สุกที่ระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณ 2.20 เปอร์เซ็นต์ เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณ 3.71 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณ 4.85 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อปริมาณไขมันแทรกสูงขึ้นปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด และคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้มีค่าสูงขึ้น ($p < 0.05$) ตามปริมาณไขมันแทรก แต่เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูง และปานกลางมีค่าแรงตัดผ่านน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกมากจะมีความนุ่มมากกว่า แม้ว่าปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดและ insoluble collagen จะมีค่าสูงขึ้นก็ตาม

2.2.5 สีของเนื้อ (meat color)

Gatellier *et al.* (2005) และ Insani *et al.* (2008) กล่าวว่านอกจากความนุ่มของเนื้อแล้ว สีของเนื้อมีความสำคัญต่อการยอมรับได้ของผู้บริโภคเช่นกัน โดยผู้บริโภคใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นๆ สีของเนื้อเกิดจากสารสีหรือรงควัตถุภายในกล้ามเนื้อของสัตว์ ประกอบด้วยเม็ดสีในเนื้อหรือไมโอโกลบินเป็นส่วนใหญ่ และเม็ดสีในเลือดหรือฮีโมโกลบิน (haemoglobin) เป็นส่วนน้อย และยังขึ้นกับสถานภาพทางเคมีของไมโอโกลบินด้วย (Hoffman, 2006)

ไมโอโกลบินเป็นโครโมโปรตีน (chromoprotein) ที่มีฮีม (heme) เป็นองค์ประกอบคล้ายกับฮีโมโกลบิน โดยไมโอโกลบินทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนในเซลล์กล้ามเนื้อ สีของเนื้อขึ้นอยู่กับปริมาณไมโอโกลบินถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และฮีโมโกลบิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้วในกล้ามเนื้อจะพบไมโอโกลบินประมาณ 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด แต่ในกล้ามเนื้อที่ทำงานหนัก และต้องการพลังงานมาก เช่น กล้ามเนื้อหัวใจจะพบปริมาณไมโอโกลบินเป็นจำนวนมาก (สัตวชัย จตุรติหยา. 2547)

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล (2539) กล่าวว่าโมเลกุลของไมโอโกลบินมีสารประกอบพอร์ไฟริน (porphyrin ring) ซึ่งมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบหรือฮีม ซึ่งประกอบด้วย pyrrole ring 4 หมู่โดย

อะตอมไนโตรเจนของหมู่ pyrrole แต่ละอันจะจับกับอะตอมของธาตุเหล็กซึ่งอยู่ตรงกลาง ในโมเลกุลของไมโอโกลบินยังประกอบด้วยโครงสร้างที่เรียกว่าโปรตีนโกลบิน (globin) ที่จะจับกับอะตอมของธาตุเหล็กด้วยกรดอะมิโนฮิสทีดีน (histidine) ซึ่งธาตุเหล็กจะอยู่ในรูปของ reduced form หรือ oxidized form ก็ได้ โดยไมโอโกลบินที่อยู่ในรูป reduced form เรียกดีโออกซีไมโอโกลบิน (deoxymyoglobin) ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะขาดออกซิเจน deoxymyoglobin สามารถเปลี่ยนสภาพไปเป็นออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ได้ถ้ามีออกซิเจนแทรกผ่านเข้ามาในชั้นเนื้อ เนื้อจะมีสีแดงสด และสภาพของ oxymyoglobin จะคงอยู่ได้นาน เมื่อปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศสูง (มากกว่า 25 มิลลิเมตรปรอท) และถ้ามีปริมาณออกซิเจนลดลง oxymyoglobin จะถูกดีโออกซิเจเนต (deoxygenate) ไปเป็น deoxymyoglobin ความสามารถของไมโอโกลบินในการจับกับออกซิเจนอาจลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของไมโอโกลบิน ซึ่งมีผลมาจากหลายปัจจัย เช่น การลดลงของค่า pH แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet light; UV) ความร้อน การกระตุ้นจากรังสี การเปิดพื้นที่หน้าตัดเนื้อให้สัมผัสกับอากาศมากเกินไป เอนไซม์ ปริมาณของออกซิเจน และอุณหภูมิภายในเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของโปรตีนภายในกล้ามเนื้อสัตว์ โดยความร้อนจะทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพและเสียสภาพไป นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ 4 หรือไม่เกิน 25 มิลลิเมตรปรอท จะมีผลต่อการเร่งการเกิดเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) รวมทั้งอุณหภูมิภายในเนื้อสามารถชะลอการเกิดเมทไมโอโกลบิน เนื่องจากความเย็นไปลดกิจกรรมการทำงานของ oxygen-utilizing enzymes ซึ่งโครงสร้างของไมโอโกลบินเป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสีเนื้อ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนสถานะของธาตุเหล็กภายในเนื้อ

Insani *et al.* (2008) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อสัตว์ มีผลต่อคุณภาพเนื้อโดยเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อ กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ภายในกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามการออกซิเดชันของไมโอโกลบิน และการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อในระหว่างบ่มและในระหว่างการวางจำหน่ายมีผลต่อการเสื่อมของสีและกลิ่นรสของเนื้อ ซึ่งทำให้การยอมรับได้ของผู้บริโภคลดลง นอกจากนี้สีของเนื้อมีความผันแปรตามชนิดของสัตว์ อายุสัตว์ เพศ อาหาร ชนิดของกล้ามเนื้อ และการใช้งาน โดยเนื้อโคมีปริมาณไมโอโกลบินสูงกว่าเนื้อสุกร และเนื้อไก่ ตามลำดับ (จันทร์พร เจ้าทรัพย์, 2554; จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, 2539)

จันทร์พร เจ้าทรัพย์ (2554) กล่าวว่า ความแตกต่างของสีเนื้อที่มองเห็นเป็นผลเนื่องมาจาก 3 องค์ประกอบ คือ hue chroma และ value โดย hue เป็นคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ เช่น แดง เหลือง เขียว และน้ำเงิน ส่วน chroma หรือ saturation หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสีพื้นฐาน และ value หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของสีหรือค่าความสว่างของสี (brightness) การวัดค่าสีของเนื้อสามารถวัดได้โดยนำเนื้อมาตัดเปิดบริเวณหน้าตัดของชิ้นเนื้อให้สัมผัสกับอากาศประมาณ 30-45 นาที จากนั้นจึงวัดด้วยเครื่องวัดสี ซึ่งจะแสดงผลของการวัดในรูปของค่าความสว่าง ค่าสีแดงหรือสีเขียว

ค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ความอิ่มตัวของสี และค่า hue angle นอกจากนี้พบว่าค่าความสว่างมีความสัมพันธ์กับค่า pH ของเนื้อโดยเนื้อที่มีค่า pH ต่ำจะมีค่าความสว่างมากกว่าเนื้อที่มี pH สูง ส่วนของค่าสีเหลืองมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อ โดยหากค่าสีเหลืองมีค่าสูงอาจแสดงว่าเนื้อนั้นมีเนวโน้มมีปริมาณไขมันแทรกสูงด้วยเช่นกัน (Kerry and Ledward. 2002; Utrilla *et al.* 2010)

ระบบของค่าสี (color system) ที่ใช้เป็นมาตรฐานสากล (AMSA. 2012) มีดังนี้

1) ระบบค่าสีมันเซลล์ (Munsell color system) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ 3 มิติ (three dimension) คือ ค่าสีต้น (Munsell hue; H) หมายถึง คุณสมบัติที่ระบุว่าเป็นสีใดสีหนึ่งและมีความแตกต่างจากสีอื่น ค่าความสว่าง (Munsell value; V) โดยมีค่าน้ำหนักเริ่มจาก 0 คือ สีดำ และ 10 คือ สีขาว และค่าความอิ่มตัวหรือความเข้มของสี (Munsell chroma; C) และเขียนอยู่ในรูป H V/C เช่น 7.5R 7.0/8.0 เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 หนังสือมาตรฐานสี: The Munsell book of color glossy collection

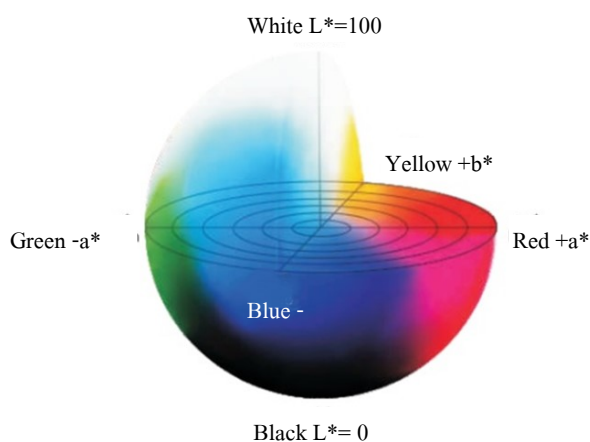
(Munsell® Color Services, 2.5R-10G, New Windsor, New York, USA)

ตามระบบค่าสีมันเซลล์ (Munsell color system)

2) ระบบ tristimulus colorimetry หรือ CIE (X Y และ Z) มีแนวพื้นฐานมาจากทฤษฎีองค์ประกอบในการมองเห็น โดยองค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสี คือ International Commission on Illumination (CIE) ซึ่งองค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการและการวิจัย คือ ระบบ CIE Lab scale ในระยะเริ่มแรก CIE ได้กำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้อธิบายสีแดง (red) สีเขียว (green) และสีน้ำเงิน (blue) แต่

เนื่องจากระบบสีดังกล่าวไม่สามารถบรรยายถึงลักษณะความมืดและความสว่างของสีได้ CIE ได้พัฒนาต่อมาเป็นระบบ X-Y-L ซึ่งใช้อธิบายถึงค่าสีแดง เขียว และความสว่าง (lightness) ตามลำดับ

3) ระบบ CIE (L^* a^* b^*) เป็นระบบที่พัฒนามาจาก CIE (X Y และ L) โดยระบบ L^* a^* และ b^* เป็นระบบการบรรยายสี 3 มิติ โดยค่า L^* (ความสว่าง) เป็นแกนค่าสีในแนวตั้งของ CIE L^* a^* b^* color space เมื่อ $L^* = 100$ คือสีขาวหรือสว่างมาก และเมื่อ $L^* = 0$ คือสีดำหรือมืดมาก ค่า a^* เป็นแกนค่าสีในแนวนอนโดยค่า $-a^*$ คือสีเขียว และ $+a^*$ คือสีแดง สำหรับค่า b^* เป็นแกนค่าสีในแนวนอนที่ตั้งฉากกับแกน a^* โดยค่า $-b^*$ คือสีน้ำเงิน และ $+b^*$ คือสีเหลือง (Kropf, 2008) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 CIE L^* a^* b^* color space
ที่มา : คัดแปลงจาก AMSA (2012)

4) ระบบ Hunter (L a b) การวัดสีระบบ Hunter lab scale สามารถใช้บรรยายแกนสี 3 มิติ เช่นเดียวกับระบบ CIE (L^* a^* b^*) ระบบ Hunter (L a b) จะใช้สเกล L a และ b (Hunt *et al.* 1991)

5) Reflectance spectroscopy สามารถใช้ในการหาค่าสีตามระบบ CIE ซึ่งใช้เครื่องวัดสีในการคำนวณโดยดูค่าการสะท้อนความยาวคลื่นที่ 400-700 นาโนเมตร สำหรับการหาค่าการสะท้อนของคลื่นแสงนี้นิยมใช้ในงานวิจัยมากกว่าในทางอุตสาหกรรม (Hunt *et al.* 1991)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยภายนอกชิ้นเนื้อ ได้แก่ สายพันธุ์ เพศ อายุ การจัดการอาหาร การจัดการก่อนการฆ่า (ความเครียด) น้ำหนักซาก กระบวนการจัดการภายหลังสัตว์ตาย (การกระตุ่นซากด้วยไฟฟ้า การลดอุณหภูมิซาก อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา และการสัมผัสอากาศ) และ 2) ปัจจัยภายในชิ้นเนื้อ ได้แก่ ค่า pH ชนิดของกล้ามเนื้อ ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ ปริมาณไมโอโกลบิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ อุณหภูมิเนื้อ และความสามารถในการใช้ออกซิเจนของเนื้อ เป็นต้น (AMSA, 2012)

จากการศึกษาของ Cannata *et al.* (2010) ซึ่งทำการศึกษาในกลัมน้ำมันเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 คะแนนไขมันแทรกน้อยกว่า 1.5 กลุ่มที่ 2 คะแนนไขมันแทรก 1.5-4.0 และกลุ่มที่ 3 คะแนนไขมันแทรกมากกว่า 4.0 ตามระบบ NPPC (1999) ของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าระดับไขมันแทรกที่ต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อ (L^* , a^* และ b^*) และลักษณะของสีที่ปรากฏที่ได้จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ($p > 0.05$) ขณะที่ Pflanzner and Felício (2011) ซึ่งทำการศึกษาในโคเพศผู้ตอนพบว่าปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่าความสว่าง ($r = 0.34$, $p < 0.01$) และค่า hue angle ($r = 0.28$, $p < 0.05$) ของเนื้อ ขณะที่ปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าสีแดงของเนื้อ ($r = -0.27$, $p < 0.05$)

จากตารางที่ 2.3 Ngapo *et al.* (2012) ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของไขมันแทรกต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสุกร โดยใช้กลัมน้ำมันเนื้อสันนอกสุกรจำนวน 108 เส้นจากสุกรลูกผสมสามสายครุคอก×(แลนด์เรซ×ยอร์กเชอร์) แบ่งตามระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกัน คือ กลุ่มที่ 1 เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกน้อย คือ คะแนน NPPC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.00 กลุ่มที่ 2 เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลาง คือ คะแนน NPPC เท่ากับ 2.25-2.75 และกลุ่มที่ 3 เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกมาก คือ คะแนน NPPC มากกว่าหรือเท่ากับ 3.00 พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผล ($p > 0.05$) ต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร นอกจากนี้พบว่าระดับไขมันแทรกมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อโดยเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา และปริมาณไขมันในกลัมน้ำมันเนื้อเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณความชื้นและโปรตีนในเนื้อมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Norman *et al.* (2003) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีต่อความนุ่มและการยอมรับของผู้บริโภคเนื้อสุกร โดยใช้กลัมน้ำมันเนื้อสันนอกสุกรที่มีสีแตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 คะแนนสี 1-2 ($L^* = 57.00$; $n = 22$) กลุ่มที่ 2 คะแนนสี 3-4 ($L^* = 50.20$; $n = 21$) และ กลุ่มที่ 3 คะแนนสี 5-6 ($L^* = 45.20$; $n = 21$) ตามระบบ NPPC (2000) พบว่าเนื้อที่มีสีจากการประเมินตามระบบ NPPC ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าสีของเนื้อที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสีมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L^* ; lightness) และค่าสีเหลือง (b^* ; yellowness/blueness) ของเนื้อกลุ่มที่คะแนนสี 1-2 (57.00 และ 15.85) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่คะแนนสี 3-4 (50.24 และ 14.57) และ 5-6 (45.54 และ 13.88) ตามลำดับ ($p < 0.05$) ขณะที่เนื้อในกลุ่มที่มีคะแนนสี 5-6 มีค่าสีแดง (a^* ; redness/greenness) เท่ากับ 8.75 ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีคะแนนสี 3-4 และ 1-2 ที่มีค่าสีแดงเท่ากับ 7.68 และ 7.44 ตามลำดับ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับค่า pH ของเนื้อที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ($p < 0.05$) กับค่าความสว่าง ($r = -0.715$) ค่าสีเหลือง ($r = -0.734$) ค่า chroma ($r = -0.585$) และค่า hue angle ($r = -0.373$) ขณะที่ค่าความสว่างมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าสีแดง ($r = -0.324$, $p < 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่าสีเหลือง ($r = 0.616$, $p < 0.05$) ค่า chroma ($r = 0.337$,

$p < 0.05$) และค่า hue angle ($r = 0.700$) นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคในประเทศสหรัฐอเมริกาให้ความสนใจในการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่วางจำหน่ายในร้านค้าปลีกที่มีสีเข้มมากที่สุด ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 45.20 คิดเป็น 52.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเนื้อสุกรที่มีสีเข้มนปานกลาง ($L^* = 50.20$) คิดเป็น 26.40 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อสุกรที่มีสีอ่อน ($L^* = 57.00$) คิดเป็น 20.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 อิทธิพลของคะแนนไขมันแทรก¹⁾ ต่อส่วนประกอบทางเคมี คุณภาพทางเคมี และกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร

ลักษณะที่ศึกษา	คะแนนไขมันแทรก ¹⁾			p-value
	≤2.00	2.25-2.75	≥3.00	
ค่า pH	5.63	5.65	5.64	0.69
การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา (%)	3.6 ^b	3.5 ^b	5.1 ^a	0.02
การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างปรุงสุก (%)	18.7	18.2	18.0	0.42
ค่าความสว่าง (lightness; L^*)	52.0	52.0	52.0	0.05
ค่าสีแดง (redness; a^*)	4.0 ^b	4.5 ^{ab}	5.0 ^a	<0.01
ค่าสีเหลือง (yellowness; b^*)	6.8 ^b	7.1 ^b	7.8 ^a	<0.01
ไขมัน (%)	2.11 ^c	2.54 ^b	3.50 ^a	<0.01
โปรตีน (%)	23.4 ^b	23.4 ^b	23.1 ^a	0.03
ความชื้น (%)	73.8 ^a	73.3 ^b	72.5 ^c	<0.01
ความยาวซาร์โคเมอร์ (μm)	1.70	1.71	1.72	0.89
ค่าแรงตัดผ่าน (kg./cm^2)	2.7	2.6	2.6	0.89

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ NPPC (1999)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ngapo *et al.* (2012)

2.2.6 การทำให้สุก (cooking)

ชัยณรงค์ กันธพนิต (2529) อธิบายว่ากรรมวิธีการปรุงอาหารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยการปรุงสุกของชิ้นส่วนเนื้อแต่ละส่วนที่ต่างกันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันจะทำให้เนื้อมีความนุ่มแตกต่างกันไปด้วย การทำให้สุกจึงถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มและความน่ารับประทานของเนื้อ ซึ่งการทำให้เนื้อสุกนั้นสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันในด้านของอุณหภูมิ ระยะเวลา การนำความร้อน เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ทั้งนี้สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการทำให้สุก คือ ความชื้นภายในเนื้อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการนำความร้อนเข้าไปในใจกลางชิ้นเนื้อ เมื่อโปรตีนของเนื้อสัตว์ถูกความร้อนจะเกิดการเสียสภาพไปจากเดิม

(protein denaturation) โดยโปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งจะทำให้โปรตีนสูญเสียความสามารถในการละลายน้ำ การเกิดการหดตัวของโมเลกุลโปรตีนนี้จะทำให้โปรตีนแข็งตัวมากขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแข็งตัวของโปรตีนอยู่ที่ประมาณ 64 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเนื้อจะเหนียวมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนในเนื้อลดลง นอกจากการทำให้สุกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนแล้ว ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเช่นกัน โดยเมื่อได้รับความร้อนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะเกิดการหดตัวเหลือ 1 ใน 3 ของความยาวเดิม ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิใจกลางเนื้ออยู่ที่ 56 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิของเนื้อเพิ่มขึ้นถึง 61-62 องศาเซลเซียส การหดตัวนี้จะเกิดขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทั้งหมด โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดพร้อมกับการเพิ่มของคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) จากนั้นเมื่อเนื้อได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะส่งผลให้คอลลาเจนถูก hydrolyzed ด้วยไอน้ำที่ถูกขับออกมาจากเนื้อ จึงกลายเป็นวุ้นหรือเจลาตินต่อไป นอกจากนี้สัญชัย จตุรสิทธิธา (2543) รายงานว่าการปรุงอาหารให้สุกด้วยความร้อนนั้น เมื่ออุณหภูมิที่ประมาณ 55 องศาเซลเซียส จะทำให้เส้นใยโปรตีนเสียสภาพและขาดตัวและเกิดโครงสร้างของเส้นใยโปรตีนที่แน่นขึ้น และความยาวของซาร์โคเมอร์สั้นลง เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น (>60 องศาเซลเซียส) เป็นผลให้เส้นใยคอลลาเจนหดตัวลงไปถึง 1 ใน 3 ของความยาวเดิม ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ ทำให้น้ำสูญเสียออกไปจากเนื้อ และเมื่อปรุงอาหารนานขึ้นเนื้อจะมีความนุ่มลดลง อย่างไรก็ตามการทำให้สุกด้วยความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า 65 องศาเซลเซียส เป็นผลทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันอ่อนตัวเนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนสภาพเป็นเจลาติน ดังนั้นเนื้อที่มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงจะนุ่มขึ้นภายใต้สภาวะการปรุงอาหารแบบร้อนขึ้น

Crawford *et al.* (2010) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อ (internal temperature) จากการทำให้สุกต่อคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสันนอกสุกร โดยใช้อุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 62 71 และ 79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าแรงตัดผ่านมีค่าสูงขึ้น (เนื้อเหนียวขึ้น) โดยอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อที่ 62 องศาเซลเซียส มีค่าแรงตัดผ่าน (2.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุก (14.84 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่สุก ขณะที่การทำให้สุกที่อุณหภูมิใจกลางเนื้อ 79 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าแรงตัดผ่าน (3.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุก (30.18 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้สุกเพิ่มขึ้น โปรตีนภายในกล้ามเนื้อจะเกิดการเสียโครงสร้างไปเนื่องจากความร้อน ทำให้น้ำภายในกล้ามเนื้อถูกปลดปล่อยออกมา กล่าวคืออุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อในการทำให้สุกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุก โดยเมื่ออุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อในการทำให้สุกเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุกสูงขึ้น สอดคล้องกับ Bertram *et al.* (2005) กล่าวว่าปริมาณน้ำที่ถูกปลดปล่อยออกมามีความสัมพันธ์ในทาง

ตรงกันข้ามกับความชุ่มฉ่ำและความนุ่มของเนื้อ ขณะที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับระยะเวลาในการเคี้ยว (chewing time) คือ เนื้อที่ชุ่มฉ่ำน้อยจะมีความนุ่มน้อยและน้ำที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีมากขึ้น ขณะที่ Wheeler *et al.* (1999) ศึกษาการย่างเนื้อสเต็กด้วยอุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าแรงตัดผ่านเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

จากการศึกษาของ Moeller *et al.* (2010) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อที่ทำให้สุกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (62.8 68.3 73.9 และ 79.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ต่อการยอมรับได้ของผู้บริโภคทางคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุก พบว่าเมื่ออุณหภูมิใจกลางเนื้อในการทำให้สุกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความนุ่มและความชุ่มฉ่ำที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสลดลง ($p < 0.05$) แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่มีผลต่อกลิ่นรสของเนื้อ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาถึงค่าแรงตัดผ่าน พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าแรงตัดผ่านเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนความนุ่มและความชุ่มฉ่ำที่ได้จากการประเมินลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าคะแนนความนุ่มและความชุ่มฉ่ำที่ได้จากการประเมินมีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าแรงตัดผ่าน ค่า pH อุณหภูมิใจกลางเนื้อในการปรุงสุก ค่าความสว่างและปริมาณไขมันแทรก สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Rincker *et al.* (2008) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 62 71 และ 80 องศาเซลเซียสต่อการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าเมื่ออุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้คะแนนความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำ ของเนื้อที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมีคะแนนลดลง ($p < 0.05$) ขณะที่คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของเนื้อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อสูงขึ้นเนื้อมีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำลดลง ขณะที่กลิ่นรสคงเดิม ขณะที่ Cannata *et al.* (2010) รายงานว่าการทำให้สุกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ

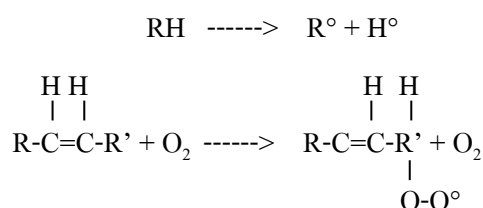
นอกจากนี้ยังพบว่าขณะที่เนื้อได้รับความร้อนจะมีสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) ถูกปลดปล่อยออกมา ส่งผลให้เนื้อมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน โดยสารระเหยเหล่านี้ ได้แก่ สารประกอบกลุ่มแอลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) แอลกอฮอล์ (alcohol) และกรด (acid) เป็นต้น สำหรับการทำให้สุกด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสที่บริเวณผิวของเนื้อในระหว่างการย่าง ทอด หรืออบ พบว่าสารประกอบเอมีน (amine) จะทำปฏิกิริยากับ reducing sugar ซึ่งจะเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุก (cooked meat flavor) และทำให้เนื้อมีรสชาติอร่อยมากขึ้น (ชัยณรงค์ คันทพนิต, 2529)

2.2.7 การออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation)

นิธิยา รัตนานนท์ (2548) กล่าวว่า การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมัน ทำให้อาหารเสีย

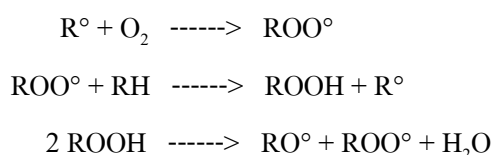
คุณภาพ (deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง (free-radical chain reaction) ซึ่งกลไกที่เกิดขึ้นแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นเริ่มต้น (initiation) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ โดยปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว จะทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) โดยคาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่ จะสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ และออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็น diradical ดังนี้

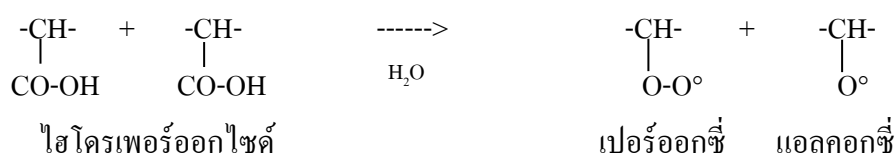


° หมายถึง อะตอมที่มี unpaired electron และเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งมีอายุสั้นมาก เนื่องจากมีความไวในการเกิดปฏิกิริยา จะไปดึงอิเล็กตรอนจากสารอื่นมาให้กับ unpaired electron

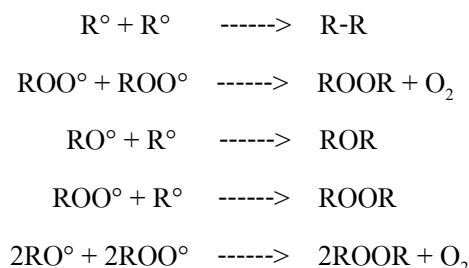
2) ขั้นเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง โดยขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจน และมีปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้อนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical; ROO°) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide; ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon radical; R°) ดังสมการ



โดยอนุมูลที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ก็จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระทำให้มีจำนวนอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นในน้ำมัน และดูดซึมออกซิเจนในอากาศจึงเกิดปฏิกิริยาขึ้นอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ โดยการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะได้อนุมูลเปอร์ออกซีและแอลคอกซี (alkoxy) ดังสมการ



3) ขั้นยุติ (termination) เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิดสารที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ โดยเมื่อใดที่อนุมูลอิสระมีจำนวนมากและมาทำปฏิกิริยากันเองจะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระและมีความคงตัว จะส่งผลให้ปฏิกิริยาหยุดลงได้ ดังสมการ



เมื่อไม่มีอนุมูลอิสระเหลือสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนเหลืออยู่มากพอ ก็จะเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาขึ้นต้นได้ใหม่

นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อยังส่งผลให้เนื้อเสื่อมคุณภาพด้านการเกิดกลิ่นรสของเนื้อได้ โดยจุฬารัตน์ เศรษฐกุล (2539) กล่าวว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นรสของเนื้อแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน ซึ่งปัจจัยภายใน ได้แก่ ค่า pH ในเนื้อ ระยะเวลาการบ่มเนื้อ และคุณภาพของไขมัน เป็นต้น โดยกลิ่นรสของเนื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น คุณภาพของไขมันมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองภายใต้สภาพที่มีการให้ความร้อน รังสี UV และโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีโลหะ เช่น ทองแดง และตะกั่ว เป็นต้น จะเป็นการเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระและเกิดการออกซิเดชันมากขึ้น สำหรับอายุสัตว์ถ้าสัตว์ที่มีอายุมากขึ้นพบว่ากลิ่นรสจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากร่างกายมีการสะสมไขมันมากขึ้นนั่นเอง อายุสัตว์ที่มีอายุมากขึ้นจะมีกลิ่นรสมากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นของการสร้างสารระเหยสารตั้งต้นที่สำคัญ คือ ไขมันในร่างกายอาจเปลี่ยนแปลงไป

Shahidi (1997) กล่าวว่า การเกิดกลิ่นรสของเนื้อเป็นผลมาจากทั้งฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) จากการศึกษาในเนื้อตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเปรียบเทียบกับการใช้สารสกัดด้วย hexane หรือการใช้ methanol-chloroform พบว่าการที่เนื้อตัวอย่างผ่านการสกัดด้วย hexane หรือการใช้ methanol-chloroform สามารถเกิดกลิ่นได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เนื้อตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยตรง คือ การย่าง พบว่าเนื้อตัวอย่างมีกลิ่นคล้ายขนมปังกรอบ (cracker-like) อาจเป็นเพราะมีความเข้มข้นของ dimethylpyrazine ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายโดยจะมีความสำคัญอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเนื้อสัตว์ จึงทำให้เกิดกลิ่นรสในเนื้อ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าฟอสโฟลิปิดที่พบในไขมันแทรกในเนื้อสัตว์มีความสำคัญอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ และการที่เนื้อสัตว์ต่างชนิดกันอาจจะมีปริมาณของกรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรตในเนื้อคล้ายคลึงกันจึงทำให้เกิดกลิ่นที่คล้ายคลึงกัน แต่กลิ่นรสที่แตกต่างกันนั้นอาจเกิดจากฟอสโฟลิปิดและไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งฟอสโฟลิปิดมี

ความสำคัญต่อการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ที่ทำให้กลิ่นรสที่แตกต่างกันมากกว่าไตรกลีเซอไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่า การเกิดกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์อาจเกิดจากฟอสโฟลิปิดได้รับความร้อน จากนั้นผลผลิตดังกล่าวเกิดปฏิกิริยากับผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยา maillard reaction ของกรดอะมิโนในเนื้อสัตว์ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติ นอกจากนี้ในกระบวนการ dehydrate และ deaminate ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ furfurals furanones และ dicarbonyl compound โดยผลผลิตที่ได้นี้จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนได้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogensulfide; H_2S) แอมโมเนีย (ammonia; NH_3) จากนั้นผลผลิตต่างๆ เกิดปฏิกิริยาระหว่างกัน โดยปฏิกิริยาเหล่านี้จะผลิตสารที่ให้กลิ่นที่สำคัญ คือ heterocyclic compounds ได้แก่ pyrazines pyrones thiazoles และ thiazolines เป็นต้น ซึ่ง heterocyclic compounds เป็นสารประกอบที่เป็นวงที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน ออกซิเจน หรือสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่ง pyrazines ให้ลักษณะของกลิ่นเนื้อสุก (Rowe, 2000) โดย Shahidi (1997) กล่าวว่าผลผลิตสารที่ให้กลิ่นในระยะนี้เรียกโดยรวมว่า melanoids ซึ่งให้กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ได้แก่ warmed-over flavor กลิ่นรสหืน กลิ่นรส burnt กลิ่นรสคล้ายหัวหอม (onion flavor) และกลิ่นรสคล้ายกะหล่ำปลี (cabbage flavor) เป็นต้น กลิ่นรสที่ดี ได้แก่ กลิ่นรส malty กลิ่นรสคล้ายขนมปัง (bready flavor) กลิ่นรสคาราเมล (caramel flavor) กลิ่นรสกาแฟ (coffee flavor) และกลิ่นรสอบ (roasted flavor) เป็นต้น ขณะที่กลิ่นที่ไม่ดี ได้แก่ กลิ่นคล้ายขนมปัง (bready aroma) และกลิ่นแครกเกอร์ (cracker aroma) เป็นต้น

สำหรับปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกลิ่นรสในเนื้อสัตว์ ได้แก่ อาหารสัตว์ กลิ่นเพศ กลิ่นจากสิ่งแวดล้อม และจุลินทรีย์ อาหารที่ให้สัตว์กิน โดยหญ้าที่ใช้เลี้ยงสัตว์บางชนิดมีกลิ่นติดค้างในเนื้อสัตว์ได้โดยกลิ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นกลิ่นหญ้า (grassy flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, 2539)

กลิ่นรสของเนื้อสัตว์ทั้งกลิ่นรสที่พึงประสงค์และไม่พึงประสงค์ สำหรับกลิ่นรสที่พึงประสงค์ อาจเกิดจากสารประกอบในเนื้อ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะแปรสภาพเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่น และกลิ่นรสของเนื้อ ได้แก่ โมโนนิวคลีโอไทด์ (mononucleotide) อะดีโนซีนโมโนฟอสเฟต (adenosine monophosphate; AMP) อิโนซีนโมโนฟอสเฟต (inosine monophosphate; IMP) (Michael and Shahidi, 2013) และไฮโปแซนทีน (hypoxanthine) ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสลายตัวของ ATP โดย ATP เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวเป็น ADP (อะดีโนซีนไดฟอสเฟต (adenosine diphosphate) AMP IMP inosine และ hypoxanthine ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อ AMP แปรสภาพเป็น IMP จะให้กลิ่นรสที่ดีของเนื้อสัตว์ (Tikk *et al.* 2006) นอกจากนี้กลิ่นรสที่พึงประสงค์อาจเกิดจากผลผลิตจากจุลินทรีย์ต่างๆ สำหรับกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์อาจเกิดขึ้นได้จากการเก็บรักษา เช่น การหืน (rancidity) ของไขมันแล้วเกิดการแตกตัวของกรดไขมันได้เป็นสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ (ชัยณรงค์ กันธพนิต, 2529)

นิธิยา รัตนปนนท์ (2548) กล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมัน คือเนื่องจากไขมันที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่างๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนั้นส่วนประกอบอื่นในอาหารอาจทำหน้าที่เป็นตัวร่วมออกซิไดส์ หรือทำปฏิกิริยากับไขมันที่ถูกออกซิไดส์แล้ว หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเนื้อสัตว์ มีดังนี้

1. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมัน และน้ำมันมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอัตราเร็วของการเกิดจะแตกต่างกัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่า กรดไขมันที่อยู่ในรูปซิส-ไอโซเมอร์ (cis-isomer) เกิดออกซิไดส์ได้เร็วกว่า ทรานส์-ไอโซเมอร์ (trans-isomer) และตำแหน่งที่เป็นพันธะคู่ (conjugated double bond) จะเกิดได้ไวกว่า ตำแหน่งที่ไม่มีพันธะคู่ การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้องกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autooxidation) แต่จะเกิดเฉพาะกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้น

จากการศึกษาของ Melton *et al.* (1982) พบความสัมพันธ์ระหว่างกลิ่นรสที่ผิดของเนื้อสัตว์กับปริมาณของกรดไขมันชนิดต่างๆ คือ myristoleic acid (C14:1) palmitoleic acid (C16:1) stearic acid (C18:0) oleic acid (C18:1) linoleic acid (C18:2) และ alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) แม้ว่ากลิ่นรสของเนื้อจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณแอลดีไฮด์ และคีโตน เช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Ba *et al.* (2012) ซึ่งกล่าวว่าผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน คือ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน และ 2 alkylfurans สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรืออนุพันธ์ของโปรตีนในปฏิกิริยา maillard ซึ่งจะได้เป็น heterocyclic aroma compounds ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีความสัมพันธ์กับกลิ่นรสของเนื้อสุก (cooked meat flavors)

2. ความเข้มข้นของออกซิเจนในภาวะที่มีออกซิเจนมาก อัตราการเกิดออกซิเดชันจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในภาวะที่มีออกซิเจนน้อยอัตราการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน รวมถึงอุณหภูมิ และพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจนด้วย โดยถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนอยู่ที่ 4-25 มิลลิเมตรปรอท จะมีผลทำให้เมทโมโกลบินเกิดเร็วขึ้น (จุฬารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

3. อุณหภูมิ และความชื้น อัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อ oxygen partial pressure ด้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเปลี่ยน oxygen partial pressure จะมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชัน เพราะการละลายของออกซิเจนในไขมันและน้ำจะลดลง

4. radiant energy แสง แร่ธาตุ และรังสีต่างๆ เช่น visible light แสงอัลตราไวโอเลต และแกมมา-เรดิเอชัน (γ-radiation) มีผลช่วยเร่งให้เกิดออกซิเดชันได้เร็วขึ้น

5. สารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งมีทั้งสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ เช่น วิตามินอี และสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เช่น บิวทิลเลตไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole; BHA) และบิวทิลเลตไฮดรอกซีโทลูอิน (butylated hydroxytoluene; BHT) เป็นต้น Insani *et al.* (2008) กล่าวว่า α -tocopherol หรือวิตามินอี และ β -carotene มีความสัมพันธ์กับการเกิดกลิ่นของเนื้อ โดยทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโอโกลบินและไขมันช้าลง เป็นผลทำให้สีและกลิ่นของเนื้อมีความคงตัว

2.2.8 องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ (fatty acid composition)

องค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุกร (Cannata *et al.* 2010) สอดคล้องกับ Cameron and Enser (1991) รายงานว่ากรดไขมันอิ่มตัว (SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (MUFA) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกร (pork flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่พึงประสงค์ของเนื้อสุกร โดยเมื่อ MUFA เพิ่มขึ้นส่งผลให้กลิ่นรสของเนื้อสุกรเพิ่มขึ้นเช่นกัน ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (PUFA) มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกร โดย PUFA เพิ่มขึ้นการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกรลดลง ทั้งนี้อาจเพราะการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกรอาจมีผลเนื่องมาจากการคัดเลือกสายพันธุ์ โดยอาจนำสายพันธุ์ที่มีการสะสมไขมันแทรกน้อยมาผสมเพื่อให้ได้เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยแต่กลิ่นรสของเนื้อสุกรก็จะลดลง ทั้งนี้เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยอาจมีปริมาณ MUFA น้อยกว่า จึงอาจส่งผลให้การเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกรน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง

จากการศึกษาของ Cannata *et al.* (2016) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของคะแนนไขมันแทรกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 คะแนนไขมันแทรกน้อยกว่า 1.5 กลุ่มที่ 2 คะแนนไขมันแทรก 1.5-4.0 และกลุ่มที่ 3 คะแนนไขมันแทรกมากกว่า 4.0 ตามระบบ NPPC (1999) ต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อคะแนนของการเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ ($p>0.05$) ขณะที่ Cannata *et al.* (2010) ทำการศึกษาผลของปริมาณไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อสุกรก่อนและหลังปรุงสุก พบว่าการทำให้สุกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเช่นกัน ทั้งนี้จากตารางที่ 2.4 พบว่าเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ SFA และ MUFA ในเนื้อสุกรดิบและสุก ($p>0.05$) แต่ปริมาณไขมันแทรกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของ PUFA โดยในเนื้อสุกรดิบและสุกที่มีปริมาณไขมันแทรกมากมีปริมาณของ linoleic acid (C18:2 cis-9 cis-12) ต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ($p<0.05$)

ตารางที่ 2.4 อิทธิพลของไขมันแทรก¹⁾ ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสันนอกสุกร (% ของกรดไขมัน, mean±SE²⁾)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			p-value
	น้อย (n=26)	ปานกลาง (n=11)	มาก (n=15)	
เนื้อดิบ				
myristic acid (C14:0)	1.73±0.22	1.71±0.27	1.28±0.28	0.511
palmitic acid (C16:0)	30.30±0.64	31.23±0.80	31.47±0.80	0.559
stearic acid (C18:0)	12.26±0.77	13.90±0.95	13.67±0.96	0.395
oleic acid (C18:1c9)	36.11±1.52	35.28±1.89	39.53±1.89	0.287
elaidic acid (C18:1t9)	4.93±0.47	4.96±0.59	5.37±0.67	0.889
linoleic acid (C18:2 c9c12)	12.61±0.56 ^a	10.26±0.70 ^{ab}	8.90±0.70 ^b	0.003
arachidonic acid (C20:4)	3.09±0.15 ^a	2.32±0.18 ^b	1.72±0.19 ^b	0.001
เนื้อสุก				
myristic acid (C14:0)	1.45±0.15	1.73±0.18	1.84±0.18	0.316
palmitic acid (C16:0)	30.91±1.42	31.10±1.86	36.61±1.78	0.067
stearic acid (C18:0)	9.62±0.96	10.73±1.19	14.55±1.33	0.070
oleic acid (C18:1c9)	37.95±1.66	39.93±2.03	40.48±2.19	0.669
elaidic acid (C18:1t9)	3.58±0.31	3.88±0.38	3.88±0.38	0.810
linoleic acid (C18:2 c9c12)	13.10±0.81 ^a	10.50±1.01 ^{ab}	9.18±1.01 ^b	0.032
arachidonic acid (C20:4)	3.00±0.20 ^a	2.34±0.25 ^b	1.82±0.25 ^c	0.009

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ NPPC (1999)

²⁾ SE (standard error) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด

ที่มา : Cannata *et al.* (2010)

นอกจากนี้ Cannata *et al.* (2010) ยังพบว่าปริมาณของ arachidonic acid (C20:4) ในเนื้อดิบที่มีไขมันแทรกมากและไขมันแทรกปานกลางมีค่าต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย (p<0.05) ทั้งนี้เนื่องจากไขมันในร่างกายจะถูกสะสมในรูปไตรกลีเซอไรด์ การที่ไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไตรกลีเซอไรด์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้สัดส่วนของ PUFA ลดลง ทั้งนี้ PUFA มีส่วนช่วยในการลดระดับของคอเลสเตอรอลและ LDL cholesterol (low-density lipoprotein cholesterol) ขณะที่ตัวอย่างเนื้อสุกมีปริมาณ arachidonic acid ลดลงเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น (p<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

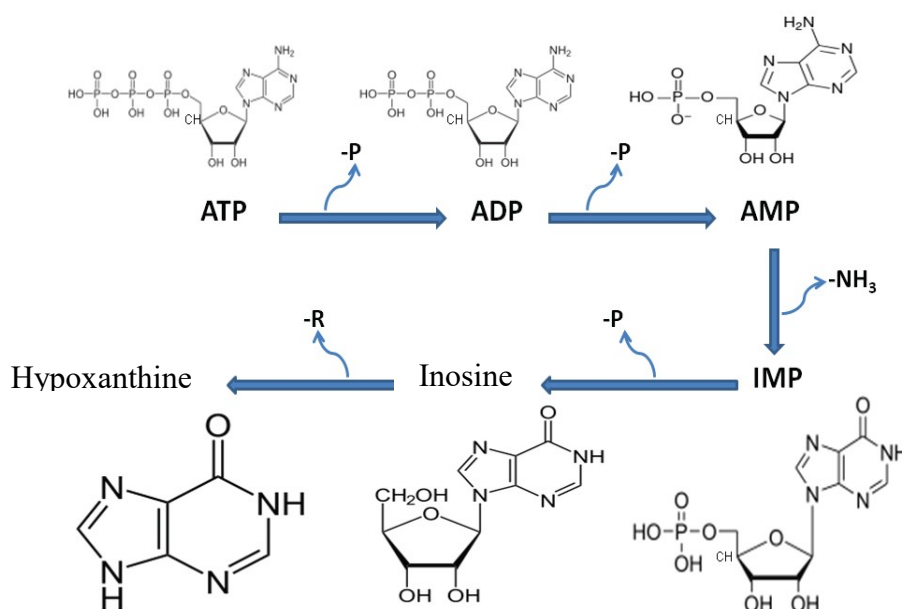
นอกจากนี้ Cannata *et al.* (2010) ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของกรดไขมันกับการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยพบว่ากรดไขมัน palmitic acid (C16:0) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความนุ่ม ($r = 0.290, p < 0.05$) และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ ($r = -0.286, p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีปริมาณ palmitic acid ในเนื้อสูงเนื้อจะมีความนุ่มเพิ่มขึ้นและกลิ่นรสไม่พึงประสงค์น้อยลง อย่างไรก็ตามยังพบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างค่า pH กับกรดไขมัน myristic acid ($r = 0.350, p < 0.05$) และความสัมพันธ์ในทางลบระหว่างค่า pH กับกรดไขมัน arachidonic acid ($r = -0.306, p < 0.05$) ขณะที่ค่าการสูญเสียไนโตรเจนระหว่างการปรุงสุกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับกรดไขมัน arachidonic acid ($r = 0.389, p < 0.05$)

2.2.9 ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อ

ขณะที่สัตว์ยังมีชีวิตร่างกายจะใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนและมีการสะสมพลังงานในรูปของ ATP ซึ่งเป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (nucleotides) โดยภายหลังสัตว์ตายร่างกายจะใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งผลผลิตที่ได้คือ พลังงาน 2 ATP กรดแลคติก และความร้อน เมื่อความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนสะสมในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ ATP ไปเป็นโมโนนิวคลีโอไทด์ ADP AMP IMP inosine และ hypoxanthine ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.3

เมื่อพิจารณาถึงกลิ่นรสของเนื้อ พบว่ามีทั้งกลิ่นรสที่พึงประสงค์และไม่พึงประสงค์ สำหรับกลิ่นรสที่พึงประสงค์อาจจะเกิดจากสารประกอบในเนื้อ เมื่อได้รับความร้อนจะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นรส ได้แก่ AMP IMP (Michael and Shahidi, 2013) และ hypoxanthine ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสลายตัวของ ATP อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อ AMP แปรสภาพเป็น IMP จะให้กลิ่นรสที่ดีของเนื้อสัตว์ (Tikk *et al.* 2006) ทั้งนี้เนื่องจาก IMP เป็นผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวของ ATP ซึ่งมีน้ำตาลไรโบส (ribose) เป็นองค์ประกอบ จะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนในเนื้อ (Vani *et al.* 2006) ซึ่งผลผลิตที่ได้คือ กลุ่ม heterocyclic compounds ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสของเนื้อที่ผ่านการทำให้สุก (Ba *et al.* 2012) ขณะที่ปริมาณ IMP ในเนื้อสันนอกสุกรดิบมีความสัมพันธ์กับกลิ่นรส brothy (Tikk, 2008) และกลิ่นรส meaty (Tikk *et al.* 2006) ในทางตรงกันข้ามนอกจาก IMP จะมีความสัมพันธ์กับการเกิดกลิ่นรสที่ดีแล้ว Tikk (2008) ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มเนื้อสันนอกสุกรเพิ่มขึ้น IMP จะสลายตัวไปเป็น inosine และ hypoxanthine ซึ่งสารประกอบทั้งสองให้รสขม ซึ่งสอดคล้องกับ Kim *et al.* (2012) ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนของเนื้อเป็ด พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มนานขึ้นส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ IMP ไปเป็น inosine และ hypoxanthine เพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบทั้งสองให้รสขม โดย Tikk *et al.* (2006) กล่าวว่า IMP มีความสัมพันธ์กับกลิ่นรส meaty แต่เมื่อ IMP เกิดการสลายตัว ผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวนี้คือ hypoxanthine เมื่อ hypoxanthine รวมตัวกับกรดอะมิโนบางชนิด เช่น anserine carnosine และ

dipeptides อื่นๆ อาจส่งผลให้เกิดกลิ่นรสขม (bitter flavor) ได้ ในทางตรงกันข้าม Flores *et al.* (1999) ทำการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเนื้อภายหลังสัตว์ตาย ซึ่งแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ เนื้อสันนอกสุกที่มีค่า pH ที่ 2 ชั่วโมงน้อยกว่า 5.8 คือ กลุ่มที่ 1 เนื้อ pale soft exudative (PSE) และกลุ่มที่ 2 เนื้อ red soft exudative (RSE) กลุ่มที่ 3 เนื้อสันนอกสุกที่มีค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงน้อยกว่า 6.0 คือ เนื้อ red firm non-exudative (RFN) และกลุ่มที่ 4 เนื้อสันนอกสุกที่มีค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงมากกว่า 6.0 คือ เนื้อ dark firm dry (DFD) ที่ทำให้สุกด้วยการต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกที่ทำให้สุกกับปริมาณนิวคลีโอไทด์ คือ พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่าง hypoxanthine กับรสหวาน ($r = 0.27, p < 0.05$) แต่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่าง hypoxanthine กับรสขม ($r = -0.30, p < 0.05$) รสเปรี้ยว ($r = -0.42, p < 0.05$) และรสเค็ม ($r = -0.33, p < 0.05$) ขณะที่ inosine มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับรสเค็ม ($r = -0.28, p < 0.05$) แต่ผู้วิจัยไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง IMP และ GMP กับการประเมินทางประสาทสัมผัส ขณะที่ Koutsidis *et al.* (2008) รายงานว่า GMP (guanosine monophosphate) และ IMP มีความสัมพันธ์กับรสอูมามิ สอดคล้องกับ Kim *et al.* (2012) ซึ่งรายงานว่าปริมาณ IMP ในเนื้อเป็ดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 วันมีค่าสูงที่สุด และจะลดลงอย่างมากเมื่อเก็บรักษาเนื้อเป็ดเป็นเวลา 7 วัน ทั้งนี้ IMP มีผลต่อรสอูมามิ

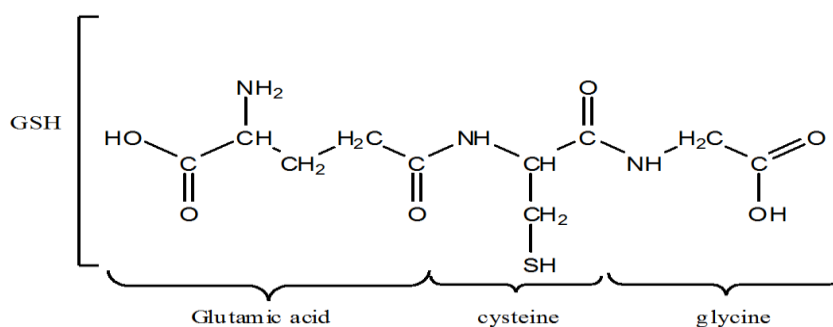


ภาพที่ 2.3 การสลายตัวของ ATP

ที่มา : Goodrich (2014)

2.2.10 กลูต้าไธโอน (glutathione)

เนื้อสัตว์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของเนื้อสัตว์ ทั้งทางด้านความปลอดภัย คุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพด้านการบริโภค โดยไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ประกอบด้วยธาตุเหล็กที่มี 6 แขน โดยแขนข้างหนึ่งของธาตุเหล็กจะทำปฏิกิริยา และกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของเนื้อสัตว์ (Monahan *et al.* 1993) โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ (lipid oxidation) จะมีผลกระทบต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (flavor deterioration) และการเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ในเนื้อ (off-flavor) ซึ่งกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปอาจเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนภายในกล้ามเนื้อ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อาจขึ้นกับชนิดของสัตว์ ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ อาหารสัตว์ การเก็บตัวอย่าง และวิธีการตรวจวิเคราะห์ (Shahidi. 1997) สำหรับการเกิดอนุมูลอิสระอาจเกิดได้จากขบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในร่างกาย ถ้าการเกิดอนุมูลอิสระมีการรับเพียงอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (O_2) ไปเป็นน้ำ (H_2O) จะเกิดซูเปอร์ออกไซด์ เรดิคัล (superoxide radical) หรือซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน (superoxide anion) ขึ้น เมื่อซูเปอร์ออกไซด์ เรดิคัล รับไฮโดรเจน (hydrogen atom; H^+) จะได้อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxyl radical) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์อีกหนึ่งตัวเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) สามารถเกิดปฏิกิริยา dismutation โดยมี Fe^{3+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวสูง อย่างไรก็ตามภายในเซลล์จะมีสารต้านอนุมูลอิสระที่คอยกำจัดสารเหล่านี้ (วสันต์ ตั้งโกคานนท์ และคณะ. 2548) ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระภายนอกเซลล์ (extracellular antioxidant) ที่อยู่ภายในกล้ามเนื้อ สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นกัน ซึ่งรวมถึงวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น α -tocopherol และ co-enzyme Q-10 วิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินซี กรดอะมิโนจำเป็น เช่น ฮิสทีดีน (histidine) และเอนไซม์ต่างๆ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) และเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดส เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของกลูต้าไธโอน

ที่มา : Bae and Mehra (1997)

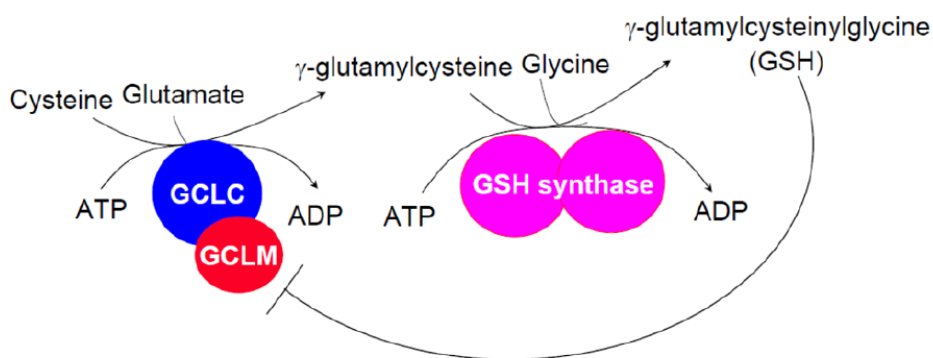
กลูต้าไธโอนเป็นเปปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ กรดกลูตามิก ซีสเทอีน และไกลซีน (ภาพที่ 2.4) โดยกลูต้าไธโอนจัดเป็น primary antioxidant ซึ่งพบอยู่ในเซลล์ในรูป reduced form (glutathione; GSH) ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูป oxidized form (glutathione disulfide; GSSG) และ mixed disulphide ทำหน้าที่สำคัญในการเปลี่ยนอนุมูลอิสระให้กลายเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอันตรายก่อนที่อนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับสารอื่น (วสันต์ ตัง โภคานนท์ และคณะ. 2548)

กลูต้าไธโอน สามารถสังเคราะห์ได้จากตับ โดยเลือดทำหน้าที่ในการขนส่งกลูต้าไธโอนผ่านเยื่อไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย และจะถูกเก็บสำรองไว้ที่ตับในปริมาณมาก สำหรับในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (eukaryotic cell) จะพบกลูต้าไธโอนประมาณ 1.0-10.0 มิลลิโมลาร์ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุกรรมของสัตว์ โดยกลูต้าไธโอนจะถูกกักเก็บอยู่ภายในไซโทซอล (cytosol) 80.0-85.0 เปอร์เซ็นต์ ไมโทคอนเดรีย 10.0-15.0 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่พบในบริเวณเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) ซึ่งการสังเคราะห์กลูต้าไธโอนเริ่มต้นจากกรดอะมิโน 3 ชนิด ได้แก่ กรดกลูตามิก ซีสเทอีน และไกลซีน และพลังงาน ATP 2 โมเลกุล ซึ่งใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ γ -glutamylcysteine จากกลูตามาเมทและซีสเทอีน จากนั้น γ -glutamylcysteine จะสร้างพันธะกับไกลซีนได้เป็นกลูต้าไธโอน (Lu. 2014) ทั้งนี้ Lu (2014) กล่าวถึงกลไกการสังเคราะห์กลูต้าไธโอนนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การสังเคราะห์ γ -glutamylcysteine จากกลูตามาเมทและซีสเทอีน โดยอาศัยการเร่งปฏิกิริยาของ glutamate-cysteine ligase (GCL หรือ γ -glutamylcysteine synthetase) ซึ่งประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย คือ GCL-catalytic subunit (GCLC) และ GCL-modifier subunit (GCLM) ขั้นตอนนี้จะเกิดการสร้างพันธะระหว่างกลูตามาเมทและซีสเทอีน ได้เป็น γ -glutamylcysteine ในกระบวนการนี้จะมีการใช้พลังงาน ATP 1 โมเลกุล

สำหรับ GCLC นั้นทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยจะทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างกลูตามาเมทและซีสเทอีน ขณะที่ GCLM ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่มีความสำคัญในการควบคุมกลไกการสังเคราะห์กลูต้าไธโอนให้เกิดขึ้นอย่างเป็นปกติ และรักษาสมดุลของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่ง GCLM ถูกควบคุมการทำงานโดยมีปริมาณของกลูต้าไธโอนเป็นตัวกำหนด (feedback inhibition) หรืออาจกล่าวได้ว่ากลูต้าไธโอนเป็นตัวควบคุมการทำงานของ GCL (negative feedback)

2) ขั้นตอนที่สองในการสังเคราะห์กลูต้าไธโอนตัวเร่งปฏิกิริยา คือ GSH synthetase หรือ GSH synthase (GS) ซึ่ง GSH synthase ประกอบด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วย ซึ่งทั้ง 2 หน่วยไม่ถูกควบคุมโดยปริมาณของกลูต้าไธโอน สำหรับในขั้นตอนนี้ GSH synthase จะทำให้เกิดการรวมกันของ γ -glutamylcysteine และไกลซีน ได้เป็นกลูต้าไธโอน (γ -L-glutamyl-L-cysteinylglycine)

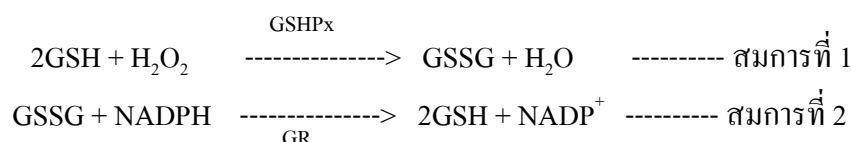
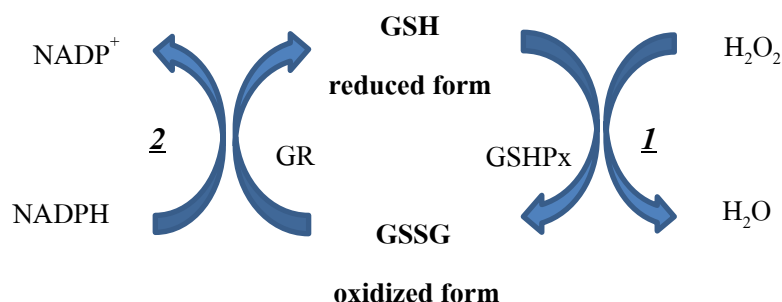


ภาพที่ 2.5 การสังเคราะห์กลูต้าไธโอน

ที่มา : Lu (2014)

สำหรับการทำงานของกลูต้าไธโอนนั้นต้องอาศัยเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase; GSHPx) และเอนไซม์กลูต้าไธโอนรีดักเทส (glutathione reductase; GR) โดยจะช่วยกันทำงานเป็นระบบที่เรียกว่า glutathione system ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีแร่ธาตุซีลีเนียมเป็นโคแฟกเตอร์ โดยกลูต้าไธโอนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกกลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสเปลี่ยนให้เป็น GSSG และน้ำ (H_2O) เพื่อให้ร่างกายกลับสู่ภาวะสมดุล โดยเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสมีคุณสมบัติเป็นสารต้านการออกซิเดชันที่สำคัญของร่างกาย สามารถช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ทำหน้าที่เป็นตัวทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาผลาญภายในเซลล์ และทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกายและกล้ามเนื้อ โดยเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสสามารถสังเคราะห์ได้จากตับ ไต ระบบทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย (Witschi *et al.* 1992) และกระดูก (Cichoski *et al.* 2012) และทำหน้าที่ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในกล้ามเนื้อและป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ขณะสัตว์มีชีวิตอยู่และยังคงทำหน้าที่ได้ภายหลังสัตว์ตาย ดังนั้นเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสจะมีปริมาณลดลง เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น หรือมีปริมาณลดลงเมื่อถูกใช้ไปในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Cichoski *et al.* 2012)

วสันต์ ตั้งโกคานนท์ และคณะ (2548) กล่าวว่าในสภาวะที่กระบวนการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บกพร่องจะทำให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กลูต้าไธโอนจะทำการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นโมเลกุลของน้ำ โดยมีเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สภาพร่างกายอยู่ในภาวะเครียดออกซิเดชันลดลงและกลับมาสู่ภาวะสมดุล (สมการที่ 1) และ GSSG ซึ่งอยู่ในรูป oxidized form สามารถย้อนกลับไปเป็น GSH ได้ โดย NADPH ให้อิเล็กตรอนแก่ GSSG และมีกลูต้าไธโอนรีดักเทสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ GSSG กลับมาเป็นกลูต้าไธโอนได้ (สมการที่ 2)



ปริมาณกลูตาไธโอนในเนื้อสัตว์มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น สายพันธุ์ อาหารและการจัดการอาหาร (feed and feeding) ลักษณะการเลี้ยงและการเคลื่อนไหว (physical activity) อายุเข้าฆ่า (age at slaughter) เพศ ลักษณะทางกายภาพของสัตว์ (physiological state) การตอน (castration) และปัจจัยอื่นๆ (Lawrie and Ledward, 2006)

นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidative stability) ในเนื้อ โดยถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่มีแร่ธาตุซีลีเนียมสูง ส่งผลทำให้เนื้อสัตว์มีความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชันได้ดี คือ ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในเนื้อ และชะลอการเสื่อมสภาพของสีเนื้อได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อปริมาณซีลีเนียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสมากขึ้นด้วยเช่นกัน (Daun *et al.* 2001) ทั้งนี้ กลูตาไธโอนและเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสเป็นสารประกอบมีอยู่ตามธรรมชาติในกล้ามเนื้อและสามารถรีดิวซ์ lipid peroxide (Marascheillo *et al.* 1999) และมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเนื้อสัตว์และช่วยให้เกิดความคงตัวของไขมันที่มีอยู่ในเนื้อ

นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวกลูตาไธโอนยังมีบทบาทในด้านกลิ่นรสในอาหาร โดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งมีผลต่อการเกิดกลิ่น roasted-like caramel-like และ meat-like aroma เนื่องมาจากกลูตาไธโอนผ่านความร้อนสามารถสลายตัวเป็นกลูตามิก ซีสเทอีน และไกลซีน และทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ โดยกรดอะมิโนมีผลต่อการเกิดกลิ่นและกลิ่นรสที่พึงประสงค์ของเนื้อ (Ueda *et al.* 1997) ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ของกลูตาไธโอนในเนื้อสัตว์นอกสุกรอาจจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อทั้งด้านคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่อาจส่งผลต่อคุณภาพด้านการบริโภค

ทั้งนี้กลูตาไธโอนมีความสัมพันธ์กับคุณภาพด้านการบริโภค โดยกลูตาไธโอนมีความสัมพันธ์กับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ ซึ่งกลูตาไธโอนเป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในการเกิด

กลิ่นของเนื้อ เมื่อกลูต้าไธโอนได้รับความร้อนสารที่เป็นองค์ประกอบในการเกิดกลิ่นของเนื้อ (meaty aroma compounds) จะระเหยออกมา เช่น อนุพันธ์ของ furanthiols pyrazines และ thiols เป็นต้น โดยการเกิดกลิ่นรสในเนื้อสัตว์อาจมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา maillard reaction (Ueda *et al.* 1997) โดยจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ Ueda *et al.* (1997) พบว่ากลูต้าไธโอนให้ลักษณะของกลิ่นรส kokumi (kokumi flavor) คือ มีกลิ่นรสที่เข้มข้น กลิ่นรสอูมามิและให้ความรู้สึก mouthfulness ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ดี สำหรับปริมาณกลูต้าไธโอนของเนื้อโคและเนื้อไก่มีค่าสูงกว่าเนื้อสุกร (ตารางที่ 2.5) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของกลูต้าไธโอนมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์ (sulphur; S) เป็นองค์ประกอบ (ภาพที่ 2.4) ประกอบกับเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโปรตีนเนื่องมาจากความร้อน ส่งผลให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphide; H_2S) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของโปรตีนที่มีกรดอะมิโนซิสเทอีนเป็นองค์ประกอบ ปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ทำให้เกิดกลิ่นรสเนื้อ (Wang *et al.* 2012; Zheng *et al.* 1997)

ตารางที่ 2.5 ปริมาณกลูต้าไธโอนในเนื้อสัตว์

ชนิดสัตว์	ปริมาณกลูต้าไธโอน (mg/100 g)	แหล่งอ้างอิง
เนื้อโค : สันใน	20.0-40.0	Ueda <i>et al.</i> (1997)
เนื้อโค : มีไขมันแทรก	13.0-17.0	Ueda <i>et al.</i> (1997)
เนื้อโค : ปรงสุก (สเต็ก)	12.3	Jones <i>et al.</i> (1992)
เนื้อลูกโค : ปรงสุก (สเต็ก)	26.3	Jones <i>et al.</i> (1992)
เนื้อโค : สันนอก	15.98	Rakowska <i>et al.</i> (2017)
เนื้อโค : สันนอก (สเต็ก)	13.08	Rakowska <i>et al.</i> (2017)
เนื้อสุกร : สะโพก	13.0	Ueda <i>et al.</i> (1997)
เนื้อสุกร : เนื้อแดง-ปรงสุก (ทอด)	18.9	Jones <i>et al.</i> (1992)
เนื้อไก่ : สะโพก	20.0	Ueda <i>et al.</i> (1997)
เนื้อไก่ : เนื้ออก-ปรงสุก (ทอด)	6.5	Jones <i>et al.</i> (1992)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Rakowska *et al.* (2017); Ueda *et al.* (1997) และ Jones *et al.* (1992)

Daun *et al.* (2001) ทำการศึกษาปริมาณกลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสและปริมาณซีลีเนียม (selenium content) ในเนื้อโคและเนื้อสุกร พบว่าปริมาณเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสในเนื้อสันนอกโค (1.9 U ต่อกรัม) สูงกว่า ($p < 0.05$) เนื้อสันในโค (1.5 U ต่อกรัม) ขณะที่ปริมาณเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดสในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร (0.4 U ต่อกรัม) มีค่าต่ำกว่าเนื้อสันนอกโค (1.5 U/กรัม) ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อสันนอกของโค (106 นาโนกรัมต่อกรัม) มีปริมาณ

ซีลีเนียมสูงกว่า ($p < 0.05$) เนื้อสันในโค (95 นาโนกรัมต่อกรัม) เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของซีลีเนียมที่ละลายได้ (soluble selenium) กับปริมาณซีลีเนียมในกล้ามเนื้อ พบว่าปริมาณซีลีเนียมที่ละลายได้ในเนื้อโค (72.0 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราส่วนสูงกว่าเนื้อสันในโค (64.0 เปอร์เซ็นต์) และสันนอกสุกร (52.0 เปอร์เซ็นต์) ดังตารางที่ 2.6

อย่างไรก็ตามพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสและซีลีเนียมที่ละลายได้ทั้งในเนื้อสุกรและเนื้อโค และปริมาณกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสมีความแปรปรวนในสัตว์แต่ละตัว สายพันธุ์ และชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีหลายปัจจัย โดยชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด oxidative muscle fiber (type I) มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด glycolytic muscle fiber (type II) เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด oxidative มีปริมาณธาตุเหล็ก และไมโทคอนเดรียมาก เมื่อพิจารณาถึงกล้ามเนื้อสันในซึ่งจัดเป็นกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด oxidative มากและกล้ามเนื้อสันนอกที่จัดเป็นกล้ามเนื้อชนิด glycolytic แต่ปริมาณกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสที่พบในสันนอกโคมีค่าสูงกว่ากล้ามเนื้อสันใน จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าปริมาณกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสมีปริมาณสูงในกล้ามเนื้ออกไก่ และสันนอกสุกร ซึ่งจัดเป็นกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด glycolytic มีปริมาณสูงกว่าเนื้อน่องซึ่งเป็นกล้ามเนื้อชนิด oxidative (Daun *et al.*, 2001)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสในเนื้อโคและเนื้อสุกร (mean $\pm$ SD¹⁾)

ชนิดกล้ามเนื้อ	สันนอกโค (n=9)	สันในโค (n=9)	สันนอกสุกร (n=14)
ปริมาณกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (U/g)	1.8 $\pm$ 0.4 ^a	1.5 $\pm$ 0.5 ^b	0.4 $\pm$ 0.2 ^c
ปริมาณซีลีเนียมในเนื้อเยื่อ (ng/g)	106 $\pm$ 12 ^b	95 $\pm$ 17 ^c	113 $\pm$ 15 ^a
ปริมาณซีลีเนียมที่ละลายได้ (ng/g)	76 $\pm$ 10 ^a	60 $\pm$ 11 ^b	59 $\pm$ 9 ^b
อัตราส่วนของซีลีเนียมที่ละลายได้กับ ปริมาณซีลีเนียมในกล้ามเนื้อ (%)	72 $\pm$ 10 ^a	64 $\pm$ 9 ^b	52 $\pm$ 6 ^c

^{a,b} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ SD (standard deviation) = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

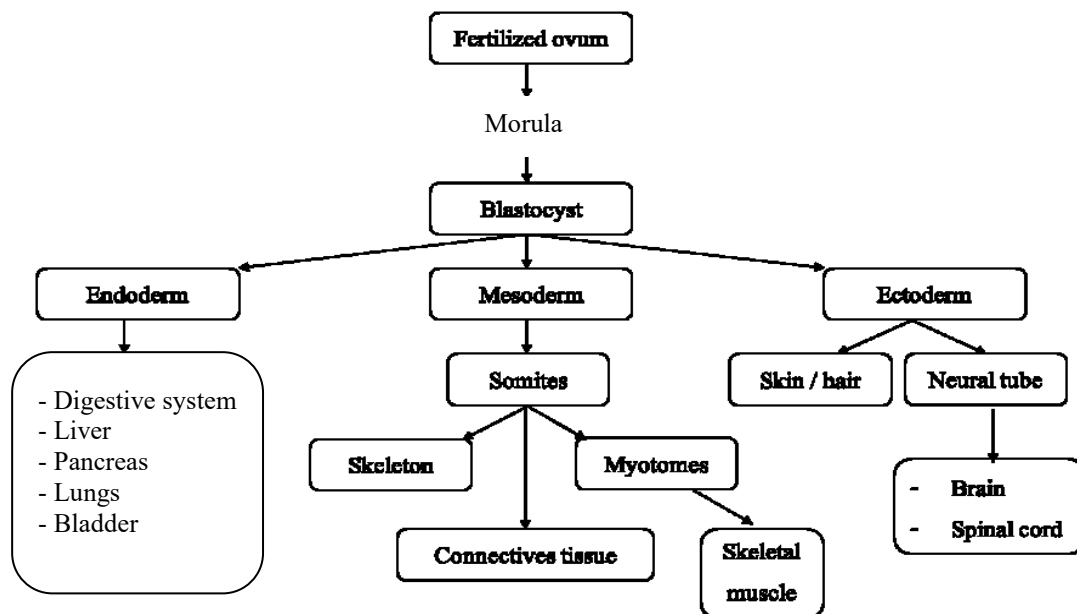
ที่มา : Daun *et al.* (2001)

2.3 ไขมันแทรก (marbling)

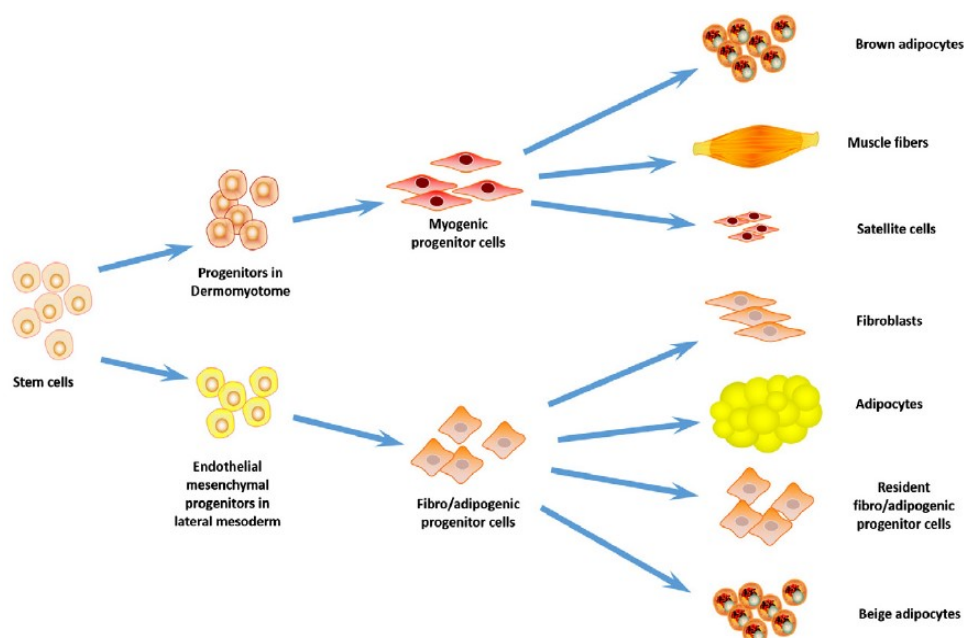
2.3.1 การเจริญและพัฒนาของไขมันแทรก (intramuscular fat development)

เนื้อเยื่อไขมันเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษ (special connective tissue) ที่พบอยู่ทั่วไปในร่างกาย โดยมีเซลล์ต้นกำเนิดมาจากด้านข้างของเนื้อเยื่อชั้นมีโซเดิร์ม หรือ lateral mesoderm

(Aberle *et al.* 2012; Du *et al.* 2015) ทั้งนี้เซลล์ไขมัน (fat cells หรือ adipocytes) เป็นเซลล์พิเศษที่มีการเจริญเปลี่ยนแปลงแตกต่างไปจากเซลล์ชนิดอื่น โดยเซลล์ไขมันจะเริ่มพัฒนามาจาก embryonic mesenchyme cells (ภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7)



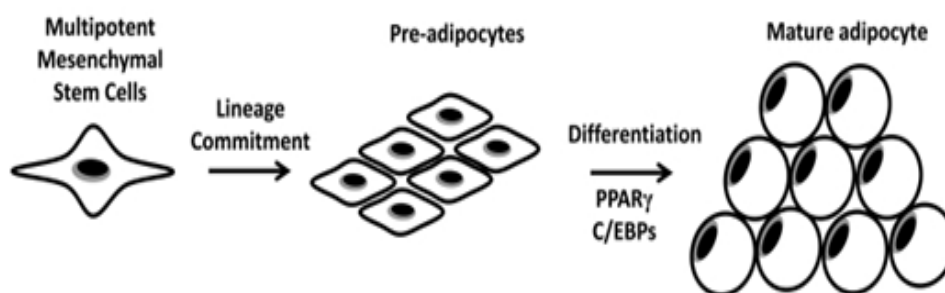
ภาพที่ 2.6 การพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะของเนื้อเยื่อในช่วงก่อนคลอด
ที่มา : ดัดแปลงจาก Aberle *et al.* (2012)



ภาพที่ 2.7 การพัฒนาของเนื้อเยื่อชั้นมีโซเดิร์มในการเจริญไปเป็นเซลล์ต้นกำเนิด (mesenchymal stem cells) และเกิดการพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะ
ที่มา : Du *et al.* (2015)

การเจริญเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อไขมันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะก่อนคลอด (prenatal growth) และระยะหลังคลอด (postnatal growth) โดยในระยะก่อนคลอด adipocytes จะมีการเพิ่มจำนวนของเซลล์ เรียกว่า hyperplasia ขณะที่หลังคลอด จะมีการเจริญของ mature adipocytes แบบการขยายขนาดเซลล์ให้ใหญ่ขึ้น เรียกว่า hypertrophy (Lawrence *et al.* 2012) ทั้งนี้ในแง่ของการผลิตสัต์การเจริญเติบโต หมายถึงการเพิ่มขนาดของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ กระดูก และอวัยวะที่สำคัญ ขณะที่การขุน (fattening) หมายถึงการเพิ่มขยายขนาดของเนื้อเยื่อไขมัน เท่านั้น (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554)

ในระยะก่อนคลอด การเจริญและพัฒนาของเนื้อเยื่อไขมัน (adipogenesis) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะที่สำคัญ คือ 1) mesenchymal stem cells 2) pre-adipocytes และ 3) lipid-filled adipocytes โดยกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ไขมันเริ่มต้นจาก mesenchymal stem cells หรือ embryonic mesenchyme cells ซึ่งเป็นเซลล์ต้นกำเนิดของเซลล์ไขมันมีการเจริญพัฒนา (proliferation) ไปเป็น pre-adipocytes (lineage progression) โดยจะมี lipogenic enzyme ทำหน้าที่ชักนำให้เกิด small lipid droplets ซึ่งจะปรากฏในระยะนี้ ต่อมา small lipid droplets เหล่านี้จะเกิดการเชื่อมกันกลายเป็น single lipid droplets และจะมีการเติมไขมันเข้าสู่เซลล์ (lipid-filled adipocytes) กลายเป็น mature adipocytes ต่อไป (Lawrence *et al.* 2012) ดังแสดงในภาพที่ 2.8

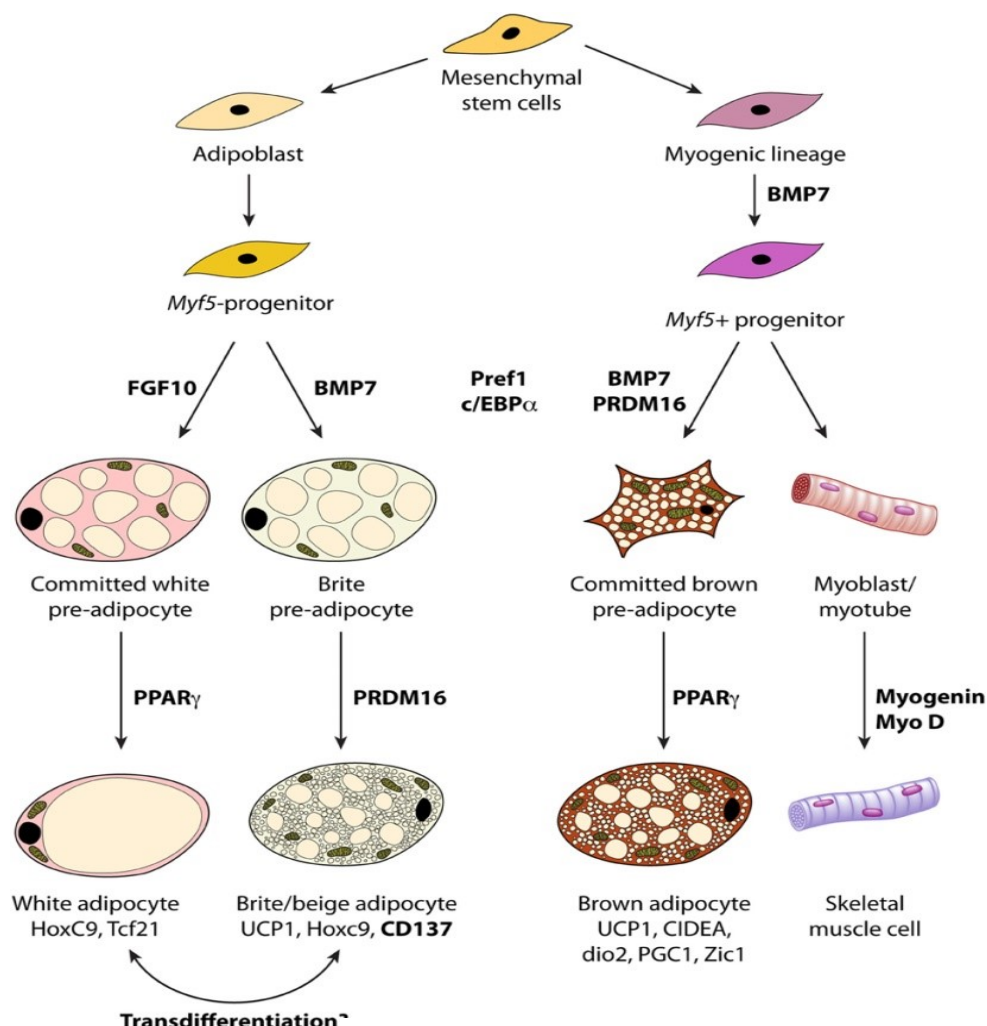


ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนการเจริญและพัฒนาเซลล์ไขมัน (adipogenesis)

ที่มา : McGregor and Choi (2011)

ทั้งนี้ในกระบวนการพัฒนาของเซลล์ไขมันมีลักษณะจำเพาะ (adipocyte differentiation) ยังมีโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์เนื้อเยื่อไขมัน (adipogenesis transcription factor) คือ CAAT/enhancer binding proteins (C/EBPs) และ peroxisome proliferator active receptor gamma (PPAR γ) (Du *et al.* 2010) โดยในระยะเริ่มต้นของกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ไขมัน C/EBPs จะทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้ PPAR γ แสดงออก เพื่อกระตุ้นให้ mesenchymal stem cells พัฒนาไปเป็น mature adipocytes นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีน adipocyte determination and differentiation dependent factor-1/sterol regulatory elementbinding protein-1 (ADD-1/SREBP-1) มี

ส่วนช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อไขมันเช่นกัน ทั้งนี้ PPAR γ เป็นยีนที่ควบคุมการสร้างไขมัน และมี
ส่วนสำคัญในการพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะ (differentiation) เพื่อนำไตรกลีเซอไรด์มา
เก็บใน lipid droplets (Du *et al.* 2010) ขณะที่ C/EBPs ทำหน้าที่ในการส่งเสริมการสะสมไขมัน
ภายในเซลล์ไขมัน (Lawrence *et al.* 2012) ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 กระบวนการพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะ (adipocyte differentiation)

ที่มา : Obregon (2014)

เซลล์ไขมัน เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษ โดยเซลล์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานในรูปของไตรกลีเซอไรด์ เนื้อเยื่อไขมันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ white adipose tissue และ brown adipose tissue

1) white adipose tissue เนื้อเยื่อไขมันชนิดนี้พบมากในสัตว์ที่โตเต็มวัย โดยบริเวณที่พบได้แก่ ไขมันใต้ผิวหนัง และเยื่อช่องท้อง เป็นต้น white adipose tissue ทำหน้าที่เก็บไขมัน (fat storing) ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบด้วย กรดไขมันและกลีเซอรอล โดยกรดไขมันมี

ต้นกำเนิดมาจากอาหารประเภทไขมันและเข้าสู่กระแสเลือดในรูป chylomicron ส่วนกรดไขมันเปลี่ยนมาจากกลูโคสในตับจะถูกส่งเข้าเนื้อเยื่อไขมันในรูป very low density lipoprotein (VLDL) จากนั้น chylomicron และ VLDL ถูกย่อยโดยเอนไซม์ lipoprotein lipase ทำให้เปลี่ยนไขมันเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล แพร่ผ่านหลอดเลือดเข้าในเซลล์ไขมัน ต่อมาเกิดการรวมกันระหว่างกรดไขมันและกลีเซอรอลเป็นไตรกลีเซอไรด์ นอกจากนี้ white adipose tissue ยังทำหน้าที่เป็นฉนวนเพื่อเก็บความร้อนไว้ในร่างกายและเป็นแหล่งพลังงาน (เกล็ดแก้ว คำนวณวิวัฒน์. 2546)

2) brown adipose tissue หรือ multilocular adipocyte คือภายในเซลล์ไขมันประกอบด้วยหยดไขมันขนาดเล็กจำนวนมาก โดยเซลล์ไขมันนี้มีขนาดเล็กกว่า white adipose tissue โดยทั่วไปแล้ว brown adipose tissue มีปริมาณมากในสัตว์แรกเกิด ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (thermogenin)

ทั้งนี้ในกระบวนการพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะ (differentiation) ของ brown adipocytes จะถูกกระตุ้นด้วยฮอร์โมน catecholamine และ bone morphogenetic protein (BMP) โดย catecholamine จะจับกับ β -adrenergic receptor ส่งผลให้เอนไซม์ไลเปสทำงาน และเกิดการย่อยไขมันที่กักเก็บไว้ คือ ไตรกลีเซอไรด์ให้กลายเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล และถูกนำไปใช้ในการสร้างพลังงานและผลิตความร้อนต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่า brown adipocytes สามารถเจริญและพัฒนาจาก myogenic lineage ได้เช่นกัน โดยโปรตีน PR domain containing 16 (PRDM16) ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยน myoblasts ให้เป็น brown adipocytes ทั้งนี้ brown adipocytes สามารถเปลี่ยนไปเป็น white adipocytes ได้โดย lipogenic enzyme ซึ่งทำงานได้เพราะ PPAR γ มีการแสดงออกมากขึ้น จึงเกิดการย่อยผนังของ small lipid droplets จากนั้นจึงเกิดการเชื่อมกันกลายเป็น single lipid droplets และกลายเป็น mature white adipocytes ต่อไป (Lawrence *et al.* 2012)

ทั้งนี้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามการเรียงตัวของเซลล์และเส้นใย คือ

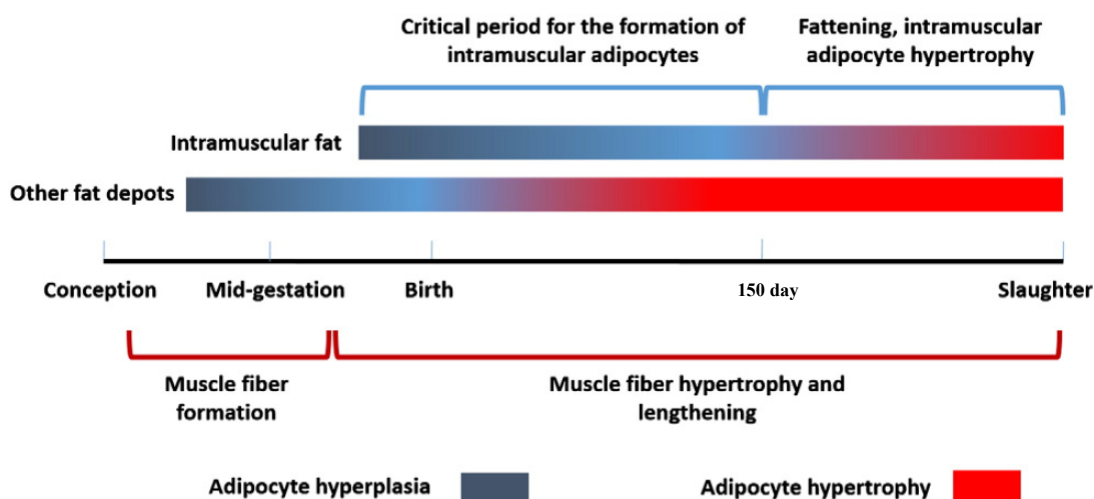
1) dense connective tissue เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ประกอบด้วยเส้นใยจำนวนมากจัดเรียงตัวอย่างแน่นหนา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเส้นใยคอลลาเจน เซลล์มีน้อยกว่า loose connective tissue และส่วนใหญ่เป็น fibroblast ได้แก่ เส้นเอ็นที่ยึดระหว่างมัดกล้ามเนื้อ (tendon) เส้นเอ็นที่ยึดระหว่างกล้ามเนื้อและกระดูก (ligament) เป็นต้น

2) loose connective tissue เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ เส้นใยและสารที่ไม่มีรูปร่างเรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ อยู่อย่างหลวมๆ ทั้งนี้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดนี้ยังแบ่งออกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบในตัวอ่อน (embryonic connective tissue) ซึ่งได้แก่ mesenchyme และ mucous connective tissue และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบในสัตว์โตเต็มวัย ได้แก่ เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) เป็นต้น (กรรณิกา ชัชวาลานิช. 2546)

สำหรับกระบวนการ adipogenesis ในสุกรเริ่มในระยะกลางของการตั้งท้อง (mid-gestation) ไปจนถึงระยะตัวอ่อน (fetal phase) เช่นเดียวกับในสัตว์กระเพาะรวม (Du *et al.* 2015) ซึ่งจะมีการ

เพิ่มจำนวนของ adipocyte cells และมีการเพิ่มขนาดเพียงเล็กน้อย ในช่วง 1 ใน 2 ของระยะสุดท้ายของการตั้งท้องจนถึงระยะก่อนคลอดจะมีการเจริญพัฒนาของระบบหลอดเลือดภายในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Lawrence *et al.* 2012)

ทั้งนี้ adipocyte ในระยะตัวอ่อนและ endothelial mesenchymal cell ซึ่งพัฒนามาจาก mesenchymal cells ที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นกระดูกอ่อน กระดูก กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อไขมันได้ แต่เนื้อเยื่อไขมันจะมีการเจริญพัฒนาที่ช้ากว่าในระยะตั้งท้อง โดยบริเวณที่มีการสังเคราะห์เนื้อเยื่อไขมันจะเริ่มต้นจากบริเวณที่มีหลอดเลือดใน loose connective tissue ทั้งนี้ adipocyte ประกอบด้วย small lipid droplets แล้วจากนั้นจะเกิด fetal adipose growth คือ primarily hyperplasia หรือการเพิ่มจำนวนเซลล์ จากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันภายใน lipid droplets เมื่อสัตว์มีการเจริญเติบโต (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ระยะเวลาในพัฒนากล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมันของสุกร
ที่มา : ดัดแปลงจาก Du *et al.* (2015)

สำหรับในสุกรเริ่มจากการมี loose connective tissue ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous fat) โดยการสะสมไขมันของสุกรในระยะก่อนคลอดเริ่มจาก subcutaneous adipose tissue fiber จะเริ่มพัฒนาในวันที่ 45-50 ของการตั้งท้อง โดยในระยะนี้จะไม่มีการสะสมไขมันมาสะสม แม้ว่าโปรตีน PPAR γ จะมีการแสดงออกแล้วก็ตาม จากนั้นเมื่อครบ 60 วันของการตั้งท้อง small lipid droplets จะถูกเติมด้วยไขมันซึ่งจะมีการพัฒนาจากส่วนท้องไปด้านหลังของลำตัว จากนั้น 70-90 วันของการตั้งท้องเนื้อเยื่อไขมันจะมีการปรากฏอย่างชัดเจน ขณะที่เมื่อครบ 105 วันของการตั้งท้อง adipocytes ในระยะตัวอ่อน (fetal phase) จะมีลักษณะเป็น multilocular adipocyte ทั้งหมดคล้าย brown fat ในขณะที่ PPAR γ จะมีการแสดงออกมากขึ้น ส่งผลให้ lipogenic enzyme active จึงเกิดการย่อยผนังของ small lipid droplets และเกิดการเชื่อมกันกลายเป็น single lipid droplets ส่งผล

ให้ adipocytes อยู่ในระยะใกล้เป็น mature white adipocytes ขณะที่การแสดงออกของ C/EBPs จะยังไม่ปรากฏในระยะใกล้คลอด (Lawrence *et al.* 2012) เมื่อแรกเกิด adipocyte จะมีลักษณะเป็น multilocular adipocyte จากนั้นจะเปลี่ยนเป็น unilocular adipocyte กลายเป็น mature white adipocytes อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบว่า brown fat ในสัตว์แรกเกิดจะมีการเปลี่ยนเป็น white fat ที่ประมาณ 7-10 วันหลังคลอด

เมื่อสัตว์เกิดใหม่ adipose tissue จะมีการเจริญอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการขยายขนาด (hypertrophy) ของเซลล์ไขมันขนาดเล็ก ซึ่งมีการพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะในระหว่างช่วงสุดท้ายของการตั้งท้อง (Lawrence *et al.* 2012)

Lawrence *et al.* (2012) กล่าวว่าในสุกรทั้ง hyperplasia และ hypertrophy ส่งเสริมให้เกิดการกักเก็บไขมันในร่างกาย และการพัฒนาของเซลล์ให้มีลักษณะจำเพาะอย่างต่อเนื่องของ pre-adipocytes ไปเป็น adipocytes ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการขุน ปริมาณไขมันที่กักเก็บจะเพิ่มโดย hypertrophy หรือการขยายขนาดเป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อสัตว์แรกเกิดจะมีอัตราการเกิด hyperplasia หรือการเพิ่มจำนวนเซลล์ลดลงแต่มี hypertrophy เพิ่มขึ้นตามอายุที่มากขึ้น ทั้งนี้ hyperplasia มีความสัมพันธ์อย่างมากกับ hypertrophy เนื่องจากการสะสมไขมันในร่างกายสัตว์เริ่มต้นจาก hyperplasia คือการเพิ่มจำนวนเซลล์ไขมันตั้งแต่ร่างกายมีการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้นในอนาคต ทั้งนี้ระยะของการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อโดย adipocytes จะขยายตัวเมื่ออายุมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขุน ซึ่งเป็นช่วงที่ adipocytes มีการเพิ่มจำนวนที่ช้าลงแต่มีการขยาย adipocytes ที่สูง (ภาพที่ 2.10) ดังนั้นจะเห็นว่า adipocytes นั้นมีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

ทั้งนี้การสะสมไขมันในสุกรและโคจะมี lipogenic activity ที่บริเวณ subcutaneous adipose tissue มากกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้การเพิ่มจำนวนของเซลล์จะมีความสำคัญอย่างมากที่ 2 เดือนหลังคลอด ขณะที่การเจริญของ mature adipocytes แบบการขยายขนาดเซลล์ให้ใหญ่ขึ้นจะมีความสำคัญอย่างมากเมื่อสุกรมีอายุ 5 เดือน หรือ 150 วัน (Lawrence *et al.* 2012) ดังแสดงในภาพที่ 2.10

การเจริญและพัฒนาของไขมันแทรกมีความสำคัญต่อความน่ารับประทานของเนื้อ ซึ่งในระยะการเจริญเติบโตของตัวอ่อนซึ่งเป็นระยะสุดท้ายก่อนคลอดและระยะแรกเกิดเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้าง adipocytes ในกล้ามเนื้อ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อในระยะขุน (Du *et al.* 2015) ทั้งนี้การสะสมไขมันในสัตว์มีอิทธิพลมาจากพันธุกรรม อาหารและโภชนาที่แม่ได้รับ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Lawrence *et al.* 2012; Du *et al.* 2010)

ในขณะที่สัตว์เติบโตขึ้นไปเรื่อยๆ เนื้อเยื่อไขมันในร่างกายสัตว์ก็จะเติบโตและพัฒนาไปด้วยเช่นกัน และเนื่องจากเซลล์ไขมันจะมีอยู่ทั่วร่างกายของสัตว์ ประกอบกับอาหารที่สัตว์กินเข้าไปก็ใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการเติบโตตลอดจนเหลือใช้จากกิจกรรมต่างๆ จึงมีการสะสมไขมันในร่างกายสัตว์อยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปแล้วในสภาวะที่สารอาหารพอเพียงลำดับการสะสมไขมัน

ภายในร่างกายสัตว์จะเริ่มสะสมที่บริเวณโดยรอบอวัยวะภายในและไต (kidney fat) และช่องท้อง (visceral fat หรือ abdominal fat) ไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous fat) ไขมันแทรกระหว่างมัดกล้ามเนื้อ (intermuscular fat) และไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อ (intramuscular fat) หรือไขมันแทรก (marbling) ซึ่งจะถูกระบุเป็นลำดับสุดท้ายของร่างกายโดยสะสมที่บริเวณเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มมัดของเส้นใยกล้ามเนื้อชั้นในหรือเพอร์ริไมเซีย (Du *et al.* 2015) การสะสมของไขมันจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในขณะที่สัตว์เจริญเติบโตและเมื่อโตเต็มที่แล้ว เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองแก่สัตว์ ซึ่งเนื้อเยื่อไขมันจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา โดยจะสลายตัวเพื่อให้พลังงานเมื่อสัตว์ขาดอาหารและจะกลับมาสะสมไขมันได้อีกเมื่อได้รับอาหารสมบูรณ์

2.3.2 ไขมันแทรกกับคุณภาพด้านการบริโภค

ไขมันแทรกเป็นไขมันที่สะสมอยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อบริเวณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มเส้นใยกล้ามเนื้อหรือเอนโดไมเซีย และที่ห่อหุ้มมัดของเส้นใยกล้ามเนื้อชั้นในหรือเพอร์ริไมเซีย สามารถมองเห็นเป็นจุดหรือเส้นสีขาวภายในกล้ามเนื้อ Jeremiah (1998) กล่าวว่าไขมันแทรกคือไขมันที่อยู่ภายในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่สามารถพิจารณาได้จากสายตา (visible intramuscular fat) การสะสมของไขมันแทรกในส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์จะเกิดขึ้นไม่เท่ากัน โดยจะมีปริมาณการสะสมจากส่วนหัวไปยังส่วนท้ายของลำตัว และไขมันจะถูกสะสมในร่างกายเป็นลำดับสุดท้าย แต่จะถูกนำไปใช้เป็นอันดับแรกเมื่อร่างกายขาดแคลนพลังงาน (Chambaz *et al.* 2003) โดยการสะสมไขมันของสัตว์ได้รับอิทธิพลมาจากพันธุกรรมเป็นปัจจัยสำคัญ (King *et al.* 2005) ซึ่งปริมาณไขมันแทรกมีค่าอัตราพันธุกรรม (heritability; h^2) ประมาณ 0.4-0.6 (Cameron. 1990) หมายถึงการถ่ายทอดลักษณะการสะสมไขมันแทรกในสัตว์สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่สู่ลูกได้ 40-60 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณไขมันแทรกมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุกร (Cannata *et al.* 2010) ทั้งนี้ปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับคุณภาพด้านการบริโภค (Verbeke *et al.* 1999) และการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อสุกร (Brewer *et al.* 2001) โดย Savell and Cross (1988) พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกรที่มีปริมาณไขมัน (crude fat) ประมาณ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเนื้อจะมีความนุ่มรับประทานมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางระหว่างคะแนนไขมันแทรก (marbling score) กับความนุ่มรับประทานของเนื้อสัตว์ (Kim and Lee. 2003; Rincker *et al.* 2008) และปริมาณไขมันที่ปรากฏ (visual fat) ขณะที่บางรายงานแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ในทางลบระหว่างความนุ่มของเนื้อสุกรกับปริมาณไขมันแทรก (Cannata *et al.* 2010) แต่จากการศึกษาของ Brewer *et al.* (2001) พบว่าในเนื้อสันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกสูง ความพึงพอใจโดยรวมต่อชิ้นเนื้อและการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคชาวสหรัฐอเมริกาจะน้อยกว่าเนื้อ

สันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกต่ำ คือ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำมากกว่าเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกสูง

ในทางตรงกันข้าม O'Mahoney *et al.* (1992) รายงานว่าผู้บริโภคชาวไอร์แลนด์มีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำ สอดคล้องกับ Kim and Lee (2003) ซึ่งทำการศึกษาในเนื้อโค Hanwoo ซึ่งเป็นโคพื้นเมืองของประเทศเกาหลี พบว่าผู้บริโภคชาวเกาหลีได้ชอบเนื้อโคที่มีไขมันแทรกสูง ซึ่งจะเห็นได้จากคะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส (sensory attributes) เช่น ความนุ่ม (tenderness) ความชุ่มน้ำ (juiciness) และกลิ่นรสของเนื้อ (flavor) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันแทรกมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่าแรงตัดผ่านของเนื้อโค โดยค่าแรงตัดผ่านมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น (เนื้อนุ่มขึ้น) Smith and Carpenter (1974) อ้างโดย Savell and Cross (1988) กล่าวว่าไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับความนุ่มและความน่ารับประทานของเนื้อโดยสามารถอธิบายได้จากทฤษฎีของไขมันแทรก ดังนี้

1. bite theory โดยทั่วไปพบว่าไขมันแทรกมีความหนาแน่นต่ำกว่าโปรตีนในเนื้อ แต่หากมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเพิ่มขึ้น ไขมันจะไปแทนที่โปรตีนภายในกล้ามเนื้อ และไขมันแทรกจะไปลดความหนาแน่นโดยรวมของเนื้อ จึงทำให้เมื่อกัดเนื้อจะรู้สึกวุ้นกว่าเนื้อที่มีความนุ่มเพิ่มขึ้น

2. strain theory ทฤษฎีนี้เกี่ยวข้องกับการลดลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นในที่ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อ เนื่องจากไขมันแทรกจะถูกสะสมที่เนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นใน (เพอร์ริไมเซียม) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มมัดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (เอนโดไมเซียม) ดังนั้นในเนื้อที่มีการสะสมไขมันแทรกสูง ไขมันแทรกจะไปเบียดบังพื้นที่ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้ความหนาและความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลง เนื้อจึงมีความนุ่มมากขึ้น

3. lubrication theory โดยไขมันแทรกที่อยู่บริเวณภายในและโดยรอบกล้ามเนื้อ เมื่อเนื้อได้รับการปรุงสุกไขมันแทรกในเนื้อจะหลอมละลาย และจะไปเคลือบทั่วเส้นใยกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มและความชุ่มน้ำมากขึ้น ดังนั้นเนื้อที่นุ่มก็อาจมีความชุ่มน้ำด้วยเช่นกัน

4. insurance theory การที่เนื้อมีไขมันแทรกในระดับสูงทำให้สามารถผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลานานหรือใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยอาจไม่ส่งผลเสียต่อความน่ารับประทานของเนื้อ หรืออาจมีผลกระทบน้อย

จากการศึกษาของ Cannata *et al.* (2010) ซึ่งทำการศึกษาในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรจำนวน 53 เส้นที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 คะแนนไขมันแทรกน้อยกว่า 1.5 (MB1) กลุ่มที่ 2 คะแนนไขมันแทรก 1.5-4.0 (MB2) และกลุ่มที่ 3 คะแนนไขมันแทรกมากกว่า 4.0 (MB3) ตามระบบ NPPC (1999) ของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อดิบและสุกมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไขมันแทรกที่ปรากฏ (visual marbling) ขณะที่ปริมาณโปรตีนในเนื้อมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย MB3 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่า MB2 และ MB1

ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.60 23.58 และ 23.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อไขมันเพิ่มขึ้นส่งผลให้โปรตีนลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณวัตถุแห้งและเถ้าไม่แตกต่างกัน และพบว่า การทำให้สุกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อ โดยปริมาณวัตถุแห้ง ไขมัน และโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเนื้อผ่านการปรุงสุก โดยเนื้อที่ผ่านการปรุงสุกจะมีการสูญเสียน้ำทำให้อัตราส่วนของส่วนประกอบทางเคมีมีค่าเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.7) อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยไม่ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของเนื้อสุกรดิบและเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกในทางสถิติ

ตารางที่ 2.7 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสันนอกสุกร

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			p-value
	น้อย (n=26)	ปานกลาง (n=11)	มาก (n=15)	
เนื้อดิบ				
วัตถุแห้ง (%)	28.00	28.37	28.31	0.626
โปรตีน (%)	23.52 ^b	23.58 ^b	22.60 ^a	0.012
ไขมัน (%)	1.96 ^b	2.50 ^b	3.56 ^a	0.001
เถ้า (%)	1.15	1.20	1.16	0.707
เนื้อสุก				
วัตถุแห้ง (%)	36.12	35.92	35.33	0.771
โปรตีน (%)	30.65 ^a	30.92 ^a	29.28 ^b	0.037
ไขมัน (%)	2.80 ^b	3.46 ^b	4.84 ^a	0.001
เถ้า (%)	1.44	1.36	1.31	0.272

^{a,b} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ NPPC (1999)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Cannata *et al.* (2010)

จากตารางที่ 2.8 เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณไขมันแทรกที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร พบว่าค่า pH ของ MB3 (5.62) และ MB2 (5.57) มีค่าสูงกว่า MB1 (5.45) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาของ MB3 ที่มีค่าเท่ากับ 2.47 เปอร์เซ็นต์ และ MB2 ที่มีค่าเท่ากับ 2.69 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า MB1 ที่มีค่าเท่ากับ 4.53 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่า pH ลดลงโปรตีนภายในกล้ามเนื้อจะมีความสามารถในการจับน้ำได้ลดลง น้ำภายในเนื้อจึงสูญเสียนอกมามากกว่าเนื้อที่มีค่า pH สูง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าแรงตัดผ่าน การสูญเสีย น้ำหนักในระหว่างการปรุงสุก ปริมาณคอเลสเตอรอล (cholesterol) การเกิดออกซิเดชันของไขมัน

ในเนื้อ (thiobarbituric acid reactive substances; TBARS) ค่าสีของเนื้อ คือ ค่าความสว่าง (lightness; L^*) ค่าสีแดงหรือสีเขียว (redness/greenness; a^*) และค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellowness/blueness; b^*) ทั้งในเนื้อดิบหรือเนื้อสุกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกกลุ่มทดลอง (Cannata *et al.* 2010)

ตารางที่ 2.8 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อคุณภาพเนื้อและคอเลสเตอรอลในเนื้อสันนอกสุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			p-value
	น้อย (n=26)	ปานกลาง (n=11)	มาก (n=15)	
pH	5.45 ^b	5.57 ^a	5.62 ^a	0.001
สีที่ปรากฏ ²⁾	2.83	3.01	3.03	0.715
ค่าความสว่าง (lightness; L^*)	53.31	53.65	54.10	0.754
ค่าสีแดง (redness/greenness; a^*)	17.75	17.11	17.08	0.167
ค่าสีเหลือง (yellowness/blueness; b^*)	5.51	5.47	5.86	0.456
ค่าแรงตัดผ่าน (N)	18.09	17.00	14.41	0.156
การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุงสุก (%)	15.87	14.42	12.87	0.109
การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา (%)	4.53 ^a	2.69 ^b	2.47 ^b	0.049
TBARS ในเนื้อดิบ (mg MDA/kg meat) ³⁾	0.21	0.20	0.20	0.947
TBARS ในเนื้อสุก (mg MDA/kg meat) ³⁾	1.80	2.61	3.18	0.235
คอเลสเตอรอลในเนื้อดิบ (mg/g)	1.09	1.06	1.02	0.801
คอเลสเตอรอลในเนื้อสุก (mg/g)	1.13	0.99	1.15	0.384

^{a,b} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ NPPC (1999)

²⁾ การประเมินค่าสีที่ปรากฏโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนตามระบบ NPPC (1999)

³⁾ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) คือ การวัดค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อจากปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในเนื้อ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Cannata *et al.* (2010)

จากตารางที่ 2.9 Li *et al.* (2006) ซึ่งทำการศึกษาเนื้อสันนอกโคดิบและสุกที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ไขมันแทรกน้อย (slight-to-small) ไขมันแทรกปานกลาง (modest-to-moderate) และไขมันแทรกมาก (abundant) ตามระบบ United states department of agriculture (USDA) ปี 1997 พบว่าเนื้อโคสดที่มีไขมันแทรกมากขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ไขมันภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ขณะที่ความชื้นมีค่าลดลง ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกกับคุณภาพเนื้อ พบว่าระดับไขมันแทรกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณ

คอลลาเจนทั้งหมด (total collagen, $p < 0.05$) และคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้ (insoluble collagen, $p < 0.05$) ซึ่งเป็นการคิดแบบเอาไขมันออกทั้งหมด (non-fat dry basis) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกมากมีปริมาณ total collagen และ insoluble collagen มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ($p < 0.05$) แต่เมื่อทำการปรับคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง (dry basis) หรือเนื้อที่มีความชื้น (wet basis) พบว่าระดับของไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณ total collagen และ insoluble collagen ($p > 0.05$)

ขณะที่ Kim and Lee (2003) รายงานว่าเกรดคุณภาพของเนื้อโคและแกะเนนไขมันแทรกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณ total collagen ในกล้ามเนื้อสันนอกโค แต่เมื่อคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้งและเอาไขมันออกจะพบว่าระดับไขมันแทรกมีอิทธิพลต่อปริมาณ total collagen และ insoluble collagen ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นและไขมันภายในกล้ามเนื้อมีส่วนสำคัญในการลดความแตกต่างกันของปริมาณคอลลาเจนในเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์การละลายได้ของคอลลาเจน (collagen solubility percentage) ของเนื้อโค

จากการศึกษาของ Li *et al.* (2006) พบว่า collagen solubility percentage มีค่าลดลงเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$, ตารางที่ 2.9) โดย collagen solubility percentage ของเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย และเนื้อโคที่มีไขมันแทรกปานกลางมีค่าสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.2 19.0 และ 11.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากเมื่อมีการสะสมไขมันแทรก เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นด้วย คือ มี mature crosslinks มากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันภายในกล้ามเนื้อ (intramuscular connective tissue; IMCT) พบว่าเนื้อโคสดในกลุ่มที่มีไขมันแทรกน้อยต้องใช้ค่าแรงตัดผ่าน IMCT มาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.4 นิวตัน และมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในกล้ามเนื้อที่มีความหนาและความแข็งแรงมากกว่า เพราะใช้แรงมากกว่าในการตัด โดยเนื้อโคที่มีไขมันแทรกมากมีค่าแรงตัดผ่าน IMCT เท่ากับ 4.9 นิวตัน และเนื้อโคที่มีไขมันแทรกปานกลางมีค่าแรงตัดผ่าน IMCT เท่ากับ 4.2 นิวตัน ตามลำดับ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากการเจริญและพัฒนาของไขมันแทรกจะมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน คือ โครงสร้างของเพอร์ริไมเซียจะเสียสภาพไป (disorganized) ทั้งนี้ Smith and Carpenter (1974) อ้างโดย Savell and Cross (1988) กล่าวว่าเนื้อที่มีการสะสมไขมันแทรกสูงไขมันแทรกจะไปเบียดบังพื้นที่ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้ความหนาและความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลง เนื้อจึงมีความนุ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2.9 จากการศึกษาของ Li *et al.* (2006) พบว่าค่าแรงตัดผ่านของเนื้อสันนอกโคสุกที่มีปริมาณไขมันแทรกปานกลางมีค่า 4.53 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและไขมันแทรกสูงมีค่า 4.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีย่าน้อยกว่าเนื้อโคที่มีไขมันแทรกน้อยที่มีค่าแรงตัดผ่านเท่ากับ 7.21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและสูงจึงมีความนุ่มมากกว่า ($p < 0.05$) สอดคล้องกับเนื้อโคสุกที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกสูงมีความยาวชาร์โคเมียร์ 2.05 และ 1.96 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความยาวกว่าเนื้อโคสุกที่มีไขมันแทรก

น้อยซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.81 ไมโครเมตร ($p < 0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อของเนื้อสันนอกโคสุกพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2.9 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกโคดิบและผ่านการทำให้สุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾		
	น้อย (n=7)	ปานกลาง (n=7)	มาก (n=7)
เนื้อดิบ			
ความชื้น (%)	72.6 ^a	68.3 ^b	61.8 ^c
ไขมัน (%)	2.2 ^c	3.7 ^b	4.8 ^a
คอลลาเจนทั้งหมด (g/kg)	17.3 ^b	21.7 ^a	22.6 ^a
คอลลาเจนที่ละลายไม่ได้ (g/kg)	13.6 ^b	16.8 ^{ab}	19.8 ^a
คอลลาเจนที่ละลายได้ (%)	19.2 ^a	19.0 ^a	11.3 ^b
IMCT strength ²⁾ (N)	6.4 ^a	4.2 ^b	4.9 ^b
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (μm)	41.3 ^b	45.0 ^a	44.9 ^a
ความยาวซาร์โคเมอร์ (μm)	2.4 ^b	2.7 ^a	2.5 ^b
เนื้อสุก			
ความชื้น (%)	64.3 ^a	60.8 ^b	59.6 ^b
ไขมัน (%)	2.1 ^c	3.6 ^b	4.1 ^a
คอลลาเจนทั้งหมด (g/kg)	15.7 ^b	18.1 ^a	18.8 ^a
คอลลาเจนที่ละลายไม่ได้ (g/kg)	14.0 ^b	16.0 ^a	15.7 ^a
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (μm)	29.5	29.9	30.7
ความยาวซาร์โคเมอร์ (μm)	1.81 ^b	2.05 ^a	1.96 ^a
ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (kg)	7.21 ^a	4.53 ^b	4.73 ^b
การสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุก (%)	21.0 ^a	14.0 ^b	11.4 ^c

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ USDA (1997)

²⁾ IMCT strength คือ ค่าแรงตัดผ่าน intramuscular connective tissue (N)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Li *et al.* (2006)

อย่างไรก็ตาม Ngapo *et al.* (2007) กล่าวว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันแทรกกับความน่ารับประทานของเนื้อสัตว์นั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการบริโภคในแต่ละประเทศ เช่น ผู้บริโภค

ในเอเชีย (ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเกาหลี) มีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อที่มีไขมันแทรก ขณะที่ผู้บริโภคในยุโรปและสหรัฐอเมริกามีความต้องการในการบริโภคเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความพึงพอใจของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน

จากการศึกษาของ Cannata *et al.* (2010) ซึ่งทำการศึกษาในกลุ่มเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 คะแนนไขมันแทรกน้อยกว่า 1.5 (MB1) กลุ่มที่ 2 คะแนนไขมันแทรก 1.5-4.0 (MB2) และกลุ่มที่ 3 คะแนนไขมันแทรกมากกว่า 4.0 (MB3) ตามระบบ NPPC (1999) พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนให้คะแนนความนุ่ม MB3 และ MB2 มากกว่า MB1 ($p<0.01$) ขณะที่ MB3 มีคะแนนความชุ่มฉ่ำมากกว่า MB1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงจะมีคะแนนความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย (ตารางที่ 2.10)

ตารางที่ 2.10 อิทธิพลของไขมันแทรก¹⁾ ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส²⁾ ของเนื้อสันนอกสุกรโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (mean±SEM³⁾)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			p-value
	น้อย (n=26)	ปานกลาง (n=11)	มาก (n=15)	
คะแนนความนุ่ม	3.88±0.17 ^a	4.80±0.22 ^b	5.35±0.24 ^b	0.001
คะแนนความชุ่มฉ่ำ	3.69±0.21 ^a	4.32±0.26 ^{ab}	4.87±0.26 ^b	0.017
คะแนนกลิ่นรสไม่พึงประสงค์	7.47±0.09	7.44±0.09	7.43±0.12	0.969

^{a,b} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

¹⁾ การประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญตามระบบ NPPC (1999)

²⁾ คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนใช้ระบบ 8 คะแนน-hedonic scale

³⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Cannata *et al.* (2010)

ในทางตรงกันข้ามกับ Brewer *et al.* (2001) ซึ่งทำการศึกษาในเนื้อสันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันแตกต่างกัน คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไขมันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 2.0-2.5 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 3.0-3.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏของเนื้อผู้บริโภคมีการยอมรับได้โดยรวมต่อลักษณะปรากฏของเนื้อและมีความพึงพอใจในการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำและปานกลางมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ($p<0.05$) แต่ผู้บริโภค

ให้คะแนนความชอบในการบริโภคด้านความชุ่มฉ่ำ ความนุ่ม กลิ่นรส และความมันของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Ngapo *et al.* (2012) ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของไขมันแทรกต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย โดยมีคะแนน NPPC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.00 กลุ่มที่ 2 เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง ซึ่งมีคะแนน NPPC เท่ากับ 2.25-2.75 และกลุ่มที่ 3 เนื้อที่มีไขมันแทรกมาก คือ คะแนน NPPC มากกว่าหรือเท่ากับ 3.00 พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผล ($p > 0.05$) ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสซึ่งประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน แต่พบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างคะแนนไขมันแทรกที่ได้จากการประเมินกับรสหวาน ($r = 0.20$, $p < 0.05$) ในเนื้อสันนอกสุกที่ผ่านการทำให้สุกโดยวิธีการย่าง (grill) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างปริมาณไขมันแทรกกับกลิ่นรสเนื้อ (meat flavor; $r = 0.27$) และรสเค็ม (salty taste; $r = 0.23$) ในเนื้อสันนอกสุกที่ผ่านการทำให้สุกโดยวิธีการอบ (roast) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเนื้อได้รับความร้อนจะมีสารประกอบภายในเนื้อที่ระเหยได้ (volatile products) ถูกปลดปล่อยออกมา ส่งผลให้เนื้อมีกลิ่นรสเนื้อ

2.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluations)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสประกอบด้วยเทคนิคต่างๆ ที่ใช้เพื่อตรวจสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยใช้การตอบสนองจากคน (human responses) ที่มีต่ออาหารหรือลักษณะที่ศึกษา ดังนั้นการศึกษากการประเมินทางประสาทสัมผัสต่อคุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสุกจึงมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาคุณภาพเนื้อสุก ทั้งในด้านการพัฒนาสายพันธุ์ การจัดการระบบการเลี้ยง และการจัดการอาหารที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อทั้งคุณภาพด้านการบริโภคและการยอมรับได้ของผู้บริโภค เพื่อให้เข้าใจถึงคุณลักษณะของเนื้อที่ได้จากเนื้อสุกที่มีความแตกต่างกัน (Miller, 1998) โดยการประเมินทางประสาทสัมผัส คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวัดผล วิเคราะห์และอภิปรายผลที่ได้จากการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยผ่านทางระบบการรับสัมผัส ได้แก่ การมองเห็น การดมกลิ่น การสัมผัส การชิม และการได้ยินเสียง โดยทั่วไปการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสามารถทำการทดสอบได้จากกลุ่มผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝนมาก่อน (trained panelists) และกลุ่มผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน (untrained panelists หรือ consumer panelists) สำหรับผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝนจะสามารถให้คะแนนเป็นระดับคะแนนในแต่ละลักษณะ (attribute) เช่น ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และกลิ่นรส เป็นต้น ขณะที่ผู้บริโภคทั่วไปจะให้ข้อมูลที่บอกถึงการยอมรับได้ ความชอบ (consumer preference) และความพึงพอใจของผู้บริโภค (consumer acceptance) ที่มีต่อเนื้อ โดยผู้บริโภคจะประเมินจากความรู้สึกและการรับรู้ส่วนตัวเป็นหลัก การแสดงและการประเมินของผู้บริโภคอาจจะแตกต่างจากผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว (ไพโรจน์

วิจัยาริ. 2545) สำหรับวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส ไพโรจน์ วิจัยาริ (2545) กล่าวว่าสามารถแบ่งวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสได้ 3 วิธี ตามวัตถุประสงค์ คือ

1) การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ (difference หรือ discrimination test) หมายถึง การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบหาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยผู้ประเมิน สามารถแยกหาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่เสนอได้ โดยการทดสอบหาความแตกต่างนี้อาจจะหาความแตกต่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพโดยรวม เช่น การทดสอบเปรียบเทียบเป็นคู่ (pair comparison test) triangle test duo-trio test การทดสอบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (difference from control test) และการทดสอบเปรียบเทียบหลายตัวอย่าง (multiple comparison test)

2) การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive test) เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการบรรยายลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝนมาเป็นอย่างดี ทั้งนี้การทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้ (เพ็ญขวัญ ชุมปรีชา. 2556)

2.1) ลักษณะทางประสาทสัมผัส คือ ลักษณะที่รับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัส เช่น ตา จมูก ลิ้น หู และผิวหนัง โดยผู้ทดสอบต้องบรรยายลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยละเอียด ได้แก่

ลักษณะปรากฏ (appearance) เช่น สี ขนาด รูปร่าง และผิวสัมผัส

กลิ่น (aroma) เป็นความรู้สึกที่รับรู้ทางจมูก เช่น ลักษณะกลิ่นเฉพาะของตัวอย่าง

กลิ่นรส (flavor) เป็นความรู้สึกภายในปากด้านรสทั้ง 5 ได้แก่ หวาน เปรี้ยว ขม และอูมามิ ความรู้สึกถึงกลิ่นเฉพาะที่ได้รับจากปากเข้าสู่โพรงจมูก เช่น กลิ่นหืน กลิ่นหอม กลิ่นเหม็น และความรู้สึกทางเคมีภายในปาก เช่น ร้อน เย็น เผ็ด เป็นต้น

เนื้อสัมผัส (texture) เป็นความรู้สึกที่ผิวสัมผัสในปากซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ เช่น แข็ง ข้น หนืด ลักษณะทางเรขาคณิตของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนาด รูปร่าง และการเกาะตัวของอนุภาคในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เป็นชิ้น ผง แผ่นหรือเกล็ด และลักษณะความมันของผลิตภัณฑ์ เช่น มัน ไข ฉ่ำ แห้ง เป็นต้น

2.2) ปริมาณหรือความเข้ม (intensity) ของแต่ละลักษณะที่พบในตัวอย่างมีค่าเชิงปริมาณ ตามมาตรฐานสากล สเกลที่นิยมใช้ได้แก่ สเกลแบ่งชั้น (category scale) สเกลเส้นตรง (linear scale) หรือสเกลประมาณค่า (magnitude estimation scale) เป็นต้น

2.3) ลำดับการรับรู้

2.4) ความรู้สึกโดยรวม (overall impression) เป็นความรู้สึกที่ผู้ประเมินรวบรวมได้หลังการทดสอบ เช่น ความเข้มของกลิ่นหรือกลิ่นรสโดยรวม และความสมดุลหรือผสมกลมกลืนกันของกลิ่น

ต่างๆ ในตัวอย่างทดสอบ ทั้งนี้ประเมินความรู้สึกรวมเฉพาะในการทดสอบด้วยการทดสอบ
เค้าโครงทางด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ (flavor profile)

เพ็ญขวัญ ชมปรีชา (2556) กล่าวว่าในการทดสอบทางประสาทสัมผัส มีขั้นตอนโดยเริ่มจาก
ให้ผู้ทดสอบประเมินและบันทึกความรู้สึกลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ที่รับรู้ได้จาก
ผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการพัฒนาหรือกำหนดคำศัพท์แล้วจัดกลุ่มแต่ละคำศัพท์ตามลักษณะที่ประเมิน
เช่น ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส กำหนดคำจำกัดความที่ใช้อธิบายแต่ละลักษณะทาง
ประสาทสัมผัสที่ได้ พร้อมกำหนดวิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้เปรียบเทียบ แล้วจัดลำดับของ
การรับรู้แต่ละลักษณะพร้อมทั้งกำหนดสเกลคะแนน และฝึกฝนให้ผู้ทดสอบคุ้นเคยกับตัวอย่าง
อ้างอิง จึงเริ่มทำการทดสอบตัวอย่าง จากนั้นรวบรวมข้อมูลและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3) การทดสอบเพื่อหาความชอบหรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ (preference หรือ acceptance
test) เป็นวิธีการที่วัดความชอบ หรือวัดจากความชอบที่ใกล้เคียงกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่กำลัง
ทดสอบ วัดจากความรู้สึกล้วนตัวของผู้ทดสอบชิมที่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลัง
ทดสอบ ซึ่งเป็นการวัดความชอบจากความรู้สึกล้วนตัวของผู้บริโภคที่ไม่มีการฝึกฝน หรือผู้บริโภค
ทั่วไป เช่น วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างแบบคู่ (paired comparisons methods) วิธีใช้สเกลความชอบ
(scoring methods) และวิธีการเรียงลำดับ (ranking methods)

สำหรับการทดสอบผู้บริโภค (consumer test) เป็นวิธีการที่วัดความชอบของผู้บริโภคต่อ
ตัวอย่างที่กำลังทดสอบ โดยวัดจากความรู้สึกล้วนของผู้ทดสอบต่อตัวอย่าง ซึ่งการทดสอบผู้บริโภคนี้
สามารถเป็นการวัดความชอบจากความรู้สึกล้วนของผู้บริโภคที่ไม่มีการฝึกฝนหรือผู้บริโภคทั่วไป
ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วการทดสอบผู้บริโภคจึงเป็นการวัดการยอมรับหรือความชอบผลิตภัณฑ์เป็น
หลัก (ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545)

สำหรับเทคนิคทางสถิติที่นิยมใช้ในการศึกษาทางด้านการประเมินลักษณะทางประสาท
สัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคนั้น คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component
Analysis; PCA) เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (cluster analysis) และแผนภาพความชอบ
(preference mapping) เป็นต้น โดยเทคนิค PCA เป็นวิธีการทางสถิติที่สกัดเอาโครงสร้างหรือสิ่งที่
เหมือนกันออกจากเมตริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม หรือเมตริกซ์ของ
ความสัมพันธ์ (correlation matrix) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดตัวแปรที่มีจำนวนมากมาไว้เป็น
กลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก (Principal Component; PC) ที่ลดจำนวนตัวแปรให้น้อยลง ซึ่ง
พิจารณารายละเอียดทั้งหมดจากแต่ละตัวแปร โดยจะรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่ม
เดียวกันหรือองค์ประกอบหลักเดียวกัน ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบเชิงเส้น (linear combination) ของ
ตัวแปรเดิม โดยตัวแปรที่อยู่ในองค์ประกอบหลักจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation
coefficient) สูง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ และแต่ละองค์ประกอบ
หลักจะไม่มีความสัมพันธ์กัน (McNeil *et al.* 2002) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมักใช้ในงาน

พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความชอบ และเพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่องมือกับข้อมูลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (บำรุงรัตน์ รองทอง. 2556) นอกจากนี้ยังสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความชอบของผู้บริโภคกับลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ เชิงพรรณนาโดยเทคนิคการทำแผนภาพความชอบ (preference mapping)

การทำแผนภาพความชอบ หรือแผนผังความชอบเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อแสดงภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางประสาทสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภค สามารถใช้อธิบายลักษณะผลิตภัณฑ์จากความชอบและการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค (Ares *et al.* 2006) ซึ่งวิเคราะห์ได้จากข้อมูลทางประสาทสัมผัสและเครื่องมือโดยการจัดอันดับความชอบของตัวอย่างจากกลุ่มผู้บริโภค โดยแผนภาพความชอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) แผนภาพความชอบภายใน (internal preference mapping) แสดงความชอบของผู้บริโภคกับตัวอย่างที่ทดสอบ เพื่อบอกตำแหน่งของตัวอย่างหรือแบ่งกลุ่มผู้บริโภคที่สัมพันธ์กับลักษณะต่างๆ ที่ทดสอบบนแผนภาพ ทั้งนี้แผนภาพความชอบภายในจะแสดงผลเป็นแผนภาพ 2 มิติ โดยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่อยู่ใกล้กันมีความสัมพันธ์กัน

2) แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) เป็นการให้คะแนนความเข้มของลักษณะตัวอย่างจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา หรือทางกายภาพและมีความสัมพันธ์กับความชอบของผู้บริโภคเพื่อหาลักษณะของตัวอย่าง (Resano *et al.* 2010) การสร้างแผนภาพภายนอกนี้มีความเกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยลดจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและตัวแปรใหม่ยังใช้อธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ได้ ขณะที่เทคนิคการจัดกลุ่ม (cluster analysis) ใช้แบ่งกลุ่มตัวแปรโดยตัวแปรในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์มากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน และอาจใช้เทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้อธิบายตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งในแผนภาพความชอบจะใช้เชื่อมโยงข้อมูลลักษณะทางประสาทสัมผัสกับความชอบของผู้บริโภค เพื่อใช้อธิบายแนวโน้มของความชอบ (Tang. 2000)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางเคมี ทางกายภาพ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการศึกษาความชอบของผู้บริโภคในการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีปริมาณไขมันแทรกต่างกัน มีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเนื้อ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ และวิธีดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 ตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกและการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*; LD) จำนวน 5 รอบ รอบละ 3 ตัวต่อกลุ่ม ทดลองจากสุกรสายพันธุ์ดอร์ค เพศผู้ตอน อายุเข้าฆ่า 24-31 สัปดาห์ น้ำหนักตัวสุดท้ายก่อนเข้าฆ่าเฉลี่ย 110 ± 10 กิโลกรัม ภายใต้ระบบการผลิตของบริษัท เบทาโกร เซฟตี้ มีท แพคกิ้ง จำกัด โดยนำกล้ามเนื้อสันนอกซึ่งและจากซากสุกรที่ผ่านการลดอุณหภูมิในห้องแช่ซาก (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการตัดแต่งส่วนของหนังและไขมันออกให้มีความหนา 2 เซนติเมตร ตัดแบ่งที่บริเวณซี่โครงซี่ที่ 10 และ 11 เพื่อประเมินปริมาณไขมันแทรก จากนั้นจัดกลุ่มเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน 3 ระดับ คือ กลุ่มที่ 1 ไขมันแทรกระดับ 1-2 หรือไขมันแทรกต่ำ (low marbling; LM, n=15) กลุ่มที่ 2 ไขมันแทรกระดับ 3-4 หรือไขมันแทรกปานกลาง (medium marbling; MM, n=15) และกลุ่มที่ 3 ไขมันแทรกระดับ 5-6 หรือไขมันแทรกสูง (high marbling; HM, n=15) ตามระบบ The United States (US) National Pork Board (2011) ซึ่งประเมินปริมาณไขมันแทรกด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญของบริษัทฯ (ภาพที่ 3.1) เทียบกับการพิจารณาจากภาพมาตรฐานไขมันแทรกและมาตรฐานสี และควบคุมให้ได้สีเนื้อไม่แตกต่างกันเกิน 2 ช่วงคะแนนสีตามระบบ US National Pork Board (2011) คือระหว่างคะแนน 3-4 จากนั้นนำกล้ามเนื้อสันนอกที่จัดกลุ่มตามระดับไขมันแทรกแล้วมาตัดแต่งให้มีไขมันหุ้มประมาณ 2 มิลลิเมตรแล้วบรรจุสันนอกในถุงบรรจุสุญญากาศ (polyvinylidene dichloride; PVDC, ความหนา 120 ไมโครเมตร, B.O.T. Co., Ltd., Bangkok, Thailand) ด้วยเครื่องบรรจุสุญญากาศ (Ultravac 2100, UltraSource[®], Missouri, USA) และจุ่มในน้ำร้อนที่ 85.0 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วินาที (Ultra shrink 2818, UltraSource[®], Missouri, USA) จากนั้นบรรจุใส่กล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งจนทั่วกล่องเพื่อควบคุมอุณหภูมิ (1.4 ± 0.8 องศาเซลเซียส, EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) แล้วนำส่งมายังห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ (1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส, EBI 20, Ebro data

logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) ภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



(ก) คะแนนไขมันแทรกระดับ 1-2



(ข) คะแนนไขมันแทรกระดับ 3-4



(ค) คะแนนไขมันแทรกระดับ 5-6

ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน 3 ระดับ ตามระบบ US National Pork Board (2011) คือ (ก) กลุ่มที่ 1 คะแนนไขมันแทรกระดับ 1-2 (ข) กลุ่มที่ 2 คะแนนไขมันแทรกระดับ 3-4 และ (ค) กลุ่มที่ 3 คะแนนไขมันแทรกระดับ 5-6

ในวันถัดมาหรือประมาณ 48 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย นำกล้ามเนื้อสันนอกส่วนหน้า (*Longissimus thoracis*; LT) จากซากซีกซ้ายมาวัดค่า pH และอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสันนอกที่บริเวณซี่โครงซี่ที่ 10-11 จากนั้นตัดแบ่งตามขวางของกล้ามเนื้อออกเป็น 12 ชิ้น ดังนี้ (ภาพที่ 3.2 ก)

ชิ้นที่ 1 หนา 1.5 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการตรวจวัดความยาวซาร์โคเมอร์ (sarcomere length)

ชิ้นที่ 2 หนา 1.5 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber diameter)

ชิ้นที่ 3 หนา 2.0 เซนติเมตร สำหรับตรวจวัดค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา (drip loss)

ชิ้นที่ 4 หนา 1.5 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศ และแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจวัดปริมาณคอลลาเจน (collagen content)

ชิ้นที่ 5 หนา 1.5 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจวัดองค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)

ชิ้นที่ 6 หนา 2.0 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition)

ชิ้นที่ 7 หนา 1.0 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศ และแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจวัดปริมาณกลูตาไธโอน (glutathione)

ชิ้นที่ 8 หนา 1.0 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศ และแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจวัดปริมาณค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ (TBARs value)

ชิ้นที่ 9 หนา 5.0 เซนติเมตร เพื่อใช้วัดค่าสีของเนื้อ และถ่ายภาพสำหรับการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคเมื่อพิจารณาชิ้นเนื้อด้วยสายตา และความตั้งใจซื้อ โดยตัดสันนอกหนา 2.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ตัดเอาไขมันหุ้มออก และตัดแต่งให้มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันที่สุด บรรจุบนถาดโฟมที่มีแผ่นซับเลือด (absorbent pad; BlancTec®, Prachinburi, Thailand) หุ้มด้วยพลาสติกสำหรับห่ออาหาร polyvinyl chloride (PVC, M-Wrap®, MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand) จัดเตรียมรหัสเลขคู่ 3 ตัว เพื่อไว้ใช้ทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคเมื่อพิจารณาชิ้นเนื้อด้วยสายตาต่อความชอบของปริมาณไขมันแทรกและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อ โดยปล่อยให้สัมผัสอากาศ 24 ชั่วโมงภายในตู้แช่เย็นจัดวางจำหน่ายแบบเปิดด้านบน (refrigerated display case; Systemform, Thailand) ที่อุณหภูมิ 3.3 ± 0.5 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เมื่อปล่อยให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายรูป (EOS 700D, Canon, Japan) ระวางการสะท้อนแสง และควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการมองเห็น เพื่อใช้ศึกษาถึงอิทธิพลของไขมันแทรกและความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจของผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อและการรับประทานเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกที่

ต่างกัน โดยภาพเนื้อในแต่ละระดับไขมันแทรกที่ถ่ายจะเป็นตัวแทนของกลุ่มทดลองในแต่ละรอบที่ทำการศึกษา

ชั้นที่ 10 หนา 5 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับตรวจวัดค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลาย (thawing loss) การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการปรุงสุก (cooking loss) และค่าแรงตัดผ่าน (Warner-Bratzler Shear Force; WBSF)

ชั้นที่ 11 หนา 3 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณนิวคลีโอไทด์ในเนื้อที่ผ่านการทำให้สุก (nucleotides; IMP GMP inosine และ hypoxanthine)

จากนั้นนำกล้ามเนื้อสันนอกส่วนหลัง (*Longissimus lumborum*; LL) จากกล้ามเนื้อสันนอกส่วนที่เหลือประมาณ 10 เซนติเมตร (ชั้นที่ 12 ภาพที่ 3.2 ก) ตัดเป็นชิ้นสแต็กหนา 2.5 เซนติเมตร จำนวน 4 ชิ้น บรรจุสุญญากาศแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อสุกที่ผ่านการทำให้สุกด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analysis) เพื่อบรรยายกลิ่น (aroma) กลิ่นรส (flavor) ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ความรู้สึกทางเคมี (chemical feeling) รสชาติ (taste) และกลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) พร้อมทั้งให้คะแนนความเข้มของแต่ละลักษณะโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนและมีความเชี่ยวชาญลงในแบบรายงานการทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุก (ภาคผนวก ค)

กล้ามเนื้อสันนอกซี่กวาง (ชั้นที่ 11 ภาพที่ 3.2 ข) ประมาณ 10 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศและแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับพิจารณาให้คะแนนเนื้อสุกดิบเพื่อบรรยายกลิ่น (aroma) และลักษณะปรากฏ (appearance) คือ คะแนนไขมันแทรกซึ่งพิจารณาจากภาพมาตรฐานไขมันแทรกตามระบบ US National Pork Board (2011) และสีเนื้อโดยใช้ Munsell book (Munsell® Color Services, 2.5R-10G, New Windsor, New York, USA) 7.5R 6/6 (สีอ่อน) 7.5R 5/6 (สีเข้มปานกลาง) และ 7.5R 4/6 (สีเข้ม)

กล้ามเนื้อสันนอกซี่กวาง (ขนาดยาวประมาณ 30 เซนติเมตร) ชั้นที่ 1-10 ใช้ทดสอบผู้บริโภคร (ภาพที่ 3.2 ข) โดยนำกล้ามเนื้อสันนอกจากซากซี่กวางตัดเป็นชิ้นสแต็กหนา 3.5 เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น บรรจุสุญญากาศ และแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการประเมินความชอบของผู้บริโภคในด้านคุณภาพการรับประทาน

Longissimus thoracis

ชั้นที่ 1.sarcomere length	1.5 cm		
ชั้นที่ 2.muscle fiber diameter	1.5 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 3.drip loss	2.0 cm		
ชั้นที่ 4.collagen content	1.5 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 5.fatty acid	1.5 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 6.chemical composition	2.0 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 7.glutathione (GSH)	1.0 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 8.TBARs	1.0 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 9.วัดค่าสีและถ่ายภาพเพื่อใช้ทดสอบความพึงพอใจในการเลือกซื้อ	5.0 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 10.thawing loss / cooking loss / WBSF	5.0 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 11.นิวกลิโอไทด์	3.0 cm	3.5 cm	
ชั้นที่ 12. descriptive analysis : เนื้อสุก	descriptive analysis 10 cm	3.5 cm	
		descriptive analysis 10 cm	ชั้นที่ 11. descriptive analysis : เนื้อดิบ

ชั้นที่ 1-10
consumer
panels

Longissimus lumborum

(ก) สันนอกจากซากซีกซ้าย

(ข) สันนอกจากซากซีกขวา

ภาพที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน
ที่ 48 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย

3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกและความสัมพันธ์ต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเนื้อในโรงเชือดและตัดแต่งสุกร

- 1) อุปกรณ์ในการชำแหละและตัดแต่งซาก (มีด และเขียง)
- 2) แผ่นภาพมาตรฐานการประเมินความเข้มสีและระดับไขมันแทรกของเนื้อสุกรตามระบบ US National Pork Board (2011)
- 3) เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Ultravac 2100, UltraSource[®], Missouri, USA)
- 4) เครื่องจุ่มน้ำร้อนสำหรับจุ่มถุงบรรจุสุญญากาศ (Ultra shrink 2818, UltraSource[®], Missouri, USA) ควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส
- 5) เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany)
- 6) ถุงพลาสติกบรรจุสุญญากาศชนิด polyvinylidene chloride (PVDC; ขนาด 18.5×61 ตารางเซนติเมตร, ฟิล์มหนา 120 ไมโครเมตร, B.O.T. Co., Ltd., Bangkok, Thailand)

2. การประเมินคุณภาพเนื้อ (meat quality evaluation)

- 1) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH meter; model: SG2 - ELK Seven Go™, Mettler-Toledo International Inc., Giessen, Germany) และหัววัดชนิด spear tip-glass electrode (InLab[®] Solids, Mettler-Toledo International Inc., Giessen, Germany)
- 2) เครื่องวัดค่าสี (MiniScan[®] EZ 45/0 LAV, Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA)
- 3) เครื่องวัดค่าแรงตัดผ่าน (model: 2519-104, Instron Universal Testing Machine, Instron Corporation, Massachusetts, USA) พร้อมหัววัด Warner Bratzler Shear
- 4) เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany)
- 5) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath; NBCT7, Labec[®], Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia)
- 6) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer, T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany)

- 7) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (temperature data logger, 175-T3, 176-T4 Testo Inc., Lenzkirch, Germany)
- 8) อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ (thermocouple; ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร, flexible fiberglass Type K, Testo Inc., Lenzkirch, Germany)
- 9) เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Audionvac VMS 153, Audion Elektro[®], Weesp, Netherlands)
- 10) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- 11) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (KD-200, Tanita[®], Tokyo, Japan)
- 12) ตู้แช่เย็นจัดวางจำหน่ายแบบเปิดด้านบน (refrigerated display case; Systemform[®], Bangkok, Thailand) พร้อมแผ่นพลาสติกใสใช้ปิดด้านบนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ
- 13) ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส (SCM-320 SBD, Sanden intercool, Pathumthani, Thailand)
- 14) ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส
- 15) ถุงพลาสติกบรรจุสุญญากาศชนิด K-Nylon/linear low density polyethylene (K-Nylon/LLDPE, Thai flexible pack, Bangkok, Thailand) โดยถุงที่ใช้มีขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 20×30 14×26 และ 10×16 ตารางเซนติเมตร
- 16) พลาสติกสำหรับห่ออาหารชนิด polyvinyl chloride (PVC, M-Wrap[®], MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
- 17) ถาดโฟมขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 14×21 ตารางเซนติเมตร (polystyrene tray; SB-204, SB Pack (888), Bangkok, Thailand)

3. การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสุก (chemical composition analysis)

3.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องสกัดไขมัน (solvent extractor, model: SE-416, Gerhardt analytical system, Königswinter, Germany)
- 2) เครื่องย่อยโปรตีน (protein digestion, Tecator[™] digester, FOSS, Hilleroed, Denmark)
- 3) เครื่องกลั่นโปรตีน (model: Vapodest30, Gerhardt analytical system, Königswinter, Germany)

- 4) เตาเผาไฟฟ้า (muffle furnace; Blue, Thermo Fisher Scientific Inc., Massachusetts, USA)
- 5) ตู้อบลมร้อน (hot air oven; model: FD115, BINDER, Tuttlingen, Germany)
- 6) โถดูดความชื้น (desiccator)
- 7) ถ้วยอะลูมิเนียม (aluminium can)
- 8) ถ้วยกระเบื้อง (crucible)

3.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ตามคำแนะนำของ AOAC International (2000) โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อตามวิธีการ 981.10 เปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อตามวิธีการ 960.39 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเนื้อตามวิธีการ 950.46 และเปอร์เซ็นต์เถ้าในเนื้อตามวิธีการ 920.153

4. การวัดความยาวซาร์โคเมียร์ (sarcomere length)

4.1 อุปกรณ์

- 1) กล้องจุลทรรศน์ compound microscope (model: CX-40, Olympus, Hamamatsu, Japan)
- 2) เครื่อง Helium-Neon Laser (model: SC-31004, IHS Engineering 360, Colorado, USA)
- 3) แท่งแก้ว (stirring rod)
- 4) กระดาษสไลด์ (microscope slides)

4.2 สารเคมี

- 1) potassium chloride (KCl; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 2) dipotassium phosphate (K_2HPO_4 ; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 3) ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt (EDTA; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 4) glutaraldehyde ($C_5H_8O_2$; Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 5) boric acid (H_3BO_3 ; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 6) potassium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4 ; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)

5. การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber diameter)

5.1 อุปกรณ์

- 1) กล้องจุลทรรศน์ compound microscope (model; CX-40, Olympus, Hamamatsu, Japan)
- 2) เครื่องบดละเอียด (model; minipimer MR 430 HC, Moulinex, Bagnolet Cédex, France)
- 3) กล้อง microscope eye-piece camera (Dino-eye AM 7023 B, AnMo electronics corporation, New Taipei City, Taiwan)
- 4) โปรแกรมประมวลผลภาพ DinoCapture 2.0 (version 1.5.16 C, AnMo electronics corporation, New Taipei City, Taiwan)

5.2 สารเคมี

- 1) neutral formalin 40% (RCI Labscan, Bangkok, Thailand)
- 2) sodium chloride (NaCl, Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)

6. การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ (collagen content)

6.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง microplate reader (iMark™, Bio-Rad Laboratories, California, USA)
- 2) เครื่อง homogenizer (Ultra turrax[®] T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany)
- 3) เครื่องบดละเอียด (model: RON-FP 315, Ronic, Charollais, France)
- 4) เครื่องปั่นเหวี่ยง centrifuge (model: Scanspeed 1580R, Labogene, Denmark)
- 5) เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer; KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea)
- 6) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (model: WNB29, memmert, Schwabach, Germany)
- 7) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- 8) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร (Whatman™, Shanghai, China)
- 9) ไมโครปิเปตขนาด 2 20 200 และ 1,000 ไมโครลิตร (micropipette; Gibson, Wisconsin, USA)
- 10) หลอดทดลองขนาด 18×150 มิลลิเมตร

6.2 สารเคมี

- 1) sodium chloride (NaCl; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 2) calcium chloride (CaCl₂; Merck, Darmstadt, Germany)
- 3) citric acid monohydrate (Merck, Darmstadt, Germany)
- 4) 100% acetic acid (Merck, Darmstadt, Germany)
- 5) sodium acetate trihydrate (CH₃COONa.3H₂O; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 6) 98% sodium hydroxide pellets (NaOH; Lobachemie, Mumbai, India)
- 7) isopropanol (Merck, Darmstadt, Germany)
- 8) p-dimethylamino-benzaldehyde (Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 9) 70% perchloric acid (HClO₄; Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 10) 37% hydrochloric acid (HCl; Merck, Darmstadt, Germany)
- 11) activated carbon (AppliChem GmbH, Darmstadt, Germany)
- 12) chloramine T trihydrate (Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 13) potassium chloride (KCl; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)

7. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสัตว์ (fatty acid profile analysis)

7.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่อง homogenizer (Ultra turrax[®] T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany)
- 2) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography; 6890N, Agilent, California, USA)
- 3) เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer; KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea)
- 4) เครื่องบดละเอียด (model: RON-FP 315, Ronic, Charollais, France)
- 5) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- 6) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (KD-200, Tanita[®], Tokyo, Japan)
- 7) เครื่องกลั่นระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศ (rotary evaporator; R-210, Buchi, Flawil, Switzerland)
- 8) เครื่องปั่นเหวี่ยง centrifuge (Rotofix 32, Hettich, Tuttlingen, Germany)

- 9) ถ้วยระเหยสาร (evaporating dish)
- 10) ไมโครปิเปตขนาด 2 20 200 และ 1,000 ไมโครลิตร (micropipette; Gibson, Wisconsin, USA)
- 11) พาราฟิล์ม (parafilm)
- 12) หลอดสกัดตัวอย่าง (extraction tube)
- 13) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (erlenmeyer flask)
- 14) บีกเกอร์ขนาด 100 250 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 15) หลอดก้นกลม (centrifuge tube round bottom) ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 16) ขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 17) ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 18) กรวยกรอง (funnel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 และ 10 เซนติเมตร
- 19) กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร (cylinder)
- 20) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath; NBCT7, Labec[®], Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia)
- 21) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร (Whatman[™], Shanghai, China)
- 22) หลอดฝาเกลียว (screw-cap tube)
- 23) ขวดสีชาขนาด 2.0 มิลลิลิตร (Supelco[®]; autosampler vials; amber glass vial, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)

7.2 สารเคมี

- 1) internal standard (C19:0; Methyl nonadecanoate, AccuStandard, Connecticut, USA)
- 2) Fatty Acid Methyl Ester (F.A.M.E.) Analytical Standards, C4-C24 (Supelco, Sigma-Aldrich, Pennsylvania, USA)
- 3) butylated hydroxytoluene (BHT; Fluka-Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)
- 4) 98% sodium hydroxide pellets (NaOH; Lobachemie, Mumbai, India)
- 5) methanol (CH₃OH; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)
- 6) 14% boron trifluoride-methanol (BF₃; Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 7) hexane (C₆H₁₄; Fisher Scientific, Massachusetts, USA)
- 8) chloroform (CHCl₃; RCI Labscan, Bangkok, Thailand)
- 9) แก๊สไนโตรเจน (Linde, Samutprakan, Thailand)

8. การวิเคราะห์ปริมาณกลูตาไธโอน (glutathione content)

8.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, model; Chromaster, HPLC system, Hitachi, Tokyo, Japan)
- 2) คอลัมน์ ACE C8 (4.6×150 มิลลิเมตร × 5.0 ไมโครเมตร, Advanced chromatography technologies, Aberdeen, UK)
- 3) ตัวกรองก่อนเข้าคอลัมน์ (C8, 4.0×3.0 มิลลิเมตร, Phenomenex Inc, California, USA)
- 4) เครื่อง ultrasonic bath (U500H, Ultrawave, Cardiff, UK)
- 5) เครื่องบดละเอียด (model: RON-FP 315, Ronic, Charollais, France)
- 6) เครื่อง homogenizer (Ultra turrax[®] T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany)
- 7) เครื่องปั่นเหวี่ยง centrifuge (Avanti J-E, Beckman Coulter, California, USA)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- 9) เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer; KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea)
- 10) ตัวกรองเมมเบรนชนิดไนลอน (Acrodisc[®]; Nylon syringe filter, 13 มิลลิเมตร, 0.45 ไมโครเมตร, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 11) ไมโครปิเปตขนาด 2 20 200 และ 1,000 ไมโครลิตร (micropipette; Gibson, Wisconsin, USA)
- 12) หลอดสกัดตัวอย่างขนาด 50 มิลลิลิตร (extraction tube)
- 13) ขวดสีชาขนาด 2.0 มิลลิลิตร (Supelco[®]; autosampler vials; amber glass vial 2.0 มิลลิลิตร, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)

8.2 สารเคมี

- 1) 98% L-Glutathione reduced (GSH; $C_{10}H_{17}N_3O_6S$, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 2) 98% L-Glutathione oxidized (GSSG; $C_{20}H_{32}N_6O_{12}S_2$, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 3) 99.9% acetonitrile (CH_3CN ; Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 4) methanol (CH_3OH ; Univar[®], Ajax Finechem, New South Wales, Australia)

- 5) metaphosphoric acid (H_3PO_4 ; Merck, Darmstadt, Germany)
- 6) 85% Orthophosphoric acid (Merck, Darmstadt, Germany)
- 7) sodium perchlorate monohydrate (NaClO_4 ; Alfa Aesar, Heysham, England)
- 8) น้ำเกลือ (normal sodium chloride solution; Klean&Kare[®], A.N.B. Laboratories, Bangkok, Thailand)
- 9) น้ำกลั่นสำหรับการวิเคราะห์ HPLC (RCI Labscan, Bangkok, Thailand)

9. การวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อโดยใช้เทคนิค Thiobarbituric acid reactive substances (TBARs value)

9.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer; Ultrospec 1100 pro UV/visible spectrophotometer, Amersham Pharmacia Biotech Inc., New jersey, USA)
- 2) เครื่องบดละเอียด (model: RON-FP 315, Ronic, Charollais, France)
- 3) เครื่อง homogenizer (Ultra turrax[®] T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany)
- 4) เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer; KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea)
- 5) ไมโครปิเปตขนาด 2 20 200 และ 1,000 ไมโครลิตร (micropipette; Gibson, Wisconsin, USA)
- 6) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- 7) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร (Whatman[™], Shanghai, China)
- 8) ขวดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- 9) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (erlenmeyer flask)
- 10) หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร
- 11) หลอดทดลองขนาด 18×150 มิลลิเมตร

9.2 สารเคมี

- 1) 0.02 M 2-Thiobarbituric acid (TBA; Sigma-aldrich, Missouri, USA)
- 2) 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (TEP; Sigma-aldrich, Missouri, USA)
- 3) 98% acetic acid (Merck, Darmstadt, Germany)
- 4) 70% perchloric acid (PCA; J.T. Baker, USA)

- 5) 37% hydrochloric acid (HCl; Merck, Darmstadt, Germany)

10. การวิเคราะห์หาสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อ (nucleotides: IMP GMP inosine และ hypoxanthine)

10.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography; Thermo Separations constaMeretric[®] 4100 BioSystem, Thermo Separation Products, Massachusetts, USA)
- 2) เครื่อง homogenizer (Ultra turrax[®] T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany)
- 3) คอลัมน์ amide 80 (TSKgel[®], 25.0 เซนติเมตร × 4.6 มิลลิเมตร × 5 ไมโครเมตร, Tosoh Bioscience, Darmstadt, Germany)
- 4) ตัวกรองก่อนเข้าคอลัมน์ (guard column: Amide-80, TSKgel[®], 1.0 เซนติเมตร × 4.6 มิลลิเมตร, Tosoh Bioscience, Darmstadt, Germany)
- 5) เครื่องปั่นเหวี่ยง centrifuge (Avanti J-E, Beckman Coulter, California, USA)
- 6) เครื่อง ultrasonic bath (U500H, Ultrawave, Cardiff, UK)
- 7) เครื่องบดละเอียด (model; minipimer MR 430 HC, Moulinex, Bagnolet Cédex, France)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- 9) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร (Whatman[™], Shanghai, China)
- 10) ตัวกรองเมมเบรนชนิดไนลอน (Nylon millipore membrane filter, 0.45 ไมโครเมตร × 47 มิลลิเมตร, Whatman[™], Shanghai, China)
- 11) เครื่องเขย่าสาร (vortex; KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea)
- 12) ไมโครปิเปตขนาด 2 20 200 และ 1,000 ไมโครลิตร (micropipette; Gibson, Wisconsin, USA)
- 13) หลอดสกัดตัวอย่าง (extraction tube)

10.2 สารเคมี

- 1) ≥99% Guanosine 5'-monophosphate disodium salt hydrate from yeast for HPLC (GMP, C₁₀H₁₂N₅Na₂O₈P xH₂O, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)

- 2) $\geq 99\%$ Inosine 5'-monophosphate disodium salt hydrate for HPLC (IMP, $C_{10}H_{11}N_4O_8PNa_2 \cdot xH_2O$, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 3) $\geq 99\%$ inosine for HPLC ($C_{10}H_{12}N_4O_5$, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 4) $\geq 99\%$ hypoxanthine for HPLC ($C_5H_4N_4O$, Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 5) 0.6 M perchloric acid ($HClO_4$; Sigma-Aldrich, Missouri, USA)
- 6) 0.8 M Potassium hydroxide (KOH; Lobachemie, Mumbai, India)
- 7) potassium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4 ; Univar[®], Ajax Finechem, Victoria, Australia)
- 8) 99.9% acetonitrile (CH_3CN ; Sigma-Aldrich, Missouri, USA)

3.2.2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

1. อุปกรณ์การเตรียมตัวอย่างและการทำให้สุก

- 1) เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Audionvac VMS 153, Audion Elektro[®], Weesp, Netherlands)
- 2) ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส (SCM-320 SBD, Sanden Intercool, Thailand)
- 3) ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส
- 4) เตาอบ (broiler ovens; EO-42K, Sharp Corporation, Pathumthani, Thailand)
- 5) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer, T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany)
- 6) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (temperature data logger, 175-T3 และ 176-T4, Testo Inc., Lenzkirch, Germany)
- 7) อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ (thermocouple; ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร, flexible fiberglass Type K, Testo Inc., Lenzkirch, Germany)
- 8) ถังพลาสติก high density polyethylene (HDPE, Pantong Thai Pack Co., Ltd., Chonburi, Thailand) ขนาด 15.24×22.86 ตารางเซนติเมตร
- 9) ถังพลาสติกบรรจุสุญญากาศชนิด K-Nylon/LLDPE (Thai flexible pack, Thailand) ขนาด 20×30 14×26 และ 10×16 ตารางเซนติเมตร
- 10) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath; NBCT7, Labec[®], Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia)

- 11) ที่คียบเนื้อขณะอบเนื้อในเตาอบและขณะเสิร์ฟ
- 12) ถุงมือพลาสติก (M-Wrap[®], MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
- 13) มีดและเชียงตัดเนื้อ
- 14) แผ่นพลาสติกสำหรับรองตัดเนื้อ
- 15) กระดาษทิชชู

2. อุปกรณ์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนา

- 1) ฟิล์มพลาสติกสำหรับห่ออาหารชนิด PVC (M-Wrap[®], MMP Co. Ltd, Bangkok, Thailand)
- 2) ถ้วยพลาสติก (polystyrene; Eastern polypack, Bangkok, Thailand)
ขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 6×3 ตารางเซนติเมตร ปริมาตรบรรจุ 2 ออนซ์
- 3) ถาดโฟมขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 14×21 ตารางเซนติเมตร (polystyrene tray; SB-204, SB Pack (888), Bangkok, Thailand)
- 4) ถ้วยกระเบื้องสีขาว (Maxadura, Royal porcelain public Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
- 5) หนังสือมาตรฐานสี (The Munsell book of color glossy collection, Munsell[®] Color Services, 2.5R-10G, New Windsor, New York, USA)
- 6) แผ่นภาพมาตรฐานไขมันแทรกตามระบบ US National Pork Board (2011)
- 7) ตัวอย่างอ้างอิง (แสดงในภาพภาคผนวก ข ที่ 1-6)
- 8) กระดาษทิชชู
- 9) ไม้จิ้มฟัน
- 10) แครกเกอร์ชนิดจี๊ด (Original cream cracker, Jacobs[®], Malaysia)
- 11) น้ำดื่ม (Nestlé pure life[®], Nestlé Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
- 12) ปากกา
- 13) แบบประเมินทางประสาทสัมผัส โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ดังแสดง
ในภาคผนวก ค

3. อุปกรณ์การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรก และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

- 1) ฟิล์มพลาสติกสำหรับห่ออาหารชนิด PVC (M-Wrap[®], MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
- 2) ถ้วยพลาสติก (polystyrene; Eastern polypack, Bangkok, Thailand)
ขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 6×3 ตารางเซนติเมตร ปริมาตรบรรจุ 2 ออนซ์

- 3) ถาดโฟมขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 14×21 ตารางเซนติเมตร (polystyrene tray; SB-204, SB Pack (888), Bangkok, Thailand)
- 4) iPad mini 2 (Apple Inc., California, USA)
- 5) กล้องถ่ายภาพ (EOS 700D, Canon Inc., Tokyo, Japan)
- 6) แผ่นซับเลือด (absorbent pad; BlancTec[®], Prachinburi, Thailand)
- 7) โต้ะสำหรับการทดสอบ
- 8) ฉากกันขณะประเมินเพื่อป้องกันการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมในขณะประเมิน
- 9) กระดาษทิชชู
- 10) ถาดสำหรับเสิร์ฟตัวอย่างขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 10×20 ตารางเซนติเมตร
- 11) ไม้จิ้มฟัน
- 12) แครกเกอร์ชนิดจืด (Original unsalted cracker, Haitai[®], Songkhla, Thailand)
- 13) น้ำดื่ม (Nestlé pure life[®], Nestlé Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
- 14) ปากกา
- 15) แบบสอบถามและแบบประเมินความชอบในการบริโภคและซื้อเนื้อสุกร
ดังแสดงในภาคผนวก ง

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 วิธีการประเมินคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อสุกร

1) การวัดค่าความเป็นกรดต่างในเนื้อ

เมื่อครบ 48 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายนำกล้ามเนื้อสันนอกส่วนหน้า (*Longissimus thoracis*; LT) วัดค่า pH และอุณหภูมิที่บริเวณซี่โครงซี่ที่ 10-11 ของซากซีกซ้าย โดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่างในเนื้อ (pH meter; model: SG2 - ELK Seven Go™, Mettler-Toledo International Inc., Giessen, Germany) ที่ประกอบด้วยหัววัดชนิด spear tip glass electrode (InLab[®] Solids, Mettler-Toledo International Inc., Giessen, Germany) โดยใช้หัววัดแทงเข้าไปบริเวณหน้าตัดของชิ้นเนื้อ

2) การวัดค่าสีของเนื้อ

ตัดเนื้อสันนอก (เนื้อชั้นที่ 9 ภาพที่ 3.2 ก) ให้มีความหนา 2.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ตัดแต่งให้เหลือไขมันหุ้มประมาณ 2 มิลลิเมตร และแต่งให้มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันที่สุด

บรรจุบนถาดโฟม (polystyrene tray) ที่มีแผ่นซับเลือด (absorbent pad; BlancTec®, Prachinburi, Thailand) และหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกสำหรับห่ออาหารชนิด PVC (M-Wrap®, MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand) ที่ทราบคุณสมบัติ คือ oxygen transmission rate = 30,000-50,000 cm³/μm/m²/day/23°C/0%RH และ water vapor transmission rate = 190-300 g/μm/m²/day/23°C/ 85%RH เพื่อไว้ใช้ทดสอบ นำเนื้อที่บรรจุเสร็จแล้วจัดวางภายในตู้แช่เย็นจัดวางจำหน่ายแบบเปิดด้านบน (refrigerated display case; Systemform, Thailand) ที่มีพลาสติกใสเปิดปิดได้เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งตู้แช่เย็นมีอุณหภูมิ 3.3±0.5 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) โดยยังไม่เปิดไฟด้านบนของตู้จำลองการจำหน่ายและป้องกันไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสแสง แล้วปล่อยให้สัมผัสอากาศ (oxygenation) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาจึงวัดค่าสีของชิ้นเนื้อที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเนื้อ ได้แก่ ค่าความสว่าง (lightness; L*) ค่าสีแดงหรือสีเขียว (redness-greenness; a*) และค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellowness-blueness; b*) ตามระบบของ CIE (1978) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (MiniScan® EZ 45/0 LAV, Illuminant D65, 10° observer, 2.54-cm diameter aperture, Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA) โดยวัดบริเวณผิวหน้าชิ้นเนื้อผ่านฟิล์ม จำนวน 2 ตำแหน่งๆ ละ 2 ครั้ง แต่ละครั้งวางหัววัดในแนวตั้งฉากกันเพื่อลดปัจจัยจากลักษณะการจัดเรียงของเส้นใยกล้ามเนื้อตามคำแนะนำของผู้จำหน่ายเครื่องและบันทึกข้อมูลค่าสี จากนั้นใช้โปรแกรม EasyMatchQC (Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) คำนวณข้อมูลค่าสีตามคำแนะนำของ AMSA (1991) และ Insani *et al.* (2008) ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื้อชิ้นเดียวกันจะถูกปล่อยให้สัมผัสอากาศไปจนถึง 24 ชั่วโมง เพื่อใช้ถ่ายภาพสำหรับการประเมินความชอบของผู้บริโภคต่อระดับไขมันแทรกและการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก ดังจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3

3) การวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity) และค่าแรงตัดผ่าน (Warner Bratzler Shear Force; WBSF)

นำตัวอย่างเนื้อสันนอกสุก (เนื้อชิ้นที่ 3 ภาพที่ 3.2 ก) มาตัดแบ่ง จำนวน 1 ชิ้น หนาประมาณ 2.0 เซนติเมตร ซึ่งให้น้ำหนักประมาณ 70.0±5.0 กรัม บันทึกน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำชิ้นเนื้อแขวนกับตะขอแล้วบรรจุในโหลพลาสติก โดยไม่ให้เนื้อสัมผัสกับภาชนะแล้วปิดฝา นำไปเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6±0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เมื่อครบ 48 ชั่วโมง จึงนำเนื้อออกจากโหลพลาสติกนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการบันทึกน้ำหนักสุดท้าย แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Honikel, 1998) ตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

ตัดตัวอย่างเนื้อ (เนื้อชิ้นที่ 10 ภาพที่ 3.2 ก) หนาประมาณ 5 เซนติเมตร ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น เพื่อศึกษาค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลาย (thawing loss) จากนั้นนำไปเก็บแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (7 วันภายหลังสัตว์ตาย) เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำเนื้อมาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเนื้อออกจากถุงเพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก และทำการบันทึกน้ำหนักสุดท้าย เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลาย ตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

จากนั้นนำเนื้อที่ได้จากการหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลายแล้ว (เนื้อชิ้นที่ 10 ภาพที่ 3.2 ก) มาตัดแต่งเอาไขมันออกให้ชิ้นเนื้อมีความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้น บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นแล้วนำเนื้อใส่ถุงพลาสติก HDPE (Pantong Thai Pack Co., Ltd., Chonburi, Thailand) จากนั้นนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (NBCT7, Labec[®], Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 71.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส ตรวจสอบอุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อด้วย thermocouple (1.5-mm-diameter flexible fiberglass Type K) โดยใช้ร่วมกับ temperature data logger (175-T3 และ 176-T4, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) ในการบันทึกอุณหภูมิ เมื่อครบตามที่กำหนดทำให้เย็นลงโดยแช่ในน้ำไหลผ่านประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) วัดที่บริเวณใจกลางชิ้นเนื้อ นำเนื้อออกจากถุงแล้วชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักสุดท้าย เพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทำให้สุกตามวิธีการของ Wheeler *et al.* (1997)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

การวัดค่าแรงตัดผ่าน ทำโดยนำตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ผ่านขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกมาตัดเนื้อตามแนวความยาวและขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ $1 \times 3 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างละประมาณ 10 ชิ้น การตัดจะต้องระวังระวังให้พื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกันที่สุด เนื่องจากจะมีผลต่อแรงที่ใช้ในการตัดผ่านชิ้นเนื้อ จากนั้นนำชิ้นเนื้อไปวัดค่าแรงตัดผ่านด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (model 2519-104, Instron Universal Testing Machine, Instron Corporation, Massachusetts, USA) ที่ประกอบด้วย

หัววัด Warner Bratzler Shear ด้วยความเร็ว 200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่น้ำหนัก load cell 50 กิโลกรัม โดยวางหัวตัดให้อยู่ในแนวขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อ และกำหนดหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยดัดแปลงจากวิธีของ Boccard *et al.* (1981) และ Rees *et al.* (2002)

4) การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างเนื้อสันนอก (เนื้อชิ้นที่ 6 ภาพที่ 3.2 ก) น้ำหนักประมาณ 100 กรัม หนาประมาณ 2.0 เซนติเมตร ที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส มาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC International (2000)

5) การวัดความยาวซาร์โคเมอร์ (sarcomere length)

การวัดความยาวซาร์โคเมอร์ดัดแปลงวิธีการของ Cross *et al.* (1981) โดยนำตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกร (เนื้อชิ้นที่ 1 ภาพที่ 3.2 ก) ที่ผ่านการแช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) มาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเตรียม solution A (0.1M KCl 0.039M boric acid และ 5mM EDTA ใน 25% glutaraldehyde) โดยเติม KCl 7.46 กรัม boric acid 2.49 กรัม EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม 25% glutaraldehyde 100 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร และ solution B (0.25M KCl 0.29M boric acid และ 5mM EDTA ใน 25% glutaraldehyde) โดยเติม KCl 18.64 กรัม boric acid 17.93 กรัม EDTA 1.86 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม 25% glutaraldehyde 100 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

นำตัวอย่างเนื้อที่ละลายในห้องเย็น (1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาตัดให้มีขนาดชิ้นละประมาณ $1 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น แช่ใน solution A 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นย้ายชิ้นเนื้อจาก solution A มาแช่ใน solution B เป็นเวลา 17-19 ชั่วโมง เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างเนื้อมาแยกเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้น โดยนำมาวางบนแผ่นสไลด์ ใช้แท่งแก้วกดชิ้นเนื้อให้แตก นำแผ่นสไลด์ที่เตรียมเสร็จแล้วไปทำการวัดหาความยาวซาร์โคเมอร์ด้วยเครื่อง Helium-Neon Laser (model: SC-31004, IHS Engineering 360, Colorado, USA) โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความกว้างของแสงเลเซอร์ที่ทะลุผ่านบนแผ่นสไลด์มายังพื้นรองรับภาพในหน่วยวัดเซนติเมตร ทำการวัดตัวอย่างละ 20 ซ้ำ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณจากสมการในการหาหน่วยค่าความยาวซาร์โคเมอร์ในหน่วยวัดไมโครเมตร ดังสมการ

$$\mu = 0.6328 \sqrt{\left(\frac{D}{T}\right)^2 + 1}$$

เมื่อกำหนดให้ D = ระยะห่างระหว่างแผ่นสไลด์กับจอร์รับภาพ

T = (ค่าความยาวของชาร์โคเมียร์ที่วัดได้) / 2

6) การวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber diameter)

การวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อดัดแปลงจากวิธีการของ Tuma *et al.* (1962) โดยนำตัวอย่างเนื้อสันนอก (เนื้อชั้นที่ 2 ภาพที่ 3.2 ก) ที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส มาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดชิ้นเนื้อให้มีขนาด $1 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร แช่ชิ้นเนื้อใน neutral formalin 4.0% เก็บที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำเนื้อออกจาก neutral formalin แล้วหั่นด้วยมีดให้หนาประมาณ $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วใส่เนื้อในเครื่องบดละเอียด (model; minipimer MR 430 HC, Moulinex, Bagnolet Cédex, France) จากนั้นเติมสารละลาย NaCl 0.9% จำนวน 50 มิลลิลิตร แล้วปั่นด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 30 วินาที จนเนื้อแตกละเอียด จากนั้นนำสารละลายที่ปั่นได้หยดลงบนแผ่นสไลด์ จำนวน 5 หยด โดยไม่ให้แต่ละหยดติดกัน ซึ่งในสารละลาย 1 หยดใช้วัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวน 40 ค่า โดยวัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (compound microscope; CX-40, Olympus, Hamamatsu, Japan) กำลังขยาย 4 เท่า โดยใช้เลนส์ microscope eye-piece camera (Dino-eye AM 7023 B, AnMo electronics corporation, New Taipei City, Taiwan) และโปรแกรมประมวลผลภาพ DinoCapture 2.0 (version 1.5.16 C, AnMo electronics corporation, New Taipei City, Taiwan) โดยทำการวัดจำนวน 200 เส้นต่อหนึ่งตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

7) การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ (collagen content)

การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนในเนื้อดัดแปลงวิธีการของ Hill (1966) โดยนำตัวอย่างเนื้อ (เนื้อชั้นที่ 4 ภาพที่ 3.2 ก) ที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส มาละลายในห้องเย็น (1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (model: RON-FP 315, Ronic, Charollais, France) เป็นเวลา 30 วินาที นำเนื้อที่บดแล้ว 4.0 กรัม เติม Ringer solution จำนวน 20 มิลลิลิตร (Ringer solution: NaCl 1.914 กรัม CaCl 0.073 กรัม KCl 0.224 กรัม และเติมน้ำให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร) แล้วนำไปปั่นผสมด้วยเครื่อง homogenizer (Ultra turrax® T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany) ที่ความเร็ว 13,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 66 นาที เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge (model: Scanspeed 1580R, Labogene, Denmark) ที่ 10,000

rcf (relative centrifugation force) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบตามกำหนดเวลาแยกเอาส่วนใส (supernatant) จำนวน 17 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง (ขนาด 50 มิลลิลิตร) แล้วเติม 12N HCl จำนวน 17 มิลลิลิตร เพื่อหาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) จากนั้นนำส่วนที่ตกตะกอน (pellet) มาใส่ในหลอดทดลอง เติม 6N HCl จำนวน 25 มิลลิลิตร เพื่อหาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้ (insoluble collagen) จากนั้นนำส่วนที่หา soluble collagen และ insoluble collagen ไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ภายในมี paraffin oil ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเขย่าทุกๆ 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเติม activated carbon (AppliChem GmbH, Darmstadt, Germany) ลงในหลอดตัวอย่าง แล้วจึงกรองโดยใช้กระดาษกรอง (whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร) ปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 4.5-7.5 แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

จากนั้นนำหลอดที่ได้จากส่วนที่ตกตะกอนที่ใช้หาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้ (I) มาเจือจาง โดยใช้ของเหลวใสจากหลอดคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้จำนวน 500 ไมโครลิตรมาผสมกับน้ำกลั่น 2,500 ไมโครลิตร (1:5) แล้วจึงดูดของเหลวที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 หลอด (soluble และ insoluble collagen) จำนวน 400 ไมโครลิตร เติม oxidant solution จำนวน 200 ไมโครลิตร (oxidant solution: solution A = 7% w/v chloramine T และ solution B = sodium acetate trihydrate 120 กรัม citric acid monohydrate 50 กรัม acetic acid 12 มิลลิลิตร NaOH 34 กรัม และเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำ solution A และ solution B ผสมกันในอัตราส่วน 1:4 ส่วน) ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติม color reagent 200 ไมโครลิตร (color reagent: p-dimethylamino-benzaldehyde 10 กรัม 70% m/m perchloric acid 30 มิลลิลิตร 2-propanol 65 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร) เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร (microplate reader; iMark™, Bio-Rad Laboratories, Inc., California, USA) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อ

ทำการฟมาตรฐานของสารละลาย hydroxyproline ที่ความเข้มข้น 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ไมโครกรัมของ hydroxyproline ต่อมิลลิลิตร จาก stock hydroxyproline 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลาย hydroxyproline ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณสมการถดถอย $y = ax + b$ โดยค่า y เป็นค่าการดูดกลืนแสง และค่า x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลาย hydroxyproline แล้วนำไปคำนวณค่าปริมาณคอลลาเจนในเนื้อจากสูตร

$$\text{ปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ (มิลลิกรัม/กรัมของเนื้อดิบ)} = \frac{(c \times f \times 100 \times 8)}{1,000 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างเนื้อ}}$$

เมื่อ c = ความเข้มข้นของ hydroxyproline

f = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลายที่ได้จากการย่อย

8) การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอก (เนื้อชิ้นที่ 5 ภาพที่ 3.2 ก) ในถุงบรรจุสุญญากาศ โดยตัดชิ้นเนื้อให้มีความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร ที่เก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันตามวิธีการของ Raes *et al.* (2001) โดยนำเนื้อที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส มาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดตัวอย่างโดยใช้ในโตรเจนเหลวและชั่งตัวอย่างเนื้อบดแช่แข็ง 5.0 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) เติม chloroform : methanol (2:1) จำนวน 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 0.1% BHT (butylated hydroxytoluene) ที่ผสมกับ chloroform จำนวน 3 มิลลิลิตร นำไปปั่นผสม (homogenize) ด้วยเครื่อง homogenizer (Ultra turrax® T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany) เป็นเวลา 1 นาที ที่ความเร็ว 13,500 รอบต่อนาที แล้วเติม chloroform : methanol (2:1) จำนวน 15 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกยาง บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อครบ 24 ชั่วโมง กรองตัวอย่างโดยใช้กระดาษกรอง (whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่าน-ศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร) ลงในหลอดสกัดตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร เติม chloroform : methanol (2:1) จำนวน 30 มิลลิลิตร เพื่อล้างหลอดโดยแบ่งทำ 3 รอบ รอบละ 10 มิลลิลิตร โดยเปลี่ยนกระดาษ-กรองทุกครั้ง หลังจากกระดาษกรองแห้งแล้ว แยกของเหลวใส่ลงในหลอดสกัดตัวอย่าง ล้างหลอดสกัดตัวอย่างด้วย chloroform : methanol (2:1) จำนวน 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดสกัดตัวอย่างผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคน แล้วปรับสมดุลหลอดด้วยน้ำกลั่น นำหลอดสกัดตัวอย่างที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายที่แยกออกเป็น 2 ชั้น ใช้ dropper ดูดของเหลวใสชั้นบนทิ้ง จากนั้นเทของเหลวส่วนใสด้านล่างใส่กรวยแยก (separatory funnel) ล้างหลอดสกัดตัวอย่างด้วย chloroform : methanol (2:1) จำนวน 5 มิลลิลิตร รอให้สารละลายแยกชั้น ไขสารละลายชั้นล่างลงในขวดก้นกลมโดยที่ให้เหลือไว้เล็กน้อย ล้างหลอดสกัดตัวอย่างด้วย chloroform : methanol (2:1) จำนวน 5 มิลลิลิตร เติมลงไปและเขย่า (โดยที่ถ้าสารละลายไม่แยกชั้นให้เติมน้ำกลั่น หรือถ้าแยกชั้นแล้วแต่สารละลายชั้นบนไม่ใสให้เติม methanol) ไขสารละลายชั้นล่างลงในขวดก้นกลม ล้างกรวยและรอบๆ กรวยแยกด้วย chloroform : methanol (2:1) จำนวน 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าและรอสารละลายแยกชั้นแล้วไข

สารละลายชั้นล่างลงในขวดก้นกลม นำไประเหยด้วยเครื่องกลั่นระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator; R-210, Buchi, Flawil, Switzerland) ที่ 60 องศาเซลเซียส จนสารละลายภายในแห้ง จากนั้นละลายไขมันในขวดก้นกลมด้วย chloroform 2-3 หยด แล้วค่อยๆ หยดใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ล้างครั้งที่ 2 โดยการเติม chloroform 2-3 หยด แล้วดูดล้างรอบๆ ขวด ล้างครั้งที่ 3 ล้างหลอดหยดและล้างกรวย แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร จึงเทลงในหลอดฝาเกลียว (screw-cap tube) แล้วใช้ปิเปตดูดสารละลายที่สกัดได้จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดฝาเกลียวอีกหลอดหนึ่ง นำไประเหยแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อทำ fatty acid methylation และวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography; 6890N, Agilent, California, USA)

จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดแล้วมาทำการ methylation ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ นำตัวอย่างที่สกัดแล้วมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เติม internal standard 200 ไมโครลิตร (C19: 0 ที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิลิตร ซึ่งเตรียมจาก C19: 0 จำนวน 2.0 มิลลิกรัมใน hexane 1 มิลลิลิตร) ลงในหลอดตัวอย่าง จากนั้นนำไประเหยแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน เติม 0.5 N NaOH/MeOH จำนวน 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer; KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea) นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเขย่าให้เข้ากันแล้วเติม 10% boron trifluoride-methanol (BF₃; Sigma-Aldrich, Missouri, USA) จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสารนำสารละลายที่ได้ไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และ hexane 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสาร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,500 รอบต่อนาที (centrifuge; Rotofix 32, Hettich, Tuttlingen, Germany) เป็นเวลา 5 นาที ใช้ปิเปตดูดสารละลายส่วนใสที่ได้ใส่ขวดสีชา (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้งโดยใช้แก๊สไนโตรเจน จากนั้นเติม hexane 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสาร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ใช้ปิเปตดูดสารละลายส่วนใสที่ได้ใส่ขวดสีชาขวดเดิมแล้วระเหยให้แห้งโดยใช้ไนโตรเจน ทำซ้ำอีกสองรอบเพื่อสกัดไขมันออกจากตัวอย่างให้หมด จากนั้นนำไปเก็บที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ (flame ionization detector; FID) และใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพาด้วยอัตราการไหล 30.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ ณ จุดฉีดสารและดีเทกเตอร์ 240 องศาเซลเซียส ฉีดสารปริมาตร 1 ไมโครลิตร และ split ratio 10:1 แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 (ความยาว×ความกว้าง×pore size คือ 120 เมตร× 0.25 มิลลิเมตร×0.25 ไมโครเมตร) โปรแกรมอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณกรดไขมันในเนื้อ

9) การวิเคราะห์ปริมาณกลูต้าไธโอนและกลูต้าไธโอนไดซัลไฟด์ในเนื้อ

นำตัวอย่างเนื้อ (เนื้อชิ้นที่ 7 ภาพที่ 3.2 ก) ที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียสมาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการวิเคราะห์ปริมาณกลูต้าไธโอน (GSH) และปริมาณกลูต้าไธโอนไดซัลไฟด์ (GSSG) ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ Begic *et al.* (2017) โดยทำการบดเนื้อตัวอย่างโดยใช้ในโตรเจนเหลวและชั่งตัวอย่างเนื้อบดแช่แข็งจำนวน 1.0 กรัม ใส่ในหลอดสกัดตัวอย่างขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำเกลือ (sterile saline solution) 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นผสมด้วยเครื่อง homogenizer (Ultra turrax® T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany) ในอ่างน้ำแข็ง (ice bath) ปั่นด้วยความเร็ว 13,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเติม 5% metaphosphoric acid จำนวน 5 มิลลิลิตรในอ่างน้ำแข็งปั่นด้วยความเร็ว 13,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อย่อยโปรตีน (deproteinization) แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที (Avanti J-E, Beckman Coulter, California, USA) จากนั้นเก็บส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองด้วย nylon syringe filter ที่ให้สารที่มีอนุภาคเล็กกว่า 0.45 ไมโครเมตร ผ่านได้ (Acrodisc® ; Nylon syringe filter, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร, 0.45 ไมโครเมตร, Sigma-Aldrich, Missouri, USA) ใส่ลงในขวดสีชานำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกลูต้าไธโอนสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างที่สกัดได้มาละลายที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นด้วย vortex mixer (KMC-1300V, Vision Scientific, Daejeon-Si, Korea) เป็นเวลา 15 วินาที เพื่อให้ตัวอย่างเข้ากัน หลังจากนั้นฉีดเข้าเครื่อง HPLC (Hitachi, Tokyo, Japan) ซึ่งประกอบด้วยปั๊มและระบบไล่ฟองอากาศ (5100 pump with degassing, Hitachi, Tokyo, Japan) เครื่องฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ (injector; 5210 autosample, Hitachi, Tokyo, Japan) และเตาอบที่ภายในบรรจุคอลัมน์และตั้งอุณหภูมิภายในเตาอบ 40 องศาเซลเซียส (column thermostat, 5310 column oven, Hitachi, Tokyo, Japan) โดยใช้เครื่องวัดชนิด UV detector (5410 UV detector, Hitachi, Tokyo, Japan) ที่ความยาวคลื่น 215 นาโนเมตร แยกสารด้วยคอลัมน์ ACE C8 (4.6×150 มิลลิเมตร × 5.0 ไมโครเมตร, Advanced chromatography technologies, Aberdeen, UK) และใช้ตัวกรองก่อนเข้าคอลัมน์หรือคอลัมน์ป้องกัน (guard column; C8, 4.0×3.0 มิลลิเมตร, Phenomenex Inc., California, USA) โดยมีสารละลาย 100 mM sodium perchlorate (ปรับค่า pH เป็น 2.8 ด้วย 0.1% Ortho-phosphoric acid) เป็น mobile phase ซึ่งต้องเตรียมใหม่ทุกวันและกรองก่อนใช้ทุกครั้งด้วย nylon millipore membrane filter 0.45 ไมโครเมตร × ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร (Whatman™, Shanghai, China) จากนั้นไล่ฟองอากาศด้วยเครื่อง ultrasonic bath (U500H, Ultrawave, Cardiff, UK) เป็นเวลา 30 นาทีก่อนใช้และกำหนดอัตราการไหล (flow rate) ของ mobile phase ที่ 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณ

กลูตาไธโอนในเนื้อ โดยใช้กราฟของสารละลายมาตรฐาน (external standards) ของ GSH และ GSSG

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน GSH 1.0 mM (GSH stock standard solution) โดยชั่ง 98% L-Glutathione reduced (GSH; $C_{10}H_{17}N_3O_6S$, Sigma-Aldrich, USA) 30.73 มิลลิกรัมใน 100 mM sodium perchlorate (ปรับค่า pH เป็น 2.8 ด้วย 0.1% Ortho-phosphoric acid, mobile phase) และเตรียมสารละลายมาตรฐาน GSSG 1.0 mM (GSSG stock standard solution) โดยชั่ง 98% L-glutathione oxidized (GSSG; $C_{20}H_{32}N_6O_{12}S_2$, Sigma-Aldrich, USA) 61.26 มิลลิกรัมใน 100 mM sodium perchlorate (ปรับค่า pH เป็น 2.8 ด้วย 0.1% Ortho-phosphoric acid, mobile phase) เก็บสารละลายมาตรฐานที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บได้เป็นเวลา 1 เดือน

การทำกราฟมาตรฐานของสารละลาย GSH ที่ความเข้มข้น 0.0 0.03 0.09 0.15 และ 0.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ GSSG ที่ความเข้มข้น 0.0 0.06 0.18 0.31 และ 0.61 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จาก stock standard solution โดย working standard solutions ควรเตรียมใหม่ทุกวัน จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นแตกต่างกันไปวิเคราะห์ปริมาณ GSH และ GSSG โดยฉีดเข้าคอลัมน์และใช้เครื่อง HPLC (Hitachi, Tokyo, Japan) นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน และคำนวณสมการถดถอย $y = ax + b$ โดยค่า y เป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟ (area peak) และค่า x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน GSH และ GSSG แล้วนำไปคำนวณปริมาณ GSH และ GSSG ในเนื้อ

10) การวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอก (เนื้อชิ้นที่ 8 ภาพที่ 3.2 ก) ในถุงบรรจุสุญญากาศ โดยตัดชิ้นเนื้อให้มีความหนาประมาณ 1.0 เซนติเมตรเก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตรวจวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อโดยใช้เทคนิค thiobarbituric acid reactive substances (TBARS test) ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ Witte *et al.* (1970) โดยนำตัวอย่างเนื้อสันนอกที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียสมาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดเนื้อตัวอย่างด้วยเครื่องบดละเอียดโดยใช้ไนโตรเจนเหลวในการบด จากนั้นชั่งตัวอย่างเนื้อที่บดละเอียดแล้ว 10 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติม 9% perchloric acid จำนวน 15 มิลลิลิตร (เย็น) และน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (เย็น) มาปั่นผสมด้วยเครื่อง homogenizer (Ultra turrax[®] T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany) ที่ความเร็ว 13,500 รอบต่อนาที ในอ่างน้ำแข็ง (ice bath) เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร โดยกรองลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างขวดสกัดตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรองอีกครั้ง จากนั้นปิดฝาหลอดทดลองแล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) แล้วใช้ปิเปตดูดสารละลายที่สกัดได้จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 18×150 มิลลิเมตร เติม 0.02 M

2-Thiobarbituric acid (TBA; Sigma-aldrich, Missouri, USA) solution 5 มิลลิลิตร (TBA 2.882 กรัม ใน 98% acetic acid 1,000 มิลลิลิตร ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสารเก็บในที่มืดเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง โดยใช้อะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เมื่อครบตามระยะเวลาตามที่กำหนดนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน malonaldehyde (MDA) ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลต่อ มิลลิลิตร โดยเตรียมจาก 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (TEP; Sigma-aldrich, Missouri, USA) จำนวน 24.74 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 980 มิลลิลิตรลงไปแล้ว หยด 37 % hydrochloric acid (HCl; Merck, Darmstadt, Germany) จำนวน 5 หยด แล้วเติมน้ำกลั่น ให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายมาตรฐานที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บได้เป็นเวลา 1 สัปดาห์

การทำกราฟมาตรฐานของสารละลาย MDA ในเนื้อโดยนำสารละลายมาตรฐาน MDA มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น คือ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 ไมโครโมลต่อ ไมโครลิตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐาน MDA ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณสมการถดถอย $y = ax + b$ โดย ค่า y เป็นค่าการดูดกลืนแสง และค่า x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลาย MDA แล้วนำไปคำนวณ ค่า TBARS value จากสูตร

$$\text{TBARS value (mg MDA / kg sample)} = \frac{(X \times 10 \times 72)}{\text{น้ำหนักเนื้อตัวอย่าง}}$$

เมื่อ $72 =$ น้ำหนักโมเลกุลของ MDA

$X =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

$10 =$ จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลายที่ได้จากการสกัด

11) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อสันนอกสุกที่ผ่านการปรุงสุก

การวิเคราะห์ปริมาณนิวคลีโอไทด์ ได้แก่ GMP IMP inosine และ hypoxanthine ดัดแปลงจากวิธีของ Tikk (2008) โดยนำตัวอย่างเนื้อสันนอกสุก (เนื้อชิ้นที่ 11 ภาพที่ 3.2 ก) ที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส มาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมตัวอย่างเนื้อสันนอกโดยนำเนื้อใส่ถุงพลาสติก HDPE (Pantong Thai Pack Co., Ltd., Chonburi, Thailand) แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (NBCT7, Labec®, Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia) ที่ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 71.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส ตรวจสอบอุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อด้วย thermocouple

(1.5-mm-diameter flexible fiberglass Type K) โดยใช้ร่วมกับ temperature data logger (175-T3 และ 176-T4, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) ในการบันทึกอุณหภูมิ เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด ทำให้เย็นลงโดยแช่ในน้ำไหลผ่านประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) วัดที่บริเวณใจกลางชิ้นเนื้อ (Boccard *et al.* 1981; Rees *et al.* 2002) จากนั้นนำเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณนิวคลีโอไทด์ในเนื้อ

โดยนำตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการปรุงสุกมาบดโดยใช้ในโตรเจนเหลวและชั่งตัวอย่างเนื้อ 2.5 กรัม ใส่ลงหลอดก้นกลม เต็มสารละลาย 0.6 M perchloric acid (PCA) 15 มิลลิลิตร วางหลอดในอ่างน้ำแข็ง ปั่นผสมด้วยเครื่อง homogenizer (Ultra turrax® T25 Basic, 10G, IKA, Staufen Germany) ที่ความเร็ว 13,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ตัวอย่างและสารละลายเข้ากัน ทั้งไว้ในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,900 รอบต่อนาที (Avanti J-E, Beckman Coulter, California, USA) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เก็บส่วนใส (supernatant) โดยกรองด้วยกระดาษกรอง (whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร) แล้วปรับค่า pH เป็น 5.5 ด้วย 0.8 M KOH หรือ 3.5% PCA แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,900 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองด้วย nylon syringe filter 0.45 ไมโครเมตร (Acrodisc®; Nylon syringe filter, 13 มิลลิเมตร, 0.45 ไมโครเมตร, Sigma-Aldrich, Missouri, USA) ใส่ลงในขวดสีชานำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดได้มาละลายที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นดูดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง HPLC (Thermo Separations constaMeretric® 4100 BioSystem, Thermo Separation Products, Massachusetts, USA) ที่ประกอบด้วยเตาอบที่ภายในบรรจุคอลัมส์และตั้งอุณหภูมิภายในเตาอบ 40 องศาเซลเซียส (column thermostat) โดยใช้เครื่องวัดชนิด UV detector (SpectraSYTEM™ UV1000, Thermo separation products, Massachusetts, USA) ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร แยกสารด้วยคอลัมน์ Amide 80 (TSKgel®, 25.0 เซนติเมตร × 4.6 มิลลิเมตร × 5 ไมโครเมตร, Tosoh Bioscience, Darmstadt, Germany) และใช้ตัวกรองก่อนเข้าคอลัมส์หรือคอลัมส์ป้องกัน (guard column: Amide-80, TSKgel®, 1.0 เซนติเมตร × 4.6 มิลลิเมตร, Tosoh Bioscience, Darmstadt, Germany) โดยมีสารละลายผสมระหว่าง 100 mM KH₂PO₄ : CH₃CN (30 : 70) เป็น mobile phase ซึ่งต้องกรองก่อนใช้ทุกครั้ง (nylon millipore membrane filter, 0.45 ไมโครเมตร × 47 มิลลิเมตร, Whatman™, Shanghai, China) เพื่อกำจัดฝุ่นผงและตะกอนต่างๆ ที่จะเข้าไปอุดตันในคอลัมส์และคอลัมส์ป้องกัน จากนั้นไล่ฟองอากาศด้วยเครื่อง ultrasonic bath (U500H, Ultrawave,

Cardiff, UK) เป็นเวลา 30 นาทีก่อนใช้ โดยกำหนดอัตราการไหล (flow rate) ของ mobile phase นานที่ 0.0-10.0 คือ 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที และนานที่ 10.1-20.0 คือ 1.4 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณนิวคลีโอไทด์ในเนื้อโดยใช้กราฟของสารละลายมาตรฐาน (external standards) ของ GMP IMP inosine และ hypoxanthine ที่ความเข้มข้น 0.005 0.006 0.012 0.025 0.038 0.050 0.063 และ 0.125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC และนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณสมการถดถอย $y = ax + b$ โดยค่า y เป็นพื้นที่ใต้กราฟ และค่า x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ใช้โปรแกรม Clarity (Clarity chromatography data system software, DataApex, Czech Republic) ในการวิเคราะห์ปริมาณนิวคลีโอไทด์ในเนื้อ

3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน

1) ผู้ทดสอบ

ใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนเป็นอย่างดีที่มีประสบการณ์ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จำนวน 8 ท่านของหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Sensory Evaluation and Consumer Research; KUSCR)

2) สถานที่ทำการทดสอบ

ทำการทดสอบ ณ หน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KUSCR) ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ห้องทดสอบมีแสงสว่างเพียงพอ ปราศจากกลิ่นไม่พึงประสงค์ และไม่มีเสียงรบกวนขณะทดสอบ ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยห้องทดสอบถูกแยกอย่างเป็นสัดส่วนออกจากห้องสำหรับเตรียมตัวอย่าง

3) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกดิบ

เก็บตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกขาว (เนื้อชั้นที่ 11 ภาพที่ 3.2 ข) โดยตัดหนา 10.0 เซนติเมตร บรรจุสุญญากาศ และแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน หรือ 4 วันภายหลังสัตว์ตาย เพื่อใช้ในวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ทดสอบตัวอย่างจากกลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่ม คือ เนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกต่ำ ปานกลาง และสูง โดยทำการทดสอบที่ 5 วันภายหลังสัตว์ตาย เพื่ออธิบายและให้คะแนนความเข้มของกลิ่น (aroma) และลักษณะปรากฏ (appearance) คือ สีของเนื้อและปริมาณไขมันแทรก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการประเมินลักษณะปรากฏของเนื้อสันนอกสุกรดิบ โดยนำเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (4 วันภายหลังสัตว์ตาย) มาละลายในหิ้งเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (5 วันภายหลังสัตว์ตาย) จากนั้นตัดเนื้อสันนอกให้มีความหนา 2.5 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 1 ชิ้น แต่งไขมันหุ้มออก และตัดให้มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันที่สุด บรรจุบนถาดโฟมที่มีแผ่นซับเลือด (absorbent pad; BlancTec®, Prachinburi, Thailand) และหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกสำหรับห่ออาหารชนิด PVC (M-Wrap®, MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand) ที่ทราบคุณสมบัติ คือ oxygen transmission rate = $30,000-50,000 \text{ cm}^3/\mu\text{m}^2/\text{day}/23^\circ\text{C}/0\%\text{RH}$ และ water vapor transmission rate = $190-300 \text{ g}/\mu\text{m}^2/\text{day}/23^\circ\text{C}/85\%\text{RH}$ แต่ละตัวอย่างติดรหัสเลขกลุ่ม 3 ตัว สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา จากนั้นปล่อยให้เนื้อสัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมงภายในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสโดยป้องกันไม่ให้สัมผัสแสงก่อนการประเมิน เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดให้ผู้ประเมินบรรยายและให้คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อ คือ สีบนพื้นที่หน้าตัดของเนื้อโดยเปรียบเทียบกับสีจากหนังสือมาตรฐานสี (The Munsell book of color glossy collection, Munsell® Color Services, 2.5R-10G, New Windsor, New York, USA) ซึ่งกำหนดช่วงคะแนน 0-15 โดยคะแนน 0 หมายถึงสีอ่อนที่สุด และคะแนน 15 หมายถึงสีเข้มที่สุด ทั้งนี้กำหนดคะแนน 4.5 หมายถึงสีชมพูแดงอ่อนโดยค่าของ Munsell book เท่ากับ 7.5R 6/6 คะแนน 6.5 หมายถึงสีชมพูแดงเข้มปานกลางที่ค่าของ Munsell book เท่ากับ 7.5R 5/6 และคะแนน 9.0 หมายถึงสีชมพูแดงเข้มโดยค่าของ Munsell book เท่ากับ 7.5R 4/6 จากนั้นประเมินปริมาณไขมันแทรกโดยใช้ช่วงคะแนนระดับไขมันแทรกตามระบบ US National Pork Board (2011) ของเนื้อสันนอกสุกรดิบ โดยมองตัวอย่างเนื้อทำมุม 45° ระยะห่างจากสายตาประมาณ 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ตัวอย่างแบบประเมินแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

4) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรสุก

นำกล้ามเนื้อสันนอกส่วนหลัง (*Longissimus lumborum*; LL) จากกล้ามเนื้อสันนอกส่วนที่เหลือประมาณ 10 เซนติเมตร (เนื้อชิ้นที่ 11 ภาพที่ 3.2 ก) ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม 2.5 เซนติเมตร จำนวน 4 ชิ้นแยกบรรจุแบบสุญญากาศในถุงชนิด K-Nylon/LLDPE (Thai flexible pack, Bangkok, Thailand) แช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ทดสอบตัวอย่างจากกลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่ม คือ เนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำ ปานกลาง และสูง โดยทำการทดสอบที่ 5 วันภายหลังสัตว์ตาย

เมื่อครบกำหนด 5 วันภายหลังสัตว์ตาย ทำการเตรียมตัวอย่างเนื้อสุกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการ

ของ Lee *et al.* (2012) โดยนำเนื้อสันนอกที่เก็บบรรจุสุญญากาศ และแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสมาละลายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้กระดาษทิชชูซับน้ำบนชิ้นเนื้อให้แห้ง นำเนื้อไปอบ (broiler ovens; EO-42K, Sharp Corporation, Pathumthani, Thailand) ที่อุณหภูมิ 180.0 ± 5.0 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละรอบที่ทำ จะอบเนื้อครั้งละ 12 ชิ้น ใช้ไฟบนและไฟล่างในการอบเนื้อโดยไม่ต้องกลับชิ้นเนื้อ เป็นเวลา 40 นาที หรือจนได้อุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 71.0 ± 0.5 องศาเซลเซียสประมาณ 1 นาที ตรวจสอบ อุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อด้วย thermocouple (1.5-mm-diameter flexible fiberglass Type K) โดยใช้ ร่วมกับ temperature data logger (175-T3 และ 176-T4, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) ในการ บันทึกอุณหภูมิ แล้วห่อเนื้อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ร่อนอุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 30.0 ± 0.5 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) วัดที่บริเวณใจกลางชิ้นเนื้อ จากนั้นนำเนื้อออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วตัดส่วนพื้นผิวที่แห้งหรือสีเข้มกว่าออก ทั้งนี้ เนื่องจากบริเวณผิวด้านนอกของเนื้ออาจมีคะแนนความเข้มของกลิ่น กลิ่นรส และลักษณะเนื้อ สัมผัสมากกว่า จึงอาจส่งผลให้ค่าที่ได้มีความแปรปรวน ดังนั้นในขั้นตอนการตัดเนื้อเพื่อประเมิน จะทำการตัดผิวด้านนอกออกทุกครั้งเพื่อลดความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนในระหว่างการ ทดลอง จากนั้นเมื่อทำการตัดส่วนพื้นผิวที่แห้งหรือสีเข้มกว่าออกแล้ว ตัดแบ่งเป็นชิ้นขนาด $1.3 \times 1.3 \times 1.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้แผ่นพลาสติกกรองตัดที่มีขนาดพอดี หลังจากนั้นนำ ตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ได้ไปใส่ถุงพลาสติก HDPE 2 ชั้นคั่นด้วยกระดาษทิชชูหนาแล้วปิดปากถุงให้ มิดชิด เพื่อป้องกันการแห้งของผิวน้ำเนื้อ แล้วนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (NBCT7, Labec®, Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia) ที่อุณหภูมิ 54.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส

5) การดำเนินการทดสอบ จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การพัฒนาชุดคำศัพท์ การฝึกฝน การให้คะแนน (warm up) และการทดสอบตัวอย่าง

5.1 การพัฒนาชุดคำศัพท์

ตัวอย่างเนื้อที่ใช้ในการพัฒนาชุดคำศัพท์เป็นตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจาก งานวิจัยในครั้งนี้ซึ่งมีไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยเล็ฟตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกครั้งละ 1 กลุ่มทดลอง โดยตัวอย่างที่เล็ฟมีผลต่อคำศัพท์ที่ผู้ทดสอบจะพัฒนาขึ้นเพื่อใช้อธิบายลักษณะของ ตัวอย่างที่ได้รับ ส่งผลให้ได้ชุดคำศัพท์ที่ครอบคลุมตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรก แตกต่างกัน โดยเริ่มจากให้ผู้ทดสอบประเมินตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกด้วยการพิจารณาลักษณะ ปรากฏ (appearance) ซึ่งได้แก่ สีของเนื้อ ระดับของไขมันแทรก และการดมตัวอย่าง เมื่อผู้ทดสอบ พิจารณาถึงลักษณะทางประสาทสัมผัส (sensory attribute) ที่พบในตัวอย่างแล้วจึงพัฒนาชุดคำศัพท์ เพื่อใช้อธิบายลักษณะของตัวอย่างในแต่ละลักษณะของเนื้อสันนอกสุกคือ ลักษณะปรากฏ และกลิ่น

จากนั้นผู้ทดสอบจะได้รับการเสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสัมผัสที่สุกแล้วประเมินตัวอย่างด้วยการดมกลิ่นและการชิม เพื่อพัฒนาชุดคำศัพท์เพื่อใช้อธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อสัมผัสที่สุกในด้านกลิ่น (aroma) กลิ่นรส (flavor) ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ความรู้สึกทางเคมี (chemical feeling) รสชาติ (taste) และกลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) โดยในระหว่างการทดสอบแต่ละตัวอย่างจะให้ผู้ประเมินพัก 10-20 นาที เพื่อลดความล้าของผู้ประเมินที่เกิดขึ้นจากการประเมินตัวอย่าง จากนั้นจึงทำการเสิร์ฟตัวอย่างและพัฒนาชุดคำศัพท์จนครบ 3 กลุ่มทดลอง จึงเริ่มอภิปรายกลุ่มเพื่อรวบรวมและสรุปคำศัพท์ที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งกำหนดคำจำกัดความ (definition) ของคำศัพท์แต่ละคำ กำหนดวิธีประเมินของแต่ละลักษณะ กำหนดตัวอย่างอ้างอิง (references) เพื่อใช้แสดงลักษณะเฉพาะของตัวอย่างตามคำจำกัดความ และกำหนดคะแนนของตัวอย่างอ้างอิงเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนนความเข้มของแต่ละลักษณะที่กำหนดขึ้น ซึ่งแสดงในตารางภาคผนวก ก ที่ 1-4 และภาพภาคผนวก ข ที่ 1-6

5.2 การฝึกฝนการให้คะแนน

ในช่วงเช้าของวันที่ทำการทดสอบจริง (5 วันภายหลังสัตว์ตาย) จะเป็นการฝึกฝนผู้ประเมินให้เกิดความคุ้นเคยกับตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบและเพื่อเป็นการฝึกฝนการใช้สเกลแบบเส้นตรงที่มีช่วงคะแนน 0-15 ในการให้คะแนนความเข้มของแต่ละลักษณะ โดยทำการเสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสัมผัสที่สุกทั้ง 3 กลุ่มทดลอง คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ปานกลาง และสูง โดยเสิร์ฟแบบสุ่มครั้งละ 1 ตัวอย่าง จำนวน 6 ชิ้นต่อตัวอย่าง เมื่อผู้ประเมินแต่ละท่านได้รับตัวอย่างแล้วจะให้คะแนนความเข้มในลักษณะต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการพัฒนาชุดคำศัพท์ และบันทึกคะแนนของผู้ประเมินแต่ละท่านไว้เพื่อใช้ในการปรับคะแนนความเข้มของลักษณะที่ศึกษาในกรณีที่มีผู้ประเมินให้คะแนนความเข้มแตกต่างไปจากผู้ทดสอบท่านอื่น

5.3 การประเมินตัวอย่าง

เสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสัมผัสที่สุกทั้ง 3 กลุ่มทดลองให้กับผู้ประเมินแต่ละท่าน โดยแต่ละกลุ่มทดลองจะกำกับด้วยตัวเลขสุ่ม 3 หลัก ทำการเสิร์ฟแบบสุ่มครั้งละ 1 กลุ่มทดลอง เมื่อผู้ประเมินได้รับตัวอย่างแล้วให้ผู้ประเมินแต่ละท่านประเมินตัวอย่างและให้คะแนนความเข้มของแต่ละลักษณะที่พบลงในแบบทดสอบที่เตรียมไว้ (ภาคผนวก ค) ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในคำศัพท์และนิยามของตัวอย่างเนื้อสัมผัสที่สุกดิบและสุกที่ได้จากขั้นตอนการพัฒนาชุดคำศัพท์ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 1-4) โดยในระหว่างการทดสอบมีการจัดเตรียมตัวอย่างอ้างอิง (ภาพผนวก ข ที่ 1-6) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนนของแต่ละลักษณะ

การประเมินลักษณะกลิ่นของเนื้อสัมผัสที่สุกดิบ โดยเตรียมตัวอย่างเนื้อสุกดิบหั่นให้มีขนาด $1.3 \times 1.3 \times 1.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น ใส่ลงในถ้วยพลาสติก (polystyrene; Eastern polypack, Bangkok, Thailand) ขนาด 2 ออนซ์ปิดฝาให้ผู้ประเมินดมตัวอย่างแล้วประเมินความเข้มของกลิ่น ได้แก่ กลิ่นโลหะ (metallic aroma) กลิ่นโดยรวมของตัวอย่างเนื้อสุกดิบที่ให้

ความรู้สึกหวาน (sweet aromatics) และกลิ่นเฉพาะตัวของเนื้อสุกรดิบ (raw pork identifies) โดยคะแนน 0 หมายถึงความเข้มข้นของกลิ่นน้อย และ คะแนน 15 หมายถึงความเข้มข้นของกลิ่นมาก ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก ที่ 1-4 โดยผู้ทดสอบประเมินลงในแบบประเมินที่จัดเตรียมไว้ ดังแสดงในภาคผนวก ค

การประเมินลักษณะของเนื้อสันนอกสุกรสุก โดยเมื่อเริ่มประเมิน ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจะได้รับตัวอย่างเนื้อที่เสิร์ฟในถ้วยกระเบื้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer, T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) วัดอุณหภูมิภายในถ้วยกระเบื้อง ผู้ประเมินจะได้รับเนื้อตัวอย่างจำนวน 6 ชิ้น เพื่อบรรยายกลิ่น กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส ความรู้สึกลึกทางเคมี รสชาติ และกลิ่นรสตกค้างหลังลิ้นของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรสุก พร้อมทั้งให้คะแนนความเข้มข้นของแต่ละลักษณะ โดยคะแนน 0 หมายถึงระดับความเข้มข้นน้อยมากที่สุด และคะแนน 15 หมายถึงระดับความเข้มข้นมากที่สุด ทั้งนี้ผู้ประเมินจะประเมินตัวอย่างด้วยการดมกลิ่นและชิมตัวอย่าง โดยในระหว่างการทดสอบไม่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาในการทดสอบตลอดจนเกณฑ์ในการจำแนกความแตกต่างของตัวอย่าง ในทดสอบจะการจัดเตรียมน้ำดื่ม และแครกเกอร์ไว้เพื่อให้ผู้ประเมินกลืนปากด้วยน้ำเล็กน้อยก่อนประเมิน และทานแครกเกอร์เล็กน้อยเพื่อเป็นการล้างลิ้นตกค้างจากการชิมตัวอย่างก่อนหน้านี้ ทั้งนี้ผู้ประเมินสามารถประเมินตัวอย่างซ้ำได้จนกว่าจะมั่นใจในการให้คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ โดยในระหว่างการทดสอบแต่ละตัวอย่างจะให้ผู้ประเมินพัก 10-20 นาที เพื่อลดความล้าของผู้ประเมินที่เกิดขึ้นจากการประเมินตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของไขมันแทรกต่อความชอบและความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรก และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร

1) การจัดเตรียมเนื้อสันนอกสุกรเพื่อถ่ายภาพเพื่อใช้ทดสอบความพึงพอใจต่อระดับของไขมันแทรกและการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค

เนื้อสันนอกที่ใช้ในการถ่ายภาพ (ที่ปล่อยให้สัมผัสอากาศ 24 ชั่วโมงภายในตู้แช่เย็นจัดวางจำหน่ายแบบเปิดด้านบน) จะเป็นเนื้อชุดเดียวกันกับที่ตัดแล้วปล่อยให้สัมผัสอากาศแล้ววัดค่าสีของเนื้อที่ 2 ชั่วโมง ดังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.1 โดยเมื่อครบ 48 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายนำกล้ามเนื้อสันนอก (เนื้อชิ้นที่ 9 ภาพที่ 3.2 ก) มาตัดให้มีความหนา 2.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ตัดเอาไขมันหุ้มออก และตัดแต่งให้มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันที่สุด บรรจุบนถาดโฟมที่มีแผ่นซับเลือด และหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกสำหรับห่ออาหารชนิด PVC (M-Wrap[®], MMP Co., Ltd., Bangkok, Thailand) ที่ทราบคุณสมบัติ คือ oxygen transmission rate = 30,000-50,000 cm³/μm/m²/day/23°C/0%RH และ water vapor transmission rate = 190-300 g/μm/m²/day/23°C/85%RH จัดเตรียมรหัสเลขคู่ 3 ตัวเพื่อกำหนดเป็นรหัสตัวอย่างขณะให้ผู้บริโภคประเมินความพึงพอใจต่อระดับไขมันแทรกและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอก จากนั้นนำไปแช่ในตู้แช่เย็นจัดวางจำหน่ายแบบ

เปิดด้านบน (refrigerated display case; Systemform, Thailand) ที่อุณหภูมิ 3.3 ± 0.5 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) ที่ให้แสงสว่างมีความเข้มแสงเฉลี่ย 1,000 ลักซ์โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Bright boost Super 80 TLD 36W830 warm white 3,250 lumens; 90 lumens/W, Philips Electronics Co., Ltd., Samutprakarn, Thailand) ปล่องให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาจึงวัดค่าสีของเนื้อได้แก่ ค่าความสว่าง (lightness; L^*) ค่าสีแดงหรือสีเขียว (redness-greenness; a^*) และค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellowness-blueness; b^*) ตามระบบของ CIE (1978) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (MiniScan[®] EZ 45/0 LAV, Illuminant D65, 10° observer, 2.54-cm diameter aperture, Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA) โดยวัดบริเวณผิวหนังชั้นเนื้อผ่านฟิล์ม จำนวน 2 ตำแหน่งๆ ละ 2 ครั้ง แต่แต่ละครั้งวางหัววัดในแนวตั้งฉากกัน เพื่อลดปัจจัยจากลักษณะการจัดเรียงเส้นใยกล้ามเนื้อ บันทึกข้อมูลค่าสี จากนั้นใช้โปรแกรม EasyMatchQC (Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) คำนวณข้อมูลค่าสี ตามคำแนะนำของ AMSA (1991) และ Insani *et al.* (2008) ตามลำดับ จากนั้นจึงถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายรูป (EOS 700D, Canon Inc., Tokyo, Japan) โดยตั้งค่ากล้อง ISO 200, F9.0, 1/10 วินาที และใช้เลนส์ macro 0.39 เมตร หรือ 1.3 ฟุต ระยะการถ่าย 30 เซนติเมตรภายใต้แสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ (75-W cool white fluorescent, Philips Electronics Co., Ltd., Samutprakarn, Thailand) ระมัดระวังการสะท้อนแสง และควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการมองเห็นบันทึกไฟล์ภาพดิจิทัลไว้ ขนาดไฟล์โดยประมาณ $3,000 \times 2,000$ พิกเซล (pixels) โดยบันทึกเป็นไฟล์ JPEG เพื่อใช้ทดสอบความพึงพอใจและการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค

2) การเตรียมตัวอย่างเนื้อเพื่อการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านการบริโภค

เมื่อครบกำหนด 11 วันภายหลังสัตว์ตายเตรียมตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรสำหรับการทดสอบคุณภาพการบริโภค ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ Lee *et al.* (2012) โดยนำเนื้อสันนอกที่จะใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัสมาละลายที่อุณหภูมิ 1.6 ± 0.3 องศาเซลเซียส (EBI 20, Ebro data logger, Xylem Analytics Inc., Ingolstadt, Germany) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นเวลา 12 วันภายหลังสัตว์ตาย จากนั้นใช้กระดาษทิชชูหนาซับน้ำที่เนื้อให้แห้ง นำเนื้อไปอบในเตาอบไฟฟ้า (broiler ovens; EO-42K, Sharp Corporation, Pathumthani, Thailand) โดยใช้ไฟที่ให้ความร้อนจากด้านบนและด้านล่างที่อุณหภูมิ 180.0 ± 5.0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที หรือจนได้อุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 71.0 ± 0.5 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 1 นาที ตรวจสอบอุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อด้วย thermocouple (1.5-mm-diameter flexible fiberglass Type K) โดยใช้ร่วมกับ temperature data logger (175-T3 และ 176-T4, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) ในการบันทึกอุณหภูมิ แล้วห่อเนื้อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ร่อนอุณหภูมิใจกลางเนื้อเท่ากับ 30.0 ± 0.5 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (T106, Testo Inc., Lenzkirch, Germany) วัดที่บริเวณใจกลางชิ้นเนื้อ จากนั้นนำเนื้อออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วตัดส่วนพื้นผิวที่แห้งหรือสีเข้มกว่าออก ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณ

ผิวด้านนอกของเนื้ออาจมีกลิ่น กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสที่มากกว่า จึงอาจส่งผลให้ค่าที่ได้มีความแปรปรวน ดังนั้นในขั้นตอนการตัดเนื้อเพื่อประเมินจะทำการตัดผิวด้านนอกออกทุกครั้งเพื่อลดความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนในระหว่างการทดลอง จากนั้นเมื่อทำการตัดส่วนพื้นผิวที่แห้งหรือสีเข้มกว่าออกแล้ว ตัดแบ่งเป็นชิ้นขนาด $1.3 \times 1.3 \times 1.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ได้ไปใส่ถุงพลาสติก HDPE 2 ชั้นกันด้วยกระดาษทิชชูหนาแล้วปิดปากถุงให้มิดชิด เพื่อป้องกันการแห้งของผิวน้ำเนื้อ แล้วนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (NBCT7, Labec®, Laboratory Equipment PTY. LTD, Marrickville, Australia) ที่อุณหภูมิ 54.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ทำโดยหาอาสาสมัคร และคัดกรองให้ได้ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้บริโภคเนื้อสุกรช่วงอายุตั้งแต่ 18 ถึง 65 ปี จำนวนทั้งหมด 403 คน ที่อาศัยในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยทำการทดสอบกับผู้บริโภคในสถานที่ต่างๆ ซึ่งได้รับคำแนะนำจากผู้ผลิตและจำหน่ายเนื้อสุกร จากนั้นจะสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ การศึกษา รายได้ ความถี่ในการซื้อและบริโภคเนื้อสุกร สิ่งที่พิจารณาเมื่อเลือกซื้อเนื้อสุกร และสาเหตุที่บริโภคเนื้อสุกร โดยก่อนเริ่มการทดสอบให้ผู้บริโภคกรอกข้อมูลส่วนบุคคลและแสดงความยินยอมร่วมการทดสอบและต้องเป็นผู้ที่ขอรับประทานเนื้อสุกร โดยให้ผู้บริโภคทดสอบชิมตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มๆ ละ 2 ชิ้น โดยลิ้นฟลิทตัวอย่าง โดยใช้ลำดับการลิ้นฟตัวอย่างแบบสุ่ม (AMSA, 2015) และตอบแบบประเมินซึ่งจะสอบถามถึงความชอบหรือพึงพอใจโดยรวมที่มีต่อแต่ละตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบต่อระดับความนุ่ม (tenderness) ความชุ่มฉ่ำของเนื้อ (juiciness) ความมัน (oiliness) กลิ่นและรสชาติโดยรวม (overall flavor) และความชอบโดยรวม (overall liking) โดยใช้สเกลความชอบ (9-point hedonic scale) คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด คะแนน 5 หมายถึง เฉยๆ และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อป้องกันอิทธิพลจากการได้เห็นชิ้นเนื้อต่อความรู้สึกต่อคุณภาพในการรับประทาน จึงให้ผู้บริโภคประเมินภาพของเนื้อสันนอกสุกรภายหลังจากการทดสอบคุณภาพด้านการรับประทานเสร็จแล้ว

3) การประเมินความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตาและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรของผู้บริโภค

ภายหลังผู้บริโภคทดสอบความชอบต่อคุณภาพในการบริโภคแล้ว นำภาพตัวอย่างเนื้อ (เนื้อชิ้นที่ 9 ภาพที่ 3.2 ก) ที่ได้จากการถ่ายภาพไว้ล่วงหน้า (ที่ปล่อยให้สัมผัสอากาศ 24 ชั่วโมงภายในตู้แช่เย็น) มาเพื่อไว้ใช้ทดสอบความชอบของผู้บริโภคต่อระดับไขมันแทรก โดยให้ผู้บริโภคพิจารณาภาพจาก iPad mini 2 tablets (Apple Inc., California, USA) เพื่อลดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของสีเนื้อจากปัจจัยต่างๆ ในการทดลอง เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น จากนั้นให้ผู้บริโภคพิจารณาให้คะแนนความชอบต่อระดับไขมันแทรก (visual marbling level liking) โดยใช้ 9-point hedonic scale โดยคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด คะแนน 5 หมายถึง เฉยๆ และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด รวมถึงการตัดสินใจเลือกซื้อ (purchase intent) โดยใช้ 5-point hedonic scale โดยคะแนน

5 หมายถึงซื้อแน่นอน คะแนน 3 หมายถึงไม่มั่นใจ และคะแนน 1 หมายถึงไม่ซื้อแน่นอน เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชอบของผู้บริโภคต่อระดับไขมันแทรก การตัดสินใจซื้อ และความชอบต่อคุณภาพในการรับประทานเนื้อสันนอกของสุกรที่มีระดับไขมันแทรกที่ต่างกัน โดยสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค มีดังนี้

ครั้งที่ 1 สถาบันทางการศึกษา : คณะเทคโนโลยีการเกษตร และคณะครุศาสตร์-อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ซึ่งมีจำนวนผู้บริโภคร่วมการทดสอบจำนวน 82 คน

ครั้งที่ 2 สถาบันทางการศึกษา : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ซึ่งมีจำนวนผู้บริโภคร่วมการทดสอบจำนวน 70 คน

ครั้งที่ 3 หน่วยงานภาคเอกชน : อาคารจัสมิน อินเทอร์เน็ต ชั้นแนล ถนนแจ้งวัฒนะ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีจำนวนผู้บริโภคร่วมการทดสอบจำนวน 72 คน

ครั้งที่ 4 หน่วยงานภาครัฐ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) อำเภอดอนตาล จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งมีจำนวนผู้บริโภคร่วมการทดสอบจำนวน 86 คน

ครั้งที่ 5 ห้างสรรพสินค้า : เดอะมอลล์ สาขาบางกะปิ และเดอะมอลล์ สาขาบางแค กรุงเทพฯ ซึ่งมีจำนวนผู้บริโภคร่วมการทดสอบจำนวนรวม 79 คน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองที่ 1 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้รอบที่นำสุกรเข้ามา (รอบที่เก็บตัวอย่าง) เป็นบล็อก วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) โดยแหล่งความแปรปรวนมาจากกลุ่มทดลองและรอบที่เก็บตัวอย่าง จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกันด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) จากนั้นนำข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของตัวแปรด้านคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร โดยใช้ Pearson's correlation coefficient ในการวิเคราะห์ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ ขณะที่ใช้ Spearman's rank correlation coefficient ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก (category data) กับคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences: SPSS Inc. USA)

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไธโอน ปริมาณนิวคลีโอไทด์ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (RCBD) โดยกำหนดให้รอบที่นำสุกรเข้ามา (รอบที่เก็บตัวอย่าง) เป็นบล็อก วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA โดยแหล่งความแปรปรวนมาจากกลุ่มทดลอง และรอบที่เก็บตัวอย่าง จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลคุณภาพเนื้อทางเคมีและข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT จากนั้นนำข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรด้านคุณภาพทางเคมีและลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน โดยใช้ Pearson's correlation coefficient ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาทิศทางของสัมพันธระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน และใช้ Spearman's rank correlation coefficient ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาทิศทางของความสัมพันธระหว่างระดับไขมันแทรกกับคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17.0 (SPSS Inc. USA)

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้วยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) โดยสกัดปัจจัยที่มีค่าไอแกน (eigenvalue) มากกว่า 1 และหมุนแกนด้วยวิธีแวนิแม็กซ์ (varimax) เพื่อจัดกลุ่มลักษณะของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรที่มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้ามให้อยู่ในกลุ่มของตัวแปรเดียวกัน และเทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล (cluster analysis) แบบ Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis (AHC) โดยใช้โปรแกรม XLSTAT เวอร์ชัน 2018.6.53888 (Addinsoft, Paris, France)

การทดลองที่ 3 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรกและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (RCBD) โดยกำหนดให้รอบที่นำสุกรเข้ามา (รอบที่เก็บตัวอย่าง) เป็นบล็อก วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการประเมินความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพในการรับประทานเนื้อสันนอกสุกร ความชอบต่อปริมาณไขมันแทรกเมื่อพิจารณาจากสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อ (เปอร์เซ็นต์คนที่ตัดสินใจเลือกซื้อแน่นอน (คะแนน 5) และอาจจะซื้อ (คะแนน 4) : top two box ratings) ด้วย ANOVA โดยแหล่งความแปรปรวนมาจากกลุ่มทดลอง และรอบที่เก็บตัวอย่าง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ด้วยวิธี DMRT จากนั้นนำข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคุณภาพทางเคมีและกายภาพต่อการประเมินความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพในการรับประทานเนื้อสันนอกสุกและการตัดสินใจเลือกซื้อ โดยใช้ Pearson's correlation coefficient ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ ขณะที่ใช้ Spearman's rank correlation coefficient ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างไขมันแทรก คุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ และความชอบของผู้บริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17.0 (SPSS Inc. USA)

การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก (*Longissimus dorsi*)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ (RCBD) โดยกำหนดให้รอบที่นำสุกรเข้ามา (รอบที่เก็บตัวอย่าง) เป็นบล็อก วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่ประเมินด้วยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน และข้อมูลความชอบด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อด้วย ANOVA โดยแหล่งความแปรปรวนมาจากกลุ่มทดลอง และรอบที่เก็บตัวอย่าง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17.0 (SPSS Inc. USA) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแผนภาพความชอบภายนอกเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก โดยใช้เทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่สำคัญต่อความชอบของผู้บริโภค โดยใช้โปรแกรม XLSTAT เวอร์ชัน 2018.6.53888 (Addinsoft, Paris, France)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางเคมี กายภาพ ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ความพึงพอใจของผู้บริโภคในการรับประทานและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ประกอบด้วยผลการวิจัย 4 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร การทดลองที่ 2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไมด์ ปริมาณนิวคลีโอไทด์ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร การทดลองที่ 3 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรก และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร และการทดลองที่ 4 การวิเคราะห์แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร

4.1 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี ค่า pH และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่าน (Warner-Bratzler Shear Force) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย กล้ามเนื้อ ความยาวซาร์โคเมอร์ ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด เปอร์เซ็นต์คอลลาเจนที่ละลายได้ ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ และค่าสีของเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำข้อมูลที่ศึกษาที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกกับคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.2

4.1.1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสันนอกสุกร

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับของไขมันแทรกแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1) พบว่าระดับไขมันแทรกมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์ความชื้น และเปอร์เซ็นต์เถ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 6.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (4.03 เปอร์เซ็นต์) และ

ไขมันแทรกต่ำ (2.55 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกลุ่มทดลองในการวิจัยครั้งนี้ และเป็นที่สังเกตได้ว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันที่เป็นส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสุกรมีค่าค่อนข้างสอดคล้องกับปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินได้ด้วยสายตา เมื่อเทียบกับการพิจารณาจากภาพมาตรฐานไขมันแทรกและมาตรฐานสีตามระบบ US National Pork Board (2011) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าลดลง โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 73.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (72.79 เปอร์เซ็นต์) และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (71.02 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตากับองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.2) พบว่าระดับไขมันแทรกมีความสัมพันธ์อย่างมากในทิศทางเดียวกัน ($r = 0.91$, $p < 0.01$) กับเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อที่วิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี แต่จะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น ($r = -0.75$, $p < 0.01$) ประกอบกับเปอร์เซ็นต์ไขมันมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น ($r = -0.91$, $p < 0.01$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าลดลง สอดคล้องกับ Ngapo *et al.* (2012) ที่พบความสัมพันธ์อย่างมากในทิศทางเดียวกันระหว่างปริมาณไขมันแทรกกับเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = 0.70$, $p < 0.01$) และพบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น ($r = -0.81$, $p < 0.01$) ทั้งนี้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าปริมาณไขมันในเนื้อมีส่วนแปรผกผันกับปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อ (Li *et al.* 2006; Okumura *et al.* 2007; Utrilla *et al.* 2010) เนื่องจากเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ triacylglycerols (neutral lipids หรือ non-polar lipids) เพิ่มขึ้น โดย triacylglycerols หรือไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลักของไขมันในกล้ามเนื้อ (Fernandez *et al.* 1999a; วิธีการดำเนินงานวิจัย *et al.* 2003) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่า hydrophobic (López *et al.* 2017) ทั้งนี้การที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีความสัมพันธ์แปรผกผันอย่างมากกับเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อนี้ Pflanzner and Felício (2011) แนะนำว่าอาจใช้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสร้างสมการในการทำนายเปอร์เซ็นต์ไขมันได้โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์ทางเคมี

สำหรับเปอร์เซ็นต์เถ้าซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดในเนื้อ (Harbers. 1998) โดยผลจากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4.1) พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีเปอร์เซ็นต์เถ้า 1.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (1.17 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีเปอร์เซ็นต์เถ้า (1.19 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกสูง ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณแร่ธาตุลดลง จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Okrouhlá *et al.* (2008) และ Utrilla *et al.* (2010) พบว่าเนื้อสันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อสูงมีเปอร์เซ็นต์เถ้าต่ำกว่าเนื้อที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันน้อย ($p < 0.05$) ซึ่งปริมาณเถ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเนื้อแดงเพิ่มขึ้น (Okrouhlá *et al.* 2008) ขณะที่

Cannata *et al.* (2010) ไม่พบความแตกต่าง ($p>0.05$) ของเปอร์เซ็นต์เถ้า (1.15 1.20 และ 1.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น (1.96 2.50 และ 3.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมันแทรกจากกลุ่มทดลองของ Cannata *et al.* (2010) พบว่าปริมาณไขมันแทรกมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ Utrilla *et al.* (2010) พบว่าปริมาณเถ้ามีความสัมพันธ์ทางบวกกับความชื้น ($r = 0.545$, $p<0.01$) โดยเนื้อที่มีความชื้นมากหมายถึงเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยจะมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Williams *et al.* (2007) รายงานว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยเป็นแหล่งของโปรตีน ไนอะซิน (niacin) วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 ฟอสฟอรัส สังกะสี และธาตุเหล็ก ทั้งนี้เนื้อโคที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อ 1.70-1.90 เปอร์เซ็นต์ มีแร่ธาตุบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส สังกะสี และธาตุเหล็ก สูงกว่าเนื้อโคที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อ 3.40-4.70 เปอร์เซ็นต์ โดยแร่ธาตุในเนื้อ คือ ส่วนประกอบของเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ของเนื้อสัตว์ ซึ่งหมายถึงแร่ธาตุหลัก (macronutrient elements) ได้แก่ แคลเซียม (calcium; Ca) โซเดียม (sodium; Na) โพแทสเซียม (potassium; K) แมกนีเซียม (magnesium; Mg) และซัลเฟอร์ เป็นต้น แร่ธาตุรอง (micronutrient elements) ได้แก่ เหล็ก (iron; Fe) สังกะสี (zinc; Zn) และซีลีเนียม (selenium; Zn) เป็นต้น และแร่ธาตุ ultra-trace elements ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยมากแต่ขาดไม่ได้ ได้แก่ โบรอน (boron; B) แคดเมียม (cadmium; Cd) และโคบอลต์ (cobalt; Co) เป็นต้น (Tomovic *et al.* 2015) ดังนั้นเนื้อที่มีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงอาจมีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ สูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามผลการวิจัยครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกและเปอร์เซ็นต์เถ้า ($p>0.05$, ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์เถ้าอาจขึ้นกับสัดส่วนและองค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อแดง ไขมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันภายในชิ้นเนื้อ

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.1 แม้ว่าระดับไขมันแทรกจะไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนในกล้ามเนื้อ แต่เมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นพบว่ามีความโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในกล้ามเนื้อลดลง ($p=0.072$) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Okumura *et al.* (2007) Cannata *et al.* (2010) และ Utrilla *et al.* (2010) พบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อลดลง ($p<0.05$) และ Ngapo *et al.* (2012) พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างปริมาณไขมันแทรกและเปอร์เซ็นต์โปรตีน ($r = -0.20$, $p<0.05$) ในเนื้อสันนอกสุกร ขณะที่ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันแทรกกับเปอร์เซ็นต์โปรตีน ($p>0.05$)

4.1.2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

เมื่อพิจารณาถึงค่า pH ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะบางประการของคุณภาพเนื้อ (Huff-longnergan *et al.* 2002) และเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อความนุ่มและการประเมิณทางประสาทสัมผัส (Van Laack *et al.* 2001) จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของ

ไขมันแทรก ($p < 0.05$) โดยเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า pH 5.69 ซึ่งมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (5.60) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีค่า pH 5.65 ซึ่งไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cannata *et al.* (2010) ซึ่งรายงานค่า pH (5.62) ของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลาง (5.57) มีค่าสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (5.45) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วเนื้อสันนอกสุกจะมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ white fiber (type IIb, glycolytic type) มากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ red fiber (type I, oxidative type) และ intermediate fiber (type IIa, oxidative-glycolytic type) (Kim *et al.* 2013) เนื้อที่มีการสะสมไขมันแทรกสูงอาจมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type I สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ โดยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I จะมีการสะสมของ intracellular lipid สูงกว่าจึงมีการสะสมไขมันแทรกมากกว่า (Nam *et al.* 2009) ประกอบกับเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำอาจจะมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb สูง ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIb มี glycolytic potential สูงกว่า และมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนไกลโคเจน (glycogen) เป็นกรดแลคติกในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่สูง ส่งผลให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIb มากจะมีค่า pH ลดลงเร็วกว่า (ต่ำกว่า) type I (Huff-longnergan *et al.* 2002) ทั้งนี้ Ryu and Kim (2005) กล่าวว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIb มีความสัมพันธ์กับการเกิดไกลโคไลซิซอย่างมากระหว่างการเกิดไกลโคไลซิซจะเกิดขึ้นเร็วกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ type I ส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับ Choi *et al.* (2007) พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่าง type IIb กับ glycolytic potential ($r = 0.25$, $p < 0.05$) ทั้งนี้จากการศึกษาของ Ryu and Kim (2005) พบว่าอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่า pH ที่ 45 นาที ($r = 0.29$, $p < 0.05$) และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามค่าความสว่าง ($r = -0.29$, $p < 0.05$) และค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา ($r = -0.25$, $p < 0.05$) ของเนื้อสันนอกสุก ขณะที่ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับระดับไขมันแทรกและเปอร์เซ็นต์ไขมันของเนื้อสันนอกสุก ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.2)

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (ตารางที่ 4.1) พบว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษา 1.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (2.88 เปอร์เซ็นต์) และไขมันแทรกต่ำ (3.45 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมีและกายภาพต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษากับระดับไขมันแทรก ($r = -0.46$, $p < 0.01$) และเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อ ($r = -0.45$, $p < 0.01$) ซึ่งความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าและมีความสามารถในการอุ้มน้ำ

ดีกว่า ขณะที่พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา กับเปอร์เซ็นต์ความชื้น ($r = 0.44, p < 0.01$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากซึ่งในการวิจัยครั้งนี้คือเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกมาก จากการที่ค่า pH ของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ อาจส่งผลให้โปรตีนภายในกล้ามเนื้อมีความสามารถในการจับน้ำได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเกิดจากความสามารถในการจับน้ำของโปรตีน การที่โปรตีนสามารถจับกับน้ำได้เนื่องจากขั้วของโปรตีนจับกับขั้วที่ตรงข้ามที่อยู่ในโมเลกุลของน้ำ ทั้งนี้โครงสร้างของโปรตีนประกอบด้วยหมู่ที่สำคัญ 3 หมู่ คือ carboxylic group ($-\text{COOH}$) amino group ($-\text{NH}_2$) และ R-group ซึ่งสภาพขั้วของโปรตีนเกิดจากกรดอะมิโนที่มีขั้วที่อยู่ใน R-group โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปไดโพลาร์ (dipolar ion) โดยสภาพขั้วของโปรตีนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามค่า pH ของสารละลาย คือ เมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นด่างแก่จะมีประจุเป็นลบ แต่ถ้าอยู่ในสารละลายกรดแก่จะมีประจุเป็นบวก (จันทร์พร เจ้าทรัพย์, 2554) ทั้งนี้เมื่อค่า pH ของเนื้อสูงขึ้นจะส่งผลต่อประจุโดยรวมของโปรตีนให้มีสภาพขั้วเป็นลบ (OH^-) มากขึ้น ส่งผลให้สภาพขั้วที่เป็นลบของโปรตีนในเนื้อผลักกัน (repulsion) จึงมีช่องว่างระหว่าง myofibril มากขึ้น โมเลกุลของน้ำจึงแทรกตัวเข้าไปภายในโครงสร้างของกล้ามเนื้อได้ ส่งผลให้เนื้อที่มีค่า pH สูงกว่ามีความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อดีกว่าเนื้อที่มีค่า pH ต่ำ (Aberle *et al.* 2012) ประกอบกับโปรตีนที่เป็นประจุลบบางส่วนจับกับ divalent cations (Mg^{2+} และ Ca^{2+}) ส่งผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจึงลดลง (Lawrie and Ledward, 2006) สอดคล้องกับ Aberle *et al.* (2012) กล่าวว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ คือ สภาพความเป็นกรดด่าง (ค่า pH) ของเนื้อ ผลรวมของประจุของโปรตีน และปัจจัยเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสูงเช่นกัน (Lawrie and Ledward, 2006) อาจเป็นเพราะเนื้อที่มีไขมันแทรกจะมีโครงสร้างของกล้ามเนื้อหลวม ส่งผลให้มีการสะสมของน้ำภายในกล้ามเนื้อมากกว่าเนื้อที่ไม่มีไขมันแทรก (Lawrie and Ledward, 2006) สอดคล้องกับ Cannata *et al.* (2010) พบว่าค่า pH ของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลางมีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางที่มีค่าน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำโดยมีค่าเท่ากับ 2.47 2.69 และ 4.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p < 0.05$) ทั้งนี้จากการศึกษาในครั้งนี้พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างระดับไขมันแทรกกับการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษา ($r = -0.46, p < 0.05$, ตารางที่ 4.2) ขณะที่ Watanabe *et al.* (2018) ซึ่งทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อกับเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อสันนอกสุกรสายพันธุ์ทางการค้าในประเทศญี่ปุ่นที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันอยู่ในช่วง 0.80-7.15 เปอร์เซ็นต์ รายงานว่าไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำใน

ระหว่างการเก็บรักษากับปริมาณไขมันแทรก ($r = -0.23$, $p > 0.05$) แต่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามในระดับปานกลางระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในการเก็บรักษากับค่า pH ($r = -0.57$, $p < 0.01$) ผู้วิจัยจึงสรุปว่าค่า pH มีอิทธิพลกับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อมากกว่าปริมาณไขมันแทรก

นอกจากนี้ยังพบว่าระดับไขมันแทรกไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลายของเนื้อสันนอกสุกร ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.1) ขณะที่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในการปรุงสุกของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลางมีค่าน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.22 20.31 และ 22.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p < 0.05$) โดยรวมพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่า ซึ่งอาจแสดงถึงความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีกว่า ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า pH สูงกว่า มีผลให้โปรตีนภายในกล้ามเนื้อมีความสามารถในการจับน้ำได้ดีขึ้น น้ำภายในเนื้อจึงสูญเสียออกมาน้อยกว่าเนื้อที่มีค่า pH ต่ำ จากรายงานของ Puolanne *et al.* (2002) กล่าวว่าค่า pH ของเนื้อที่แตกต่างกันเพียง 0.2-0.3 หน่วยอาจจะมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ค่าสีของเนื้อ และความนุ่มของเนื้อได้ ทั้งนี้ยังอาจเนื่องมาจากการที่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความชื้น) ที่เป็นองค์ประกอบอยู่น้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำอีกด้วย (ตารางที่ 4.1) นอกจากนี้ไขมันแทรกยังอาจช่วยปกป้องการระเหยของน้ำในระหว่างให้ความร้อนเพื่อทำให้สุก (Aberle *et al.* 2012) ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการปรุงสุกกับระดับไขมันแทรก ($r = -0.47$ $p < 0.01$) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = -0.44$, $p < 0.01$) สอดคล้องกับ Cannata *et al.* (2010) ซึ่งพบว่าค่า pH มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุก ($r = -0.412$, $p < 0.05$) นอกจากนี้ Aberle *et al.* (2012) กล่าวว่าในระหว่างการทำให้สุกเมื่อไขมันแทรกที่อยู่บริเวณภายในและโดยรอบกล้ามเนื้อได้รับความร้อน ไขมันแทรกในเนื้อจะหลอมละลายและจะไปเคลือบทั่วเส้นใยกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นในหรือเพอร์ริไมเซิม ซึ่งอาจจะช่วยลดการระเหยของน้ำในระหว่างการปรุงสุกได้ ส่งผลให้เนื้อมีการสูญเสียน้ำน้อยลง

4.1.3 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อความนุ่มของเนื้อ

เมื่อพิจารณาถึงค่าแรงตัดผ่าน (Warner-Bratzler Shear Force) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงแรงที่ต้องใช้ในการฉีกเนื้อให้ขาดออกจากกัน ลักษณะคล้ายการกัดเนื้อให้ขาดด้วยฟันหน้า (AMSA. 2015) แสดงถึงค่าที่บ่งชี้ถึงความนุ่มเหนียวของเนื้อ โดยค่าแรงตัดผ่านมากแสดงว่าเนื้อเหนียว ค่าแรงตัดผ่านน้อยแสดงว่าเนื้อนุ่ม ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4.1) พบว่าระดับของไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผลในทางสถิติต่อค่าแรงตัดผ่าน ($p > 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cannata *et al.* (2010) และ Ngapo *et al.* (2012) ซึ่งไม่พบอิทธิพลของไขมันแทรกต่อค่าแรงตัดผ่าน ($p > 0.05$) ซึ่งเป็นการวัดค่าความนุ่มของเนื้อด้วยเครื่องมือ (instrumental tenderness measurement)

อย่างไรก็ตามแม้ในการศึกษาครั้งนี้จะไม่พบอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อค่าแรงตัดผ่าน ($p>0.05$) แต่พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าแรงตัดผ่านน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.07 4.44 และ 4.52 กิโลกรัม ตามลำดับ ($p>0.05$) ในขณะที่จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งพบว่าค่าแรงตัดผ่านมีค่าลดลงเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้น เนื้อจึงมีความนุ่มมากขึ้น ($p<0.05$) โดย Fortin *et al.* (2005) ทำการศึกษาในเนื้อสันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ น้อยกว่า 1.00 1.00-1.49 1.50-1.99 2.00-2.49 และ 2.50-2.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อเพิ่มขึ้นค่าแรงตัดผ่านลดลง ($r = -0.41$, $p<0.001$) สอดคล้องกับ Schwab *et al.* (2006) ซึ่งทำการศึกษาในเนื้อสันนอกสุกรสายพันธุ์ดอร์ค คือ เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตาในปริมาณมาก (3.54 คะแนน) และเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตาในปริมาณน้อย (3.07 คะแนน) พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกมากมีค่าแรงตัดผ่านเท่ากับ 5.31 กิโลกรัมซึ่งน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อยที่มีค่าเท่ากับ 5.98 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ Nishimura *et al.* (1999) ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในระหว่างการขุนของโค Japanese black ของประเทศญี่ปุ่น โดยได้อธิบายถึงการเจริญพัฒนาของไขมันแทรกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันว่าการพัฒนาของไขมันแทรกส่งผลให้เนื้อที่มีระดับของไขมันแทรกสูงจะมีความนุ่มมากขึ้น โดยโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันภายในกล้ามเนื้อของเนื้อที่มีไขมันแทรกมากจะเสถียรภาพไป คือ หลวม ไม่เกาะกันแน่น โดยไขมันแทรกจะไปเบียดบังพื้นที่ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้ความหนาและความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลง เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจึงอาจมีความนุ่มมากกว่า

เมื่อพิจารณาถึงความยาวซาร์โคเมอร์ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของเซลล์กล้ามเนื้อ (muscle cell unit) โดยซาร์โคเมอร์มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ ซึ่งถ้าเนื้ออยู่ในสภาวะคลายตัว ความยาวซาร์โคเมอร์จะยาวกว่าเนื้อในสภาวะหดตัว เนื้อจึงมีความนุ่มมากกว่า (Vandendriessche *et al.* 1984) ขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อเช่นกัน โดยเนื้อที่มีความนุ่มจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก แต่เนื้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อใหญ่กว่าจะมีความเหนียวมากกว่า (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, 2539; Aberle *et al.* 2012)

จากตารางที่ 4.1 ไม่พบอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อความยาวซาร์โคเมอร์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อของเนื้อสันนอกสุกร ($p>0.05$) และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกกับความยาวซาร์โคเมอร์และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ($p>0.05$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความยาวซาร์โคเมอร์ของเนื้อสันนอกสุกร ($p>0.05$, Ngapo *et al.* 2012) ทั้งนี้จากผลการศึกษาในครั้งนี้ความยาวซาร์โคเมอร์ของเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (1.79 ไมโครเมตร) ปานกลาง (1.80 ไมโครเมตร) และสูง (1.73 ไมโครเมตร) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าใกล้เคียง

กับงานวิจัยก่อนหน้านี้ คือ 1.78 ไมโครเมตร (Wheeler *et al.* 2000) และ 1.70-1.72 ไมโครเมตร (Ngapo *et al.* 2012) แม้ว่าระดับไขมันแทรกจะไม่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ แต่เมื่อเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้น พบว่ามีแนวโน้มของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ เล็กลง ($p=0.095$, ตารางที่ 4.1) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกสูงอาจมี อัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type I มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ โดยเส้นใยกล้ามเนื้อ type I จะ มีการสะสมของ intracellular adipocyte สูงกว่าจึงมีการสะสมไขมันแทรกมากกว่า (Nam *et al.* 2009) โดยทั่วไปแล้วเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I ซึ่งเนื้อที่มีการสะสมไขมันแทรกสูงกว่าจะมี ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อเล็กกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb ซึ่งมักเป็นเนื้อที่มี ไขมันแทรกน้อย (Aberle *et al.* 2012) โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I ของ เนื้อสันนอกของสุกรเพศผู้ตอนและเพศเมียจะมีขนาดประมาณ 52-78 ไมโครเมตร ขณะที่ type IIb มี ขนาดประมาณ 68-100 ไมโครเมตร (Migdal *et al.* 2005) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Kim *et al.* (2013) พบว่ากล้ามเนื้อสันนอกสุกรประกอบด้วยสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb มากกว่า type I และ type IIa ทั้งนี้เส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย กล้ามเนื้อส่วนใหญ่คือ 40 ถึง 100 ไมโครเมตร รองลงมาคือเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็ก คือ เล็ก กว่า 40 ไมโครเมตร ทั้งนี้เส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb ที่มีขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อเล็กจะมีการสะสม ไขมันแทรกสูง ($p<0.05$) และค่าแรงตัดผ่านต่ำกว่า ($p<0.05$) เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดเดียวกัน (type IIb) ที่มีขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อใหญ่กว่า

จากตารางที่ 4.1 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ ซึ่งผล จากการศึกษานี้ พบว่าระดับไขมันแทรกไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ คือ คอลลาเจน ที่ละลายได้เมื่อได้รับความร้อน (soluble collagen) คอลลาเจนที่ไม่ละลาย (insoluble collagen) และ คอลลาเจนทั้งหมด (total collagen) ($p>0.05$) ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนที่ละลายได้ (collagen solubility percentage) ของเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงมีค่าน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 10.64 และ 12.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แม้ว่าปริมาณ ของ soluble collagen จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มของ ปริมาณของ soluble collagen น้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p=0.061$) สอดคล้องกับ Li *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าปริมาณไขมันแทรกที่แตกต่างกันในเนื้อสันนอกโคไม่มีผลต่อปริมาณ total collagen และ insoluble collagen ($p>0.05$) แต่เมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น พบว่า collagen solubility percentage มีค่าลดลง ($p<0.05$) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนสูง และมีการ ละลายได้ของคอลลาเจนต่ำนั้นจะมีความเหนียวกว่าเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนต่ำ แต่มีการละลายได้ ของคอลลาเจนสูง (Kerry and Ledward, 2002; Torrecano *et al.* 2003; Moon, 2006)

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกกับคอลลาเจน (ตารางที่ 4.2) พบว่า collagen solubility percentage มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางในทิศทางตรงกันข้ามกับไขมันแทรก

($r = -0.50$, $p < 0.05$) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = -0.33$, $p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับไขมันแทรกและเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อเพิ่มขึ้น collagen solubility percentage มีค่าลดลง อาจเป็นเพราะเมื่อมีการสะสมของไขมันแทรกมากขึ้น เนื้อจะมีโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่แข็งแรงขึ้น คือ มี thermally stable non-reducible crosslinking มากขึ้น ทั้งนี้ Du *et al.* (2015) กล่าวว่าไขมันแทรกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษ โดยการเจริญพัฒนาของไขมันแทรก (adipogenesis) จะเกิดขึ้นพร้อมกับการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (fibrogenesis)

4.1.4 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อและค่าสีของเนื้อ

การออกซิเดชันของไขมันในเนื้อเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้ออาจทำให้เนื้อเสื่อมคุณภาพและอาจเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ คือ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ความเข้มข้นของออกซิเจน แสง อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น (นิธิยา รัตนปณนท. 2548)

จากตารางที่ 4.1 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันต่อค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อและค่าสีของเนื้อ พบว่าระดับไขมันแทรกไม่มีผลต่อค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ ($p > 0.05$) โดยค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกแตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.137-0.139 มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อเนื้อ 1 กิโลกรัม ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อกับระดับไขมันแทรกและเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = -0.17$ และ $r = -0.04$, $p > 0.05$ ตารางภาคผนวก จ ที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรที่ 48 ชั่วโมงภายหลังสตัว์ตาย โดยนำตัวอย่างเนื้อสันนอกบรรจุในถุงสุญญากาศแล้วนำไปแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ อาจส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อเกิดน้อยลง โดยทั่วไปแล้วค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสุกรมีค่าประมาณ 0.05-0.20 มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อเนื้อ 1 กิโลกรัม (Alonso *et al.* 2012; Richardson *et al.* 2017; Fan *et al.* 2019)

เมื่อพิจารณาถึงค่าสีของเนื้อ โดยค่า L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $L^* = 100$ แสดงถึงสีขาวหรือสว่างมาก $L^* = 0$ แสดงถึงสีดำหรือมืดมาก ค่า a^* จะบรรยายถึงสีเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) ส่วนค่า b^* จะบรรยายถึงสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปจนถึงสีเหลือง ($+b^*$) (Kropf. 2008) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4.1) พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ($p > 0.05$) แต่ระดับของไขมันแทรกมีผลต่อค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า a^* และค่า b^* สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าที่ได้บ่งบอกถึงเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
ความชื้น (%)	73.66 ^a	72.79 ^b	71.02 ^c	0.166	<0.001
ไขมัน (%)	2.55 ^c	4.03 ^b	6.11 ^a	0.137	<0.001
โปรตีน (%)	22.65	22.59	21.98	0.127	0.072
เถ้า (%)	1.19 ^{ab}	1.25 ^a	1.17 ^b	0.013	0.043
ค่าความเป็นกรดค่า (pH)	5.60 ^b	5.65 ^{ab}	5.69 ^a	0.013	0.021
การสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษา (%)	3.45 ^a	2.88 ^a	1.93 ^b	0.181	0.005
การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการละลาย (%)	3.67	2.89	2.83	0.167	0.088
การสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุก (%)	22.62 ^a	20.31 ^b	19.22 ^b	0.391	0.004
ค่าแรงตัดผ่าน (kg./cm ²)	4.44	4.52	4.07	0.113	0.235
ความยาวซาร์โคเมอร์ (μm)	1.79	1.80	1.73	0.019	0.246
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (μm)	70.97	64.66	67.10	1.162	0.095
คอลลาเจนทั้งหมด (mg/g)	3.19	3.15	3.31	0.050	0.405
คอลลาเจนที่ไม่ละลาย (mg/g)	2.81	2.80	2.96	0.047	0.290
คอลลาเจนที่ละลายได้ (mg/g)	0.38	0.35	0.35	0.006	0.061
% คอลลาเจนที่ละลายได้	12.01 ^a	11.33 ^{ab}	10.64 ^b	0.140	0.001
TBARS (mg MDA/kg meat) ³⁾	0.139	0.139	0.137	0.001	0.226
ค่าความสว่าง (lightness; L*) ⁴⁾	53.89	53.54	54.78	0.383	0.376
ค่าสีแดง (redness; a*) ⁴⁾	6.83 ^b	7.25 ^b	7.94 ^a	0.164	0.012
ค่าสีเหลือง (yellowness; b*) ⁴⁾	13.78 ^b	13.73 ^b	14.73 ^a	0.113	0.000

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

³⁾ TBARS (thiobarbituric acid reactive substances) = ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ (มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อเนื้อ 1 กิโลกรัม)

⁴⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 3.3 ± 0.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

	VML ²⁾	moisture	fat	ash	pH	DL	CL	CSP ³⁾	a* ⁴⁾	b* ⁴⁾
VML ²⁾	1									
moisture	-.75**	1								
fat	.91**	-.91**	1							
ash	-.22	.23	-.19	1						
pH	.28	.00	.11	.12	1					
drip loss (DL)	-.46**	.44**	-.45**	.14	-.00	1				
cooking loss (CL)	-.47**	.49**	-.44**	-.04	-.16	.39**	1			
CSP ³⁾	-.50**	.27	-.33*	.02	-.33*	-.07	.18	1		
a* ⁴⁾	.37**	-.19	.27	-.03	.52**	.05	-.17	-.28	1	
b* ⁴⁾	.50**	-.33*	.46**	-.15	.20	-.15	-.16	-.14	.52**	1

* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Pearson's correlation coefficient และความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันแทรก (VML) กับคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Spearman's rank correlation coefficient

²⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

³⁾ CSP = collagen solubility percentage

⁴⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 3.3 ± 0.5 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกกับค่าสีของเนื้อซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างระดับไขมันแทรกกับค่า a* ($r = 0.37$, $p < 0.01$) และค่า b* ($r = 0.50$, $p < 0.01$) และพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างเปอร์เซ็นต์ไขมันกับค่า b* ($r = 0.46$, $p < 0.01$) ทั้งนี้ Kerry and Ledward (2002) และ Utrilla *et al.* (2010) กล่าวว่าค่า b* มีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อ โดยหากค่าสีเหลืองมีค่าสูงอาจแสดงว่าเนื้อนั้นมีแนวโน้มมีปริมาณไขมันแทรกสูงด้วยเช่นกัน ประกอบกับ Ngapo *et al.* (2012) รายงานว่าเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้น ค่า a* และค่า b* ของเนื้อสันนอกสุกรมีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* และ b* กับระดับไขมันแทรก ($r = 0.40$ และ $r = 0.42$, $p < 0.01$) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* และ b* กับเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = 0.30$ และ $r = 0.41$, $p < 0.01$)

และพบว่าค่า a^* กับค่า b^* มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($r = 0.69, p < 0.01$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า a^* กับ b^* หรือความเป็นสีแดงและสีเหลืองของเนื้อหมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไขมันแทรก ทั้งนี้การที่ค่าสีแดงและสีเหลืองสูงในเนื้อหมีไขมันแทรกมากอาจเป็นเพราะการสะท้อนของไขมันบนผิวเนื้อในขณะวัดค่าสี จึงทำให้ค่า a^* และค่า b^* สูง (Ngapo *et al.* 2012) ประกอบกับเนื้อหมีไขมันแทรกสูงอาจมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type I ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อชนิดสีแดงสูงกว่าเนื้อหมีไขมันแทรกต่ำ (Nam *et al.* 2009) จึงอาจส่งผลให้เนื้อหมีไขมันแทรกสูงมีค่า a^* สูงกว่าเนื้อหมีไขมันแทรกต่ำ

4.2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไธโอน ปริมาณนิวคลีโอไทด์ และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

4.2.1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร

จากตารางที่ 4.3 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร โดยองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรส่วนใหญ่ คือ neutral lipids (triacylglycerols หรือ storage lipids) และฟอสโฟลิปิด (phospholipids หรือ membrane lipids) ทั้งนี้กรดไขมันประเภท neutral lipids จะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอน (carbon; C) 16 และ 18 อะตอม (C16 และ C18) เป็นหลักทั้งในรูปของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) เมื่อพิจารณาถึงฟอสโฟลิปิด ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันสายยาว (long chain fatty acids) คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids; PUFA) (Zhang *et al.* 2008) นอกจากนี้ Wood *et al.* (2008) กล่าวว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสัตว์สามารถบ่งบอกถึงลักษณะทางคุณภาพของเนื้อได้ เช่น ความแน่น ความมันของเนื้อ และความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชันของเนื้อซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสและสีของเนื้อ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน SFA ในเนื้อสันนอกสุกร (ตารางที่ 4.3) พบว่าระดับของไขมันแทรกมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของ SFA ($p < 0.05$) โดยเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน palmitic acid (C16:0) และ arachidic acid (C20:0) จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน palmitic (C16:0) ของเนื้อหมีไขมันแทรกสูงและเนื้อหมีไขมันแทรกปานกลางมีค่าเท่ากับ 26.69 และ 26.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเนื้อหมีไขมันแทรกต่ำที่มีค่าเท่ากับ 25.39 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่เนื้อหมีไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน arachidic (C20:0) เท่ากับ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเนื้อหมีไขมันแทรกต่ำที่มีค่า 0.18 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แต่ไม่แตกต่างจากเนื้อหมีไขมันแทรกปานกลาง (0.20 เปอร์เซ็นต์, $p > 0.05$) ทั้งนี้ระดับของไขมันแทรกไม่มีอิทธิพลต่อ

เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน myristic acid (C14:0) และ stearic acid (C18:0) ในทางสถิติ ($p>0.05$) ขณะที่ Aberle *et al* (2012) กล่าวว่า SFA ที่มีมากที่สุดไขมันสัตว์ คือ palmitic acid (C16:0; 28.3 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) และ stearic acid (C18:0; 11.9 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) ตามลำดับ

Wood *et al.* (2008) และ Nio *et al.* (2016) กล่าวว่าในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน (fatty acid biosynthesis) ผลผลิตสุดท้ายที่ได้ คือ กรดไขมัน palmitic acid (C16:0) ซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันสายยาวต่อไป (long chain fatty acids) ทั้งนี้กรดไขมัน palmitic acid (C16:0) สามารถถูกนำมาใช้เป็นกรดไขมันตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมัน stearic acid (C18:0) ได้โดยการทำงานของเอนไซม์ fatty acid synthase ซึ่งทำหน้าที่ในการเติมคาร์บอนอะตอมจำนวน 2 อะตอม ให้กรดไขมัน palmitic acid (C16:0) ส่งผลให้กรดไขมัน palmitic acid (C16:0) กลายเป็นกรดไขมัน stearic acid (C18:0) จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา elongation โดยการทำงานของเอนไซม์ fatty acid synthase อีกครั้งจึงกลายเป็นกรดไขมัน arachidic (C20:0) ทั้งนี้แม้ว่าผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ผลของ stearic acid (C18:0) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เปอร์เซ็นต์ของ arachidic acid (C20:0) มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสังเคราะห์กรดไขมัน arachidic acid (C20:0) สังเคราะห์มาจาก palmitic acid (C16:0) เช่นกัน ส่งผลให้เมื่อร่างกายมีการสะสมไขมันกรดไขมัน palmitic acid (C16:0) มาก จึงอาจมีการสังเคราะห์กรดไขมัน SFA ชนิดอื่นมากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อ MUFA ในเนื้อสันนอกสุกร ซึ่งพบว่ากรดไขมัน eicosenoic acid (C20:1 n-9) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไขมันแทรก ($p<0.05$) ขณะที่ระดับของไขมันแทรกไม่มีอิทธิพลในทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมัน myristoleic acid (C14:1) palmitoleic acid (C16:1) และ oleic acid (C18:1 n-9c) สอดคล้องกับ Cannata *et al.* (2010) ที่พบว่าเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน myristoleic acid (C14:1) palmitoleic acid (C16:1) และ oleic acid (C18:1 n-9c, $p>0.05$) อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะพบว่าระดับของไขมันแทรกจะไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) แต่เมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) ในเนื้อสันนอกสุกรมีค่าเพิ่มขึ้น ($p=0.062$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) สามารถสังเคราะห์ได้จากกรดไขมัน stearic acid (C18:0) โดยการทำงานของเอนไซม์ stearoyl Co-A desaturase หรือ delta 9 desaturase ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยน SFA ให้เป็น MUFA โดยการเติมพันธะคู่ (desaturation) เข้าไปที่บริเวณคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 9 และ 10 ของ stearic acid (C18:0) ส่งผลให้กรดไขมัน stearic acid (C18:0) กลายเป็นกรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) (Wood *et al.* 2008) โดยผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ของ stearic acid (C18:0) จึงอาจส่งผลให้

เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเช่นกัน ($p>0.05$) ทั้งนี้จากรายงานของ Wood *et al.* (2008) กล่าวว่ากรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) เป็นกรดไขมันที่มีความสำคัญในเนื้อสุกร และองค์ประกอบหลักเป็น neutral lipid อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับ Wood *et al.* (1996) ซึ่งพบว่าเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ stearic acid ($p>0.05$) แต่ในทางตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Alonso *et al.* (2012) ซึ่งทำการศึกษาดังอิทธิพลของชนิดและระดับของไขมันจากพืชและสัตว์ในสูตรอาหารสุกรต่อคุณภาพด้านการบริโภคและองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสันนอกสุกร พบว่าเมื่อไขมันในเนื้อเพิ่มขึ้นจาก 1.79 เป็น 2.51 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน oleic acid (C18:1 n-9c) เพิ่มขึ้นจาก 37.55 เป็น 40.60 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่ง Aberle *et al.* (2012) กล่าวว่ากรดไขมัน MUFA ที่มีปริมาณสูงในเนื้อสุกร คือ กรดไขมัน oleic acid (C18:1) รองลงมาคือ palmitoleic acid (C16:1)

ผลของระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันต่อ PUFA ในเนื้อสันนอกสุกรแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเปอร์เซ็นต์ของ PUFA มีค่าลดลงเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้น ($p<0.01$) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน linoleic acid (C18:2 n-6c) 9.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (8.47 เปอร์เซ็นต์) และสูง (7.09 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ตามลำดับ ขณะที่กรดไขมัน alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 มีค่าลดลง ($p<0.01$) เมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกต่ำมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน alpha-linolenic acid 0.50 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงที่มีค่าเท่ากับ 0.42 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีเปอร์เซ็นต์ของ alpha-linolenic acid (0.45 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างในทางสถิติจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ ($p>0.05$)

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน eicosatrienoic acid (C20:3 n-3) และกรดไขมัน arachidonic acid (C20:4 n-6) ออกจากกันได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านคอลัมส์ ประกอบกับโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดใกล้เคียงกันมาก จึงรายงานผลรวมของกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 โดยเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน eicosatrienoic acid และ arachidonic acid มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากไขมันในร่างกายจะถูกสะสมในรูปแบบไตรกลีเซอไรด์หรือ neutral lipids การที่ไขมันแทรกเพิ่มขึ้นปริมาณไตรกลีเซอไรด์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้เมื่อ SFA เพิ่มขึ้น PUFA จึงมีสัดส่วนลดลง (Fernandez *et al.* 1999a)

จากการศึกษาของ Wood *et al.* (1996) พบว่ากรดไขมันในเนื้อสันนอกสุกรสายพันธุ์ดอร์คซึ่งมีไขมันในกล้ามเนื้อสูงจะมีเปอร์เซ็นต์ของ PUFA ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมัน linoleic acid (C18:2 n-6c) และ PUFA n-6 ขณะที่ alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) มีค่าลดลง ทั้งนี้จากงานวิจัย

ก่อนหน้านี้ของ Cannata *et al.* (2010) และ Alonso *et al.* (2012) พบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของ alpha-linolenic acid (C18:3 n-3, Alonso *et al.* 2012) linoleic acid (C18:2 n-6c) และ arachidonic acid (C20:4 n-6) มีค่าลดลง ทั้งนี้ alpha-linolenic acid เป็นกรดไขมันที่ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ภายในร่างกายของสัตว์จะต้องได้จากอาหารเท่านั้น (Nakamura and Nara. 2004) ทั้งนี้กรดไขมัน linoleic acid (C18:2 n-6c) และ alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ long chain PUFA โดย linoleic acid (C18:2 n-6c) เกิดปฏิกิริยา desaturation และ elongation กลายเป็น arachidonic acid (C20:4 n-6) ขณะที่ linolenic acid (C18:3 n-3) จะถูกเปลี่ยนเป็น eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) ได้ ทั้งนี้เมื่อกรดไขมัน EPA และ arachidonic acid (C20:4 n-6) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเป็นผลผลิตในกลุ่ม eicosanoids ซึ่งหมายถึงกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 20 อะตอมขึ้นไป โดยทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางของการต้านการอักเสบ (Wood *et al.* 2008)

ทั้งนี้ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน linoleic acid (C18:2 n-6c) และ alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) น้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) ซึ่งกรดไขมัน linoleic acid (C18:2 n-6c) และ alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมัน arachidonic acid (C20:4 n-6) จึงอาจส่งผลให้กรดไขมัน arachidonic acid (C20:4 n-6) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ทั้งนี้ Wood *et al.* (2008) กล่าวว่า linoleic acid (C18:2 n-6c) มีสัดส่วนของฟอสโฟลิปิดสูงกว่า neutral lipids อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Cannata *et al.* (2010) พบว่าเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ SFA และ MUFA ในเนื้อสุกร ($p > 0.05$) แต่ไขมันแทรกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ PUFA ลดลงโดยในเนื้อสุกรที่มีปริมาณไขมันแทรกมากมีปริมาณของ linoleic acid (C18:2 n-6) ต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ($p < 0.01$)

จากการศึกษาของ Wood *et al.* (2008) รายงานว่าอัตราส่วนของกรดไขมัน stearic acid (C18:0) และ linoleic acid (C18:2 n-6) ในเนื้อเยื่อไขมันของเนื้อสันนอกมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นในสุกรที่ได้รับการขุน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสุกรได้รับการขุนร่างกายจะมีการสะสมไขมันมากขึ้นซึ่งจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ขณะที่ PUFA ลดลง ส่งผลให้อัตราส่วนของกรดไขมัน stearic acid (C18:0) และ linoleic acid (C18:2 n-6) ในสุกรขุนมีค่าต่ำกว่า ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณของ arachidonic acid (C20:4 n-6) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกมากและไขมันแทรกปานกลางมีค่าต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย ($p < 0.01$) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าโดยทั่วไปแล้ว SFA ที่พบมากที่สุดเนื้อสุกรคือ palmitic acid (C16:0) (Aberle *et al.* 2012; Parunovic *et al.* 2015) และ stearic acid (C18:0) (Aberle *et al.* 2012) ขณะที่ MUFA ที่พบมากที่สุดคือ oleic acid (C18:1 cis-9) (Parunovic *et al.* 2015) และ PUFA ที่พบมากที่สุดเนื้อสุกรคือ linoleic acid (C18:2 n-6) (Parunovic *et al.* 2015) ทั้งนี้ชนิดของกรดไขมันในเนื้อสุกรมีความสัมพันธ์กับคุณภาพด้านการ

บริโภคนิยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความนุ่ม (Brewer *et al.* 2001; Lonergan *et al.* 2007; Cannata *et al.* 2010) ความชุ่มฉ่ำ (Brewer *et al.* 2001; Cannata *et al.* 2010; Du *et al.* 2015) การเคี้ยวหรือ chewiness (Lonergan *et al.* 2007) และกลิ่นรสของเนื้อสุกร (Mottram. 1998; Du *et al.* 2015)

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน (%ของกรดไขมันทั้งหมด) ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids: SFA)					
C14:0 (myristic acid)	1.46	1.54	1.52	0.02	0.126
C16:0 (palmitic acid)	25.39 ^b	26.52 ^a	26.69 ^a	0.15	0.002
C18:0 (stearic acid)	13.01	13.73	13.66	0.18	0.207
C20:0 (arachidic acid)	0.18 ^b	0.20 ^{ab}	0.21 ^a	0.00	0.004
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acids: MUFA)					
C14:1 (myristoleic acid)	0.008	0.027	0.016	0.00	0.159
C16:1 (palmitoleic acid)	2.88	3.00	3.15	0.07	0.154
C18:1 n-9c (oleic acid)	42.39	42.44	44.32	0.37	0.062
C20:1 n-9 (eicosenoic acid)	0.72 ^b	0.75 ^{ab}	0.77 ^a	0.01	0.043
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids: PUFA)					
C18:2 n-6c (linoleic acid: LA)	9.91 ^a	8.47 ^b	7.09 ^c	0.15	0.000
C18:3 n-3 (alpha-linolenic acid: ALA)	0.50 ^a	0.45 ^{ab}	0.42 ^b	0.01	0.002
C20:3 n-3 (eicosatrienoic acid) +	0.93 ^a	0.69 ^b	0.47 ^c	0.02	0.000
C20:4 n-6 (arachidonic acid)					

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

ทั้งนี้ Cameron and Enser (1991) รายงานว่า SFA และ MUFA มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับกลิ่นรสของเนื้อสุกร (pork flavor) และ PUFA มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสุกร (pork flavor) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของ SFA และ MUFA

สูงอาจมีผลทำให้ลักษณะของกลั่นรสของเนื่อสุกรซึ่งเป็นลักษณะกลั่นรสที่ดีมีมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณ PUFA มาก เนื่อสุกรอาจมีลักษณะกลั่นรสของเนื่อสุกรลดลง ทั้งนี้ Cannata *et al.* (2010) พบว่ากรดไขมัน palmitic acid (C16:0) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับคะแนนความนุ่ม ($r = 0.29$, $p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีปริมาณของกรดไขมัน palmitic acid (C16:0) มาก ส่งผลให้คะแนนความนุ่มมีค่าสูง (เนื่อมีความนุ่มมากขึ้น)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันโดยรวมในเนื่อสันนอกสุกร พบว่าเนื่อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลางมีเปอร์เซ็นต์ SFA สูงกว่าเนื่อที่มีไขมันแทรกต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่เนื่อที่มีไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ MUFA สูงที่สุด ($p < 0.05$) แต่เมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้น UFA และ PUFA มีค่าลดลง ($p < 0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ SFA ของเนื่อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื่อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่ามากกว่าเนื่อที่มีไขมันแทรกต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.08 42.90 และ 41.33 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ UFA ของเนื่อที่มีไขมันแทรกต่ำมีค่ามากกว่าเนื่อที่มีไขมันแทรกสูง และไขมันแทรกปานกลาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 58.67 57.10 และ 56.92 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ($p < 0.05$) ขณะที่เนื่อที่มีไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ MUFA มากที่สุด ($p < 0.05$) แต่มีเปอร์เซ็นต์ PUFA PUFA n-3 และ PUFA n-6 น้อยที่สุด ($p < 0.01$) การศึกษาของ Wood *et al.* (1996) พบว่ากรดไขมันในเนื่อสันนอกสุกรสายพันธุ์ดอร์คเทียบกับสุกรสายพันธุ์ลาร์จไวท์ ซึ่งสุกรสายพันธุ์ดอร์คมีไขมันในกล้ามเนื้อสูงกว่าสุกรสายพันธุ์ลาร์จไวท์ (13.7 เทียบกับ 5.4 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้เนื่อสุกรที่มีไขมันในกล้ามเนื้อสูงมีปริมาณ SFA (myristic acid และ palmitic acid) และ MUFA (plamitoleic acid และ oleic acid) สูงขึ้น ($p < 0.05$) แต่ปริมาณ PUFA มีค่าลดลง ($p < 0.01$) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง linoleic acid (C18:2 n-6c) ลดลง เมื่อเทียบกับเนื่อที่มีไขมันในกล้ามเนื้อต่ำและสูง และพบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื่อกับ linoleic acid ($r = -0.83$, $p < 0.01$) arachidonic acid ($r = -0.81$, $p < 0.01$) และ alpha-linolenic acid ($r = 0.14$, $p < 0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากไขมันจะถูกสะสมในรูปของไตรกลีเซอไรด์เป็นหลัก เมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้นและ PUFA ลดลง (Fernandez *et al.* 1999a) ขณะที่ Zhang *et al.* (2008) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันในเนื่อกับ MUFA ($r = 0.22$, $p \leq 0.05$) และ PUFA ($r = -0.14$, $p \leq 0.05$) ขณะที่ SFA มีความสัมพันธ์ทางลบกับ PUFA ($r = -0.77$, $p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม Mattson and Grundy (1985) กล่าวว่าอาหารที่มีสัดส่วนของกรดไขมัน oleic acid (C18:1) สูง สามารถลดระดับของ LDL-cholesterol ในร่างกายได้ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพ

จากตารางที่ 4.4 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดไขมันโดยรวมในเนื่อสันนอกสุกร พบว่าเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้สัดส่วนของ PUFA:SFA มีค่าลดลง ($p < 0.05$) ซึ่งสัดส่วนของ PUFA:SFA ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ต่ำกว่าระดับที่ World Health Organization (2003) แนะนำว่าอัตราส่วนระหว่าง PUFA:SFA ควรสูงกว่า 0.45 ในขณะที่

อัตราส่วนของ n-6:n-3 ควรต่ำกว่า 4.0 จึงถือว่าดีต่อสุขภาพ ทั้งนี้เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีสัดส่วนของ PUFA:SFA มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง โดยมีค่าเท่ากับ 0.30 0.25 และ 0.21 ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งชนิดของ PUFA ที่สำคัญ คือ linoleic acid และ linolenic acid โดยทั่วไปแล้วเนื้อสุกรเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและไขมันต่ำ ทั้งนี้ในเนื้อสุกรจัดว่าเป็นแหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 (PUFA n-3) ที่มีมากในเนื้อสัตว์เมื่อเทียบกับเนื้อแกะและเนื้อโค (Wood *et al.* 2008) ซึ่งการบริโภคกรดไขมันโอเมก้า 3 อาจส่งผลที่ดีต่อสุขภาพ โดยถ้าบริโภคอัตราส่วนของ โอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 (PUFA n-6 : n-3) ที่เหมาะสม สามารถช่วยลดปัญหาสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ และป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease) โรคที่เกิดจากการอักเสบติดเชื้อ (inflammatory disease) โรคเบาหวาน (diabetes) และภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง (autoimmune disorder) เป็นต้น (Dugan *et al.* 2015) ขณะที่ Enser *et al.* (1996) รายงานว่าอัตราส่วนของ PUFA:SFA ของเนื้อสุกรควรอยู่ในช่วงประมาณ 0.58 แต่เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PUFA n-6 : n-3 ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้พบว่าอาจยังไม่เหมาะสม เนื่องจากมีอัตราส่วนของ PUFA n-6 : n-3 สูงกว่าที่แนะนำมาก ทั้งนี้องค์ประกอบของกรดไขมันยังขึ้นกับสายพันธุ์ เพศ อายุ อาหาร ระยะเวลาการขุน และวิธีการทำให้สุก (Tikk *et al.* 2007; Wood *et al.* 2003)

ทั้งนี้ Yu *et al.* (1995) รายงานว่าถ้ามี SFA ชนิด C12:0 (lauric acid) C14:0 (myristic acid) และ C16:0 (palmitic acid) ในปริมาณมาก อาจส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดชนิด LDL-cholesterol และ HDL-cholesterol เพิ่มขึ้น และพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกรดไขมัน C12:0-C16:0 (medium chain SFA) กับปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด (total cholesterol, $r = 0.05$, $p < 0.05$) LDL-cholesterol ($r = 0.04$, $p < 0.05$) และ HDL-cholesterol ($r = 0.01$, $p < 0.05$) เนื่องจากกรดไขมัน C12:0-C16:0 เป็น hypercholesterolemic ซึ่งหมายถึงกรดไขมันตั้งต้นในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล จึงส่งผลให้คอเลสเตอรอลในเลือดเพิ่มขึ้น ขณะที่ short chain SFA (C6:0-C10:0) และ long chain SFA (C18:0; stearic acid) ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด (non-hypercholesterolemic) สอดคล้องกับ Hegsted *et al.* (1965) ซึ่งพบความสัมพันธ์ทางลบระหว่าง stearic acid กับ total cholesterol ($p < 0.05$)

อย่างไรก็ตาม alpha-linolenic acid (C18:3 n-3) เป็นกรดไขมันตั้งต้นที่ร่างกายนำไปใช้ในการสร้างเป็น eicosapentaenoic acid (EPA: C20:5 n-3) และ docosahexaenoic acid (DHA: C22:6 n-3) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อโภชนาการและสุขภาพของคน โดย Harris (2007) รายงานว่าถ้าปริมาณของกรดไขมันโอเมก้า 3 ในเนื้อสูง สามารถลดระดับของ LDL-cholesterol และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพ

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันโดยรวม (%ของกรดไขมันทั้งหมด) ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
SFA	41.33 ^b	43.08 ^a	42.90 ^a	0.30	0.044
UFA	58.67 ^a	56.92 ^b	57.10 ^b	0.30	0.044
MUFA	46.13 ^b	46.32 ^b	48.35 ^a	0.39	0.044
PUFA	12.53 ^a	10.60 ^b	8.74 ^c	0.19	0.000
PUFA n-3 ³⁾	0.81 ^a	0.64 ^b	0.56 ^c	0.02	0.000
PUFA n-6 ⁴⁾	10.46 ^a	8.97 ^b	7.45 ^c	0.16	0.000
Unidentified MUFA	0.14 ^a	0.14 ^a	0.11 ^b	0.00	0.015
Unidentified PUFA	0.31 ^a	0.30 ^a	0.21 ^b	0.01	0.000
UFA : SFA	1.42 ^a	1.33 ^b	1.34 ^b	0.00	0.028
PUFA : SFA	0.304 ^a	0.246 ^b	0.205 ^c	0.00	0.000
SFA : UFA	0.706	0.757	0.754	0.01	0.060
PUFA n-6 : n-3	12.88	14.58	13.59	0.31	0.093

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

³⁾ PUFA n-3 = C18:3 n-3 + C22:6 n-3 + C20:5 n-3

⁴⁾ PUFA n-6 = C18:2 n-6t + C18:2 n-6c + C18:3 n-6 + C20:3 n-6

4.2.2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณกลูตาไธโอนในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร

กลูตาไธโอนเป็นเปปไทด์สายสั้นประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิดเรียงต่อกัน คือ กรดกลูตามิก ซิสเทอีน และไกลซีน ซึ่งกลูตาไธโอน (GSH) จัดเป็น primary antioxidant เมื่อสลายตัวได้กลูตาไธโอนไดซัลไฟด์ (GSSG) โดยปริมาณกลูตาไธโอนในเนื้อสัตว์มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น สายพันธุ์ อาหาร การจัดการอาหาร ลักษณะการเลี้ยงและการเคลื่อนไหว อายุเข้าฆ่า เพศ ลักษณะทางกายภาพของสัตว์ และการตอน เป็นต้น (Lawrie and Ledward, 2006) ทั้งนี้กลูตาไธโอนมีความสัมพันธ์กับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ โดยกลูตาไธโอนเป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในการเกิดกลิ่นของเนื้อ (meaty aroma) เมื่อกลูตาไธโอนได้รับความร้อน สารที่เป็นองค์ประกอบในการเกิด

กลิ่นของเนื้อจะระเหยออกมา เช่น อนุพันธ์ของ furanthiols pyrazines และ thiols เป็นต้น โดยการเกิดกลิ่นรสในเนื้อสัตว์อาจมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อกลูตาไธโอนผ่านความร้อนสามารถสลายตัวเป็นกลูตามิก ซิสเตอีน และไกลซีน โดยการลดอะมิโนเหล่านี้มีผลต่อการเกิดกลิ่นและกลิ่นรสที่พึงประสงค์ของเนื้อ (Ueda *et al.* 1997) ประกอบกับโครงสร้างของกลูตาไธโอนมีกรดอะมิโนซิสเตอีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง (sulfur-containing compounds) เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโปรตีน ส่งผลให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกมาในระหว่างการให้ความร้อนทำให้เกิดกลิ่นรสเนื้อ (Wang *et al.* 2012; Zheng *et al.* 1997) ทั้งนี้ Mottram (1998) กล่าวว่าถ้ามี sulfur-containing compounds ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม จะให้กลิ่นเนื้อและกลิ่นถั่ว (nutty aroma) แต่ถ้ามีความเข้มข้นของ sulfur-containing compounds สูง จะให้กลิ่นกำมะถันและกลิ่นที่ไม่น่าพึงพอใจได้

จากตารางที่ 4.5 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณกลูตาไธโอนในเนื้อสันนอกสุกร พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีปริมาณรีดิวซ์กลูตาไธโอน (GSH; reduced form) น้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.66 และ 22.96 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ตามลำดับ ($p < 0.05$) ขณะที่เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางมีปริมาณ GSH 19.52 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ ($p > 0.05$) ขณะที่ Lebrete *et al.* (2018) ทำการศึกษาผลของการเสริมกรดอะมิโนต่อ non-enzymatic antioxidants ในสุกร พบว่าเนื้อสันนอกสุกรดิบที่มีไขมันภายในเนื้อประมาณ 1.67 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ GSH 313 นาโนโมลต่อเนื้อ 1 กรัม และ GSSG 144 นาโนโมลต่อเนื้อ 1 กรัม นอกจากนี้ Rakowska *et al.* (2017) ทำการศึกษาปริมาณ GSH ในเนื้อสันนอกโคดิบและผ่านการทำให้สุก พบว่าในเนื้อโคดิบมีปริมาณ GSH (14.50 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม) สูงกว่าเนื้อโคที่ผ่านการทำให้สุก (13.39 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณออกซิไดซ์กลูตาไธโอน (GSSG; oxidized form) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและไขมันแทรกปานกลางมีปริมาณ GSSG สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 17.56 16.42 และ 12.39 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ($p < 0.05$) ทั้งนี้ GSSG ซึ่งอยู่ในรูป oxidized form สามารถเปลี่ยนกลับ (recycle) ไปเป็น GSH ได้ โดยวิธีดังกล่าว (2548) กล่าวว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นจะมีการเพิ่มขึ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้น GSH จะถูกใช้เป็นตัวตั้งต้นในการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นโมเลกุลของน้ำ โดยมีเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันลดลงและกลับมาสู่สภาวะสมดุล และ GSSG ซึ่งอยู่ในรูป oxidized form สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็น GSH ได้ โดย NADPH ให้อิเล็กตรอนแก่ GSSG และมีเอนไซม์กลูตาไธโอนรีดักเตสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ GSSG กลับมาเป็น GSH ได้ จะเห็นได้ว่าผลจากการศึกษาในครั้งนี้เนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกสูงมีปริมาณ GSH น้อยกว่ากลุ่มอื่น ในขณะที่มีปริมาณ GSSG มากกว่ากลุ่มอื่น แสดง

ให้เห็นว่าปริมาณ GSH มีอัตราส่วนผกผันกับปริมาณ GSSG ทั้งนี้เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีปริมาณของ GSH สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ($p < 0.05$) อาจเนื่องจาก GSH เป็นเปปไทด์หรือโปรตีน เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีแนวโน้ม ($p = 0.072$) ของเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง จึงอาจส่งผลให้มี GSH สูงเช่นกัน ประกอบกับโดยทั่วไปกล้ามเนื้อสันนอกสุกรจะมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ white fiber (type IIb) มากกว่ากล้ามเนื้อ red fiber (type I) และ intermediate fiber (type IIa) (Kim *et al.* 2013) ทั้งนี้เนื้อที่มีการสะสมไขมันแทรกสูงอาจมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type I สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (Nam *et al.* 2009) ซึ่งกล้ามเนื้อชนิด type I มีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่ากล้ามเนื้อชนิด type II (Daun *et al.* 2001) จึงอาจส่งผลให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีปริมาณ GSSG สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.01$)

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อปริมาณกลูตาไธโอน (GSH) และกลูตาไธโอนไดซัลไฟด์ (GSSG) ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
GSH (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	22.96 ^a	19.52 ^{ab}	17.66 ^b	0.81	0.033
GSSG (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	12.39 ^b	16.42 ^a	17.56 ^a	0.66	0.008
total GSH (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	35.35	35.93	35.22	1.06	0.958
GSH:GSSG	2.33 ^a	1.37 ^b	1.13 ^b	0.04	0.003

^{a,b} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

นอกจากนี้ยังพบว่า GSH มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = -0.42$, $p < 0.01$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 3) ขณะที่เมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น GSSG มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ($r = 0.31$, $p < 0.05$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างเปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อ ($r = -0.36$, $p < 0.05$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 1) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเนื้อมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อสูงขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลง จึงอาจส่งผลให้ปริมาณ GSH ลดลงและ GSSG มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก GSH เป็นกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีน สอดคล้องกับ Lebre *et al.* (2018) พบว่าเนื้อสันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อสูง (ไขมันในเนื้อ 1.67 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณ GSH น้อยกว่าเนื้อ

ที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อต่ำ (ไขมันในเนื้อ 1.44 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 316 และ 361 นาโนโมลต่อเนื้อ 1 กรัม ($p < 0.01$)

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่าง GSH:GSSG โดยถ้าอัตราส่วนที่ได้มีค่าน้อยแสดงให้เห็นว่าเนื้อนั้นมีปริมาณ GSSG สูงกว่า GSH ซึ่งอาจเกิดจากการออกซิเดชันของเนื้อ จึงเป็นผลทำให้ GSH สลายตัวเพื่อให้ไอเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น GSH จึงเสียสภาพไปเป็น GSSG ซึ่งอยู่ในรูป oxidized form ซึ่งอัตราส่วนนี้อาจแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระและความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stability) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีอัตราส่วนของ GSH:GSSG สูงกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลาง และสูงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.33 1.37 และ 1.13 ตามลำดับ ขณะที่ Lebret *et al.* (2018) รายงานถึงอัตราส่วนระหว่าง GSH:GSSG ในเนื้อสันนอกสุกรที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อ 1.67 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราส่วนระหว่าง GSH:GSSG เท่ากับ 2.19 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้

4.2.3 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณนิวคลีโอไทด์ในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก

ตารางที่ 4.6 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณไขมันแทรกที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (GMP IMP inosine และ hypoxanthine) ของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อสุกรที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากแหล่งผลิต สายพันธุ์ ได้รับอาหารเช่นเดียวกัน และเข้าสู่กระบวนการฆ่าในมาตรฐานเดียวกัน จึงส่งผลให้ปริมาณนิวคลีโอไทด์ไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ hypoxanthine ซึ่งมีความสัมพันธ์กับรสขมนั้น (Brewer, 2006; Tikk *et al.* 2006; Ba *et al.* 2012) พบว่าปริมาณ hypoxanthine ในเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกสูง (8.91 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม) มีแนวโน้มสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (7.26 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม, $p = 0.052$) ขณะที่ปริมาณ hypoxanthine ของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (8.47 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม) ไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ ($p > 0.05$) แต่จากการทดลองในครั้งนี้ในช่วงเริ่มต้นของขั้นตอนการพัฒนา คำศัพท์ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนด้วยวิธีเชิงพรรณนาของลักษณะเนื้อสุกรนั้นมีลักษณะที่คาดว่าจะพบในตัวอย่างเนื้อสุกร 70 ลักษณะ แต่จากขั้นตอนพัฒนา คำศัพท์โดยให้ผู้ทดสอบพิจารณาเนื้อตัวอย่างด้วยสายตา คมกลิ่น และชิมเนื้อตัวอย่าง พบลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรจำนวน 56 ลักษณะ ทั้งนี้ผู้ทดสอบไม่พบลักษณะของรสขมในตัวอย่างที่ทำการศึกษา จึงอาจกล่าวได้ว่า hypoxanthine ไม่มีความสัมพันธ์กับรสขม ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Kim *et al.* (2012) ซึ่งทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ

นิวคลีโอไทด์และคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนของเนื้อเป็ดพบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มนานขึ้นส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ IMP ไปเป็น inosine และ hypoxanthine เพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบทั้งสองให้รสขม ทั้งนี้ Tikk *et al.* (2006) กล่าวว่าเมื่อ IMP เกิดการสลายตัวผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวนี้ คือ hypoxanthine เมื่อ hypoxanthine รวมตัวกับกรดอะมิโนบางชนิด อาจส่งผลให้เกิดกลิ่นรสขม (bitter flavor) อย่างไรก็ตาม Flores *et al.* (1999) พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุกกับปริมาณนิวคลีโอไทด์ โดยพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่าง hypoxanthine กับรสหวาน ($r = 0.27, p < 0.05$) แต่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่าง hypoxanthine กับรสขม ($r = -0.30, p < 0.05$) รสเปรี้ยว ($r = -0.42, p < 0.05$) และรสเค็ม ($r = -0.33, p < 0.05$) ขณะที่ inosine มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับรสเค็ม ($r = -0.28, p < 0.05$) แต่ผู้วิจัยไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง IMP และ GMP กับการประเมินทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ที่ผ่านการทำให้สุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
hypoxanthine (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	7.26	8.47	8.91	0.28	0.052
inosine (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	43.49	42.68	43.39	0.79	0.901
IMP (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	166.92	173.99	171.21	2.82	0.591
GMP (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)	7.99	8.23	8.13	0.07	0.417

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

4.2.4 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive sensory quality) ของเนื้อสันนอกสุกรดิบ

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนา โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรดิบที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน โดยใช้ผู้ประเมินที่มีความเชี่ยวชาญจำนวน 8 ท่านของหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริหาร โภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KUSCR) ซึ่งทำการทดสอบตัวอย่างเพื่อบรรยายลักษณะปรากฏ (appearance) และกลิ่น (aroma) ของเนื้อสันนอกสุกรดิบ (การเตรียมตัวอย่างแสดงในภาพภาคผนวก ข) โดยสีของเนื้อ

ใช้ Munsell book และกำหนดคะแนน 4.5 หมายถึงสีชมพูแดงอ่อนโดยค่าของ Munsell book เท่ากับ 7.5R 6/6 คะแนน 6.5 หมายถึงสีชมพูแดงเข้มปานกลางที่ค่าของ Munsell book เท่ากับ 7.5R 5/6 และคะแนน 9.0 หมายถึงสีชมพูแดงเข้มโดยค่าของ Munsell book เท่ากับ 7.5R 4/6 จากนั้นประเมินปริมาณไขมันแทรกโดยใช้ช่วงคะแนนระดับไขมันแทรกตามระบบ US National Pork Board (2011) ของเนื้อสันนอกสุกรดิบ โดยมองตัวอย่างเนื้อทำมุม 45° ระยะห่างจากสายตาประมาณ 30 เซนติเมตร จากนั้นทดสอบคุณภาพด้านการบริโภคเพื่อบรรยายกลิ่นของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรดิบ โดยให้คะแนนระดับความเข้มของแต่ละลักษณะ ซึ่งคะแนน 15 หมายถึงระดับความเข้มมากที่สุด และคะแนน 0 หมายถึงระดับความเข้มน้อยที่สุด ซึ่งแบบประเมินแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

ทั้งนี้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่มีปริมาณไขมันแทรกแตกต่างกัน โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 ท่านของหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยคะแนนเฉลี่ยความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกรที่ทำการศึกษา พบลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรจำนวน 56 ลักษณะ ประกอบด้วยลักษณะปรากฏ (appearance) 2 ลักษณะ กลิ่น (aroma) 16 ลักษณะ กลิ่นรส (flavor) 11 ลักษณะ เนื้อสัมผัส (texture) 14 ลักษณะ ความรู้สึกทางเคมี (chemical feeling) 1 ลักษณะ รสชาติ (taste) 4 ลักษณะ และกลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) 8 ลักษณะ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 4.7) พบว่าผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนสามารถรับรู้ความแตกต่างของลักษณะปรากฏของเนื้อสันนอกสุกรได้ โดยเนื้อสันนอกที่มีไขมันแทรกปานกลางมีคะแนนความเข้มค่าสีของเนื้อที่ได้จากการประเมินเทียบกับหนังสือมาตรฐานสี Munsell book มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 5.64 5.16 และ 4.89 คะแนน ตามลำดับ ($p < 0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ประเมินสามารถรับรู้ความแตกต่างของระดับไขมันแทรกได้ โดยเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูง ผู้ประเมินให้คะแนนมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ คือ 5.67 4.46 และ 2.60 คะแนน ตามลำดับ ($p < 0.01$) สอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า 6.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (4.03 เปอร์เซ็นต์) และต่ำ (2.55 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.1) โดยเปอร์เซ็นต์ไขมันที่เป็นส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อมีความสอดคล้องกับปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกลุ่มทดลองในการวิจัยครั้งนี้ได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามค่าสีที่ได้จากการวัดด้วยการใช้เครื่องมือ (instrumental measurements) โดยปล่อยให้เนื้อสัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมงค่า a^* (สีแดง) มีความแตกต่างกัน 0.4-0.7 หน่วย ขณะที่ค่า b^* (สีเหลือง) มีความแตกต่างกันประมาณ 1.00 หน่วย

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะปรากฏโดยรวมของเนื้อสันนอกสุกรดิบ คือ สีของเนื้อและปริมาณไขมันแทรกนั้นพบว่าระดับสีที่ปรากฏของตัวอย่างที่ใช้ในการประเมิน คือ สีชมพูแดงอ่อนจนถึง

สีชมพูแดงเข้มนั้น อาจส่งผลให้คะแนนความเข้มที่ได้จากการประเมินสีของเนื้อที่มีไขมันแทรก ระดับปานกลางมีค่าสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ($p < 0.01$) เพราะในเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจะประกอบด้วยไขมันแทรกมากกว่า จึงส่งผลให้เห็นสีของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของสีชมพูแดงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีความเข้มของสีน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อที่มีไขมันแทรกมากอาจดูสว่างสดใสกว่าเนื้อที่ไม่มีไขมันแทรก เมื่อพิจารณาถึงค่าสีที่ได้จากการวัดด้วยการใช้เครื่องมือ พบว่ามีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าสีแดง (a^*) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ อาจเป็นเพราะเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงอาจมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (Nam *et al.* 2009) จึงอาจส่งผลให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า a^* สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ประกอบกับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าสีเหลือง (b^*) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกต่ำเล็กน้อย ทั้งนี้ Utrilla *et al.* (2010) กล่าวว่าค่า b^* มีความสัมพันธ์กับระดับไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อ โดยหากค่าสีเหลืองมีค่าสูงอาจแสดงว่าเนื้อนั้นมีแนวโน้มมีปริมาณไขมันแทรกสูงด้วยเช่นกัน

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาถึงกลิ่นของเนื้อสันนอกสุกรดิบ พบว่าปริมาณไขมันแทรกมีผลต่อคะแนนความเข้มของกลิ่น metallic (กลิ่นโลหะคล้ายเหล็กและทองแดง) และกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity; ประกอบด้วยกลิ่นโลหะ กลิ่นหวาน (sweet aroma) กลิ่น briny อาจเจือด้วยกลิ่นฮอร์โมน กลิ่น urine และกลิ่นสาบ) ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลกับกลิ่นหวาน ($p > 0.05$)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มของกลิ่น metallic (2.31 คะแนน) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (2.06 คะแนน, $p < 0.05$) ขณะที่คะแนนความเข้มของกลิ่น metallic ของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและสูง ($p > 0.05$) ซึ่งกลิ่น metallic เป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อสัตว์ (McGorin, 2012) ทั้งนี้ Mottram (1998) กล่าวว่าเนื้อดิบจะมีกลิ่นรสคล้ายเลือด (blood-like) เล็กน้อย สอดคล้องกับ Soncin *et al.* (2007) กล่าวว่าเนื้อดิบจะมีกลิ่นเค็ม กลิ่น metallic มีกลิ่นรสคล้ายเลือดเล็กน้อย และอาจมีกลิ่นหวานเจือปน แม้ว่ากลิ่นของเนื้อดิบจะมีกลิ่นอ่อนๆ แต่จะประกอบด้วยสารตั้งต้นของการเกิดกลิ่นจำนวนมาก ทั้งนี้สำหรับเนื้อสุก การเกิดกลิ่นและกลิ่นรสจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทำให้สุกโดยเฉพาะความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาร่วมกันของสารตั้งต้นที่มีในเนื้อทั้งเนื้อแดงและไขมันที่ทำให้เกิดกลิ่นและกลิ่นรสแตกต่างกันไป (Ba *et al.* 2012)

ขณะที่เนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มของกลิ่นเนื้อสุกรดิบสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.04 2.70 และ 2.62 คะแนนตามลำดับ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับผลจากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำมีแนวโน้มจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและสูงโดยมีค่าเท่ากับ 22.65 22.59 และ 21.98 เปอร์เซ็นต์ ($p = 0.072$) จึงอาจส่งผลให้เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีความเข้มของ

กลิ่นเนื้อสุกรดิบมากกว่า ($p<0.05$) เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและสูง ทั้งนี้ Ba *et al.* (2012) กล่าวว่ากลิ่นของเนื้อสุกรดิบอาจมีกลิ่นคล้ายเลือดและมีกลิ่นอ่อนๆ ขณะที่ Mottram (1998) กล่าวว่าเนื้อที่ไม่ผ่านการทำให้สุก (uncooked meat) หรือเนื้อดิบ อาจจะไม่มีความมีกลิ่น หรือมีกลิ่นเล็กน้อยเท่านั้น และรสชาติของเนื้อดิบที่พบคือรสชาติคล้ายเลือด

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรดิบ (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
ลักษณะปรากฏ (appearance)					
สีของเนื้อ ³⁾	4.89 ^c	5.64 ^a	5.16 ^b	0.21	0.000
ปริมาณไขมันแทรก	2.60 ^c	4.46 ^b	5.67 ^a	0.11	0.000
กลิ่น (aroma)					
metallic	2.31 ^a	2.20 ^{ab}	2.06 ^b	0.17	0.027
sweet aroma	1.28	1.23	1.31	0.07	0.411
raw pork	3.04 ^a	2.70 ^b	2.62 ^b	0.24	0.001

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

³⁾ คะแนนความเข้มสีของเนื้อ ซึ่งประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนด้วยวิธีเชิงพรรณนาซึ่งประเมินสีชมพูที่ปรากฏของตัวอย่างเนื้อเปรียบเทียบกับหนังสือมาตรฐานสี Munsell book

ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างกลิ่น metallic กับระดับไขมันแทรก ($p>0.05$) แต่พบว่ากลิ่น metallic มีความสัมพันธ์เล็กน้อยในทิศทางตรงกันข้ามกับค่า pH ($r = -0.32$, $p<0.05$) และกลิ่นหวาน ($r = -0.37$, $p<0.05$, ไม่แสดงข้อมูล) และพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันในระดับสูงระหว่างกลิ่น metallic กับกลิ่นเนื้อสุกรดิบ ($r = 0.81$, $p<0.01$, ไม่แสดงข้อมูล) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระดับปานกลางแบบผกผันระหว่างกลิ่นเนื้อสุกรดิบกับกลิ่นหวาน ($r = -0.62$, $p<0.01$, ไม่แสดงข้อมูล) ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อสันนอกสุกรดิบที่มีไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มของกลิ่น metallic และกลิ่นเนื้อสุกรดิบมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง แต่ระดับไขมันแทรกไม่มีผลกับกลิ่นหวาน ($p>0.05$) ทั้งนี้ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างกลิ่น metallic กับค่า pH ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีค่า pH ต่ำ (ไขมันแทรกน้อย) จะมี

กลิ่น metallic สูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโปรตีนภายในกล้ามเนื้อของเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (pH ต่ำ) เกิดการเสียสภาพมากกว่า (Aberle *et al.* 2012) จึงอาจเกิดการออกซิไดซ์มากกว่า ส่งผลให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ประกอบกับกลิ่น metallic อาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนภายในเนื้อ โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำซึ่งมีแนวโน้มว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่า (ตารางที่ 4.1) ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบภายในเนื้อ (myoglobin) ซึ่งอาจเหนี่ยวนำให้เกิดการออกซิเดชัน ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ (E)-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal ส่งผลให้เกิดกลิ่น metallic ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อสัตว์ (McGorin. 2012)

4.2.5 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก

ผลของปริมาณไขมันแทรกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกรสุก (ตารางที่ 4.8) พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ($p < 0.05$) ซึ่งผู้ประเมินสามารถรับรู้ความแตกต่างของลักษณะกลิ่นคล้ายซุปไก่ (brothy aroma) กลิ่นกระดาษลังขึ้น (cardboard aroma) ความรู้สีกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความกรอบ (ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก; crispness) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (ระดับความชุ่มชื้นที่รู้สึกได้ขณะเคี้ยว; moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) ได้แก่ brothy และรสเปรี้ยว (sour) ได้

ด้านกลิ่น (aroma) และกลิ่นรส (flavor) ของเนื้อ พบว่าคะแนนความเข้มของกลิ่น brothy ของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.82 2.68 และ 2.48 คะแนน ตามลำดับ ทั้งนี้การเกิดกลิ่น brothy อาจเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยา maillard reaction และการสลายตัวของกรดอะมิโน เป็นต้น เนื่องจากการเกิดกลิ่นและกลิ่นรสให้สารประกอบที่ระเหยได้หลายชนิดขึ้นกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (McGorin. 2012) สอดคล้องกับ Mottram (1998) พบว่าการเกิดกลิ่นรสของเนื้อสัตว์อาจเกิดจากการสลายตัวของกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งซิสเทอีน และกรดอะมิโนตัวอื่นที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง (sulfur-containing compounds) ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกลิ่น brothy อาจไม่ได้มีเพียงการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ PUFA เช่น linoleic acid ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ คือ hexanal และ (E,E)-2,4-decadienal โดย hexanal ให้ลักษณะกลิ่นหืน (rancid aroma) และกลิ่นไขมัน (fatty aroma) ขณะที่ (E,E)-2,4-decadienal ให้กลิ่น brothy และกลิ่นไขมัน (Benet *et al.* 2016) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีเปอร์เซ็นต์ linoleic acid และ PUFA สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและสูง ตามลำดับ ($p < 0.01$) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของกรดไขมัน linoleic acid (ตารางภาคผนวก ข ที่ 1) พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรก

สูงมีปริมาณของ linoleic acid (315.12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อตัวอย่าง) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (234.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อตัวอย่าง) และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (221.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อตัวอย่าง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) จึงอาจส่งผลให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง อาจเกิดการออกซิเดชันของ linoleic acid (linoleic acid oxidation) มากกว่า ส่งผลให้เกิดกลิ่น brothy สูงกว่ากลุ่มอื่น (Benet *et al.* 2016)

จากการศึกษาของ Benet *et al.* (2016) พบว่าแฮมชนิดน้ำเกลือที่ทำให้สุกแล้ว (cooked cured ham) ของเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำมีเปอร์เซ็นต์ linoleic acid สูงกว่าแฮมของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่งผลให้แฮมของเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีสารประกอบ hexanal สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ linoleic acid จะแตกต่างกัน แต่ผลจากการทดสอบโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนพบว่ากลิ่นคล้ายซุปไก่ (brothy aroma) กลิ่นหืน และกลิ่นไขมัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การเกิดกลิ่นรสของเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกนั้นมีอิทธิพลมาจากฟอสโฟลิปิดมากกว่าไตรกลีเซอไรด์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนฟอสโฟลิปิดจะสลายเป็น aliphatic aldehydes ซึ่งส่งผลให้ pyrazines ลดลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไขมันจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction และยับยั้งการเกิด pyrazines ซึ่ง pyrazines เป็น heterocyclic compounds คือ สารประกอบที่เป็นวงที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน ออกซิเจน หรือสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ซึ่ง pyrazines ให้กลิ่นเนื้อ แต่เมื่อระยะเวลาในการทำให้สุกนานขึ้น ส่งผลให้เกิด aliphatic aminohydroxy compounds ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการเกิดกลิ่นรสเนื้อ (Lawrie and Ledward, 2006) ทั้งนี้ผลผลิตที่ได้จากการเกิด lipid oxidation คืออัลดีไฮด์ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะตัวของสัตว์ต่างชนิดกัน (Mottram, 1998) ทั้งนี้ Cambero *et al.* (2000) กล่าวว่า การเกิดกลิ่นรส brothy อาจเกิดจากการสลายตัวของกรดอะมิโนและสารประกอบที่ไม่ใช่กรดอะมิโนโดยสารประกอบเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในขณะเนื้อสัตว์ได้รับความร้อน ซึ่งกลิ่นรส brothy อาจเกิดจากสารประกอบอื่นๆ เช่น น้ำตาล creatine และนิวคลีโอไทด์ เป็นต้น โดยสารประกอบเหล่านี้จะให้รสคล้าย brothy รส meaty และรสอูมามิ

อย่างไรก็ตาม Mottram (1998) กล่าวว่าเนื้อดิบหรือเนื้อที่ไม่ผ่านการทำให้สุก (uncooked meat) อาจจะไม่มิกกลิ่น หรือมีกลิ่นเล็กน้อยเท่านั้น และรสชาติของเนื้อดิบที่พบคือรสชาติคล้ายเลือด (blood-like taste) โดยไขมันในเนื้อสัตว์จะให้กลิ่นเฉพาะตัวของสัตว์แต่ละประเภท แต่เนื้อแดงจะมีความสัมพันธ์กับกลิ่น meaty ทั้งนี้จากการศึกษาของ Ba *et al.* (2019) พบว่ากลิ่นรส meaty อาจเกิดจากการสลายตัวของกรดอะมิโนแล้วได้ผลผลิตเป็นสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น thiophenes ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยา maillard reaction และมีความสำคัญกับการเกิดกลิ่นรสที่พึงประสงค์ของเนื้อสุกรสุก เช่น กลิ่นรสอบ (roasty) และกลิ่นรส meaty อย่างไรก็ตาม Ueda *et al.* (1997) รายงานว่าการเกิดกลิ่นรสในเนื้อสัตว์อาจมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา maillard reaction โดยอาจเนื่องมาจากกลูตาไรโอนซึ่งเป็นโปรตีนเมื่อผ่านความร้อนสามารถสลายตัวเป็นกลูตามิก

ไกลซีน และซิสเตอีน ประกอบกับโครงสร้างของกรดอะมิโนซิสเตอีนมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (sulfur-containing compounds) จึงมีผลต่อการเกิดกลิ่นรสของเนื้อได้

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของกลิ่นและกลิ่นรส cardboard ซึ่งเป็นกลิ่นและกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีลักษณะคล้ายกลิ่นกระดาษลังเก่า กระดาษลังขึ้นหรือเปียกน้ำ โดยอาจเกิดจากการนำเนื้อที่สุกแล้วกลับมาอุ่นให้ความร้อนอีกครั้ง ทั้งนี้กลิ่นและกลิ่นรส cardboard อาจเกิดจากการออกซิเดชันของกรดไขมัน palmitoleic acid ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ คือ (E)-2-nonenal (McGorin, 2012) ทั้งนี้สารประกอบหลักของกลิ่น cardboard คือ cis-2-nonenal และ trans-2-nonenal ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา lipid autoxidation ทั้งนี้สารประกอบ carbonyl จากปฏิกิริยา lipid peroxidation ในเนื้อโคสุกที่เก็บที่ 0-4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน แล้วนำกลับมาให้ความร้อนอีกครั้ง (reheated) ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากสารประกอบ (E)-4,5-epoxy-(E)-2-decenal (metallic note) และ hexanal (green note) ซึ่งจะไม่พบในตัวอย่างเนื้อโคที่ปรุงสุกใหม่ สอดคล้องกับการศึกษาในเนื้อไก่ต้มสุกเมื่อนำกลับมาให้ความร้อนอีกครั้ง อาจเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-odors) ได้โดยสารประกอบหลักคือ hexanal ซึ่งให้กลิ่น green กลิ่น cardboard และกลิ่น metallic นอกจากนี้สารประกอบ carbonyl บางชนิด อาจส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืน (rancid off-flavor) คือ (E,E)-2,4-decadienal และ 1-octen-3-one ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เกิดจากการออกซิเดชันของกรดไขมัน linoleic acid และ linolenic acid (McGorin, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับ Benet *et al.* (2016) ที่พบว่าสารประกอบ hexanal และ (E,E)-2,4-decadienal เกิดจากการออกซิเดชันของ linoleic acid ส่งผลให้เกิดกลิ่นหืน และกลิ่นไขมัน

ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของกลิ่น cardboard สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง โดยมีค่าเท่ากับ 2.59 2.40 และ 2.22 คะแนน ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณของ linoleic acid และ linolenic acid (ตารางภาคผนวก ข ที่ 1) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (315.12 และ 18.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อตัวอย่าง) มีปริมาณมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (234.56 และ 12.44 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อตัวอย่าง) และไขมันแทรกต่ำ (221.75 และ 11.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อตัวอย่าง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับผลคะแนนความเข้มของกลิ่น cardboard ที่ประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ในทางตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน linoleic acid และ linolenic acid ในเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงพบว่ามีความต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.01$, ตารางที่ 4.3) อย่างไรก็ตามสารประกอบที่ระเหยได้ที่มีผลต่อการเกิดกลิ่นจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction การสลายตัวของกรดอะมิโน และ thiamine degradation มากกว่าการออกซิเดชันของกรดไขมัน เมื่อเนื้อมี PUFA มาก (เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ) จะมีความสัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้เกิดอนุพันธ์ของอนุมูลอิสระ (oxidative derivatives) ซึ่งส่งผลให้เกิด

กลิ่นหืน (Morrissey *et al.* 1998) และอาจมีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction และ thiamine degradation ได้ (Benet *et al.* 2016)

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้านกลิ่นของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ที่ผ่านการทำให้สุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
กลิ่น (aroma)					
cooked pork	6.29	5.92	6.17	0.47	0.056
meaty	2.96	2.95	3.18	0.37	0.166
brothy	2.68 ^a	2.48 ^b	2.82 ^a	0.19	0.004
briny	1.85	1.96	2.03	0.16	0.151
sweet aromatics	1.37	1.36	1.48	0.07	0.119
cooked	2.23	2.06	2.16	0.15	0.136
lard	1.34	1.31	1.37	0.15	0.811
metallic	1.85	1.73	1.91	0.22	0.250
sour aromatics	1.04	1.05	1.10	0.08	0.592
brown	2.21	2.17	2.32	0.22	0.351
urine	0.05	0.01	0.00	0.04	0.467
heated oil	0.06	0.05	0.05	0.02	0.911
cardboard	2.40 ^b	2.22 ^b	2.59 ^a	0.18	0.001

^{a,b} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.12 พบว่าปริมาณไขมันแทรกไม่มีความสัมพันธ์กับกลิ่น cardboard ($r = 0.19$, $p > 0.05$) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ แต่พบความสัมพันธ์ในทางบวกระดับปานกลาง ($p < 0.05$, ข้อมูลไม่แสดง) ระหว่างกลิ่น cardboard กับกลิ่น meaty ($r = 0.31$) และกลิ่น metallic ($r = 0.31$) ซึ่งอาจแสดงให้เห็นถึงเมื่อคะแนนความเข้มของกลิ่น meaty และกลิ่น metallic เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้คะแนนความเข้มของกลิ่น cardboard เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าสารประกอบ carbonyl บางชนิด (hexanal) เกิดจากการนำเนื้อมาให้ความร้อนอีก

ครั้ง (อุ่นอาหาร) จะให้กลิ่น cardboard และกลิ่น metallic (McGorin. 2012) ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ ($p>0.05$) ระหว่างกลิ่น cardboard กับองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร ขณะที่ Ba *et al.* (2013) ซึ่งทำการศึกษาในรูปแบบการจำลองสภาพเนื้อสัตว์ (meat-like model system) พบว่ากรดไขมัน oleic acid มีส่วนทำให้สารประกอบที่พึงประสงค์จากปฏิกิริยา maillard reaction เพิ่มขึ้น ขณะที่ถ้ามี linoleic acid และ linolenic acid ในปริมาณสูงส่งผลให้สารประกอบที่ไม่พึงประสงค์จากปฏิกิริยา maillard reaction มากขึ้น ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าถ้ามีปริมาณกรดไขมัน oleic acid ในปริมาณสูงอาจส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ดี ประกอบกับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ของ MUFA สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ทั้งนี้มีรายงานว่ากรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 (Ba *et al.* 2012)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน oleic สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ ($p=0.062$) โดยมีค่าเท่ากับ 44.32 42.44 และ 42.39 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลทำให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีกลิ่นรสที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีแนวโน้มจะเน่นความแข็งของกล้ามเนื้อสุกรสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง โดยมีค่าเท่ากับ 6.29 และ 5.92 คะแนน ($p=0.056$) แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความแข็งของกล้ามเนื้อสุกร 6.17 คะแนน ซึ่งไม่แตกต่างจากเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและปานกลาง ($p>0.05$, ตารางที่ 4.8)

กลิ่นรส brothy ($p=0.086$) และกลิ่นรส metallic ($p=0.090$) ของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มของคะแนนสูงกว่ากลุ่มอื่น (ตารางที่ 4.9) ซึ่งสอดคล้องกับกลิ่น brothy ในเนื้อสุก (ตารางที่ 4.9) และกลิ่น metallic ในเนื้อดิบ (ตารางที่ 4.7) ที่พบในการศึกษาในครั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเมื่อเนื้อผ่านการทำให้สุก ผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ (lipid oxidized products) เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ หรือ 2 alkylfurans อาจทำปฏิกิริยาร่วมกับผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ กลุ่ม heterocyclic compounds ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสของเนื้อที่ผ่านการทำให้สุก (Ba *et al.* 2012) ทั้งนี้อัลดีไฮด์จะให้กลิ่นรสของเนื้อสุกซึ่งเป็นกลิ่นที่พึงประสงค์ แต่ถ้ามีปริมาณของอัลดีไฮด์มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนและกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ได้ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการออกซิเดชันของไขมันภายในเนื้อ (McGorin. 2012)

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณไขมันแทรกไม่มีผล ($p>0.05$) ต่อกลิ่นและกลิ่นรสไขมันหมู (lard) และกลิ่นและกลิ่นรสของน้ำมันที่ผ่านความร้อน (heated oil) และในช่วงการพัฒนาคำศัพท์ผู้ประเมินไม่พบลักษณะ warmed-over flavor ในการทดสอบจึงไม่นำมาเป็นลักษณะที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้ McGorin. (2012) กล่าวว่าเกิด warmed-over flavor อาจเกิดจากการนำเนื้อสัตว์กลับมาให้ความร้อนอีกครั้ง เช่น การอุ่นอาหาร แต่ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้เก็บเนื้อไว้แล้วนำมาอุ่น คือ ใช้ประเมินทันทีหลังจากการทำให้สุก จึงทำให้ไม่พบลักษณะ warmed-over flavor นอกจากนั้นขณะทำการทดสอบผู้วิจัยให้ความระมัดระวังในการเตรียมตัวอย่าง เช่น นำถาด

ภายในเตาอบมาห่ออะลูมิเนียมฟอยด์ก่อนอบและเปลี่ยนใหม่ทุกครั้ง และล้างทำความสะอาดเตาและถาดทุกครั้งก่อนการอบตัวอย่างในรอบการอบถัดไป เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นควน เนื่องจากในระหว่างการทำให้สุกเมื่อเนื้อได้รับความร้อนไขมันภายในเนื้อจะหยดลงที่ถาดภายในเตา หากไม่ทำความสะอาดเตาทุกครั้งหลังอบ คราบหยดน้ำมันดังกล่าว อาจเกิดการไหม้และเกิดควัน ส่งผลให้เนื้อที่อบมีกลิ่นควนมากขึ้น

ตารางที่ 4.9 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ที่ผ่านการทำให้สุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
กลิ่นรส (flavor)					
cooked pork	7.90	7.76	8.01	0.37	0.178
meaty	3.52	3.70	3.66	0.38	0.400
brothy	2.97	2.90	3.16	0.28	0.086
briny	1.58	1.75	1.75	0.18	0.139
sweet flavor	1.54	1.49	1.59	0.13	0.457
cooked	2.51	2.39	2.48	0.22	0.501
lard	1.51	1.61	1.66	0.29	0.452
metallic	2.43	2.26	2.47	0.21	0.090
sour flavor	1.29	1.24	1.17	0.08	0.183
brown	2.15	2.17	2.13	0.12	0.860
heated oil	0.06	0.08	0.06	0.03	0.924

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางเคมีกายภาพของเนื้อ (ตารางที่ 4.12) และองค์ประกอบของกรดไขมัน (ตารางที่ 4.13) กับการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน โดยผลจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันแทรกกับคะแนนความเข้มของกลิ่น brothy และกลิ่น cardboard ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.12) แต่พบความสัมพันธ์ระหว่างกลิ่น brothy กับการสูญเสียไขมันในระหว่างการเก็บรักษา ($r = -0.37$, $p < 0.05$) และ palmitoleic acid (C16:1, $r = 0.36$, $p < 0.05$) และพบความสัมพันธ์ระหว่างกลิ่น cardboard กับค่า b* ($r = 0.30$,

$p < 0.05$) ทั้งนี้ค่า b^* มีความสัมพันธ์กับระดับไขมันแทรก ($r = 0.50$, $p < 0.01$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้น ค่า b^* เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กลิ่น cardboard มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนรสอูมามิสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.11) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Tikk *et al.* (2006) รายงานว่ารสอูมามิเกิดจากสารประกอบหลัก 2 ชนิด คือ monosodium glutamate (MSG) และ IMP ซึ่ง MSG เป็นเกลือของกรดอะมิโน และ IMP เกิดจากการสลายตัวของ ATP ดังนั้นหากมีรสอูมามิสูงอาจเป็นเพราะมี L-glutamate IMP หรือ GMP สูงเช่นกัน จึงอาจกล่าวได้ว่ารสอูมามิเป็นรสที่ผสมระหว่างกรดอะมิโนกลูตามิกและสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (Ngapo and Vachon, 2016) อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาในครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างในปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ระหว่างกลุ่มทดลอง (ตารางที่ 4.6) และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (IMP GMP inosine และ hypoxanthine) กับรสอูมามิ (ตารางที่ 4.12) แต่พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลางมีปริมาณ GSSG สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.5) จึงอาจเป็นผลทำให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของรสอูมามิสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.11) ทั้งนี้อาจเนื่องจากโครงสร้างของ GSH และ GSSG มีกรดอะมิโนกลูตามิกเป็นองค์ประกอบ เมื่อ GSH และ GSSG ได้รับความร้อน สารที่เป็นองค์ประกอบในการเกิดกลิ่นรสของเนื้อจะระเหยออกมา (Ueda *et al.* 1997) การเกิดกลิ่นรสในเนื้อสัตว์อาจมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา Maillard reaction ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก GSH เป็นโปรตีน เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวเป็นกรดอะมิโนกลูตามิก ซิสเตอีน และไกลซีน (Ueda *et al.* 1997) และทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ จึงมีผลต่อการเกิดกลิ่นรสของเนื้อ จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบความสัมพันธ์ระหว่าง GSH กับการเกิดกลิ่นรสของเนื้อ โดยเมื่อ GSH ได้รับความร้อนสารที่เป็นองค์ประกอบในการเกิดกลิ่นของเนื้อ (meaty aroma compounds) จะระเหยออกมา เช่น อนุพันธ์ของ furan thiols pyrazines และ thiols เป็นต้น (Ueda *et al.* 1997) ขณะที่ Zheng *et al.* (1997) กล่าวว่ากรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ คือ ซิสเตอีน และซิสทีน จะส่งผลให้เมื่อเนื้อสัตว์ได้รับความร้อนจะมีกลิ่นเนื้อ (meat-like aroma) ออกมาในระหว่างการทำให้สุก อาจกล่าวได้ว่ากรดอะมิโนซิสเตอีนเป็นสารตั้งต้นของการเกิดกลิ่นเนื้อเมื่อเนื้อผ่านการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานาน (Ohloff *et al.* 1985 อ้างโดย Zheng *et al.* 1997) อย่างไรก็ตาม heterocyclic compounds ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (sulfur-containing heterocyclic compounds) จะมีความสัมพันธ์กับกลิ่นรส meaty โดยสาร 2-methyl-3-furanthiol และ bis-(2-methyl-3-furyl) disulfide ให้กลิ่นรสเนื้อโคสุกและน้ำซุปลไก่ (chicken broth) ขณะที่ 2-pyrazineethanethiol ให้กลิ่นรสของเนื้อสุก (McGorin, 2012) ในทางตรงกันข้ามเมื่อเนื้อได้รับความร้อนในระหว่างการทำให้สุกอาจเกิดปฏิกิริยา strecker degradation ส่งผลให้กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ซิสเตอีน เมทไธโอนีน และซิสทีน เกิดการสลายตัว (sulfur-containing amino acid breakdown) ได้ ทั้งนี้ Mottram (1998) กล่าวว่าถ้ามี sulfur-containing compounds ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 1

ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม จะให้กลิ่นเนื้อและกลิ่นถั่ว (nutty aroma) แต่ถ้ามีความเข้มข้นของ sulfur-containing compounds สูง จะให้กลิ่นกำมะถันและกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของ GSH และ GSSG มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เมื่อได้รับความร้อนและเกิดการสลายตัวของโปรตีน เนื่องจากการสลายตัวของโปรตีนที่มีซีสเทอีนเป็นองค์ประกอบ จะปลดปล่อยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกมาในระหว่างการให้ความร้อน ทำให้เกิดกลิ่นรสเนื้อได้เช่นกัน (Wang *et al.* 2012; Zheng *et al.* 1997)

ผลการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ของเนื้อสันนอกสุกรโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (ตารางที่ 4.10) พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มข้นของความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) และความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันของเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกสูง (6.11 เปอร์เซ็นต์) มีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (4.03 เปอร์เซ็นต์) และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (2.55 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ($p<0.05$) ขณะที่คะแนนความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) ของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกสูง มีค่าสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.11 3.05 และ 2.73 คะแนน ตามลำดับ ($p<0.01$) ทั้งนี้ผลคะแนนความเข้มข้นของความกรอบเมื่อกัดครั้งแรกของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มข้นสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า collagen solubility percentage ($p<0.01$) และ soluble collagen ($p=0.061$) น้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับไขมันแทรกและเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อเพิ่มขึ้น collagen solubility percentage มีค่าลดลง อาจเป็นเพราะเมื่อมีการสะสมของไขมันแทรกมากขึ้น เนื้อจะมีโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่แข็งแรงและมีความซับซ้อนมากขึ้น คือ มี thermally stable non-reducible crosslinking มากขึ้น (Voutilainen *et al.* 2008) อาจส่งผลให้เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มข้นของความกรอบเมื่อกัดครั้งแรกมีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าคะแนนความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มข้นสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและปานกลาง ($p<0.05$)

ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ($r = 0.91$, $p<0.01$) การสูญเสียไอน้ำในระหว่างการเก็บรักษา ($r = -0.46$, $p<0.01$) และการสูญเสียไอน้ำในระหว่างการปรุงสุก ($r = -0.47$, $p<0.01$) อาจเป็นผลเนื่องมาจากโดยรวมแล้วพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจะมีการสูญเสียไอน้ำน้อยกว่า ซึ่งอาจแสดงถึงความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีกว่า ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า pH สูงกว่า มีผลให้โปรตีนภายในกล้ามเนื้อมีความสามารถในการจับน้ำได้ดีขึ้น น้ำภายในเนื้อจึงสูญเสียออกมาน้อยกว่าเนื้อที่มีค่า pH ต่ำ จากรายงานของ Puolanne *et al.* (2002) กล่าวว่าค่า pH ของเนื้อที่แตกต่างกันเพียง 0.2-0.3 หน่วยอาจจะมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ค่าสีของเนื้อ และความนุ่มของเนื้อได้ ทั้งนี้ Lawrie and

Ledward (2006) กล่าวว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกจะมีโครงสร้างของกล้ามเนื้อหลวม ส่งผลให้มีการสะสมของน้ำภายในกล้ามเนื้อมากกว่าเนื้อที่ไม่มีไขมันแทรก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Li *et al.* (2006) Okumura *et al.* (2007) และ Utrilla *et al.* (2010) ที่กล่าวว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจะมีการสูญเสียให้น้ำน้อยกว่าและมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีกว่า ประกอบกับไขมันแทรกที่อยู่บริเวณภายในกล้ามเนื้อ เมื่อเนื้อได้รับการปรุงสุกไขมันแทรกในเนื้อที่หลอมละลาย อาจจะไปเคลือบทั่วเส้นใยกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เนื้อมีความชุ่มฉ่ำมากขึ้น (Smith and Carpenter, 1974 อ้างโดย Savell and Cross, 1988) ส่งผลให้คะแนนความชุ่มฉ่ำของเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงมีค่ามากที่สุด ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.10)

ทั้งนี้ Wood *et al.* (2003) อธิบายถึงผลของไขมันแทรกต่อความนุ่มและความชุ่มฉ่ำของเนื้อว่า neutral lipids ที่อยู่ในเนื้ออาจส่งผลให้โครงสร้างของเพอร์ริไมเซียภายในกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น ส่งผลให้เนื้อมีความชุ่มฉ่ำมากขึ้น สอดคล้องกับ Alonso *et al.* (2012) พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างเปอร์เซ็นต์ SFA MUFA และเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อต่อความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเนื้อมีไขมันภายในเนื้อมากขึ้น เนื้อนั้นอาจจะมีนุ่มและความชุ่มฉ่ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมันกับการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (ตารางที่ 4.13) ทั้งนี้พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างกรดไขมัน palmitic acid (C16:0) กับความรู้สึกลิ้นติดริมฝีปาก ($r = 0.41$, $p < 0.05$) และความเป็นน้ำมันภายในปาก ($r = 0.38$, $p < 0.05$) และพบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างกรดไขมัน linoleic acid (C18:2 n-6c) และ eicosatrienoic acid (C20:3 n-3) + arachidonic acid (C20:4 n-6) กับความรู้สึกลิ้นติดริมฝีปาก ($r = -0.42$ และ -0.54 , $p < 0.01$) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก ($r = -0.34$ และ -0.32 , $p < 0.05$) และความเป็นน้ำมันภายในปาก ($r = -0.49$ และ -0.58 , $p < 0.01$) ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกกับลักษณะเนื้อสัมผัสด้านอื่นๆ ($p > 0.05$)

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ (ตารางที่ 4.11) พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกัน ไม่มีผล ($p > 0.05$) ต่อความรู้สึกลิ้นฝืดฝื่อน (astringent) รสเปรี้ยว และรสเค็ม ($p > 0.05$) แต่ระดับไขมันแทรกมีผลกับคะแนนความเข้มของรสหวานและรสอูมามิ ($p < 0.01$) โดยพบว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของรสหวานที่ได้จากการประเมินสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.44 1.32 และ 1.30 คะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ที่ผ่านการทำให้สุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
เนื้อสัมผัส (lip feel)					
moistness lip	4.56	4.75	4.84	0.65	0.290
oily lip feel	3.83 ^b	4.04 ^b	4.41 ^a	0.25	0.000
เนื้อสัมผัส (first bite; กัดครั้งแรก-พินกราม)					
firmness	6.17	6.22	6.32	0.35	0.539
hardness	5.22	5.26	5.29	0.31	0.853
springiness	3.16	3.28	3.23	0.54	0.766
tooth pull	2.47	2.56	2.60	0.08	0.114
crispness	2.73 ^b	3.11 ^a	3.05 ^a	0.18	0.000
เนื้อสัมผัส (chew down; การเคี้ยว)					
moistness	4.63 ^b	4.60 ^b	4.85 ^a	0.20	0.028
chewiness	5.28	5.27	5.28	0.20	0.997
cohesiveness	4.22	4.28	4.35	0.20	0.431
roughness	3.64	3.68	3.68	0.09	0.815
oily mouth feel	2.63 ^c	3.07 ^b	3.37 ^a	0.43	0.000
chew count	6.82	6.99	6.99	0.24	0.209
particle	1.94	1.84	1.78	0.12	0.122

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับ Benet *et al.* (2016) ซึ่งทำการศึกษาในแฮมชนิดน้ำเกลือที่ทำให้สุกแล้ว (cooked cured ham) ของเนื้อสุกรพบว่าแฮมจากเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกสูง (คะแนนไขมันแทรก 6.3) มีคะแนนรสหวานสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (คะแนนไขมันแทรก 3.7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มของกรดไขมัน C18:1 n-9c (oleic acid) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ ($p = 0.062$) ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยา oleic oxidation ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มของ decanal ซึ่งเกิดการ

กระตุ้นให้เกิดรสหวานซึ่งเป็นรสที่น่าพึงพอใจ นอกจากรสหวานแล้วผลของการเกิดปฏิกิริยา oleic oxidation ยังให้สารประกอบที่ให้กลิ่นของไขมันที่พึงประสงค์อีกด้วย ซึ่งกลิ่นและรสเหล่านี้เป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของเนื้อ (Benet *et al.* 2016) ประกอบกับการเกิด maillard reaction ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดรสหวานและรสคาราเมล (caramel taste) ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ (Ngapo *et al.* 2012)

ทั้งนี้ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4.12) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันที่ประเมินด้วยสายดากับรสหวาน ($r = 0.26, p > 0.05$) แต่พบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อกับรสหวาน ($r = 0.34, p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคะแนนความเข้มของรสหวานมีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อ ขณะที่ผลจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Ngapo *et al.* (2012) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายดากับคะแนนความเข้มของรสหวาน ($r = 0.20, p < 0.05$) และกลิ่นรสเนื้อ ($r = 0.27, p < 0.01$) ซึ่งประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้รสหวานและกลิ่นรสเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้อาจเป็นเพราะกรดอะมิโน ไกลซีนและซิสเตอีนสามารถเกิดปฏิกิริยาร่วมกับน้ำตาลรีดิวซ์ในระยะเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction ทั้งนี้กรดอะมิโนทั้ง 2 เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา maillard reaction ได้ง่าย ประกอบกับซิสเตอีนเป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเมื่อเกิดปฏิกิริยา maillard reaction จะได้สารประกอบ cysteine-amadori (amadori compounds) ขณะที่ไกลซีนได้สารประกอบ glycine-amadori ส่งผลให้เมื่อเนื้อได้รับความร้อนจะเกิดกลิ่นรสเนื้อ (Zhao *et al.* 2019) และเกิดรสหวาน (Chen and Zhang, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงจะมีปริมาณ GSSG ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ GSH สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก โครงสร้างของ GSH และ GSSG มีกรดอะมิโนที่มีความสัมพันธ์กับรสหวานเป็นองค์ประกอบ เมื่อ GSH ได้รับความร้อนจึงสลายตัวออกมาเป็นกรดอะมิโนเหล่านั้น จึงอาจส่งผลให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของรสหวานสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์กรดอะมิโนภายในเนื้อ ทั้งนี้ Brewer (2006) อธิบายถึงกลิ่นรสหวานที่เกิดจากปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างน้ำตาล กรดอะมิโน และ organic acids (inosinic acid) โดยกรดอะมิโนที่เกี่ยวข้องกับรสหวาน คือ กลูตามิก ไกลซีน ไลซีน ทรีโอนีน (threonine) อะลานีน (alanine) วาลีน (valine) อาร์จินีน (arginine) ซิสเตอีน เมทไธโอนีน และโพรลีน (proline) เป็นต้น (Brewer, 2006; Chen and Zhang, 2007) ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรดอะมิโนที่มีความสัมพันธ์กับรสหวานเป็นโครงสร้างหลักของ GSH และ GSSG คือ ซิสเตอีน ไกลซีน และกลูตามิก ทั้งนี้กรดอะมิโนทั้ง 3 นี้เป็นสารตั้งต้นในการเกิดกลิ่นรสเนื้อ โดยเมื่อ GSH ได้รับความร้อน สารที่เป็นองค์ประกอบในการเกิดกลิ่นรสของเนื้อจะระเหยออกมา (Ueda *et al.* 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ของไขมันในเนื้อ เช่น แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตน หรือ 2 alkylfurans อาจทำปฏิกิริยาร่วมกับ ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ กลุ่ม heterocyclic compounds ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสของเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกเช่นกัน (Ba *et al.* 2012)

เมื่อพิจารณาถึงรสอูมามิ ซึ่งรสอูมามิถูกค้นพบในปี 1908 โดยนักวิจัยชาวญี่ปุ่นและได้รับการยอมรับว่าเป็น 1 ใน 5 ของรสชาติพื้นฐานเมื่อปี 1998 คือ รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม รสขม และรสอูมามิ (Yamaguchi, 1998) โดยรสอูมามิเกิดจาก flavor-potentiating compounds เช่น monosodium glutamate (MSG) IMP GMP (Brewer, 2006) และ AMP (Chen and Zhang, 2007) หรืออาจกล่าวว่ารสอูมามิเป็นรสที่ผสมระหว่างกรดอะมิโน glutamate และสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (Ngapo and Vachon, 2016) ซึ่งอูมามิไม่ให้รสชาติ แต่เนื่องจากอูมามิมีคุณสมบัติในการรักษาสมดุลของรสและกลิ่นรสจึงเกิดความกลมกล่อม ซึ่งให้รสคล้ายซุปไก่ (brothy) และรสคล้ายเนื้อ (meaty) จึงส่งผลให้อูมามิให้รสชาติโดยรวมที่น่าพึงประสงค์ ประกอบกับอูมามิมีผลทำให้เกิดการกระตุ้นการหลั่งน้ำลาย การรับรู้ของลิ้น เพดานปาก และช่องปาก ส่งผลให้สามารถรับรู้รสต่างๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น (Ngapo and Vachon, 2016)

จากตารางที่ 4.11 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้าน chemical feeling รสชาติ และกลิ่นรสตกค้างหลังลิ้นของเนื้อสันนอกสุกที่ผ่านการทำให้สุก พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของรสอูมามิสูงกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกต่ำโดยมีค่าเท่ากับ 2.31 และ 2.09 คะแนน ตามลำดับ ($p < 0.05$) แต่คะแนนรสอูมามิ (2.19 คะแนน) ของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางไม่แตกต่างกับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับ Frank *et al.* (2016) พบว่าระดับของไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อรสอูมามิของเนื้อสันนอกโค โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนรสอูมามิสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.01$) ทั้งนี้ Tikik *et al.* (2006) รายงานว่ารสอูมามิเกิดจากสารประกอบหลัก 2 ชนิด คือ MSG และ IMP โดย MSG เป็นเกลือของกรดอะมิโน และ IMP เกิดจากการสลายตัวของ ATP ดังนั้นหากมีรสอูมามิสูงอาจเป็นเพราะมี L-glutamate IMP และ GMP สูงเช่นกัน (Ngapo and Vachon, 2016) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ารสที่คล้าย MSG (MSG-like taste) มีรสที่ซับซ้อนเกิดจากการรวมกันระหว่างกรดอะมิโนกลูตามิกและแอสพาร์ติก (aspartic) ซึ่งสามารถใช้อธิบายรสอูมามิได้ (Yamaguchi *et al.* 1971 อ้างโดย Ngapo and Vachon, 2016) ทั้งนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ากรดอะมิโนที่เกี่ยวข้องกับรสอูมามิ คือ กลูตามิก แอสพาร์ติก และกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างเป็นวง (free aromatic amino acids) เช่น แอล-ไทโรซีน (L-tyrosine) และแอล-ฟีนิลอะลานีน (L-phenylalanine) เป็นต้น (Chen and Zhang, 2007)

แม้ว่าผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณ hypoxanthine inosine IMP และ GMP ในเนื้อสุกจะไม่มี ความแตกต่างกัน ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.6) ประกอบกับไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนิวคลีโอไทด์ (hypoxanthine inosine IMP และ GMP) กับลักษณะคุณภาพทางประสาท

สัมพัทธ์เชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ($p>0.05$, ตารางที่ 4.12) ยกเว้นรสหวานซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างรสหวานกับปริมาณ IMP ($r = 0.40$, $p<0.01$) และ GMP ($r = 0.35$, $p<0.05$) ทั้งนี้จากการศึกษาของ Meinert *et al.* (2009) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ IMP inosine และ hypoxanthine ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสุกร แต่ผู้วิจัยพบว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณ IMP มีค่าลดลง ขณะที่ inosine และ hypoxanthine มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Cambero *et al.* (2000) รายงานว่ากลิ่นรส brothy ของเนื้อโคและเนื้อสุกรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนในระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4.11 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) พบว่าปริมาณไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อกลิ่นรสตกค้างหลังกลืนของเนื้อสันนอกสุกร ($p<0.05$) โดยคะแนนความเข้มของกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน (1.21 คะแนน) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่ามากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (1.05 คะแนน) และปานกลาง (1.00 คะแนน) ตามลำดับ ($p<0.05$) ขณะที่เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางมีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ($p<0.05$) แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำมีกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนไม่แตกต่างกับเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางและสูง ($p>0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเนื้อมีไขมันแทรกเพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้เนื้อมีกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนน้อยลง ซึ่งส่งผลดีต่อคุณภาพทางการบริโภคของเนื้อ ประกอบกับการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของไขมันแทรก ($p<0.05$) จึงอาจส่งผลให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนน้อยกว่ากลุ่มอื่น ($p<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในเนื้อสันนอกโคที่พบว่าระดับของไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืน (acidic aftertaste) และกลิ่นรส metallic ตกค้างหลังกลืนของเนื้อสันนอกโค ($p<0.01$) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างและกลิ่นรส metallic ตกค้างหลังกลืนน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและไขมันแทรกต่ำ (Frank *et al.* 2016)

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มที่คะแนนกลิ่นรสไขมันตกค้างหลังกลืน (lard aftertaste, $p=0.076$) และกลิ่นรสอูมามิตกค้างหลังกลืน (umami aftertaste, $p=0.074$) มีค่าสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ โดยกลิ่นรสไขมันตกค้างหลังกลืนอาจเป็นรสชาติที่ดีได้ แต่ถ้ามีกลิ่นรสไขมันตกค้างหลังกลืนมากเกินไปอาจให้ความรู้สึกถึงความคาวจนเกินไปได้ ขณะที่กลิ่นรสอูมามิตกค้างหลังกลืนเป็นลักษณะคุณภาพทางการบริโภคที่ดีของเนื้อสัตว์

ตารางที่ 4.11 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้าน chemical feeling รสชาติ และกลิ่นรสตกค้างหลังกลืนของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) ที่ผ่านการทำให้สุก

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
chemical feeling					
astringent (ความรู้สึกฝืด เฝื่อน)	0.81	0.81	0.83	0.03	0.887
รสชาติ (taste)					
รสเปรี้ยว (sour)	1.20	1.17	1.10	0.08	0.232
รสเค็ม (salty)	1.82	1.85	1.81	0.10	0.852
รสหวาน (sweet)	1.30 ^b	1.32 ^b	1.44 ^a	0.06	0.014
รสอูมามิ (umami)	2.09 ^b	2.19 ^{ab}	2.32 ^a	0.11	0.011
กลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) : 30 วินาที					
cooked pork	2.06	2.04	2.22	0.16	0.102
metallic	1.11	1.04	1.10	0.07	0.422
lard	0.63	0.73	0.79	0.09	0.076
brothy	1.05 ^b	1.00 ^b	1.21 ^a	0.09	0.006
รสเปรี้ยว	0.53 ^{ab}	0.61 ^a	0.46 ^b	0.05	0.021
รสเค็ม	0.82	0.86	0.87	0.07	0.678
รสหวาน	0.59	0.62	0.69	0.05	0.152
รสอูมามิ	1.06	1.09	1.18	0.06	0.074

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพกับลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่ประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (ตารางที่ 4.12) ด้านรสชาติ และกลิ่นรสตกค้างหลังกลืนซึ่งพบว่าปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับรสอูมามิ ($r = 0.47$, $p < 0.01$) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน ($r = 0.52$, $p < 0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อกับรสหวาน ($r = 0.34$, $p < 0.05$) รสอูมามิ ($r = 0.46$, $p < 0.01$) กลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน ($r = 0.42$, $p < 0.05$) และกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืน ($r = -0.37$,

$p < 0.05$) ขณะที่ค่า pH มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับรสหวาน ($r = 0.42, p < 0.01$) รสอูมามี ($r = 0.41, p < 0.01$) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน ($r = 0.32, p < 0.05$) ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มขึ้น คะแนนความเข้มของรสอูมามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไขมันแทรก ขณะที่เนื้อที่มีค่า pH สูง (ไขมันแทรกมาก) มีคะแนนความเข้มของรสหวาน รสอูมามี และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์กับรสหวาน ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าคะแนนความเข้มของรสหวานมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณ IMP ($r = 0.40, p < 0.01$) และปริมาณ GMP ($r = 0.35, p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าปริมาณ IMP และ GMP เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้เนื้อสุกมีรสหวานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงอาจเกิด oleic oxidation มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ซึ่งสารประกอบที่ได้กระตุ้นให้เกิดรสหวาน (Benet *et al.* 2016) โดยผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน oleic สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ ($p = 0.062$) โดยมีค่าเท่ากับ 44.32 42.44 และ 42.39 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลทำให้เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีกลิ่นรสที่ดีกว่า

จากการศึกษาของ Flores *et al.* (1999) ทำการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเนื้อภายหลังสัตว์ตาย ซึ่งแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ เนื้อสันนอกสุกที่มีค่า pH ที่ 2 ชั่วโมงน้อยกว่า 5.8 คือ กลุ่มที่ 1 เนื้อ pale soft exudative (PSE) และกลุ่มที่ 2 เนื้อ red soft exudative (RSE) กลุ่มที่ 3 เนื้อสันนอกสุกที่มีค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงน้อยกว่า 6.0 คือ เนื้อ red firm non-exudative (RFN) และกลุ่มที่ 4 เนื้อสันนอกสุกที่มีค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงมากกว่า 6.0 คือ เนื้อ dark firm dry (DFD) ที่ทำให้สุกด้วยการต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกที่ทำให้สุกกับปริมาณนิวคลีโอไทด์ คือพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่าง hypoxanthine กับรสหวาน ($r = 0.27, p < 0.05$) แต่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่าง hypoxanthine กับรสขม ($r = -0.30, p < 0.05$) รสเปรี้ยว ($r = -0.42, p < 0.05$) และรสเค็ม ($r = -0.33, p < 0.05$) ขณะที่ inosine มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับรสเค็ม ($r = -0.28, p < 0.05$) แต่ผู้วิจัยไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง IMP และ GMP กับการประเมินทางประสาทสัมผัส

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงปริมาณนิวคลีโอไทด์และผลการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน พบว่า กลิ่น brothy ของเนื้อสันนอกสุกที่ผ่านการทำให้สุกที่มีระดับไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มมากกว่าเนื้อสันนอกที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณ IMP ของเนื้อสุกที่มีระดับไขมันแทรกสูง ปานกลาง และต่ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.35 3.40 และ 3.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อตัวอย่างตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเกิดกลิ่นและกลิ่นรส brothy ของเนื้อสันนอกสุก อาจไม่ได้ขึ้นกับปริมาณ IMP หรือสารตั้งต้นเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้การเกิดกลิ่นรสในเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกอาจ

เนื่องจากผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้ออาจทำปฏิกิริยาร่วมกับผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งส่งผลให้เกิดกลิ่นรสของเนื้อ (Ba *et al.* 2012) สอดคล้องกับ Meinert *et al* (2009) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ IMP inosine และ hypoxanthine ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น (จาก 4 วันเป็น 15 วัน) ปริมาณ IMP มีค่าลดลง (6.8 เป็น 4.0 ไมโครโมลต่อเนื้อ 1 กรัม) แต่ inosine และ hypoxanthine มีค่าเพิ่มขึ้น (1.8 และ 6.8 เป็น 3.4 และ 4.0 ไมโครโมลต่อเนื้อ 1 กรัม, $p<0.01$)

ตารางที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพและลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

	color	VML	raw	raw pork	brothy	cardboard	oily lip			oily mouth	sweet	umami	brothy	sour
	score	score ⁹⁾	metallic	ID	aroma	aroma	feel	crispness	moistness	feel	taste	taste	aftertaste	aftertaste
VML ²⁾	.08	.95**	-.17	-.23	.11	.19	.63**	.34*	.37*	.50**	.26	.47**	.52**	-.06
moisture	-.05	-.68**	.15	.23	-.16	-.22	-.51**	-.27	-.13	-.52**	-.24	-.35*	-.29	.40**
fat	.05	.85**	-.21	-.26	.13	.25	.64**	.29	.24	.55**	.34*	.46**	.42**	-.37*
ash	.29	-.00	.18	.05	-.20	-.28	-.13	.14	-.02	-.02	-.18	-.18	-.21	.21
protein	-.20	-.31*	-.02	-.09	-.23	-.27	-.33*	-.10	-.43**	-.26	-.27	-.44**	-.38**	.19
pH	.37*	.31*	-.32*	-.20	-.08	.09	.31*	.26	.01	.21	.42**	.41**	.32*	.08
drip loss	-.03	-.44**	-.08	-.03	-.37*	-.11	-.33*	-.20	-.10	-.37*	.04	-.14	-.15	.22
thawing loss	-.20	-.21	.01	.01	-.12	-.14	-.21	-.32*	-.18	-.28	-.05	-.18	-.20	.03
cooking loss	-.15	-.41**	.13	.20	-.01	.10	-.26	-.32*	.09	-.39**	-.12	-.15	-.11	.14
WBSF	.25	-.21	.21	.22	.16	-.28	-.19	-.01	-.09	-.18	-.18	-.20	-.27	.15
CSP ³⁾	-.23	-.46**	.03	.08	-.03	-.06	-.32*	-.37*	-.19	-.45**	-.13	-.25	-.38*	-.24
a* ⁴⁾	.39**	.39**	-.12	-.10	.09	.20	.34*	.33*	.12	.35*	.34*	.41**	.40**	-.16
b* ⁴⁾	-.02	.42**	-.14	-.13	.05	.30*	.27	.23	.18	.37*	.18	.30*	.48**	-.50**
TBARs ⁵⁾	-.07	-.05	.23	.13	.11	.01	-.06	.02	.14	.06	-.23	-.14	-.10	-.09
GSH ⁶⁾	-.01	-.30*	-.10	.01	-.16	-.15	-.29	-.18	-.36*	-.34*	-.06	-.17	-.09	.15
GSSG ⁷⁾	.09	.30*	-.12	-.16	-.11	.09	.16	.24	.13	.31*	.17	.25	.18	-.18
GSH:GSSG ⁸⁾	-.02	-.43**	.10	.18	.08	-.15	-.28	-.30*	-.24	-.44**	-.16	-.28	-.20	.18
hypoxanthine	.08	.24	.04	.02	.14	.04	.13	.27	-.03	.18	-.07	.02	.09	-.06
inosine	-.05	-.07	.04	.09	.16	-.04	.03	.05	-.21	.03	-.07	-.01	.09	-.14
IMP	.01	.09	-.36*	-.32*	-.28	-.06	.24	-.00	.08	.13	.40**	.28	.12	-.04
GMP	.08	.12	-.34*	-.30*	-.12	.07	.34*	.11	.10	.16	.35*	.28	.14	.08

* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Pearson's correlation coefficient และความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันแทรก (VML) กับคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Spearman's rank correlation coefficient

²⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011), ³⁾ CSP=collagen solubility percentage, ⁴⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง,

⁵⁾ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) =ค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อ, ⁶⁾ GSH=reduced glutathione content, ⁷⁾ GSSG=oxidized glutathione content, ⁸⁾ GSH:GSSG=อัตราส่วนของ reduced glutathione ต่อ oxidized glutathione,

⁹⁾ VML score=การประเมินลักษณะปรากฏด้านปริมาณไขมันแทรกของเนื้อสันนอกสุกรดิบเพื่อบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมันและลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

	color score	VML score ⁶⁾	raw metallic	raw pork ID	brothy aroma	cardboard aroma	oily lip feel	crispness	moistness	oily mouth feel	sweet taste	umami taste	brothy aftertaste	sour aftertaste
C14:0	-.07	.27	-.13	-.14	.10	.16	.17	.19	.02	.26	-.07	.12	-.01	-.10
C16:0	-.01	.49**	-.22	-.26	.01	.15	.41**	.19	-.07	.38*	.16	.32*	.02	-.17
C18:0	-.03	.24	-.26	-.29	-.19	-.14	.17	.04	-.22	.15	.15	.11	-.07	-.10
C20:0	.03	.30*	-.29	-.25	-.15	-.08	.23	.01	-.11	.16	.29	.24	.10	-.08
C14:1	.21	.09	.35*	.28	.07	-.21	-.13	.18	.11	.04	-.23	-.12	-.08	.03
C16:1	-.04	.26	.19	.15	.36*	.28	.14	.14	.25	.22	-.15	.09	.04	-.08
C18:1	.05	.24	.09	.02	.15	.16	.14	.18	.27	.20	.02	.04	.21	-.10
C20:1	.01	.27	-.14	-.17	.03	.22	.30*	.28	.09	.28	.24	.23	.27	.01
C18:2n6	-.04	-.59**	.07	.19	-.15	-.22	-.42**	-.34*	-.18	-.49**	-.12	-.24	-.17	.23
C18:3n3	-.16	-.34*	-.19	-.17	-.24	-.03	-.20	-.13	-.26	-.20	-.02	-.16	-.12	.07
C20:3C20:4	.12	-.75**	.31*	.43**	.03	-.23	-.54**	-.32*	-.12	-.58**	-.24	-.31*	-.23	.26
SFA ²⁾	-.02	.34*	-.26	-.29	-.12	-.01	.28	.11	-.18	.25	.16	.22	-.05	-.12
UFA ³⁾	.02	-.34*	.26	.29	.12	.01	-.28	-.11	.18	-.25	-.16	-.22	.05	.12
MUFA ⁴⁾	.04	.26	.12	.04	.19	.19	.15	.19	.29	.22	-.00	.05	.20	-.10
PUFA ⁵⁾	-.03	-.64**	.10	.22	-.13	-.23	-.45**	-.34*	-.19	-.51**	-.15	-.27	-.20	.24
PUFA n-3	-.15	-.66**	.05	.14	-.12	-.13	-.43**	-.33*	-.25	-.50**	-.18	-.34*	-.19	.19
PUFA n-6	-.04	-.61**	.08	.20	-.14	-.23	-.43**	-.34*	-.18	-.49**	-.13	-.25	-.19	.23
PUFA:SFA	.13	-.77**	.26	.35*	-.02	-.12	-.54**	-.19	-.13	-.49**	-.23	-.29	-.21	.23

* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมันและลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรวิเคราะห์ด้วย Pearson's correlation coefficient

²⁾ SFA = saturated fatty acid, ³⁾ UFA = unsaturated fatty acid, ⁴⁾ MUFA = monounsaturated fatty acid, ⁵⁾ PUFA = polyunsaturated fatty acid,

⁶⁾ VML score = การประเมินลักษณะปรากฏด้านปริมาณไขมันแทรกของเนื้อสันนอกสุกรดิบเพื่อบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

4.2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) ของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่มีปริมาณไขมันแทรกแตกต่างกัน โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 ท่านของหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากตารางที่ 4.7-4.11 แสดงคะแนนเฉลี่ยความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร จำนวน 3 กลุ่มทดลอง พบลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรจำนวน 56 ลักษณะ ประกอบด้วยลักษณะปรากฏ (appearance) 2 ลักษณะ กลิ่น (aroma) 16 ลักษณะ กลิ่นรส (flavor) 11 ลักษณะ ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) 14 ลักษณะ ความรู้สึกทางเคมี (chemical feeling) 1 ลักษณะ รสชาติ (taste) 4 ลักษณะ และ กลิ่นรสตกค้างหลังกลืน (aftertaste) 8 ลักษณะ โดยผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนความเข้มของผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) มีจำนวน 14 ลักษณะ ประกอบด้วยลักษณะของเนื้อสันนอกสุกรดิบ คือ สีของเนื้อ ปริมาณไขมันแทรก กลิ่น metallic และกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity) ขณะที่ลักษณะของเนื้อสันนอกสุกรสุก คือ กลิ่นคล้ายซุปไก่ (brothy aroma) กลิ่นกระดาษลังขึ้น (cardboard aroma) ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) กลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน (brothy aftertaste) และกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืน (sour aftertaste)

จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการจำแนกกลุ่ม (cluster analysis) แบบ Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis (AHC) และวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนและหมุนแกนด้วยวิธีแวนแมกซ์

ผลการจัดกลุ่มตัวอย่างตามลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจำนวน 14 ลักษณะที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วยวิธี AHC จากภาพที่ 4.1 สามารถยืนยันได้ว่ากลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ กลุ่มที่ 1 คือ เนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำ (low marbling; LM) กลุ่มที่ 2 คือ เนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกปานกลาง (medium marbling; MM) และกลุ่มที่ 3 คือ เนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกสูง (high marbling; HM)

เมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (ภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.14) พบว่าสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างในกลุ่มต่างๆ ได้โดยพบองค์ประกอบหลัก (Principal Component; PC) 2 องค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 100.00 เปอร์เซนต์ โดยองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ

องค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 54.30 และ 45.70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.14)

องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แยกความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ 3 (เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง) กับตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ) และกลุ่มที่ 2 (เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง) กล่าวคือเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มข้นของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบที่ 1 ได้แก่ ปริมาณไขมันแทรกซึ่งประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) และรสอูมามิ (umami taste) ที่สูงกว่า แต่มีคะแนนความเข้มข้นของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์เชิงลบกับองค์ประกอบที่ 1 ได้แก่ กลิ่น metallic และกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity) ที่ต่ำกว่า ตัวอย่างเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง

ในขณะที่องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แยกความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 (เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง) และกลุ่มที่ 3 (เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง) กับตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ) กล่าวคือเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มข้นของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบที่ 2 ได้แก่ ลักษณะกลิ่นคล้ายซูเปอร์ (brothy aroma) กลิ่นกระดาษลังขึ้น (cardboard aroma) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน (brothy aftertaste) ที่สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ แต่มีคะแนนความเข้มข้นของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์เชิงลบกับองค์ประกอบที่ 2 ได้แก่ สีของเนื้อ และกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืน (sour aftertaste)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนความเข้มข้นของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง (ตารางที่ 4.7-4.11) สามารถสรุปลักษณะเด่นของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

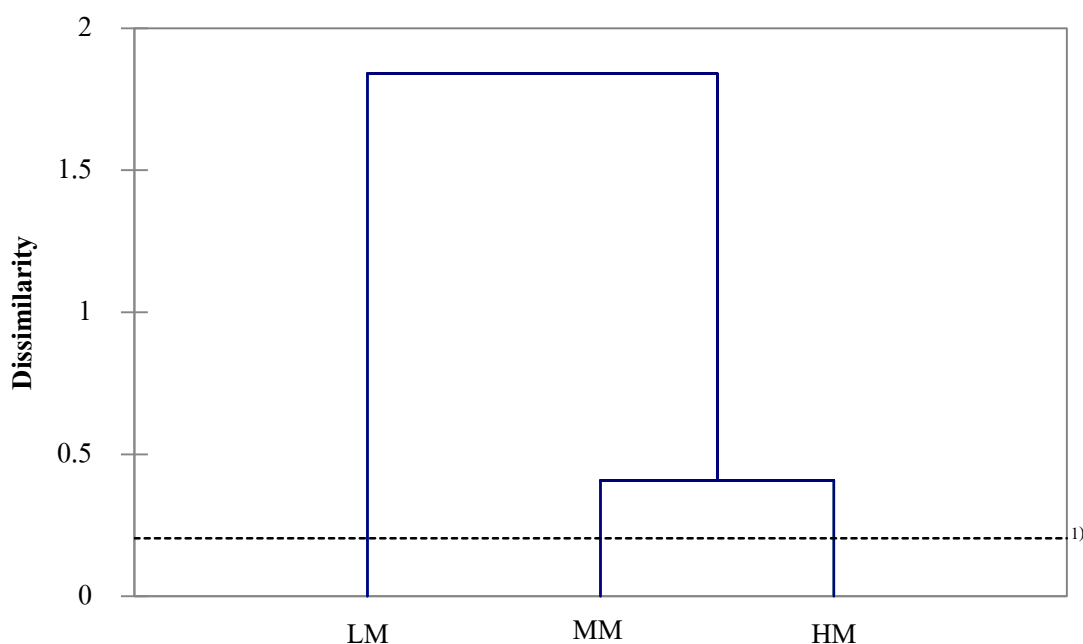
กลุ่มที่ 1 คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกระดับต่ำ พบว่าเนื้อสันนอกสุกรดิบมีคะแนนความเข้มข้นของกลิ่น metallic และกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity) สูงที่สุด ($p < 0.05$) แต่มีคะแนนความเข้มข้นของสีเนื้อและปริมาณไขมันแทรกต่ำกว่ากลุ่มอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่ตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุกในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มข้นของกลิ่นกระดาษลังขึ้น (cardboard aroma) ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนค่อนข้างต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$)

กลุ่มที่ 2 คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง พบว่าเนื้อสันนอกสุกรดิบที่มีไขมันแทรกปานกลางมีคะแนนความเข้มข้นของสีเนื้อสูงที่สุด ($p < 0.05$) แต่มีกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity) ต่ำกว่าตัวอย่างเนื้อในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาถึงเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก พบว่าตัวอย่างเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีคะแนนความเข้มข้นของกลิ่นคล้ายซูเปอร์

(brothy aroma) ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ($p < 0.05$) แต่มีกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนสูงกว่ากลุ่มอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่คะแนนความเข้มของความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) สูงกว่าตัวอย่างเนื้อในกลุ่มที่ 1 ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากเนื้อในกลุ่มที่ 3 ($p > 0.05$)

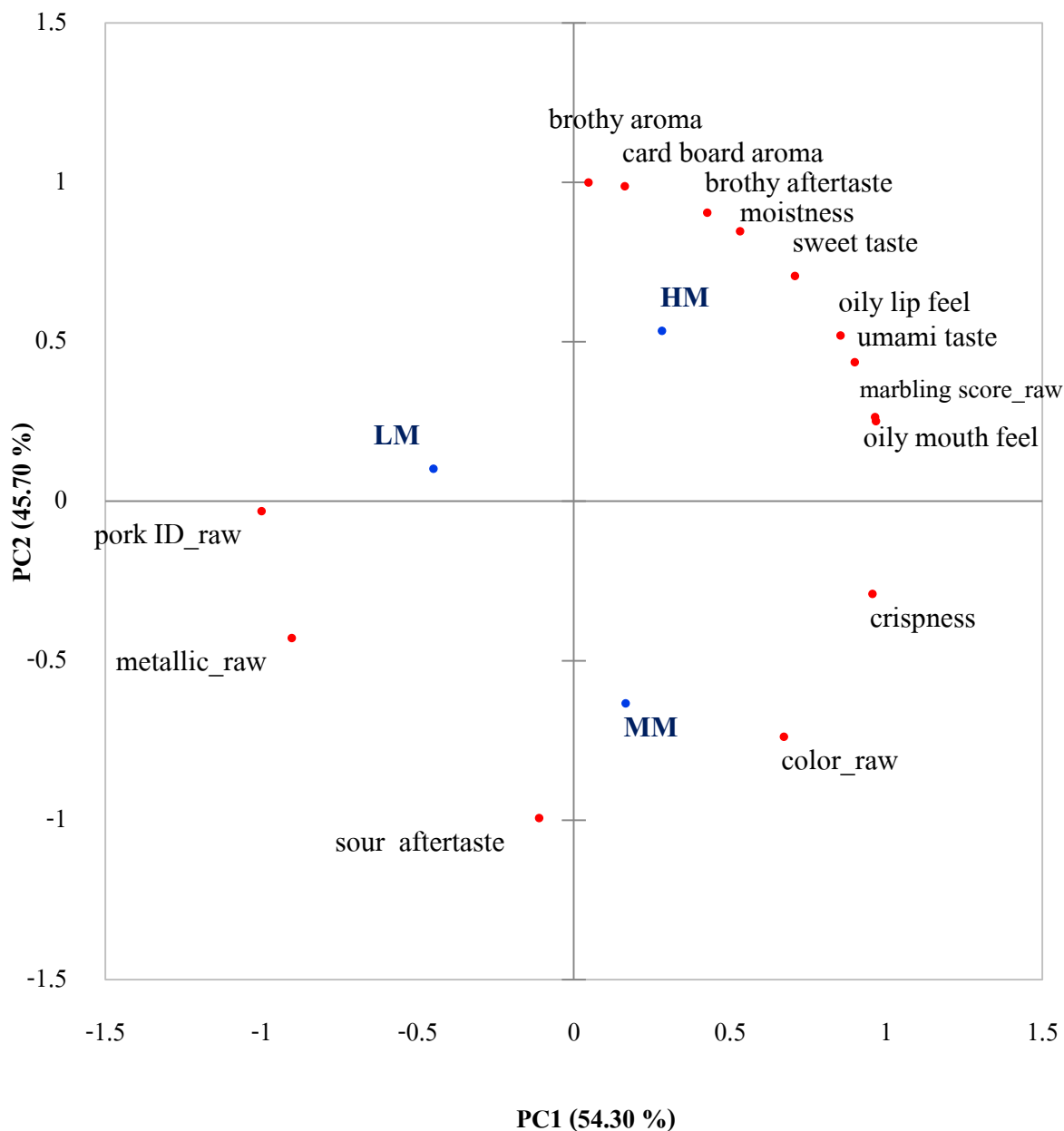
กลุ่มที่ 3 คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง พบว่าเนื้อสันนอกสุกรดิบที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตาสูงที่สุด ($p < 0.05$) มีคะแนนความเข้มของสีเนื้อสูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย แต่มีคะแนนต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีความเข้มของกลิ่น metallic น้อยที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาถึงเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก พบว่าตัวอย่างในกลุ่มนี้มีคะแนนความเข้มของกลิ่นคล้ายชุบไก่ (brothy aroma) กลิ่นกระดาษลังขึ้น (cardboard aroma) ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนสูงกว่ากลุ่มอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่คะแนนความเข้มของความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก (crispness) ของตัวอย่างกลุ่มที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลางมีค่าสูงกว่าตัวอย่างเนื้อในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีไขมันแทรกน้อย ($p < 0.05$)

Dendrogram



ภาพที่ 4.1 การจัดกลุ่มตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกันตามลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ด้วยวิธี Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis (AHC) โดย LM (low marbling) หมายถึงเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (คะแนน 1-2) MM (medium marbling) หมายถึงเนื้อที่มีไขมันปานกลาง (คะแนน 3-4) และ HM (high marbling) หมายถึงเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

¹⁾ หมายถึง เส้นจำแนกความแตกต่างของกลุ่ม (dissimilarity)



ภาพที่ 4.2 แผนภาพ biplot จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC1) และแกนองค์ประกอบที่ 2 (PC2) โดย LM (low marbling) หมายถึง เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (คะแนน 1-2) MM (medium marbling) หมายถึง เนื้อที่มีไขมันปานกลาง (คะแนน 3-4) และ HM (high marbling) หมายถึง เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

ตารางที่ 4.14 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loadings) ของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

ลักษณะที่ศึกษา		องค์ประกอบหลักที่ 1 ¹⁾	องค์ประกอบหลักที่ 2 ¹⁾
เนื้อดิบ	สีเนื้อ	0.673	-0.740
	ปริมาณไขมันแทรก	0.968	0.251
	กลิ่น metallic	-0.903	-0.430
	กลิ่น raw pork	-1.000	-0.032
เนื้อสุก	กลิ่น brothy	0.047	0.999
	กลิ่น card board	0.164	0.987
	ลักษณะเนื้อสัมผัส : oily lip feel	0.855	0.519
	ลักษณะเนื้อสัมผัส : crispness	0.956	-0.292
	ลักษณะเนื้อสัมผัส : moistness	0.533	0.846
	ลักษณะเนื้อสัมผัส : oily mouth feel	0.965	0.263
	รสหวาน	0.708	0.706
	รสอูมามิ	0.900	0.435
	กลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลิ่น	0.428	0.904
	กลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลิ่น	-0.110	-0.994
	ความแปรปรวนที่ตัวแปรใหม่สามารถอธิบายได้ (เปอร์เซ็นต์)	54.30	45.70
	ความแปรปรวนทั้งหมดที่ตัวแปรใหม่สามารถอธิบายได้ (เปอร์เซ็นต์)	100.00	

¹⁾ ตัวเลขหนา คือ ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่จัดอยู่ในตัวแปรใหม่ในแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 และ 2

4.3 อิทธิพลและความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อความชอบของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านการบริโภค ความชอบต่อระดับไขมันแทรกและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

4.3.1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อค่าสีของเนื้อที่ตัดให้สัมผัสอากาศ 24 ชั่วโมง ก่อนใช้ถ่ายภาพดิจิทัล เพื่อใช้ในการประเมินความชอบของผู้บริโภคต่อระดับไขมันแทรก และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4.15) พบว่าปริมาณไขมันแทรกไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าสีแดง (a*) ของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

($p>0.05$) แต่ปริมาณไขมันแทรกมีผลต่อค่าสีเหลือง (b^*) โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า b^* (16.32) สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (15.74) และปานกลาง (15.67) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งค่าที่ได้บ่งบอกถึงเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำเล็กน้อย อย่างไรก็ตามค่า b^* ของแต่ละกลุ่มทดลอง มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 1 หน่วย จึงไม่ควรมีผลกระทบต่อคุณภาพสีของเนื้อสันนอกที่ใช้ถ่ายภาพเพื่อใช้แสดงสำหรับทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อระดับของไขมันแทรกและการตัดสินใจซื้อ ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4.19) พบความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกันในระดับปานกลางระหว่างค่า b^* กับปริมาณไขมันแทรก ($r = 0.36$, $p<0.01$) และเปอร์เซ็นต์ไขมันที่วิเคราะห์โดยทางเคมี ($r = 0.40$, $p<0.01$) แต่พบความสัมพันธ์แบบผกผันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเนื้อ ($r = -0.32$, $p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสีของเนื้อภายหลังจากการตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าความเป็นสีเหลืองมากขึ้นตามระดับไขมันแทรก ทั้งนี้ Utrilla *et al.* (2010) และ Ngapo *et al.* (2012) กล่าวว่าค่า b^* มีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อ โดยหากค่าสีเหลืองมีค่าสูงอาจแสดงให้เห็นว่าเนื้อนั้นมีแนวโน้มของปริมาณไขมันแทรกสูงด้วยเช่นกัน ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Ngapo *et al.* (2012) ซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างค่า b^* กับปริมาณไขมันแทรก ($r = 0.42$, $p<0.01$) และปริมาณไขมันในเนื้อ ($r = 0.41$, $p<0.01$)

ตารางที่ 4.15 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อค่าสีของเนื้อที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งเก็บรักษาที่ 3.3 ± 0.5 องศาเซลเซียส

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
ค่าความสว่าง (lightness; L^*)	55.50	56.07	57.17	0.318	0.106
ค่าสีแดง (redness; a^*)	8.41	8.28	8.45	0.158	0.907
ค่าสีเหลือง (yellowness; b^*)	15.74 ^b	15.67 ^b	16.32 ^a	0.091	0.011

^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

4.3.2 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค พฤติกรรมการเลือกซื้อและบริโภคเนื้อสุกร

ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค พฤติกรรมการเลือกซื้อและบริโภคเนื้อสุกรของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย (n=389 คน) ที่เข้าร่วมการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 4.16 โดยผู้เข้าร่วมการทดสอบ

ความพึงพอใจหรือความชอบในการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสุกรซึ่งเป็นผู้ที่ชอบบริโภคเนื้อสุกร โดยส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 73.8 เปอร์เซ็นต์ และเพศชาย 26.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 36-55 ปี และ 26-35 ปี คิดเป็น 42.7 และ 31.10 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภค ทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งกลุ่มอายุทั้ง 2 กลุ่มนี้เป็นกลุ่มคนวัยทำงานและคาดว่าเป็นกลุ่มผู้บริโภคหลัก ขณะที่กลุ่มผู้บริโภคที่มีอายุต่ำกว่า 26 ปี (14.1 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคทั้งหมด) แม้ว่าจะไม่ใช่กลุ่ม คนที่เป็นผู้ซื้อเนื้อสุกรเพื่อการบริโภคเอง แต่มีผลอย่างมากต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้ปกครอง ขณะที่ 12.1 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคทั้งหมดมีอายุมากกว่า 55 ปี ซึ่งผู้บริโภคกลุ่มนี้มีแนวโน้มที่มีความมั่นคงทางการเงิน อาชีพ หรืออาจเกษียณอายุแล้วจึงอาจเป็นผู้ที่มีกำลังซื้อสูง โดยผู้เข้าร่วมการ ทดสอบมีอาชีพข้าราชการและพนักงานของรัฐ (33.7 เปอร์เซ็นต์) พนักงานบริษัทและพนักงาน รัฐวิสาหกิจ (33.7 เปอร์เซ็นต์) มากที่สุด รองลงมา คือ นักศึกษา (11.8 เปอร์เซ็นต์) โดยส่วนใหญ่มี จำนวนสมาชิกในครอบครัว 4-6 คน (50.4 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ จำนวนสมาชิกในครอบครัว ไม่เกิน 3 คน (44.2 เปอร์เซ็นต์) และมากกว่า 6 คน (4.6 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ซึ่งลักษณะที่อยู่อาศัย ส่วนใหญ่เป็นบ้านเดี่ยว (50.6 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ระดับการศึกษาของผู้บริโภคที่ร่วมทำการทดสอบ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรีและสูงกว่าปริญญาตรี (77.6 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้รายได้เฉลี่ยต่อ ครัวเรือนของผู้บริโภคที่ทำการทดสอบส่วนใหญ่อยู่ที่ 7,500-18,000 บาทต่อเดือน คิดเป็น 18.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 24,001-35,000 (16.7 เปอร์เซ็นต์) และ 35,001-50,000 บาทต่อเดือน (16.2 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าจำนวนผู้ทดสอบในแต่ละช่วงอายุมีการกระจายตัว ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมการบริโภคและการเลือกซื้อเนื้อสุกรของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการ ทดสอบ (ตารางที่ 4.17) พบว่า 100.0 เปอร์เซ็นต์ของผู้ทดสอบระบุว่าชอบทานเนื้อสุกร และ 80.2 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคทั้งหมดเป็นผู้ที่เลือกซื้อเนื้อสุกรด้วยตนเอง เป็นที่น่าสนใจว่าแหล่งที่ซื้อ เนื้อสุกรโดยส่วนใหญ่ยังคงเป็นที่ตลาดสด (41.6 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ ซูเปอร์มาร์เก็ต (29.6 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ 96.0 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคทั้งหมดซื้อเนื้อสุกรอย่างน้อย 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งปริมาณการซื้อโดยเฉลี่ยต่อครั้ง คือ 501 กรัม-1 กิโลกรัม (45.2 เปอร์เซ็นต์) 300-500 กรัม (28.5 เปอร์เซ็นต์) มากกว่า 1 กิโลกรัม (20.8 เปอร์เซ็นต์) และน้อยกว่า 300 กรัม (4.9 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า 78.9 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคทั้งหมดนิยมรับประทานอาหารประเภท ปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม และชาบู โดย 52.6 เปอร์เซ็นต์นิยมปรุงทานเองที่บ้าน และ 47.4 เปอร์เซ็นต์ไม่นิยม ปรุงทานเอง (รับประทานที่ร้านอาหาร) ลักษณะคุณภาพอันดับแรกที่ผู้บริโภคพิจารณาให้ ความสำคัญเมื่อรับประทานเนื้อสุกรในอาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชาบู คือ ความนุ่ม (73.0 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กลิ่นรส (17.2 เปอร์เซ็นต์) และความชุ่มฉ่ำ (3.6 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ เมื่อถามถึงลักษณะคุณภาพอันดับแรกที่ผู้บริโภคพิจารณาให้ความสำคัญเมื่อรับประทานเนื้อสุกรใน

อาหารประเภทสแต็ก คือ ความนุ่ม (73.3 เปอร์เซนต์) รองลงมาคือ กลิ่นรส (15.4 เปอร์เซนต์) และความชุ่มฉ่ำ (7.5 เปอร์เซนต์) ตามลำดับ และผู้บริโภคจำนวน 80.1 เปอร์เซนต์นิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค (n=389) ในการประเมินความชอบด้านการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

ข้อมูล	รายการ	ผู้บริโภค	
		จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ	หญิง	287	73.8
	ชาย	102	26.2
อายุ	18-25 ปี	55	14.1
	26-35 ปี	121	31.1
	36-45 ปี	82	21.1
	46-55 ปี	84	21.6
	56 ปีขึ้นไป	39	12.1
สถานภาพ	โสด	214	55.0
	สมรส	172	44.2
	อื่นๆ	3	0.8
จำนวนสมาชิกในครอบครัว	ไม่เกิน 3 คน	172	44.2
	4-6 คน	196	50.4
	มากกว่า 6 คน	18	4.6
	อื่นๆ	3	0.8
ลักษณะที่อยู่อาศัย	บ้านเดี่ยว	197	50.6
	อาคารพาณิชย์ / ทาวน์เฮาส์	87	22.4
	อะพาร์ตเมนต์ / หอพัก	53	13.6
	คอนโดมิเนียม	42	10.8
	อื่นๆ	10	2.6

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค (n=389) ในการประเมินความชอบด้านการบริโภค และเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

ข้อมูล	รายการ	ผู้บริโภค	
		จำนวน (คน)	ร้อยละ
รายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อเดือน	≤ 7,500 บาท	33	8.5
	7,501-18,000 บาท	73	18.8
	18,001-24,000 บาท	54	13.9
	24,001-35,000 บาท	65	16.7
	35,001-50,000 บาท	63	16.2
	50,001-85,000 บาท	49	12.6
	> 85,000 บาท	52	13.4
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่าปริญญาตรี	82	21.1
	ปริญญาตรี	181	46.5
	ปริญญาโท	94	24.2
	ปริญญาเอก	27	6.9
	อื่นๆ	5	1.3
อาชีพ	ข้าราชการ-พนักงานของรัฐ	131	33.7
	พนักงานบริษัท-รัฐวิสาหกิจ	131	33.7
	ธุรกิจส่วนตัว-ค้าขาย	43	11.1
	นักเรียน-นักศึกษา	46	11.8
	อื่นๆ	38	9.7

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลพฤติกรรมการเลือกซื้อและบริโภคเนื้อสุกรของผู้บริโภค (n=389) ในการประเมินความชอบด้านการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

ข้อมูล	รายการ	ผู้บริโภค	
		จำนวน (คน)	ร้อยละ
ท่านชอบรับประทานเนื้อหมูหรือไม่	ชอบ	389	100.0
	ไม่ชอบ	0	0.0
โดยปกติท่านซื้อเนื้อหมูเองหรือไม่	ซื้อเอง	311	80.2
	ไม่ได้ซื้อเอง	77	19.8
ท่านหรือบุคคลในครอบครัวซื้อเนื้อหมูจากแหล่งใดเป็นประจำ	ตลาดสด	162	41.6
	ซูเปอร์มาร์เก็ต	115	29.6
	ร้านค้าปลีกสมัยใหม่	54	13.9
	รถขายกับข้าว	10	2.6
	ร้านค้าปลีกเนื้อสัตว์สมัยใหม่	6	1.5
	แหล่งอื่นๆ	42	10.8
	ทุกวัน	29	7.5
	4-5 ครั้งต่อสัปดาห์	50	12.9
ความถี่ในการซื้อเนื้อหมูโดยเฉลี่ย	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์	137	35.2
	1 ครั้งต่อสัปดาห์	106	27.2
	2-3 ครั้งต่อเดือน	39	12.9
	1 ครั้งต่อเดือน	23	5.9
	อื่นๆ	5	1.3
ปริมาณการซื้อเนื้อหมูโดยเฉลี่ยต่อครั้ง	น้อยกว่า 300 กรัม	19	4.9
	300-500 กรัม	111	28.5
	501 กรัม-1 กิโลกรัม	176	45.2
	มากกว่า 1 กิโลกรัม	81	20.8
	อื่นๆ	2	0.5
	ไม่เกิน 1 ครั้งต่อสัปดาห์	16	4.1
ความถี่ในการรับประทานเนื้อหมูโดยเฉลี่ยต่อสัปดาห์	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์	129	33.2
	4-5 ครั้งต่อสัปดาห์	115	29.6
	ทุกวัน	129	33.2

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) ข้อมูลพฤติกรรมการเลือกซื้อและบริโภคเนื้อสุกรของผู้บริโภค (n=389) ในการประเมินความชอบด้านการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

ข้อมูล	รายการ	ผู้บริโภค	
		จำนวน (คน)	ร้อยละ
ท่าน นิยมบริโภค อาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชามู อาหารแบบเกาหลีหรือญี่ปุ่นหรือไม่			
	ใช่	306	78.9
	ไม่ใช่	82	21.1
ท่าน นิยมปรุงอาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชามู อาหารแบบเกาหลีหรือญี่ปุ่นทานเองที่บ้านหรือไม่			
	ใช่	204	52.6
	ไม่ใช่	184	47.4
เมื่อท่านบริโภคเนื้อหมูในอาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชามู ท่านพิจารณาถึงคุณภาพด้านใดเป็นอันดับแรก			
	ความนุ่ม	284	73.0
	กลิ่นรส	67	17.2
	ความชุ่มฉ่ำ	14	3.6
	อื่นๆ	24	6.2
เมื่อท่านบริโภคอาหารประเภทสเต็กหมู ท่านพิจารณาถึงคุณภาพด้านใดเป็นอันดับแรก			
	ความนุ่ม	285	73.3
	กลิ่นรส	60	15.4
	ความชุ่มฉ่ำ	29	7.5
	อื่นๆ	15	3.9
ท่านนิยมนำเนื้อสุกมาปรุงอาหารเพื่อสุขภาพหรือไม่			
	ใช่	312	80.2
	ไม่ใช่	77	19.8

4.3.3 ผลการทดสอบความชอบหรือความพึงพอใจในการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร

ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณไขมันแทรกต่อความชอบหรือความพึงพอใจในการบริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรของผู้บริโภคชาวไทยจำนวน 389 คน (ตารางที่ 4.18) พบว่าระดับไขมันแทรกมีอิทธิพล ($p < 0.05$) ต่อคะแนนความชอบหรือความพึงพอใจของผู้บริโภคในด้านความนุ่ม ความชอบต่อระดับของไขมันแทรกบนชิ้นเนื้อที่สามารถพิจารณาเห็นด้วยสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อโดยพิจารณาจากภาพจิตติด แต่ไม่พบอิทธิพลของระดับไขมันแทรก ($p > 0.05$) ต่อคะแนนความชุ่มน้ำ ความมัน กลิ่นและรสโดยรวม และความชอบโดยรวม

โดยผลการทดสอบความชอบหรือความพึงพอใจในการรับประทานเนื้อสันนอกสุกรพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความนุ่มของเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่า ($p < 0.05$) เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ โดยให้คะแนนเท่ากับ 6.85 6.58 และ 6.58 คะแนน ตามลำดับ ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางไม่มีความแตกต่างกับเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p > 0.05$) จากคะแนนความนุ่มของเนื้อสันนอกทั้ง 3 กลุ่มทดลองที่อยู่ในช่วงคะแนน 6-7 ซึ่งหมายถึงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีความชอบต่อความนุ่มของเนื้อที่มีไขมันแทรกทั้ง 3 ระดับ แต่มีความชอบในความนุ่มของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (ระดับคะแนนไขมันแทรก 5-6 หรือมีปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้จากทางเคมีโดยเฉลี่ย 6.11 เปอร์เซ็นต์) มากกว่ากลุ่มอื่น เมื่อพิจารณาถึงค่าแรงตัดผ่านที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าค่าแรงตัดผ่านไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4.1) โดยความแตกต่างของค่าแรงตัดผ่านในแต่ละกลุ่มทดลองมีค่า 0.37-0.45 กิโลกรัม แต่พบว่าคะแนนความชอบในด้านความนุ่มที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภคมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคสามารถรับรู้ถึงความแตกต่างด้านความนุ่มได้ ในขณะที่ค่าที่วัดด้วยเครื่องมือ (instrumental tenderness measurement) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับผลจากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางภาคผนวก จ ที่ 4) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความนุ่มกับค่าแรงตัดผ่าน ($r = 0.16$, $p > 0.05$) แต่พบความสัมพันธ์เล็กน้อยในทิศทางเดียวกันระหว่างคะแนนความนุ่มกับระดับไขมันแทรก ($r = 0.36$, $p < 0.05$) และค่า pH ($r = 0.37$, $p < 0.05$) ซึ่งโดยทั่วไปไขมันแทรกมีความหนาแน่นต่ำกว่าโปรตีนในเนื้อ แต่หากมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเพิ่มขึ้น ไขมันจะไปแทนที่โปรตีนภายในกล้ามเนื้อ และไขมันแทรกจะไปลดความหนาแน่นโดยรวมของเนื้อ จึงทำให้เมื่อกัดเนื้อจะรู้สึกวุ้นว่าเนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น (Smith and Carpenter, 1974 อ้างโดย Savell and Cross, 1988)

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการวัดค่าความนุ่มหรือเหนียวของเนื้อด้วยเครื่องมือ เช่น การวัดค่าแรงตัดผ่าน (WBSF) และการวิเคราะห์ผิวด้านของลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis) สามารถใช้อธิบายความรู้สึกทางประสาทสัมผัสที่ประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนได้น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการศึกษาความนุ่มของเนื้อจึงควรมีการประเมินทางประสาทสัมผัสควบคู่ไปด้วย (Choe *et al.* 2016) โดยเฉพาะหากต้องการทราบถึงความชอบของผู้บริโภค ควร

ดำเนินการศึกษาด้วยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความชอบหรือการยอมรับของผู้บริโภค (affective or acceptance test) โดยตรง ทั้งนี้การวัดค่าแรงตัดผ่านเป็นการวัดค่าแรงเฉือนที่กระทำต่อชิ้นเนื้อ โดยถ้าค่าแรงตัดผ่านมีค่ามากแสดงว่าเนื้อเหนียว (Hansen *et al.* 2004; Choe *et al.* 2016) แต่การประเมินความนุ่มของเนื้อโดยผู้บริโภคจะมีความซับซ้อนมากกว่าการประเมินด้วยเครื่องมือ (Aberle *et al.* 2012) เนื่องจากขณะที่ผู้บริโภคประเมินความนุ่มจะไม่ได้ประเมินเฉพาะแรงที่ใช้กัดเนื้อ แต่จะเป็นการรับรู้ร่วมกับประสาทสัมผัสต่างๆ ภายในปาก เช่น การรับรู้ความนุ่มจากลิ้นและแก้ม แรงที่ใช้กัดเนื้อ แรงที่ใช้ในการดึงฟันกรามออกจากเนื้อ ความยากง่ายในการเคี้ยว ระดับการเกาะรวมตัวของเนื้อที่รู้สึกได้ระหว่างเคี้ยว ปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ และปริมาณของเนื้อที่เหลืออยู่ภายในปากหลังการกลืน เป็นต้น (Hansen *et al.* 2004) นอกจากนั้นการรับรู้ถึงความชุ่มฉ่ำของเนื้อยังอาจมีอิทธิพลทำให้รู้สึกว่เนื้อมีความนุ่มมากขึ้นได้ด้วย (Choe *et al.* 2016) ดังค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากผลจากการศึกษาในครั้งนี้ในตารางภาคผนวก จ ที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระดับปานกลางจนถึงมากระหว่างคะแนนความชอบด้านความนุ่มกับความชุ่มฉ่ำ ($r = 0.91$, $p < 0.01$) ความมัน ($r = 0.63$, $p < 0.01$) และกลิ่นรสโดยรวม ($r = 0.71$, $p < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าหากผู้บริโภคให้คะแนนความชุ่มฉ่ำ ความมัน และกลิ่นรสโดยรวมมาก ก็จะมีแนวโน้มที่จะให้คะแนนความชอบในด้านความนุ่มมากด้วย นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างคะแนนความชอบด้านความนุ่มกับปริมาณไขมันแทรกและค่า pH ($r = 0.36$ และ $r = 0.37$ ตามลำดับ, $p < 0.05$, ตารางที่ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Huff-Lonergan *et al.* (2002) และ Cannata *et al.* (2010) ที่พบว่าความชอบในการบริโภคเนื้อสุกรด้านความนุ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไขมันแทรกและค่า pH เพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระดับต่ำถึงปานกลาง ($r = 0.19$ ถึง $r = 0.49$, $p < 0.05$) ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา กับคะแนนความพึงพอใจในการรับประทานด้านความนุ่มของเนื้อสันนอกสุกร (Schwab *et al.* 2006; Cannata *et al.* 2010)

แม้ว่าการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความนุ่มกับเปอร์เซ็นต์ไขมันภายในเนื้อ ($r = 0.28$, $p > 0.05$, ตารางที่ 4.19) แต่ไขมันแทรกอาจมีส่วนช่วยในการเพิ่มความพึงพอใจในการบริโภคด้านความนุ่มของเนื้อ ซึ่งอาจเป็นเพราะไขมันแทรกมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ทั้งนี้เนื่องมาจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่า pH สูงกว่าเล็กน้อย ($p < 0.05$) จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อมากกว่า นอกจากนี้ไขมันแทรกอาจช่วยลดแรงต้านจากการเคี้ยวส่งผลให้ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แม้ค่าที่วัดได้โดยเครื่องมือจะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับ Brewer *et al.* (2001) พบว่าเนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกสูงมีคะแนนความนุ่ม (3.95 คะแนน) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (2.99 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบอิทธิพลของไขมันแทรกต่อคะแนนความชุ่มฉ่ำและกลิ่นรสของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (3.69 และ 3.82 คะแนน ตามลำดับ) มีค่ามากกว่าเนื้อที่มี

ไขมันแทรกต่ำ (2.53 และ 3.42 คะแนน ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลิ่นรสของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางไม่แตกต่างกับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ ($p > 0.05$) ขณะที่ Cannata *et al.* (2010) พบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน โดยคะแนนความนุ่มของเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลางมีมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 5.35 4.80 และ 3.88 คะแนน ตามลำดับ ($p < 0.01$) ขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความชุ่มฉ่ำมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (4.87 คะแนน เทียบกับ 3.69 คะแนน, $p < 0.01$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงจะมีคะแนนความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย นอกจากนี้ Cannata *et al.* (2010) ยังพบว่าปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสันนอกสุกมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับคะแนนที่ได้จากการประเมินความนุ่ม ($r = 0.49$, $p < 0.05$) กล่าวคือเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นคะแนนความนุ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงผลการประเมินความชอบและความพึงพอใจในการบริโภคด้านอื่นของผู้บริโภค พบว่าระดับไขมันแทรกไม่มีผลกับคะแนนความชุ่มฉ่ำ ความมัน กลิ่นรสโดยรวม และความชอบโดยรวม ($p > 0.05$) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าผู้บริโภคสามารถรับรู้ความแตกต่างของความชอบโดยรวม และกลิ่นรสโดยรวมได้ เมื่อเนื้อสันนอกสุกมีไขมันภายในเนื้อแตกต่างกันอย่างน้อย 5 เปอร์เซ็นต์ (Rincker *et al.* 2008; Moeller *et al.* 2010) แต่ถ้าไขมันภายในเนื้อต่างกันเพียงเล็กน้อยอาจจะไม่พบความแตกต่างของความชุ่มฉ่ำและความนุ่ม (Rincker *et al.* 2008) ขณะที่จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าไขมันแทรกมีผลต่อความชุ่มฉ่ำซึ่งประเมินโดยผู้บริโภค (Brewer *et al.* 2001; Font-i-Furnols *et al.* 2012) และผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (Wood *et al.* 1996; Cannata *et al.* 2010) ขณะที่บางรายงานไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันแทรกและคะแนนความชุ่มฉ่ำ ($r = 0.02$, $p > 0.05$) แต่พบว่าปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์เล็กน้อยในทิศทางเดียวกันกับคะแนนความนุ่ม ($r = 0.21$, $p < 0.01$) และคะแนนกลิ่นรส ($r = 0.20$, $p < 0.01$) ซึ่งประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (Huff-Lonergan *et al.* 2002)

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้และจากการพูดคุยกับผู้บริโภค เป็นที่น่าสังเกตว่าผู้บริโภคชาวไทยบางท่านอาจจะไม่คุ้นเคยกับการประเมินความชุ่มฉ่ำของเนื้อ และอาจจะสับสนหรือรับรู้ร่วมไปกับความรู้สึกมัน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการวิจัยครั้งนี้ว่าความชุ่มฉ่ำมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับความมัน ($r = 0.66$, $p < 0.01$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 4) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในสุกรสายพันธุ์ดอร์คที่พบว่าเมื่อมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสูงส่งผลให้ไขมันแทรกช่วยรักษาระดับความชุ่มฉ่ำของเนื้อไว้ได้ตลอดระยะเวลาของการเคี้ยวจนกระทั่งกลืน หรือที่เรียกว่า sustained juiciness (Aaslyng *et al.* 2003) ทั้งนี้ไขมันแทรกที่อยู่บริเวณภายในและโดยรอบกล้ามเนื้อ เมื่อเนื้อได้รับการปรุงสุกไขมันแทรกในเนื้อจะหลอมละลาย และจะไปเคลือบทั่วเส้นใยกล้ามเนื้อ ส่งผลให้

เนื้อมีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากขึ้น ดังนั้นเนื้อที่มีไขมันแทรกก็อาจจะมี ความนุ่มและความชุ่มฉ่ำ มากด้วยเช่นกัน (Aberle *et al.* 2012)

ผลการสำรวจจากตารางที่ 4.17 พบว่าเมื่อผู้บริโภครับประทานเนื้อสุกรในอาหาร ประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชามู มีเพียง 3.6 เปอร์เซนต์ของผู้บริโภคทั้งหมดที่พิจารณาถึงความชุ่มฉ่ำของ เนื้อสุกรเป็นอันดับแรก ขณะที่พบว่าผู้บริโภคเพียง 7.5 เปอร์เซนต์ที่ระบุว่าพิจารณาถึงความชุ่มฉ่ำ ของเนื้อสุกรเป็นอันดับแรก เมื่อรับประทานอาหารประเภทสเต็กหมู ทั้งนี้การที่ผู้บริโภคชาวไทย ให้ความสำคัญกับความชุ่มฉ่ำของเนื้อสุกรน้อยอาจเป็นเพราะวัฒนธรรมในการนำเนื้อมาทำอาหาร และลักษณะการบริโภคที่แตกต่างจากชาวตะวันตก คือ นิยมบริโภคเนื้อสัตว์หั่น สับ เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อใช้ในการปรุงอาหาร

อย่างไรก็ตามแม้ผู้บริโภคจะไม่ได้ให้ความสำคัญต่อลักษณะคุณภาพด้านความชุ่มฉ่ำ ของเนื้อสุกรเป็นอันดับแรก แต่ผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าความชุ่มฉ่ำมีบทบาท สำคัญในขณะรับประทาน ดังแสดงให้เห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตารางภาคผนวก จ ที่ 4 ที่แสดงความสัมพันธ์กันอย่างมากในทิศทางเดียวกันระหว่างคะแนนความชอบโดยรวมกับ ความนุ่ม ($r = 0.91, p < 0.01$) และความชุ่มฉ่ำ ($r = 0.94, p < 0.01$) รวมถึงกลิ่นรสโดยรวม ($r = 0.85, p < 0.01$) และความมัน ($r = 0.73, p < 0.01$) ทั้งนี้ Frank *et al.* (2016) กล่าวว่าความนุ่มเป็นลักษณะ คุณภาพที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความเข้าใจร่วมกันได้โดยง่าย ขณะที่ความเข้าใจและการรับรู้ถึงความ ชุ่มฉ่ำและกลิ่นรสของเนื้ออาจจะมี ความแตกต่างกันไปตามแต่ละวัฒนธรรมในการบริโภค โดยเฉพาะในชาวเอเชียและชาวตะวันตก อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าคะแนน ความชุ่มฉ่ำมีความสัมพันธ์ในทางลบ ($p < 0.01$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 4) กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักภายหลังการละลาย ($r = -0.49$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ระหว่างการเก็บรักษาและระหว่างการปรุงสุก ($p > 0.05$, ตารางภาคผนวก จ ที่ 4) ดังนั้นหากต้อง ละลายเนื้อที่ผ่านการแช่แข็ง ควรให้ความระมัดระวังในการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการละลาย ให้สม่ำเสมอ

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีผลต่อ ความชอบและความพึงพอใจในการบริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อ โดยผู้บริโภคไม่นิยมเลือกซื้อ เนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (Brewer *et al.* 2001) ขณะที่ Font-i-Furnols *et al.* (2012) รายงานว่าผู้บริโภค ชาวสเปน ($n=200$) มีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกรที่มีปริมาณไขมันในเนื้อ 2.2-3.4 เปอร์เซนต์ โดย 55.5 เปอร์เซนต์ของผู้บริโภคที่ทำการศึกษาก่อเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่ชอบทานเนื้อแดง (lean loin lovers) ขณะที่ 45.5 เปอร์เซนต์ของผู้บริโภคเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่ชอบทานเนื้อที่มีปริมาณ ไขมันแทรกมาก (marbled loin lovers) สอดคล้องกับ Frank *et al.* (2016) ซึ่งกล่าวว่าผู้บริโภคชาว เกาหลี ญี่ปุ่น และได้หวันมีความพึงพอใจเนื้อโคที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางมากกว่าเนื้อโคที่มี ไขมันแทรกสูงและต่ำ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาถึงความชอบหรือความพึงพอใจใน

การบริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกแตกต่างกันของผู้บริโภคชาวไทย ตารางที่ 4.18 แสดงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อการประเมินความชอบและความพึงพอใจของผู้บริโภคในการเลือกซื้อและรับประทานของเนื้อสันนอกสุกร พบว่าระดับของไขมันแทรกมีอิทธิพล ($p<0.05$) ต่อคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อระดับของไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา (VML liking) และการตัดสินใจเลือกซื้อ ($p<0.05$) โดยผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกปานกลางมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 6.86 6.50 และ 6.64 คะแนน ตามลำดับ ($p<0.05$) แต่พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำไม่แตกต่างในทางสถิติจากเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและปานกลาง ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.18 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อการประเมินความชอบและความพึงพอใจของผู้บริโภค (n=389) ในการเลือกซื้อและรับประทานเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
ความนุ่ม ³⁾	6.58 ^b	6.58 ^b	6.85 ^a	0.05	0.046
ความชุ่มน้ำ ³⁾	6.33	6.27	6.53	0.05	0.111
ความมัน ³⁾	6.13	6.19	6.34	0.06	0.267
กลิ่นและรสโดยรวม ³⁾	6.41	6.38	6.46	0.05	0.851
ความชอบโดยรวม ³⁾	6.48	6.49	6.66	0.05	0.290
ความชอบต่อไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา ³⁾	6.64 ^{ab}	6.86 ^a	6.50 ^b	0.05	0.017
การตัดสินใจเลือกซื้อ ⁴⁾	74.04 ^b	83.03 ^a	68.38 ^c	0.00	0.000

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

³⁾ คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภค คือ ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ ความมัน กลิ่นรสโดยรวม ความชอบโดยรวม และความชอบต่อระดับไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา โดยคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด 5 หมายถึง เฉยๆ และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

⁴⁾ เปอร์เซ็นต์ของคนตัดสินใจเลือกซื้อ โดยพิจารณาจากจำนวนผู้บริโภคที่เลือกซื้อแน่นอนและอาจจะซื้อ

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของคนตัดสินใจเลือกซื้อ (ตารางที่ 4.18) พบว่าผู้บริโภคเลือกซื้อแน่นอนและอาจจะซื้อ (คะแนน 5 และ 4) เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง (83.0 เปอร์เซ็นต์) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (74.0 เปอร์เซ็นต์) และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (68.4 เปอร์เซ็นต์)

ตามลำดับ ($p < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกปานกลางมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและสูง ดังนั้นการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคมีความสอดคล้องกับคะแนนความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตา ซึ่งจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ในทางบวกระดับปานกลางระหว่างการตัดสินใจเลือกซื้อและคะแนนความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตา ($r = 0.45$, $p < 0.01$, ตารางที่ 4.19) สอดคล้องกับ Ngapo *et al.* (2007) ซึ่งพบว่าผู้บริโภคชาวเกาหลีใต้ หวัน และญี่ปุ่นมีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมากที่สุด

ตารางที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ ความพึงพอใจของผู้บริโภค ($n=389$) ต่อความนุ่ม (tenderness acceptability; TA) ความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา (VML liking; VMLL) และการตัดสินใจเลือกซื้อ (purchase intent; PI) เนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

	VML ²⁾	moisture	fat	ashes	pH	CSP ³⁾	DL	CL	b* ⁴⁾	TA	VMLL	PI
VML ²⁾	1											
moisture	-.75**	1										
fat	.91**	-.91**	1									
ashes	-.22	.23	-.19	1								
pH	0.28	.00	.11	.12	1							
CSP ³⁾	-.50**	.27	-.33*	.02	-.33*	1						
drip loss (DL)	-.46**	.44**	-.45**	.14	-.00	-.07	1					
cooking loss (CL)	-.47**	.49**	-.44**	-.04	-.16	.18	.39**	1				
b* ⁴⁾	.36**	-.32*	.40**	-.15	.13	-.10	-.01	-.28	1			
TA	.36*	-.27	.28	-.07	.37*	-.29	-.04	.01	-.20	1		
VMLL	-.09	.15	-.14	.36*	-.07	-.05	.02	.20	-.34*	.16	1	
PI	-.38**	.40**	-.40**	.37*	-.08	.19	.23	.09	-.37*	-.35*	.45**	1

* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Pearson's correlation coefficient และความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันแทรก (VML) กับคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ และคะแนนความชอบของผู้บริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อวิเคราะห์ด้วย Spearman's rank correlation coefficient

²⁾ ระดับไขมันแทรกคือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

³⁾ CSP=collagen solubility percentage

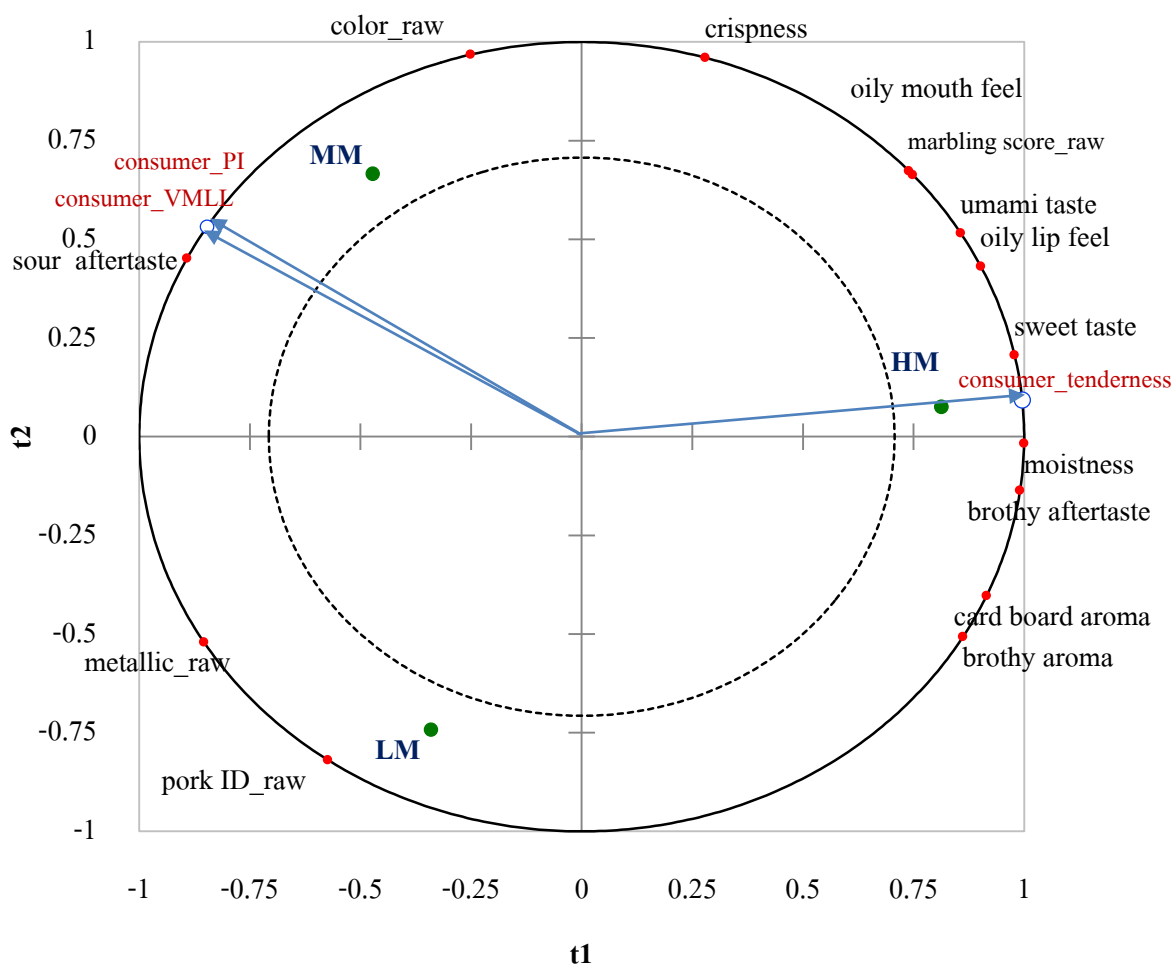
⁴⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 3.3 ± 0.5 องศาเซลเซียส

ขณะที่งานวิจัยก่อนหน้านี้ในสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกต่ำและปานกลาง (Brewer *et al.* 2001) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ทั้งนี้ Brewer *et al.* (2001) รายงานว่าปริมาณไขมันแทรกมีอิทธิพลต่อการประเมินคุณภาพด้านการบริโภคและการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก โดยผู้บริโภคจำนวน 150 คนให้คะแนนการเลือกซื้อเนื้อสุกที่มีไขมันแทรกปานกลาง (3.58 คะแนน) และไขมันแทรกต่ำ (3.73 คะแนน) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง (2.85 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในเนื้อสันนอกสุกที่มีปริมาณไขมันแทรกสูง ความพึงพอใจโดยรวมและการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคจะน้อยกว่าเนื้อสันนอกสุกที่มีปริมาณไขมันแทรกต่ำ ขณะที่ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกที่มีไขมันแทรกต่ำมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ในทางตรงกันข้าม O'Mahoney *et al.* (1992) รายงานว่าผู้บริโภคชาวไอร์แลนด์มีความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันแทรกอาจไม่ใช่เหตุผลหลักเพียงอย่างเดียวในการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก จากงานวิจัยก่อนหน้านี้โดย Ngapo *et al.* (2007) ซึ่งทำการสำรวจข้อมูลผู้บริโภคในซูเปอร์มาร์เก็ตใน 23 ประเทศทั่วยุโรป เอเชีย และสหรัฐอเมริกา พบว่าผู้บริโภคในแต่ละประเทศมีปัจจัยในการพิจารณาเลือกซื้อเนื้อสุกที่แตกต่างกันไป โดยอาจพิจารณาจากสีของเนื้อ ไขมันสันหลัง (back fat) ปริมาณไขมันแทรก และปริมาณน้ำภายในถาด เป็นต้น ผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกปานกลางมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและสูง ตามลำดับ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ผู้บริโภคที่กังวลหรือใส่ใจในเรื่องสุขภาพอาจคำนึงถึงปริมาณไขมันภายในเนื้อ ซึ่งอาจส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค (Verbeke *et al.* 1999; Fernandez *et al.* 1999b; Brewer *et al.* 2001)

4.4 การวิเคราะห์แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก (*Longissimus dorsi*)

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเนื้อสันนอกสุกที่มีไขมันแทรกสูง (HM) มีทิศทางเดียวกันกับคะแนนความชอบของผู้บริโภคด้านความนุ่ม (tenderness liking; consumer tenderness) ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวมีความเข้มของลักษณะปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา ความรู้สึกลื่นติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนสูงกว่าเนื้อที่

มีไขมันแทรกปานกลาง (MM) และเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ (LM) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะดังกล่าวมีผลต่อความชอบของผู้บริโภคด้านความนุ่ม ในขณะที่ตัวอย่างที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับความชอบของผู้บริโภคด้านความนุ่ม ซึ่งเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำมีความเข้มข้นของลักษณะปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนต่ำกว่า แต่เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกต่ำจะมีลักษณะของกลิ่น metallic และกลิ่นเนื้อสุกรดิบ (raw pork identity) สูงกว่าตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่ตัวอย่างเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีความเข้มข้นของลักษณะสีของเนื้อ และกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนสูงกว่าตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.3 แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) แสดงความสัมพันธ์ของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านการรับประทาน และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกระดับต่ำ (low marbling; LM, คะแนน 1-2) ระดับปานกลาง (medium marbling; MM, คะแนน 3-4) และระดับสูง (high marbling, HM, คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

จากภาพที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงความชอบของผู้บริโภคต่อปริมาณไขมันแทรกเมื่อพิจารณาด้วยสายตา (visual marbling level liking; consumer VMLL) และการตัดสินใจเลือกซื้อ (purchase intent; consumer PI) พบว่าการตัดสินใจซื้อมีความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบต่อปริมาณไขมันแทรกที่ผู้บริโภคพิจารณาด้วยสายตาซึ่งสัมพันธ์กับเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลาง ทั้งนี้เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับลักษณะความเข้มข้นของสีเนื้อ และกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$) ในขณะที่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง ทั้งนี้คะแนนความเข้มข้นของปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมีความสัมพันธ์กับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง แต่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบที่มีต่อปริมาณไขมันแทรกและการตัดสินใจเลือกซื้อของเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางสูงกว่ากลุ่มอื่น

จึงอาจสรุปได้ว่าความเข้มข้นของลักษณะที่มีผลต่อคะแนนความชอบของผู้บริโภคด้านความนุ่มประกอบด้วยปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา ความรู้สึกมันติดริมฝีปาก (oily lip feel) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง (moistness) ความเป็นน้ำมันภายในปาก (oily mouth feel) รสหวาน (sweet taste) รสอูมามิ (umami taste) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน ทั้งนี้จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าลักษณะกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงและคะแนนความชอบด้านความนุ่มของผู้บริโภค ขณะที่ความชอบของผู้บริโภคต่อปริมาณไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตามีผลต่อการเลือกซื้อ นอกจากนี้ความเข้มข้นของเนื้อก็มีความสัมพันธ์ต่อการเลือกซื้ออีกด้วย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริมาณไขมันแทรกที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสันนอกสุกรเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะปริมาณความชื้นจะแปรผกผันกับปริมาณไขมัน ขณะที่ปริมาณเถ้าและโปรตีนมีแนวโน้มที่จะลดลง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีจะขึ้นกับสัดส่วนและองค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เป็นเนื้อแดง ไขมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันภายในชิ้นเนื้อ

เนื้อสันนอกที่มีปริมาณไขมันแทรกมาก มีการสูญเสียให้น้ำน้อย เนื่องจากค่า pH ที่สูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลของปริมาณไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพที่เกี่ยวกับความนุ่ม ได้แก่ ค่าแรงตัดผ่าน ความยาวซาร์โคเมอร์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ และปริมาณคอลลาเจนโดยรวมของเนื้อสันนอกสุกร แต่พบว่าคอลลาเจนที่ละลายได้เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนโดยรวม (collagen solubility percentage) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกมากมีค่าต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการสะสมไขมันแทรกมากขึ้น ส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เจริญพัฒนาร่วมกันมากับเซลล์ไขมันมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยอาจมีโครงสร้างที่เป็น thermally stable non-reducible crosslinking มากขึ้น แต่พบว่าคุณสมบัติของคอลลาเจนที่ละลายได้น้อยลงนี้ไม่มีผลกระทบต่อการรับรู้คุณภาพด้านความนุ่มของผู้บริโภค เนื่องจากผลการทดสอบความชอบในการรับประทานของผู้บริโภค พบว่าคะแนนความชอบในด้านความนุ่มของเนื้อสันนอกที่มีไขมันแทรกสูงมีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รวมถึงเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความนุ่มเหนียวของเนื้อในทางกายภาพด้วยเครื่องมือ แม้ผลการศึกษาจะไม่พบอิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อค่าแรงตัดผ่าน แต่พบว่าเนื้อสันนอกที่มีไขมันแทรกมากมีค่าแรงตัดผ่านน้อยกว่ากลุ่มทดลองอื่น ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ถึงความนุ่มที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ($p < 0.05$) แม้ค่าแรงตัดผ่านจะมีค่าแตกต่างกันเพียง 0.37-0.45 กิโลกรัม ($p > 0.05$) จากผลการวิจัยในครั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าการที่เนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกมากมีความนุ่มที่มีมากกว่ากลุ่มทดลองอื่น อาจเป็นผลมาจากความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีมากขึ้น ขณะเดียวกันไขมันแทรกที่เพิ่มขึ้นอาจช่วยลดแรงต้านในการกัดหรือเคี้ยวได้ด้วย

เมื่อพิจารณาถึงค่าสีของเนื้อที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าไขมันแทรกไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อ แต่เนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย แต่คะแนนลักษณะปรากฏของเนื้อดิบที่ได้จากการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีคะแนนความเข้มของสีแดงชมพูมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง และค่า

ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ระดับปานกลางในทิศทางเดียวกันระหว่างคะแนนความเข้มของปริมาณไขมันแทรกที่ทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา กับค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อตัดให้เนื้อสัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามระดับไขมันแทรก อย่างไรก็ตามผลการศึกษาค่าสีของเนื้อที่ถูกตัดให้สัมผัสอากาศ 24 ชั่วโมง พบว่ามีเพียงค่าสีเหลือง (b^*) ที่มีค่ามากกว่าเล็กน้อย ($p < 0.05$) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกมาก

ด้านองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อสันนอก พบว่าเปอร์เซ็นต์ SFA และ MUFA มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไขมันแทรก ($p < 0.05$) แต่ UFA และ PUFA มีค่าลดลง ($p < 0.05$) โดยชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากที่สุดคือ palmitic acid (25.39-26.69%, $p < 0.05$) และ stearic acid (13.01-13.66%, $p > 0.05$) สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่มีมากที่สุดคือ oleic acid (42.39-44.32%, $p = 0.062$) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีมากที่สุดคือ linoleic acid (7.09-9.91%, $p < 0.05$) ทั้งนี้ Eckel *et al.* (2014) รายงานว่าตามคำแนะนำของ The American College of Cardiology and The American Heart Association ในปี 2013 ยังคงให้ลดระดับการบริโภคกรดไขมันอิ่มตัว อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยที่ระบุว่ากรดไขมันอิ่มตัวไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิด CHD (coronary heart disease) และการบริโภคกรดไขมัน stearic acid มีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณคลอเลสเตอรอลในเลือด (Hegsted *et al.* 1965; Yu *et al.* 1995) ขณะที่ oleic acid ช่วยลดปริมาณคลอเลสเตอรอลในเลือดเหมือนกับ PUFA (Mattson and Grundy. 1985) โดยอัตราส่วนของ PUFA:SFA ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีอัตราส่วนอยู่ที่ 0.21-0.30 อัตราส่วนของ n-6:n-3 อยู่ที่ 12.88-14.58 ทั้งนี้อัตราส่วนของ PUFA:SFA ที่ได้มีค่าต่ำกว่าระดับที่ World Health Organization (2003) แนะนำ คือ ควรสูงกว่า 0.45 ในขณะที่อัตราส่วนของ n-6:n-3 ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าที่แนะนำ คือ ควรต่ำกว่า 4.0 จึงถือว่าดีต่อสุขภาพ ซึ่งการผลิตสุกรอาจจะเพิ่มปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนจากอาหารได้ แต่อย่างไรก็ตามควรระมัดระวังผลกระทบต่อ การเกิดออกซิเดชัน เนื่องจากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าเมื่อไขมันแทรกเพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการเกิดกลิ่น cardboard นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง จะมีปริมาณ GSH น้อยกว่า และมีปริมาณ GSSG มากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ($p < 0.05$) จึงอาจกล่าวได้ว่าเป็นข้อด้อยของเนื้อที่มีไขมันแทรกมากในด้านการต้านอนุมูลอิสระหรือการป้องกัน oxidative stress

นอกจากนี้พบว่าปริมาณไขมันแทรกไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (GMP IMP inosine และ hypoxanthine) ภายในเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณนิวคลีโอไทด์ในเนื้อมีความผันแปรตามสายพันธุ์ อาหาร การจัดการภายหลังสัตว์ตาย ระยะเวลาการบ่ม การทำให้สุก และชนิดของกล้ามเนื้อ ประกอบกับเนื้อสุกรที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากแหล่งผลิตสายพันธุ์ ได้รับอาหาร และเข้าสู่กระบวนการฆ่าในมาตรฐานเดียวกัน จึงส่งผลให้ปริมาณนิวคลีโอไทด์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณ hypoxanthine ซึ่งเคยมีรายงานว่า

ความสัมพันธ์กับรสขมและรสหวานนั้น พบว่าปริมาณ hypoxanthine ในเนื้อสันนอกของสุกรที่มีไขมันแทรกสูงมีแนวโน้มมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในครั้งนี้ ผู้ประเมินไม่พบลักษณะของรสขมในตัวอย่างที่ทำการศึกษา จึงอาจกล่าวได้ว่าผลการวิจัยครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว

เมื่อพิจารณาลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสุกรดิบ พบว่าเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกต่ำมีคะแนนความเข้มของกลิ่น metallic และกลิ่นเนื้อสุกรดิบมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลของไขมันแทรกต่อกลิ่นหวานของเนื้อสันนอกสุกรดิบ และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางมีความเข้มสีของเนื้อมากที่สุด

ขณะที่ผลของระดับไขมันแทรกต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก พบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของลักษณะกลิ่นคล้ายซูปไก่ กลิ่นกระดาดล้างขึ้น ความรู้สีกมันติดริมฝีปาก ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง ความรู้สึกเป็นน้ำมันภายในปาก รสหวาน รสอูมามิ และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนสูงกว่า แต่มีกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ นอกจากนี้พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างระดับไขมันแทรกกับลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่พึงประสงค์ คือ ความรู้สีกมันติดริมฝีปาก ($r = 0.63, p < 0.01$) ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก ($r = 0.34, p < 0.05$) ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง ($r = 0.37, p < 0.05$) ความรู้สีกความเป็นน้ำมันภายในปาก ($r = 0.50, p < 0.01$) รสอูมามิ ($r = 0.47, p < 0.01$) และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน ($r = 0.52, p < 0.01$)

ด้านอิทธิพลของปริมาณไขมันแทรกต่อคะแนนความชอบต่อคุณภาพในการรับประทานของเนื้อสันนอกสุกรของผู้บริโภคชาวไทยจำนวน 389 คน พบว่าผู้บริโภคมีความชอบต่อความนุ่มของเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกสูงมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและต่ำ เมื่อให้ผู้บริโภคพิจารณาระดับไขมันแทรกด้วยสายตา พบว่าผู้บริโภคมีความชอบต่อเนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกระดับปานกลางมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง เมื่อพิจารณาถึงการตัดสินใจเลือกซื้อ พบว่าผู้บริโภคเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกระดับปานกลางมากกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและเนื้อที่มีไขมันแทรกสูง ตามลำดับ ดังนั้นการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคมีความสอดคล้องกับคะแนนความชอบต่อระดับไขมันแทรกที่พิจารณาด้วยสายตา

ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการจำแนกกลุ่ม (cluster analysis) แบบ Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis (AHC) และวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และหมุนแกนด้วยวิธีแวนเดอร์แมกซ์ พบว่าผลการจัดกลุ่มสามารถยืนยันได้ว่ากลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่มนี้ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ปานกลาง และสูง โดยสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างได้จาก 2 องค์ประกอบหลัก ซึ่งอธิบายความ

แปรปรวนของข้อมูลได้ 54.30 และ 45.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แยกความแตกต่างระหว่างเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงกับเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบที่ 1 ได้แก่ ปริมาณไขมันแทรก ความรู้สึกลิ้นติดริมฝีปาก ความกรอบเมื่อกัดครั้งแรก ความเป็นน้ำมันภายในปาก รสหวาน และรสอูมามิที่สูงกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำและเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง ในขณะที่องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง และเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงกับไขมันแทรกต่ำ โดยเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลางและเนื้อที่มีไขมันแทรกสูงมีคะแนนความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบที่ 2 ได้แก่ ลักษณะกลิ่นคล้ายซูชิไก่ กลิ่นกระด้างลิ้น ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืนที่สูงกว่า แต่มีสีของเนื้อ และกลิ่นรสเปรี้ยวตกค้างหลังกลืนต่ำกว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ

ผลจากการวิเคราะห์แผนภาพความชอบภายนอก (external preference mapping) ของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) เพื่อศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญต่อความชอบของผู้บริโภค พบว่าความเข้มของลักษณะที่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคด้านความนุ่ม ประกอบด้วยปริมาณไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตา ความรู้สึกลิ้นติดริมฝีปาก ความชุ่มชื้นของตัวอย่าง ความเป็นน้ำมันภายในปาก รสหวาน รสอูมามิ และกลิ่นรส brothy ตกค้างหลังกลืน ซึ่งสัมพันธ์กับเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกมาก ขณะที่ลักษณะที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค ซึ่งศึกษาเฉพาะด้านลักษณะปรากฏ พบว่ามีความสัมพันธ์กับความชอบของผู้บริโภคต่อปริมาณของไขมันแทรกเมื่อพิจารณาจากสายตา ซึ่งได้แก่เนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง นอกจากนั้นจากผลการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนายังบ่งบอกว่าความเข้มสีของเนื้อมีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเลือกซื้อ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาถึงคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และความชอบของผู้บริโภคด้านการรับประทาน ความชอบต่อปริมาณไขมันแทรกที่พิจารณาจากสายตา และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงแนวทางในการพัฒนาคุณภาพเนื้อสุก เพื่อให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในด้านการบริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุก โดยทั่วไปแล้วระดับของไขมันแทรกของเนื้อสันนอกสุกในประเทศไทยมีคะแนนไขมันแทรกอยู่ในระดับต่ำ หรือคะแนน

1-2 ตามระบบของ US National Pork Board (2011) ซึ่งมีปริมาณไขมันที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเพื่อให้ได้กลุ่มทดลองที่มีไขมันแทรกแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ และเพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของสายพันธุ์ที่ต่างกัน ในการวิจัยครั้งนี้ จึงใช้สุกรสายพันธุ์ครอกพันธุ์แท้ในการศึกษา ซึ่งสุกรครอกเป็นสุกรที่มีการสะสมไขมันแทรกได้สูง ผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชาวไทยมีความชอบต่อความนุ่มของเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบของ US National Pork Board (2011) แต่เมื่อเลือกซื้อจะชอบเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกปานกลาง (คะแนน 3-4) ดังนั้นผู้ประกอบการหรือผู้เลี้ยงสุกรควรปรับปรุงคุณภาพเนื้อสุกร โดยนำสุกรสายพันธุ์ที่มีการสะสมไขมันแทรกสูงมาใช้ในการพัฒนาสายพันธุ์ เพื่อให้ได้เนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกสูงขึ้นให้อยู่ในระดับไขมันแทรกปานกลาง เพื่อให้ตรงกับความต้องการในการเลือกซื้อของผู้บริโภค และให้ได้คุณภาพในการรับประทาน โดยเฉพาะในด้านความนุ่ม อย่างไรก็ตามในอนาคตความพึงพอใจของผู้บริโภคในการรับประทานและการเลือกซื้อเนื้อสุกรอาจเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากในปัจจุบันคำแนะนำในการบริโภคไขมันยังไม่มีความชัดเจน หากมีผลการวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการแนะนำในการบริโภคไขมันทางด้านสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงไป อาจส่งผลให้การตัดสินใจเลือกซื้อและรับประทานเนื้อสุกรเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

2. เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในครั้งนี้ คือ เทคนิคการจำแนกกลุ่ม (cluster analysis) แบบ AHC และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา โดย PCA เป็นเทคนิคที่ลดจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาลง โดยตัวแปรใหม่ยังใช้อธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ได้ จากนั้นนำผลที่ได้ไปสร้างแผนภาพความชอบภายนอกของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา คะแนนความชอบของผู้บริโภคและการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) เพื่อศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญต่อความชอบของผู้บริโภค ซึ่งในการรายงานผลอาจรายงานเฉพาะผลที่ได้จากการสร้างแผนภาพภายนอกเท่านั้น เนื่องจากในขั้นตอนการวิเคราะห์แผนภาพภายนอกนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (AHC) และวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก หรือ PCA ก่อน จากนั้นจึงใช้ด้วยเทคนิค PLSR เพื่อหาลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่สำคัญต่อความชอบของผู้บริโภค ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแบบ AHC การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA และการสร้างแผนภาพความชอบภายนอกจึงมีทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่มีความสำคัญต่อความชอบและการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค

3. ควรทำการศึกษาถึงองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเนื้อสันนอกสุกรที่มีไขมันแทรกแตกต่างกัน เพื่อทราบถึงอิทธิพลของไขมันแทรกต่อองค์ประกอบของกรดอะมิโน และทราบถึง

ความสัมพันธ์ระหว่างกรดอะมิโนต่อคุณภาพด้านการบริโภค และลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส

4. ควรทำการวิเคราะห์ gas chromatography olfactometry (GC-O) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คือ เครื่อง gas chromatography และใช้ประสาทสัมผัสทางด้านการดมกลิ่นเป็นตัวตรวจสอบเฉพาะสารให้กลิ่น ซึ่งอาจทำให้ทราบว่าระดับไขมันแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ที่ทำให้ลักษณะกลิ่นและกลิ่นรสเฉพาะตัวของเนื้อสันนอกสุก เพื่อทราบถึงสารประกอบสำคัญในการเกิดกลิ่นและกลิ่นรส (key aromas and flavors)

บรรณานุกรม

- กรรณิกา ชัชวาลวานิช. 2546. **จุลกายวิภาคศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกล็ดแก้ว ด่านวิวัฒน์. 2546. **จุลกายวิภาคศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539. **เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ชั้นสูง**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554. **เทคโนโลยีการฆ่าสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชัยณรงค์ กันธพนิต. 2529. **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์**. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- นิธิยา รัตนูปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- บำรุงรัตน์ รongทอง. 2556. “คุณภาพทางกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพ็ญขวัญ ชมปรีชา. 2556. **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. **การประเมินทางประสาทสัมผัส**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- วสันต์ ตั้งโกคานนท์ วรรณนา สุริยาสถาพร อุทัยย์ วินิจเขตคำนวน ชีระ ชีโวรินทร์ และ จารุวรรณ ไทยกลาง. 2548. “ความสัมพันธ์ของกรดไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวออกซิเดสกับค่าทางโลหิตวิทยา และค่าเคมีคลินิกในสุนัขโตเต็มวัย และสุนัขสูงอายุ.” **เชียงใหม่-สัตวแพทยสาร**. 3 : 21-29.
- สัญญา จตุรติทรา. 2543. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- สัญญา จตุรติทรา. 2547. **การจัดการเนื้อสัตว์**. เชียงใหม่ : ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- Aaslyng, M.D., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertram, H.C. and Andersen, H.J. 2003. “Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure.” **Food**

Qual Prefer. 14 : 277-288.

Aaslyng, M.D. and Meinert, L. 2017. "Meat flavour in pork and beef – From animal to meal."

Meat Sci. 132 : 112-117.

Aberle, E.D., Forrest, J.C., Gerrard, D.E. and Mill, E.W. 2012. **Principles of Meat Science.**

Iowa : Kendall Hunt Publishing Company.

Alonso, V., María del, M.C., Laura, P., Pedro, R. and José, A.B. 2010. "Effect of protein level in commercial diets on pork meat quality." **Meat Sci.** 85 : 7-14.

AMSA (American Meat Science Association). 1991. **Guideline for meat color evaluation.**

Illinois, USA. : American Meat Science Association.

AMSA (American Meat Science Association). 2012. **Meat color measurement guidelines.**

Illinois, USA. : American Meat Science Association.

AMSA (American Meat Science Association). 2015. **Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat.** Illinois, USA. :

American Meat Science Association and National Live Stock and Meat Board.

Anderson, J.R., Borggaard, C., Rasmussen, A.J. and Houmøller, L.P. 1999. "Optical measurements of pH in meat." **Meat Sci.** 53 : 135-141.

AOAC International. 2000. **Official methods of analysis.** 17th ed. Maryland, USA. : The association of official analytical chemists.

Ares, G., Gimenez, A. and Gambaro, A. 2006. "Preferences mapping of texture of dulce de leche." **J. Sens Stud.** 21 : 553–571.

Ba, H.V., Hwang, I., Jeong, D. and Amna, T. 2012. **Principle of meat aroma flavors and future prospect.** [Online]. Available : <https://www.intechopen.com/books/latest-research-into-quality-control/principle-of-meat-aroma-flavors-and-future-prospect>.

Ba, H.V., Amna, T. and Hwang, I. 2013. "Significant influence of particular unsaturated fatty acid and pH on volatile compounds in meat-like model systems." **Meat Sci.** 94 : 480-488.

Ba, H.V., Seo, H.W., Seong, P-N., Cho, S-H., Kang, S-M., Kim, Y-S., Moon, S-S., Choi, Y-M. and Kim, J-H. 2019. **Quality characteristics and flavor compounds of pork meat as a function of carcass quality grade.** [Online]. Available : <https://www.ajas.info/journal/view.php?doi=10.5713/ajas.18.0965>

Bae, W. and Mehra, R.K. 1997. "Metal-Binding characteristics of a phytochelatin analog (Glu-Cys)₂-Gly." **J. Inorg. Biochem.** 68 : 201-210.

- Begic, A., Djuric, A., Gobeljic, B., Stevanovic, I., Lukic, V., Ninkovic, M., Saso, L., Vojvodic, D. and Djukic, M. 2017. "The simple isocratic HPLC–UV method for the simultaneous determination of reduced and oxidized glutathione in animal tissue." **Acta Chromatographica**. 29 : 67-84.
- Benet, I., Guàrdia, M.D., Ibañez, C., Solà, J., Arnau, J. and Roura, E. 2016. "Low intramuscular fat (but high in PUFA) content in cooked cured pork ham decreased Maillard reaction volatiles and pleasing aroma attributes." **Food chem**. 196 : 76-82.
- Bertram, H.C., Aaslyng, M.D. and Andersen, H.J. 2005. "Elucidation of the relationship between cooking temperature, water distribution and sensory attributes of pork a combined NMR and sensory study." **Meat Sci**. 70 : 75-81.
- Boccard, R., Buchter, L., Casteels, E., Cosentino, E., Dransfield, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., MacDougall, D.B., Rhodes, D.N., Schön, I., Tinbergen, B.J. and Touraille, C. 1981. "Procedures for measuring meat quality characteristics in beef production experiments." **Livest. Prod. Sci**. 8 : 385-397.
- Brewer, M.S., Zhu, L.G. and McKeith, F.K. 2001. "Marbling effects on quality characteristics of pork loin chops : Consumer purchase intent, visual and sensory characteristics." **Meat Sci**. 59 : 153-163.
- Brewer, M.S. 2006. **The chemistry of beef flavor : Executive summary**. [Online]. Available : http://www.beefissuesquarterly.com/CMDocs/BeefResearch/PE_Executive_Summaries/The_Chemistry_of_Beef_Flavor.pdf.
- Cambero, M.I., Pereira-Lima, C., Ordonez, J.A. and Fernando, G.D.G. 2000. "Beef broth flavour: relation of components with the flavour developed at different cooking temperatures." **J. Sci Food Agric**. 80 : 1519-1528.
- Cameron, N.D. 1990. "Genetic and phenotypic parameters for carcass traits, meat and eating quality traits in pigs." **Livest. Prod. Sci**. 26 : 119–135.
- Cameron, N.D. and Enser, M. 1991. "Fatty acid composition of lipid in *longissimus dorsi* muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality." **Meat Sci**. 29 : 295–307.
- Cannata, S., Engle, T.E., Moeller, S.J., Zerby, H.N., Radunz, A.E., Green, M.D., Bass, P.D. and Belk, K.E. 2010. "Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loin." **Meat Sci**. 85 : 428-434.

- Cannata, S., Engle, T.E., Moeller, S.J., Zerby, H.N., Bass, P.D. and Belk, K.E. 2016. "Intramuscular fat and sensory properties of pork loin." **Ital. J. Anim. Sci.** 8 (Suppl. 2) : 483-485.
- Chambaz, A., Scheeder, M.R.L., Kreuzer, M. and Dufey, P.A. 2003. "Meat quality of Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content." **Meat Sci.** 63 : 491-500.
- Chen, D-W. and Zhang, M. 2007. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). **Food chem.** 104 : 1200-1205.
- Choe. J-H., Choi, M-H., Rhee, M-S. and Kim, B-C. 2016. "Estimation of sensory pork loin tenderness using Warner-Bratzler Shear Force and texture profile analysis measurements." **Asian-Australas J Anim Sci.** 29 : 1029-1036.
- Choi, Y.M., Ryu, Y.C. and Kim, B.C. 2007. "Influence of myosin heavy- and light chain isoforms on early postmortem glycolytic rate and pork quality." **Meat Sci.** 76 : 281-288.
- Cichoski, A.J., Rotta, R.B., Scheuermann, G. A., Cunha, J. and Barin, J.S. 2012. "Investigation of glutathione peroxidase activity in chicken meat under different experimental conditions." **Ciência e Tecnologia de Alimentos.** 32 : 661-667.
- CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). 1978. **Recommendations on uniform color spaces-color difference equations, psychometric color terms.** Suppl 2 to CIE Publication no. 15 (E-1.3.1.) 1978 1971/(TC-1-3). Paris, France: Commission Internationale de l'Eclairage.
- Cooper, C.C., Breidenstein, B.B., Cassens, R.G., Evans, G. and Bray, R.W. 1968. "Influence of marbling and maturity muscle II. Histological considerations." **J. Anim. Sci.** 27 : 1542-1546.
- Crawford, S.M., Moeller, S.J., Zerby, H.N., Irvin, K.M., Kuber, P.S., Velleman, S.G. and Leeds, T.D. 2010. "Effects of cooked temperature on pork tenderness and relationships among muscle physiology and pork quality traits in loins from Landrace and Berkshire swine." **Meat Sci.** 84 : 607-612.
- Cross, H.R., West, R.L., Fau-Dutson, T.R. and Dutson, T.R. 1981. "Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle." **Meat Sci.** 5 : 261-266.
- Daun, C., Johansson, M., Onning, G. and Akesson, B. 2001. "Glutathione peroxidase activity, tissue and soluble selenium content in beef and pork in relation to meat ageing and pig RN phenotype." **Food chem.** 73 : 313-319.

- De Smet, S. and Vossen, E. 2016. "Meat : The balance between nutrition and health. A review." **Meat Sci.** 120 : 145-156.
- Dransfield, E., Wakefield, D.K. and Parkman, I.D. 1992. "Modeling post-mortem tenderization : texture of electrically stimulated and non-stimulated beef." **Meat Sci.** 36 : 105–121.
- Du, M., Yin, J. and Zhu, M.J. 2010. "Cellular signaling pathways regulating the initial stage of adipogenesis and marbling of skeletal muscle." **Meat Sci.** 86 : 103-109.
- Du, M., Wang, B., Fu, X., Yang, Q. and Zhu, M-J. 2015. "Fetal programming in meat production." **Meat Sci.** 109 : 40-47.
- Dugan, M.E.R., Vahmani, P., Turner, T.D., Mapiye, C., Juárez, M., Prieto, N., Beaulieu, A.D., Zijlstra, R.T., Patience, J.F. and Aalhus, J.L. 2015. "Pork as a source of omega-3 (n-3) fatty acids." **J. Clin Med.** 4 : 1999-2011.
- Eckel, R.H., Jakicic, J.M., Ard, J.D., De Jesus, J.M., Houston, M.N., Hubbard, V.S., Lee, I.M., Lichtenstein, A.H., Loria, C.M., Millen, B.E., Nonas, C.A., Sacks, F.M., Smith, S.C., Jr., Svetkey, L.P., Wadden, T.A. and Yanovski, S.Z. 2014. "2013 AHA/ACC guideline on lifestyle management to reduce cardiovascular risk: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines." **J. Am Coll Cardiol.** 63 (25) : 2960-2984.
- Ellis, M., Webb, A.J., Avery, P.J. and Brown, I. 1996. "The influence of terminal sire genotype, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on organoleptic properties of fresh pork." **J. Anim. Sci.** 62 : 521-530.
- Enser, M., Hallett, K., Hewitt, B., Fursey, G.A.J. and Wood, J.D. 1996. "Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail." **Meat Sci.** 42 : 443-456.
- Fan, X-J., Liu, S-Z., Li, H-H., He, J., Feng, J-T., Zhang, X. and Yan, H. 2019. "Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipid oxidation and color of pork meat during refrigerated storage." **Meat Sci.** 147 : 82-90.
- Faucitano, L., Rivest, J., Daigle, J.P., Levesque, J. and Gariepy, C. 2003. **Distribution of intramuscular fat content and marbling within the *longissimus* muscle of pigs.** Canadian Meat Science Association News (CMSA news). Québec. Canada.

- Fernandez, X., Monin, G., Talmant, A., Mourot, J. and Lebret, B. 1999a. "Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat-1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *m. longissimus lumborum*." **Meat Sci.** 53 : 59-65.
- Fernandez, X., Monin, G., Talmant, A., Mourot, J., and Lebret, B. 1999b. "Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat-2. Consumer acceptability of *m. longissimus lumborum*." **Meat Sci.** 53 : 67-72.
- Flores, M., Armero, E., Aristoy, M.C. and Toldrà, F. 1999. "Sensory characteristics of cooked pork loin as affected by nucleotide content and post-mortem meat quality." **Meat Sci.** 51 : 53-59.
- Font-i-Furnols, M., Tous, N., Esteve-Garcia, E. and Gispert, M. 2012. "Do all the consumers accept marbling in the same way? The relationship between eating and visual acceptability of pork with different intramuscular fat content." **Meat Sci.** 91 : 448-453.
- Fortin, A., Robertson, W.M. and Tong, A.K.W. 2005. "The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat." **Meat Sci.** 69 : 297-305.
- Frank, D., Joo, S-T. and Warner, R. 2016. "Consumer acceptability of intramuscular fat." **Korean. J. Food Sci An.** 36 : 699-708.
- Gatellier, P., Mercier, I., Juin, H. and Renerre, M. 2005. "Effect of finishing mode (pasture or mixed-diet) on lipid composition, colour stability and lipid oxidation in meat from Charolais cattle." **Meat Sci.** 69 : 175-186.
- Goodrich, W. 2014. **A Novel food freshness assay based on ATP depletion Part 1: Automation and sample prep optimization.** [Online]. Available : https://www.biotek.com/assets/tech_resources/NovoCIB_Part%20I_FishFx_App_Note.pdf
- Hansen, S., Hansen, T., Aaslyng, MD. And Byrne, D.V. 2004. "Sensory and instrumental analysis of longitudinal and transverse textural variation in pork *longissimus dorsi*." **Meat Sci.** 68 : 611-629.
- Harbers, L.H. 1998. "Ash analysis." In Nielsen SS, editors. **Food analysis**. 2nd ed. Maryland, USA. : Aspen publishers.
- Harris, W.S. 2007. "International recommendations for consumption of long chain omega-3 fatty acids." **J. Cardiovasc Med.** 8 : 50-52.
- Hegsted, D.M., McGangy, R.B., Myers, M.L., and Stare, F.J. 1965. "Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man." **Am J Clin Nutr.** 17 : 281-295.

- Hill, F. 1966. "The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages." **J. Food Sci.** 31 : 161-166.
- Hoffman, L.C. 2006. Sensory and physical characteristics of enhanced vs. non-enhanced meat from mature cows." **Meat Sci.** 72 : 195-202.
- Honikel, K.O. 1998. "Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat." **Meat Sci.** 49 (4) : 447-57.
- Huang, H., Liu, L., Ngadi, M.O. and Gariépy, C. 2014. "Rapid and non-invasive quantification of intramuscular fat content of intact pork cuts." **Talanta.** 119 : 385-395.
- Huff-Lonergan, E., Baas, T.J., Malek, M., Dekkers, J.C., Prusa, K. and Rothschild, M.F. 2002. "Correlations among selected pork quality traits." **J Anim Sci.** 80 : 617-627.
- Hunt, M.C., Acton, J.C., Benedict, R.C., Calkins, C.R., Cornforth, D.P., Jeremiaiah, L.E., Olson, D.G., Saim, C.P., Savell, J.W., Shivass, S.D. 1991. Guidelines for meat color evaluation. 1-17. In **Proceedings of the Reciprocal Meat Conference.** Illinois, USA. : American Meat Science Association.
- Insani, E.M., Eyherabide, A., Grigioni, G., Sancho, A.M., Pensel, N.A. and Descalzo, A.M. 2008. "Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina." **Meat Sci.** 79 : 444-452.
- Jeremiah, L.E. 1998. **Marbling and pork tenderness.** Pork fact sheet. National pork producers council and American meat science association. Des Moines, Iowa. USA.
- Jones, D.P., Coates, R.J., Flagg, E.W., Eley, J.W., Block, G., Greenberg, R.S., Gunter, E.W. and Jackson, B. 1992. "Glutathione in foods listed in the National Cancer Institute's health habits and history food frequency questionnaire." **Nutr. Cancer.** 17 : 57-75.
- Karlssona, A.K., Klontb, R.E. and Fernandezc, X. 1999. "Skeletal muscle fibres as factors for pork quality." **Livest. Prod. Sci.** 60 : 255-269.
- Kerry, J.P. and Ledward, D. 2002. **Meat processing: improving quality.** New York, USA. : CRC Press.
- Kim, C. J. and Lee, E. S. 2003. "Effects of quality grade on the chemical, physical and sensory characteristics of Hanwoo (Korean native cattle) beef." **Meat Sci.** 63 : 397-405.
- Kim, Y.B., Ku, S.U., Joo, B.J., Lee, N.H. and Jang, A. 2012. "Changes in nucleotide compounds, and chemical and sensory qualities of duck meat during aging at 0°C." **Korean J. Food Sci. An.** 32 : 428-433.

- Kim, G.D., Jeong, J.Y., Jung, E.Y., Yang, H.S., Lim, H.T. and Joo, S.T. 2013. "The influence of fiber size distribution of type IIB on carcass traits and meat quality in pigs." **Meat Sci.** 94 : 267-273.
- King, D.A., Morgan, W.W., Miller, R.K., Sanders, J.O., Lunt, D.K., Taloy, J.F., Gill, C.A. and Savell, J.W. 2005. "Carcass merit between and among family groups of *Bos indicus* crossbred steers and heifers." **Meat Sci.** 72 : 496-502.
- Koutsidis, G., Elmore, J.S., Oruna-Concha, M.J., Campo, M.M., Wood, J.D. and Mottram, D.S. 2008. "Water-soluble precursors of beef flavour: I. Effect of diet and breed." **Meat Sci.** 79 : 124-130.
- Kropf, D.H. 2008. Color quality in meat. 267-292. In **Color quality of fresh and processed foods**. Ch. 21. The American Chemical Society, ACS Symposium Series.
- Lawrence, T.L.J., Fowler, V.R. and Novakofski, J.E. 2012. 3rd ed. "Growth of farm animals." Wallingford, UK : Cabi International.
- Lawrie, R.A. and Ledward, D.A. 2006. "The eating quality of meat." 279-341. In Lawrie, R.A. and Ledward, D.A. **Lawrie's meat science**. 7th ed. Cambridge, England : Woodhead Publishing Limited and CRC Press and CRC Press LLC.
- Lebret, B., Batonon-Alavo, D.I., Perruchot, M.H., Mercier, Y. and Gondret, F. 2018. "Improving pork quality traits by a short-term dietary hydroxy methionine supplementation at levels above growth requirements in finisher pigs." **Meat Sci.** 145 : 230-237.
- Lee, S.H., Choe, J.H., Choi, Y.M., Jung, K.C., Rhee, M.S., Hong, K.C., Lee, S.K., Ryu, Y.C. and Kim, B.C. 2012. "The influence of pork quality traits and muscle fiber characteristics on the eating quality of pork from various breeds." **Meat Sci.** 90 : 284-291.
- Lengerken, G.V., Maak, S. and Wicke, M. 2002. "Muscle metabolism and meat quality of pigs and poultry." **Veterinarija ir Zootechnika.** 20 : 82-86.
- Li, C., Zhou, G., Xu, X., Zhang, J., Xu, S. and Ji, Y. 2006. "Effects of marbling on meat quality characteristics and intramuscular connective tissue of beef *Longissimus* muscle." **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 19 : 1799-1808.
- Liu, L., Ngadi, M.O., Prasher, S.O. and Gariépy, C. 2012. "Objective determination of pork marbling scores using the wide line detector." **J. Food Engineering.** 110 : 497-504.

- Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E., Rowe, L.J., Kuhlers, D.L. and Jungst, S.B. 2001. "Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality." **J. Anim Sci.** 79 : 2075-2085.
- Lonergan, S.M., Stalder, K.J., Huff-Lonergan, E., Knight, T.J., Goodwin, R.N., Prusa, K.J. and Beitz, D.C. 2007. "Influence of lipid content on pork sensory quality within pH classification." **J. Anim Sci.** 85 : 1074-1079.
- López-Bote, C. 2017. Chemical and biochemical constitution of muscle. In Toldra, F. **Lawrie's meat science**. 8th ed. Oxford : Woodhead Publishing.
- Lu, S.C. 2014. "Glutathione synthesis." **Biochim Biophys Acta.** 1830 (5) : 3143–3153.
- Maltin, C.A., Warkup, C.C., Matthews, K.R., Grant, C.M., Porte, A.D. and Delday, M.I. 1997. "Pig muscle fibre characteristics as a source of variation in eating quality." **Meat Sci.** 47 : 237-248.
- Maraschiello, C., Sarraga, C. and Garcia Regieiro, J.A. 1999. "Glutathione peroxidase activity, TBARS, and a-tocopherol in meat from chickens fed different diets." **Food chem.** 47 : 867-872.
- Mattson, F.H. and Grundy, SM. 1985. "Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acid on plasma lipids and lipoproteins in man." **J. Lipid Res.** 26 : 194-202.
- McGorin, R.J. 2012. "Character-impact flavor and off-flavor compounds in foods." 207-262. In Marsili, R. **Flavor, fragrance, and odor analysis**. 2nd ed. Florida, USA. : CRC Press.
- McGregor, R.A. and Choi, M.S. 2011. **MicroRNAs in the regulation of adipogenesis and obesity**. [Online]. Available : https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult?img=PMC3267163_CMM-11-304_F2&query=&req=4
- McNeill, K.L., Sanders, T.H. and Civille, G.V. 2002. "Descriptive analysis of commercially available creamy style peanut butters." **J. Sens Stud.** 17: 391-414.
- Meinert, L., Christiansen, S.C., Kristensen, L., Bjerregaard, C. and Aaslyng, M.D. 2008. "Eating quality of pork from pure breeds and DLY studied by focus group research and meat quality analyses." **Meat Sci.** 80 : 304-314.
- Meinert, L., Tikk, K., Tikk, M., Brockhoff, P.B., Bredie, W.L.P., Bjerregaard, C. and Aaslyng, M.D. 2009. "Flavour development in pork. Influence of flavour precursor concentrations in *longissimus dorsi* from pigs with different raw meat qualities." **Meat Sci.** 80 : 304-314.

- Melton, S.L., Black, J.M., Davis, G.W. and Backus, W.R. 1982. "Flavor and selected chemical components of ground beef from steers backgrounded on pasture and fed corn up to 140 days." **J. Food Sci.** 47 : 699-704.
- Michael, E.N.A. and Shahidi, F. 2013. **Biochemistry of foods**. 3rd ed. Academic Press, St Louis, Missouri, USA.
- Migal, W., Wojtysiak, D., Paściak, P., Barowicz, T., Pieszka, M., Poltowicz, K., Živković, B. and Fabijan, M. 2005. "The histochemical profile of the muscle fibre in fatteners genetic and non-genetic factors." **Biotechnol Anim.** 21 (5-6) : 161-167.
- Miller, R. 1998. **Sensory evaluation of pork**. pork quality factsheet. National Pork Board, Des Moines, Iowa. USA.
- Moeller, S.J., Miller, R.K., Edwards, K.K., Zerby, H.N., Logan, K.E. and Aldredge, T.L. 2010. "Consumer perceptions of pork eating quality as affected by pork quality attributes and end-point cooked temperature." **Meat Sci.** 84 : 14-22.
- Monahan, F.J., Crackel, R.L., Gray, J.I., Buckley, D.J. and Morrirey, P.A. 1993. "Catalysis of lipid oxidation in muscle model system by haem and inorganic iron." **Meat Sci.** 34 : 95-106.
- Moon, S.S. 2006. "The effect of quality grade and muscle on collagen content and tenderness of intramuscular connective tissue and myofibrillar protein for Hanwoo beef." **J. Anim. Sci.** 19 : 1059-1064.
- Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerry, J.P. and Buckley, D.J. 1998. "Lipid stability in meat and meat products." **Meat Sci.** 49 : 73-86.
- Mottram. 1998. "Flavour formation in meat and meat products : a review." **Food chem.** 62 : 415-424.
- Nakamura, M.T. and Nara., T.Y. 2004. "Structure, function, and dietary regulation of delta 6, delta 5, and delta 9 desaturase." **Annu Rev Nutr.** 24 : 345-376.
- Nam, Y.J., Choi, Y.M., Lee, S.H., Choe, J.H., Jeong, D.W., Kim, Y.Y. and Kim, B.C. 2009. "Sensory evaluations of porcine *longissimus dorsi* muscle: Relationships with postmortem meat quality traits and muscle fiber characteristics." **Meat Sci.** 83 : 731-736.
- Ngapo, T.M. and Gariépy, C. 2008. "Factors affecting the eating quality of pork." **Food Sci Nutr.** 48 (7) : 599-633.
- Ngapo, T.M., Martin, J.F. and Dransfield, E. 2007. "International preferences for pork appearance: Consumer choice." **J. Food Qual Pref.** 18 : 26-36.

- Ngapo, T.M., Louise, R., Claude, L. and Jacinthe, F. 2012. "Marbling and ageing - Part 1. Sensory quality of pork." **Food Res Int.** 49 : 396–405.
- Ngapo, T.M. and Vachon, L. 2016. "Umami and related components in chilled pork for the Japanese market." **Meat Sci.** 121 : 365-374.
- Nio, Y., Hasegawa, H., Okamura, H., Miyayama, Y., Akahori, Y. and Hijikata, M. 2016. "Liver-specific mono-unsaturated fatty acid synthase-1 inhibitor for anti-hepatitis C treatment." **Antiviral Res.** 132 : 262-267.
- Nishimura, E.T., Hattori, A. and Takahashi, K. 1999. "Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle: effect of marbling on beef tenderization." **J. Anim. Sci.** 77 : 93–104.
- Norman, J.L., Berg, E.P., Heymann, H. and Lorenzen, C.L. 2003. "Pork loin color relative to sensory and instrumental tenderness and consumer acceptance." **Meat Sci.** 65 : 927-933.
- NPPC (National Pork Producers Council). 1999. **Pork composition and quality assessment procedures.** Des Moines, Iowa. USA. : National Pork Producers Council.
- NPPC (National Pork Producers Council). 2000. **Pork composition and quality assessment procedures.** Des Moines, Iowa. USA. : National Pork Producers Council.
- O'Mahoney, R., Cowan, C. and Keane, M. 1992. "Consumer preferences for pork chops with different levels of intramuscular fat." **Food Qual Prefer.** 3 : 229–234.
- Obregon, M.J. 2014. "Adipose tissues and thyroid hormones." **Front Physiol.** 5 : 1-12.
- Ohloff, G., Flament, I. and Pickenhagen, W. 1985. "Flavor chemistry." *Food Rev Int.* 1 (1) : 99-148. **Cited by** Zheng, Y., Brown, S., Walter, O.L., Mussinan, C. and Ho, C.T. 1997. "Formation of sulfur-containing compounds from reactions of furanol and cysteine, glutathione, hydrogensulfide, and alanine/hydrogensulfide." **Agri and Food Chem.** 45 : 894–896.
- Okrouhlá, M., Stupka, R., Čítek, J., Šprysl, M., Trnka, M. and Kluzáková, E. 2008. "Effect of lean meat proportion on the chemical composition of pork." **Czech J Food Sci.** 26 : 464-469.
- Okumura, T., Saito, K., Nade, T., Misumi, S., Masuda, Y., Sakuma, H., Nakayama, S., Fujita, K., and Kawamura, T. 2007. "Effects of intramuscular fat on the sensory characteristics of M. *Longissimus dorsi* in Japanese black steers as judged by a trained analytical panel." **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 4 : 577-581.

- Parunovic, N., Petrovic, M., Djordjevic, V., Petronijevic, R., Lakicevic, B., Petrovic, Z. and Savic, R. 2015. "Cholesterol content and fatty acids composition of Mangalitsa pork meat." **Procedia Food Sci.** 5 : 215-218.
- Pflanzer, F.B. and Felício, P.E. 2011. "Moisture and fat content, marbling level and color of boneless rib cut from Nellore steers varying in maturity and fatness." **Meat Sci.** 87 : 7-11.
- Puolanne, E.J., Pösö, A.R., Ruusunen, M.H., Sepponen, K.V. and Kylä-Puhju, M.S. 2002. Lactic acid in muscle and its effects on meat quality. 57-62. In **Proceedings of the 55th Reciprocal Meat Conference**. Michigan, USA: American Meat Science Association.
- Raes, K., De smet, S. and Demeyer, D. 2001. "Effect of double-muscling in Belgian Blue young bulls on the intramuscular fatty acid composition with emphasis on conjugated linoleic acid and polyunsaturated fatty acids." **J. Anim. Sci.** 73 : 253-260.
- Rakowska, R., Sadowska, A. and Waszkiewicz-Robak, B. 2017. "Influence of pre-and post-slaughter factors on the reduced glutathione content of beef muscles." **Meat Sci.** 124 : 48-53.
- Rees, M.P., Trout, G.R., and Warner, R.D. 2002. "Tenderness, ageing rate and meat quality of pork *M. longissimus thoracis et lumborum* after accelerated boning." **Meat Sci.** 60 : 113-124.
- Resano, H., Sanjuan, A.I., Cilla, I., Roncales, P. and Albisu, L.M. 2010. "Sensory attributes that drive consumer acceptability of dry-cured ham and convergence with trained sensory data." **Meat Sci.** 84 : 344-351.
- Rhee, M.S., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. and Koohmaraie, M. 2004. "Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles." **J. Anim. Sci.** 82 : 534-550.
- Richardson, E., Bohrer, B.M., Arkfelda, E.K., Boler, D.D. and Dilger, A.C. 2017. "A comparison of intact and degraded desmin in cooked and uncooked pork *longissimus thoracis* and their relationship to pork quality." **Meat Sci.** 129 : 93-101.
- Rincker, P.J., Killerfer, J., Ellis, M., Brewer, M.S. and McKeith, F.K. 2008. "Intramuscular fat content has little influence on the eating quality of fresh pork loin chops." **J. Anim. Sci.** 86 : 730-737.
- Rowe, D. 2000. "More Fizz for your buck: High-impact aroma chemicals." **Pref Flav.** 25 : 1-9.

- Ryu, Y.C. and Kim, B.C. 2005. "The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig *longissimus dorsi* muscle." **Meat Sci.** 71 : 351-357.
- Savell, J.W. and Cross, H.R. 1988. **The role of fat in the palatability of beef, pork and lump.** [Online]. Available : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218173/figure/mmm00030/?report=objectonly>.
- Savell, J. W., Mueller, S.L. and Baird, B.E. 2005. "The chilling of carcasses." **Meat Sci.** 70 : 449-459.
- Schiaffino, S. and Reggiani, C. 1996. "Molecular diversity of myofibrillar proteins: Gene regulation and functional significance." **Physiol Rev.** 76 : 371-423.
- Schwab, C.R., Baas, T.J., Stalder, K.J. and Mabry, J.W. 2006. "Effect of long-term selection for increased leanness on meat and eating quality traits in Duroc swine." **J. Anim Sci.** 84 : 1577-1583.
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. and Koohmaraie, M. 1995. "Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness rating of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos Taurus* cattle." **J. Anim. Sci.** 73 : 3333-3340.
- Shahidi, F. 1997. "Lipid-derived flavors in meat products." 105-107. In Joseph, K., John, K. and David, L. **Meat processing improving quality.** CRC Press, New York, USA.
- Smith, G.C. and Carpenter, Z.L. 1974. "Eating quality of animal products and their fat content." Proceedings of the Symposium on Changing the Fat Content and Composition of Animal Products. Washington, D.C. : National Academy of Sciences **Cited by** Savell, J.W. and Cross, H.R. 1988. "The role of fat in the palatability of beef, pork and lump" In Designing food: Animal product option in the marketplace. Washington. National academy press.
- SPSS. Statistical Package for the Social Sciences. 2008. In 17.0 SSfWV, editor. Chicago, Illinois, USA.: SPSS Inc.
- Soncin, S., Chiesa, L.M., Cantoni, C. and Biondi, P.A. 2007. "Preliminary study of the volatile fraction in the raw meat of pork, duck and goose." **J. Food Compos Anal.** 20 : 436-439.
- Tang, C., Heymann, H. and Hsieh, F. 2000. "Alternatives to data averaging of consumer preference data." **Food Qual Prefer.** 11 : 99-104.
- Tikk, M., Tikk, K., Tørngren, M.A., Meinert, L., Aaslyng M.D., Karlsson A.H. and Andersen H.J. 2006. "Development of inosine monophosphate and Its degradation products

- during aging of pork of different qualities in relation to basic taste and retronasal flavor perception of the meat.” **J. Agric. Food Chem.** 54 : 7769-7777.
- Tikk, K., Tikk, M., Aaslyng, M.D., Karlsson, A.H., Lindahl, G., and Andersen, H.J. 2007. “Significance of fat supplemented diets on pork quality-connection between specific fatty acids and sensory attributes of pork.” **Meat Sci.** 77 : 275-286.
- Tikk, M. 2008. “Peptides and ribonucleotides in fresh meat as a function of aging in relation to sensory attributes of pork.” Doctoral Thesis of Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Department of Food Science. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Tomovic, V., Jokanovic, M., Sojic, B., Skaljic, S., Tasic, T., and Ikonc, P. 2015. “Minerals in pork meat and edible offal.” **Procedia Food Sci.** 5 : 293-295.
- Torrescano, G., Sánchez-Escalante, A., Giménez, B., Roncalés, P. and J.A., Beltrán. 2003. “Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics.” **Meat Sci.** 64 : 85-91.
- Tuma, H.J., Venable, J.H., Wuthier, P.R. and Henrickson, R.L. 1962. “Relationship of fiber diameter to tenderness and meatiness as influenced by *Bovine* age.” **J. Anim. Sci.** 21: 33-36.
- Ueda, Y., Yonemitsu, M., Tsubuku, T., Sakaguchi, M. and Miyajima, R. 1997. “Flavor Characteristics of Glutathione in Raw and Cooked Foodstuffs.” **Biosci. Biotech. Biochem.** 61 : 1977-1980.
- US (United States) National Pork Board. 2011. **Pork composition and quality assessment procedures.** Des Moines, Iowa, USA. : National Pork Board.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1997. **United States standards for grades of carcass beef.** Washington, DC., USA. : Agricultural marketing service, USDA.
- Utrilla, M.C., Soriano, A. and Ruiz, A.G. 2010. “Quality attributes of pork loin with different levels of marbling from Duroc and Iberian cross.” **J Food Qual.** 33 : 802-820.
- Van Laack, R.L.J.M., Stevens, S.G. and Stalder, K.J. 2001. “The influence of ultimate pH and intramuscular fat content on pork tenderness and tenderization.” **J. Anim. Sci.** 79 : 392-397.
- Vandendriessche, F., Buts., B., Claeys, E. and Dendooven, R. 1984. Sarcomere length by laser diffraction and light microscopy. 110-111. In **Proceedings 30th European Meeting of Meat Research workers.** Ghent, Belgium: Ghent University.

- Vani, N.D., Modi, V.K., Kavitha, S., Sachindra, N.M. and Mahendrakar, N.S. 2006. "Degradation of inosine-50-monophosphate (IMP) in aqueous and in layering chicken muscle fibre systems: Effect of pH and temperature." **LWT-Food Sci Technol.** 39 (6) : 627-632.
- Verbeke, W., Van Oeckel, M.J., Warnants, N., Viaene, J. and Boucque, Ch.V. 1999. "Consumer perception, facts and possibilities to improve acceptability of health and sensory characteristics of pork." **Meat Sci.** 53 : 77-99.
- Voutila, L., Ruusunen, M. and Puolanne, E. 2008. "Comparison of the thermal characteristics of connective tissue in loose structured and normal structured porcine *M. semimembranosus*." **Meat Sci.** 80 : 1024-1030.
- Wang, R., Yang, C. and Song, H. 2012. "Key meat flavour compounds formation mechanism in a glutathione–xylose Maillard reaction." **Food Chem.** 131 : 280-285.
- Watanabe, G., Motoyama, M., Nakajima, I. and Sasaki, K. 2018. "Relationship between water-holding capacity and intramuscular fat content in Japanese commercial pork loin." **Asian-Australas J Anim Sci.** 31 : 914-918.
- Wheeler T.L., Shackelford, S.D., Johnson, L.P., Miller, M.F., Miller, R.K. and Koohmaraie, M. 1997. "A comparison of Warner-Bratzler shear force assessment within and among institutions." **J. Anim Sci.** 75 : 2423-2432.
- Wheeler, T. L., Shackleford, S.D. and Koohmaraie, M. 1999. "Tenderness classification of beef: III. Effect of the interaction between end point temperature and tenderness on Warner–Bratzler shear force of beef *longissimus*." **J. Anim. Sci.** 77 : 400-407.
- Wheeler, T. L., Shackleford, S.D., and Koohmaraie, M. 2000. "Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles." **J. Anim. Sci.** 78 : 958-965.
- Williams, P.G., Droulez, V., Levy, G. and Stobaes, T. 2007. "Composition of Australian red meat 2002. 3. nutrient profile." **Food Australia.** 59 (7) : 331-341.
- Witschi, A., Reddy, S., Stofer, B. and Lauterburg, B.H. 1992. "The systemic availability of oral glutathione." **Eur J Clin Pharmacol.** 43 : 667-669.
- Witte, V.C., Krause, G.F. and Bailey, M.E. 1970. "A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage." **J. Food Sci.** 5 : 582–585.

- Wood, J.D., Brown, S.N., Nute, G.R., Whittington, F.M., Perry, A.M., Johnson, S.P. and Enser, M. 1996. "Effect of breed, feed level and conditioning time on the tenderness of pork." **Meat Sci.** 44 : 105-112.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R. and Enser, M. 2003. "Effects of fatty acids on meat quality: a review." **Meat Sci.** 66 : 21-32.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I. and Whittington, F.M. 2008. "Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review." **Meat Sci.** 78 : 343-358.
- World Health Organization. 2003. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases.** [Online]. Available : https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42665/WHO_TRS_916.pdf?sequence=1.
- Yamaguchi, S. 1998. "Basic properties of umami and its effect on food flavour." **Food Reviews International.** 14 : 139-176.
- Yamaguchi, S., Yoshikawa, T., Ikeda, S. and Ninomiya, T. 1971. "Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides." **J. Food Sci.** 36 : 846-849.
- Cited by** Ngapo, T.M. and Vachon, L. 2016. "Umami and related components in chilled pork for the Japanese market." **Meat Sci.** 121 : 365-374.
- Yu, S., Derr, J., Etherton, T.D. and Kris-Etherton, P. 1995. "Plasma cholesterol-predictive equations demonstrate that stearic acid is neutral and monounsaturated fatty acids are hypocholesterolemic." **Am. J. Clin. Nutr.** 61 : 1129-1139.
- Zhang, S., Knight, T.J., Stalder, K.J., Goodwin, R.N., Lonergan, S.M. and Beitz, D.C. 2008. "Effects of breed, sex and halothane genotype on fatty acid composition of triacylglycerols and phospholipids in pork longissimus muscle." **J. Anim. Breed. Genet.** 126 : 259-268.
- Zhao, J., Wang, T., Xie, J., Xiao, Q., Du, W., Wang, Y., Cheng, J. and Wang, S. 2019. "Meat flavor generation from different composition patterns of initial Maillard stage intermediates formed in heated cysteine-xylose-glycine reaction systems." **Food Chem.** 274 : 79-88.
- Zheng, Y., Brown, S., Walter, O.L., Mussinan, C. and Ho, C.T. 1997. "Formation of sulfur-containing compounds from reactions of furanol and cysteine, glutathione, hydrogensulfide, and alanine/hydrogensulfide." **Agri and Food Chem.** 45 : 894-896.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวก ก

คำศัพท์และนิยามของลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
ของเนื้อสัตว์นอกสุกรที่ประเมินโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 1 คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรดิบ

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
ลักษณะปรากฏ					
1.	สีชมพู	ระดับสีที่ปรากฏของตัวอย่าง ตั้งแต่สีชมพูอ่อนจนถึงสีชมพูเข้ม (อ่อน-----เข้ม)	1) Munsell book วิธีการ: ประเมินสีชมพูที่ปรากฏของ ตัวอย่างเปรียบเทียบกับ Munsell book	7.5R 6/6 7.5R 5/6 7.5R 4/6	4.5 6.5 9.0
2..	ปริมาณไขมัน	ส่วนที่เป็นสีขาวแทรกในเนื้อ ซึ่งอาจเป็น ไขมัน พังผืด หรือ connective tissue (น้อย-----มาก)	1) marbling standard วิธีการ: มองตัวอย่างทำมุม 45° ระยะห่างจากสายตาประมาณ 1 ฟุต	marbling standard (US National Pork Board. 2011)	1.0-10.0
กลิ่น วิธีการประเมิน ดมตัวอย่างแล้วประเมินความเข้มของกลิ่น (เสิร์ฟในถ้วยขนาด 2 ออนซ์ปิดฝา)					
3.	metallic	กลิ่น/กลิ่นรสโลหะคล้ายพวกเหล็ก ทองแดง (น้อย-----มาก)	1) สับประรดเต็มแวนกระป๋องชนิดหวาน ตรา บรูค (Brook®)	เนื้อสับประรดกระป๋อง 1 กรัม	3.0
4.	sweet aromatics	กลิ่นโดยรวมของตัวอย่างที่ให้ความรู้สึก หวาน เช่น กลิ่นของผลไม้หรือดอกไม้ (น้อย-----มาก)	1) น้ำตาลทรายแดง ตรามิตรผล	ผสมน้ำตาลทรายแดง 20 กรัม กับน้ำ 200 มิลลิลิตร	3.0
5.	raw pork ID	กลิ่นเฉพาะตัวของเนื้อสุกรดิบประกอบด้วย กลิ่นโลหะ กลิ่นหวาน กลิ่น briny อาจเจอ ด้วยกลิ่นฮอร์โมน กลิ่นยูรีน (urine) และ กลิ่นสาบ (animalic) (น้อย-----มาก)	1) เนื้อสันในสุกรดิบ ตรา S-pure®	เนื้อสันในสุกรหั่นละเอียด ชั่ง 2 กรัม เนื้อสันในสุกรหั่นละเอียด ชั่ง 3 กรัม	3.0 7.0

ตารางภาคผนวก ก ที่ 2 คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : กลิ่นและกลิ่นรส

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม	
					aroma	flavor
กลิ่น (aroma) วิธีการประเมิน คมตัวอย่างแล้วประเมินความเข้มของกลิ่น (ของแข็งชั่ง 1 กรัม/ของเหลวตวง 10 มิลลิลิตร เสิร์ฟในถ้วยขนาด 2 ออนซ์ปิดฝา)						
กลิ่นรส (flavor) วิธีการประเมิน ชิมตัวอย่าง 1 ช้อน หรือ 1 ช้อนชิม แล้วประเมินความเข้มของกลิ่นรส						
1.	cooked pork ID	กลิ่น/กลิ่นรสเฉพาะตัวของเนื้อสุกรสุก ประกอบด้วย meaty brothy ไขมัน โลหะ หวาน อาจเจือด้วยเค็ม และ/หรือเปรี้ยว (น้อย-----มาก)	1) เนื้อสันในสุกรดิบ ตรา S-pure® ผสมเนื้อสันในตามอัตราส่วนแล้วนำไปต้มในน้ำเดือดจับเวลา 5 นาที กรองเอาแต่น้ำ	1) เนื้อสันใน 30 กรัมกับน้ำ 300 มิลลิลิตร หรืออัตราส่วน 1:10 2) เนื้อสันใน 100 กรัมกับน้ำ 400 มิลลิลิตร หรืออัตราส่วน 1:4	3.0 6.0	4.0 7.0
2.	meaty	กลิ่น/กลิ่นรสที่ให้ความรู้สึกสัมผัสกับเนื้อสัตว์ โปรตีนเนื้อสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นเค็ม กลิ่น คาว กลิ่นโลหะ และกลิ่นหวาน อาจเจือด้วยกลิ่น ชุปและ/หรือกลิ่น brown (ไม่มี-----มาก)	1) ชุปไก่ สูตรต้นตำหรับ ตรา แบรินด์®	1) ตวงชุปไก่ 50 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 200 มิลลิลิตร หรืออัตราส่วน 1:4 2) ชุปไก่เข้มข้น (100% ไม่ผสมน้ำ)	4.0 8.0	3.5 7.0
3.	brothy	กลิ่น/กลิ่นรสของน้ำที่ได้จากการต้มหรือเคี้ยวเนื้อสัตว์ ประกอบด้วยกลิ่นคาว อาจเจือด้วยกลิ่น โลหะ กลิ่นหวาน และกลิ่นเค็ม (ไม่มี-----มาก)	1) น้ำชุปไก่เข้มข้น (Campbell's condensed soup chicken broth)	1) ตวงน้ำชุปไก่เข้มข้น 30 มิลลิลิตร กับน้ำ 300 มิลลิลิตร 2) น้ำชุปไก่เข้มข้น (100% ไม่ผสมน้ำ)	6.0 9.0	5.0 9.0
4.	briny	กลิ่น/กลิ่นรสเค็ม ชื่น อาจเจือด้วยกลิ่นคาว เล็กน้อยคล้ายน้ำทะเล ไอทะเล (น้อย-----มาก)	1) ซอสปรุงรส ตรา Maggi® (seasoning naturally fermented)	briny Low : ซอส 0.4 g ผสมน้ำ 200 ml briny High: ซอส 1 g ผสมน้ำ 200 ml	3.5 6.0	2. 0 4.0

ตารางภาคผนวก ก ที่ 2 (ต่อ) คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : กลิ่นและกลิ่นรส

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม	
					aroma	flavor
5.	sweet aromatics	กลิ่นโดยรวมของตัวอย่างที่ทำให้ความรู้สึกหวาน เช่น กลิ่นของผลไม้หรือดอกไม้ (น้อย-----มาก)	1) น้ำตาลทรายแดง ตรามิตรผล®	ผสมน้ำตาลทรายแดง 20 กรัม กับน้ำ 200 มิลลิลิตร	3.0	3.5
6.	cooked	กลิ่นของอาหารที่ผ่านการแปรสภาพด้วยความร้อน โดยการนึ่งหรือต้ม (น้อย-----มาก)	1) ข้าวสุกอบกรอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ตรา ลูกเต๋า®	1) ข้าวสุกอบกรอบแห้ง 5 กรัมต่อน้ำร้อน (ต้มจนเดือด) 350 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน และทิ้งไว้ 7 นาที กรองเอาแต่น้ำ	2.0	4.0
				2) ข้าวสุกอบกรอบแห้ง 20 กรัมต่อน้ำร้อน (ต้มจนเดือด) 300 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน และทิ้งไว้ 7 นาที กรองเอาแต่น้ำ	5.5	7.0
7.	lard (ไขมันหมู)	กลิ่น/กลิ่นรสเฉพาะตัวของไขมันหมู ประกอบด้วย กลิ่นไขมัน ชุป brown เจือด้วยกลิ่นเนื้อสัตว์ กลิ่น หวานและกลิ่นเค็ม (น้อย-----มาก)	1) ไขมันหมู ตรา ซีพี®	1) ให้ความร้อนมันหมู 100 กรัม โดย ไมโครเวฟ นาน 1.30 นาที นำน้ำมันที่ ละลายออกมาผสมน้ำในอัตราส่วน 1:10	4.5	2.5
				2) ให้ความร้อนมันหมู 100 กรัม โดย ไมโครเวฟ นาน 1.30 นาที นำน้ำมันที่ ละลายออกมาผสมน้ำในอัตราส่วน 1:3	6.0	4.5
8.	metallic	กลิ่น/กลิ่นรสโลหะคล้ายพวกเหล็ก ทองแดง (น้อย-----มาก)	1) สับปะรดเต็มแฉับ กระป๋องชนิดหวาน ตรา Brook®	เนื้อสับปะรดกระป๋อง ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว	3.0	2.5

ตารางภาคผนวก ก ที่ 2 (ต่อ) คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อมันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : กลิ่นและกลิ่นรส

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม	
					aroma	flavor
9.	sour aromatics	กลิ่นเปรี้ยว ชุน ของตัวอย่างที่ทำให้ความรู้สึกเปรี้ยว เช่น กลิ่นของน้ำส้มสายชู (น้อย-----มาก)	1) น้ำส้มสายชู ตรา Heinz® White Vinegar in water	ผสมน้ำส้มสายชู 30 มิลลิลิตร กับน้ำ 180 มิลลิลิตร	5.0	7.0
10.	brown	กลิ่น/กลิ่นรสของอาหารที่ผ่านความร้อน ประกอบด้วย กลิ่นคาราเมล และกลิ่นของอาหารที่เกือบไหม้ ซึ่ง สัมพันธ์กับกลิ่นอื่นๆ เช่น กลิ่นอบ ย่าง หวาน มัน (ไม่มี-----มาก)	1) น้ำซุปรวมสูตรเข้มข้น ตราเบทาโกร®	1) น้ำซุปรวม 2 มิลลิลิตร และน้ำ 200 มิลลิลิตร	3.0	2.5
				2) น้ำซุปรวม 60 มิลลิลิตร และน้ำ 120 มิลลิลิตร	7.5	7.0
11.	urine	กลิ่น/กลิ่นรสน้ำปัสสาวะ ประกอบด้วยกลิ่นอับ ชื่น ชุนคล้ายแอมโมเนีย (น้อย-----มาก)	1) 2-Methylpentanoic acid	5,000 ppm 1 หยด เสิร์ฟในถ้วยขนาด 2 ออนซ์	3.0	-
12.	heated oil	กลิ่นหรือกลิ่นรสของน้ำมันที่ผ่านความร้อน ซึ่งทำให้ กลิ่นหรือกลิ่นรสบางกลิ่นเพิ่มขึ้น เช่น Brown Cooked อาจจะเจือด้วย กลิ่นหืน ชุน แสบจมูก หรืออาจทำให้ กลิ่นหรือกลิ่นรสบางกลิ่นลดลง เช่น กลิ่นเขียว ฯลฯ (น้อย-----มาก)	1) น้ำมันรำข้าว ตราคิง®	น้ำมัน 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนใน ไมโครเวฟกำลังไฟ 1,000 วัตต์ 5 นาที	7.0	7.0
13.	card board	กลิ่นหรือกลิ่นรสกระดาษลูกฟูกสีน้ำตาล ประกอบด้วย กลิ่นและกลิ่นรสแห้งอับจางๆ คล้ายฟางแห้ง (ไม่มี-----มาก)	ข้าวฟองอบกรอบ ตราเคลลี่ค็อกซ์ โรส คริสปีส์	ข้าวฟองอบกรอบ กลิ่น จำนวน 3 เม็ด กลิ่นรส จำนวนครึ่งช้อนชิม	4.0	3.0

ตารางภาคผนวก ก ที่ 3 คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : เนื้อสัมผัส และ chemical feeling

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
Lip feel วิธีการประเมิน ประเมินจากปริมาณน้ำมันโดยใช้ริมฝีปากสัมผัส (เม้มปาก) ตัวอย่าง 1 ครั้ง					
1.	oily lip feel	ความเป็นน้ำมันติดริมฝีปาก หรือความรู้สึกมันที่ติดริมฝีปาก (น้อย-----มาก)	1) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น® 2) เต้าหู้ขาว ตรา ถิณ®	1) หมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 2) เต้าหู้ขาว ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว	2.0 9.0
First bite (กัดครั้งแรก-ฟันกราม)					
1.	firmness	ระดับความแน่นเนื้อของตัวอย่างเมื่อกัดครั้งแรก วิธีการ: กัดตัวอย่างด้วยฟันกราม แล้วประเมินความแน่นเนื้อ (น้อย-----มาก)	1) ถั่วแดงในน้ำเกลือ ตรา MICA 2) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น 3) ไส้กรอกบราทเวิร์สตราบุญเซอร์®	1) ถั่วแดงในน้ำเกลือ 1 เม็ด 2) หมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 3) หั่นไส้กรอก ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว	3.0 5.0 7.0
2.	hardness	แรงที่ใช้กัดตัวอย่างจนเสียรูป วิธีการ: กัดตัวอย่างด้วยฟันกรามแล้วประเมินแรงที่ใช้ (น้อย-----มาก)	1) ถั่วแดงในน้ำเกลือ ตรา MICA® 2) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น 3) ไส้กรอกบราทเวิร์สตราบุญเซอร์®	1) ถั่วแดงในน้ำเกลือ 1 เม็ด 2) หั่นหมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 3) หั่นไส้กรอก ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว	3.0 4.0 6.0
3.	springiness	ระดับการคืนกลับสู่รูปร่างเดิมของตัวอย่างจากแรงกดโดยฟันกราม วิธีการ: ประเมินการกลับสู่รูปร่างเดิมของตัวอย่างโดยใช้ฟันกรามกดลง (น้อย-----มาก)	1) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น® 2) เยลลี่เจลาตินผสมน้ำองุ่น ตรา yoyo® (แบบไม่มีไส้)	1) หมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 2) เยลลี่ จำนวน 1 ชิ้น	6.0 9.5
4.	tooth pull	แรงที่ใช้ในการดึงฟันกรามออกจากตัวอย่าง (น้อย-----มาก)	1) ลูกอมช็อคโกแลต ตรา M&M's® 2) Werther's Original soft cream coffees®	1) Milk chocolates M&M's® 2) Werther's Original soft cream coffees® จำนวน ½ ชิ้น	2.0 5.0

ตารางภาคผนวก ก ที่ 3 (ต่อ) คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : เนื้อสัมผัส และ chemical feeling

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
5.	crispness	ระดับความกรอบของตัวอย่างประเมินความดังของเสียงในปาก เมื่อกัดตัวอย่างครั้งแรก	1) ไส้กรอกบราทเวอร์ส ตรายูเชอร์®	ไส้กรอกบราทเวอร์ส ตรายูเชอร์® หั่น 2 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น	3.5
Chew down วิธีการประเมิน ประเมินขณะเคี้ยวตัวอย่าง					
6.	moistness	ระดับความชุ่มชื้นของตัวอย่างที่รู้สึกได้ขณะเคี้ยว วิธีการ: ประเมินความชุ่มชื้นของตัวอย่างขณะเคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกรามระหว่างคำที่ 1-5	1) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น® 2) เต้าหู้ขาว ตรา คินู®	1) หั่นหมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 2) เต้าหู้ขาว ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว	3.0 8.0
7.	chewiness	ความยากในการเคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม วิธีการ: ประเมินความยากในการเคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกรามขณะเคี้ยวคำที่ 1-15 (ง่าย-----ยาก)	1) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น® 2) เยลลี่เจลาตินผสมน้ำองุ่น ตรา yoyo® (แบบไม่มีไส้)	1) หั่นหมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 2) เยลลี่ 1 ชิ้น	4.0 8.0
8.	cohesiveness of mass	ระดับการเกาะรวมตัวของตัวอย่างที่รู้สึกได้ระหว่างเคี้ยว 10 ครั้ง (น้อย-----มาก)	1) ทุ่นาสเต็กในน้ำแร่ ตรา SEALECT® 2) แครกเกอร์ ตรา Ritz®	1) ทุ่นาสเต็กในน้ำแร่ 2) แครกเกอร์ ½ แผ่น	3.0 7.0
9.	roughness	ระดับการเสียดสีของพื้นผิวตัวอย่างในระหว่างการเคี้ยว วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่าง 1 ชิ้นด้วยฟันกราม 10 ครั้ง แล้วใช้ปลายลิ้นดันกับเพดานปาก (ละเอียด--หยาบ)	1) ทุ่นาสเต็กในน้ำแร่ ตรา SEALECT® 2) ถั่วลิสงอบเกลือ ตราทองการ์เด็น®	1) ทุ่นาสเต็กในน้ำแร่ 2) ถั่วลิสงอบเกลือ จำนวน 2 ซีก	3.0 5.0

ตารางภาคผนวก ก ที่ 3 (ต่อ) คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : เนื้อต้มสุก และ chemical feeling

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
10.	oily mouth feel	ความรู้สึกความเป็นน้ำมันภายในปากระหว่างการชิม	1) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น®	1) หั่นหมูยอ	2.5
		วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 10 ครั้ง แล้วประเมินปริมาณน้ำมันภายในปาก (น้อย-----มาก)	2) น้ำมันรำข้าว ตราคิง®	ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว 2) น้ำมันรำข้าว จำนวน 1 ช้อนชิม	10.0
11.	chew count	จำนวนครั้งในการเคี้ยวตัวอย่างจนพร้อมที่จะกลืน วิธีการ: เคี้ยวตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ (1 ครั้งต่อ 1 วินาที) ด้วยฟันกรามข้างเดียวจนพร้อมกลืน (น้อย-----มาก)	1) หมูยอ ตรา ส.ขอนแก่น®	หั่นหมูยอ ขนาด 0.5×0.5×0.5 นิ้ว (เคี้ยว 30-35 ครั้ง)	6.0
12.	particle	ปริมาณของตัวอย่างที่เหลืออยู่ภายในปากขณะบดบริเวณพื้นหลังกลืน (ไม่มี-----มาก)	1) มันฝรั่งทอดกรอบ	1) มันฝรั่งทอดกรอบ ½ แผ่น	2.5
		รส original ตรา Lay's Stax® 2) ถั่วลิสงอบเกลือ ตราทองการ์เด็น®	2) ถั่วลิสงอบเกลือ จำนวน 2 ซีก	5.0	
Chemical feeling วิธีการประเมิน ประเมินความรู้สึกเฟื่อนภายในช่องปากหลังชิมตัวอย่างทันที					
1.	astringent	ความรู้สึกแห้ง ฝืด เฟื่อน ภายในช่องปาก (ไม่มี-----มาก)	1) สารละลาย Alum	สารละลาย Alum ร้อยละ 0.03	1.5

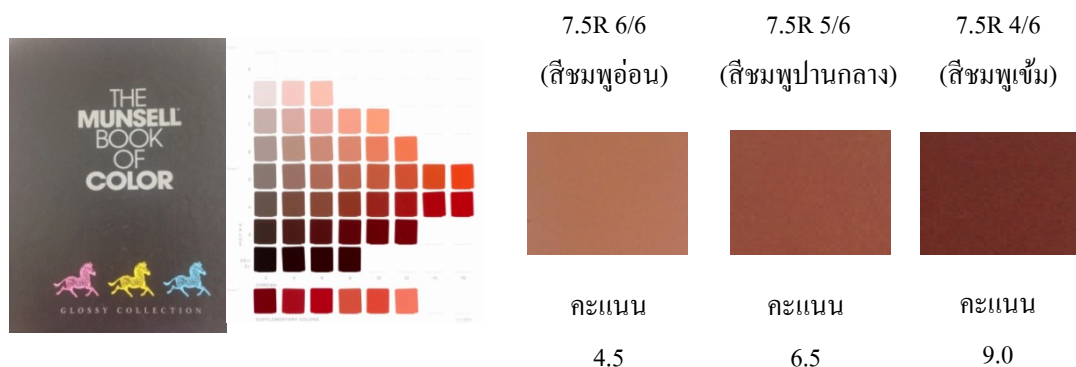
ตารางภาคผนวก ก ที่ 4 คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : รสชาติและกลิ่นรสตกค้าง
หลังกลืน (aftertaste)

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ	ตัวอย่างอ้างอิง	การเตรียมตัวอย่างอ้างอิง	ระดับความเข้ม
รสชาติ วิธีการประเมิน ชิมตัวอย่าง 1 ชิ้นแล้วประเมินความเข้มของรส					
1.	sour	การรับรู้รสพื้นฐานของลิ้น เมื่อถูกกระตุ้นด้วยกรดซิตริก (น้อย-----มาก)	1) Citric acid	0.015% Citric acid Solution 0.05% Citric acid Solution	1.5 3.0
2.	salty	การรับรู้รสพื้นฐานของลิ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเกลือ (น้อย-----มาก)	1) NaCl	0.20% NaCl Solution 0.35% NaCl Solution	2.5 5.0
3.	sweet	การรับรู้รสพื้นฐานของลิ้น เมื่อถูกกระตุ้นด้วยน้ำตาล หรือสารให้ความหวาน (น้อย-----มาก)	1) Sucrose	2% Sucrose Solution	2.0
4.	umami	รสหวานปนเค็มที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่น พบในสาหร่าย เห็ด น้ำซุป (น้อย-----มาก)	1) Salt	0.2% Salt Solution 0.35% Salt Solution	2.5 5.0
ความรู้สึกลิ้นตกค้าง วิธีการประเมิน ชิมตัวอย่าง 1 ชิ้นแล้วประเมินความเข้มของความรู้สึกลิ้นตกค้างหลังกลืน 30 วินาที					
1.	cooked Pork ID	กลิ่น/กลิ่นรสเฉพาะตัวของหมู ซึ่งประกอบด้วยกลิ่นสาบ กลิ่นฮอร์โมน กลิ่น Urine และกลิ่นอับ (น้อย-----มาก)			
2.	metallic	กลิ่น/กลิ่นรสโลหะคล้ายพวกเหล็ก ทองแดง (น้อย-----มาก)			
3.	lard	กลิ่น/กลิ่นรสเฉพาะตัวของไขมันหมู ประกอบด้วยกลิ่นไขมัน ชุป brown เจือด้วยกลิ่นเนื้อสัตว์ กลิ่นหวานและกลิ่นเค็ม (น้อย-----มาก)			

ตารางภาคผนวก ก ที่ 4 (ต่อ) คำศัพท์และนิยามบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรที่ผ่านการทำให้สุก : รสชาติและกลิ่นรส
ตกค้างหลังกลืน (aftertaste)

ลำดับ	คำศัพท์	คำจำกัดความ
4.	brothy	ความรู้สึกตกค้างของกลิ่นรสน้ำซุปภายในปากหลังจากกลืน หรือบ้วนตัวอย่าง 30 วินาที (น้อย-----มาก)
5.	sour	การรับรู้รสพื้นฐานของลิ้น เมื่อถูกระตุ้นด้วยกรดซิตริก (น้อย-----มาก)
6.	salty	การรับรู้รสพื้นฐานของลิ้นเมื่อถูกระตุ้นด้วยเกลือ (น้อย-----มาก)
7.	sweet	การรับรู้รสพื้นฐานของลิ้น เมื่อถูกระตุ้นด้วยน้ำตาล หรือสารให้ความหวาน (น้อย-----มาก)
8.	umami	รสหวานปนเค็มที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่น พบในสาหร่าย เห็ด น้ำซุป (น้อย-----มาก)

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมิน
ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน



ภาพภาคผนวก ข ที่ 1 หนังสือมาตรฐานสี: The Munsell book of color glossy collection

(Munsell® Color Services, 2.5R-10G, New Windsor, New York, USA)

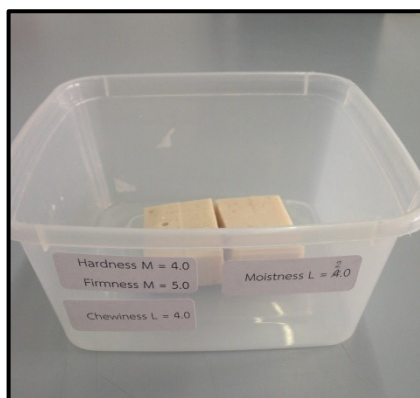
ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการประเมินลักษณะปรากฏด้านสีของเนื้อสันนอกสุกรดิบ เพื่อบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา



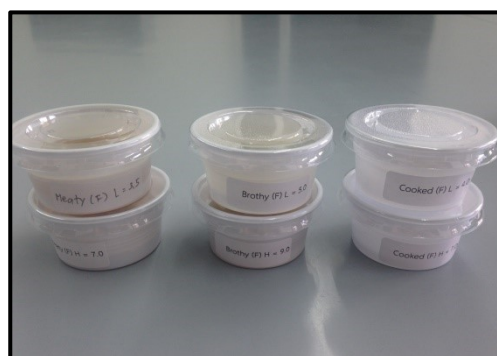
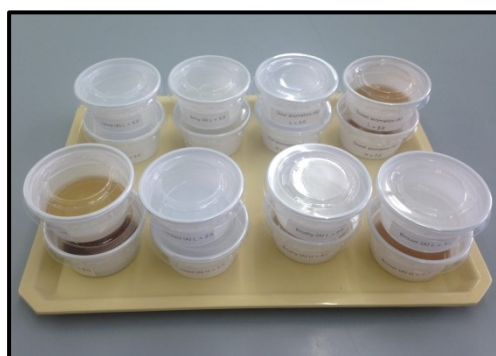
ภาพภาคผนวก ข ที่ 2 ภาพมาตรฐานไขมันแทรกตามระบบ US National Pork Board (2011) ซึ่งใช้เป็นภาพอ้างอิงในการประเมินลักษณะปรากฏด้านปริมาณไขมันแทรกของเนื้อสันนอกสุกรดิบ เพื่อบรรยายลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา



ลักษณะการจัดวางสิ่งที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างอ้างอิง แบบฟอร์ม แก้วน้ำ และถ้วยสำหรับใส่เศษเนื้อที่เหลือจากการประเมิน



ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อสันนอกสุกร

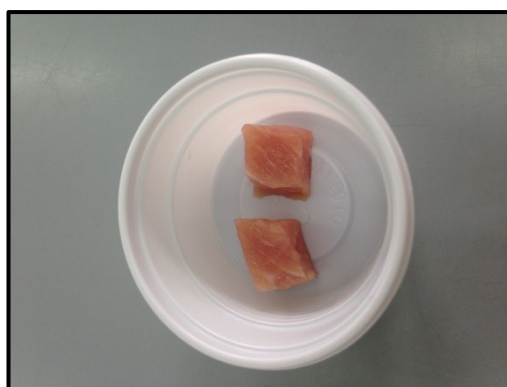


ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านลักษณะกลิ่น กลิ่นรส
รสชาติ และกลิ่นรสตกค้างหลังลิ้น (aftertaste) ของเนื้อสันนอกสุกร

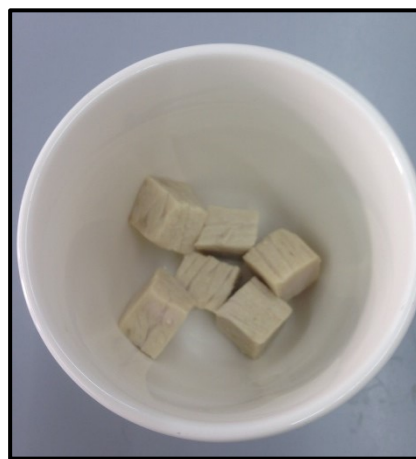
ภาพภาคผนวก ข ที่ 3 ตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส
เชิงพรรณนาของเนื้อสันนอกสุกรดิบและสุก โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน



ภาพภาคผนวก ข ที่ 4 การนำเสนอตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกดิบที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านลักษณะปรากฏ ได้แก่ สีของเนื้อและระดับของไขมันแทรก โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน



ภาพภาคผนวก ข ที่ 5 การเสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกดิบที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่น โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน



ภาพภาคผนวก ข ที่ 6 การเสิร์ฟตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกสุกที่ใช้ในการประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน



ภาพภาคผนวก ข ที่ 7 การประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของ
เนื้อสันนอกสุกรโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน



ภาพภาคผนวก ข ที่ 8 ผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสที่ผ่านการฝึกฝน เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา
ปริญญาโทของหน่วยวิจัยทางประสาทสัมผัสและผู้บริโภคแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(Kasetsart University Sensory Evaluation and Consumer Research; KUSCR)

ภาคผนวก ค

แบบประเมินลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
ของเนื้อสัตว์นอกสุกรโดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน

ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (ดิบ)

ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

Appearance

1. สีชมพู



2. ปริมาณไขมัน

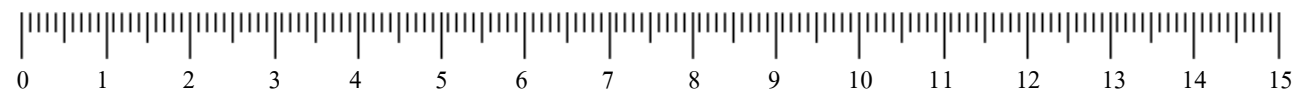


Aroma

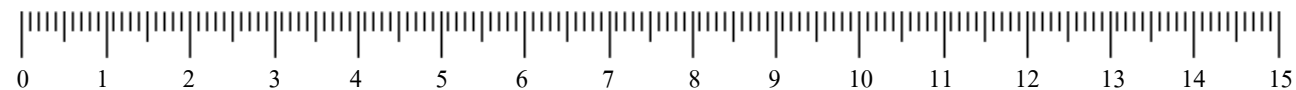
3. metallic



4. sweet aromatics



5. raw pork ID



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

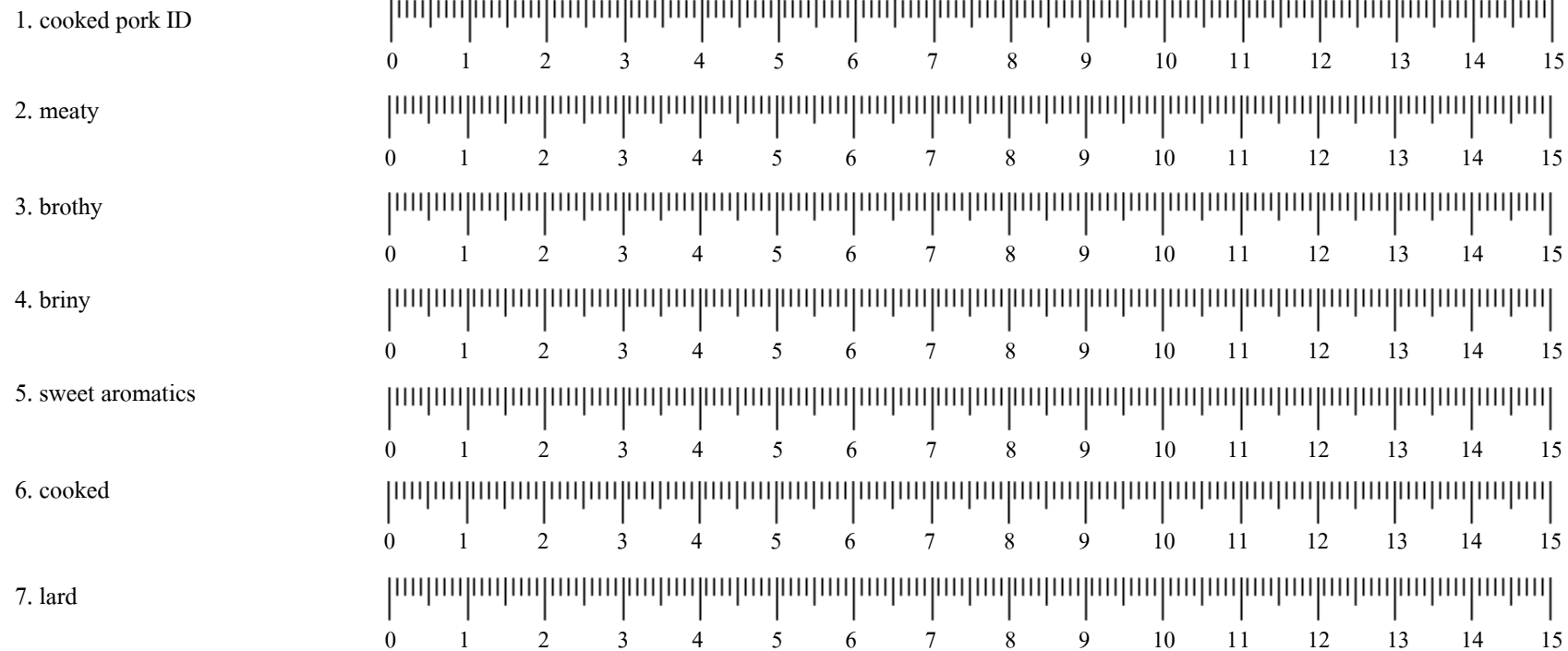
ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มข้นแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

Aroma



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

Aroma

8. metallic



9. sour aromatics



10. brown



11. urine



12. heated oil



13. card board



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูนอก (สุก)

ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

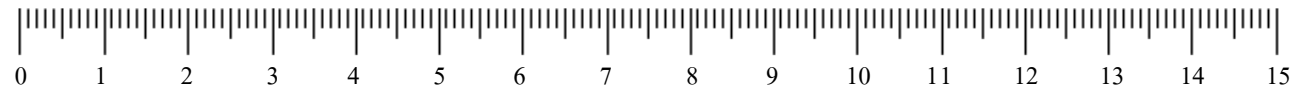
คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มข้นแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

flavor

1. cooked pork ID



2. meaty



3. brothy



4. briny



5. sweet aromatics



6. cooked



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

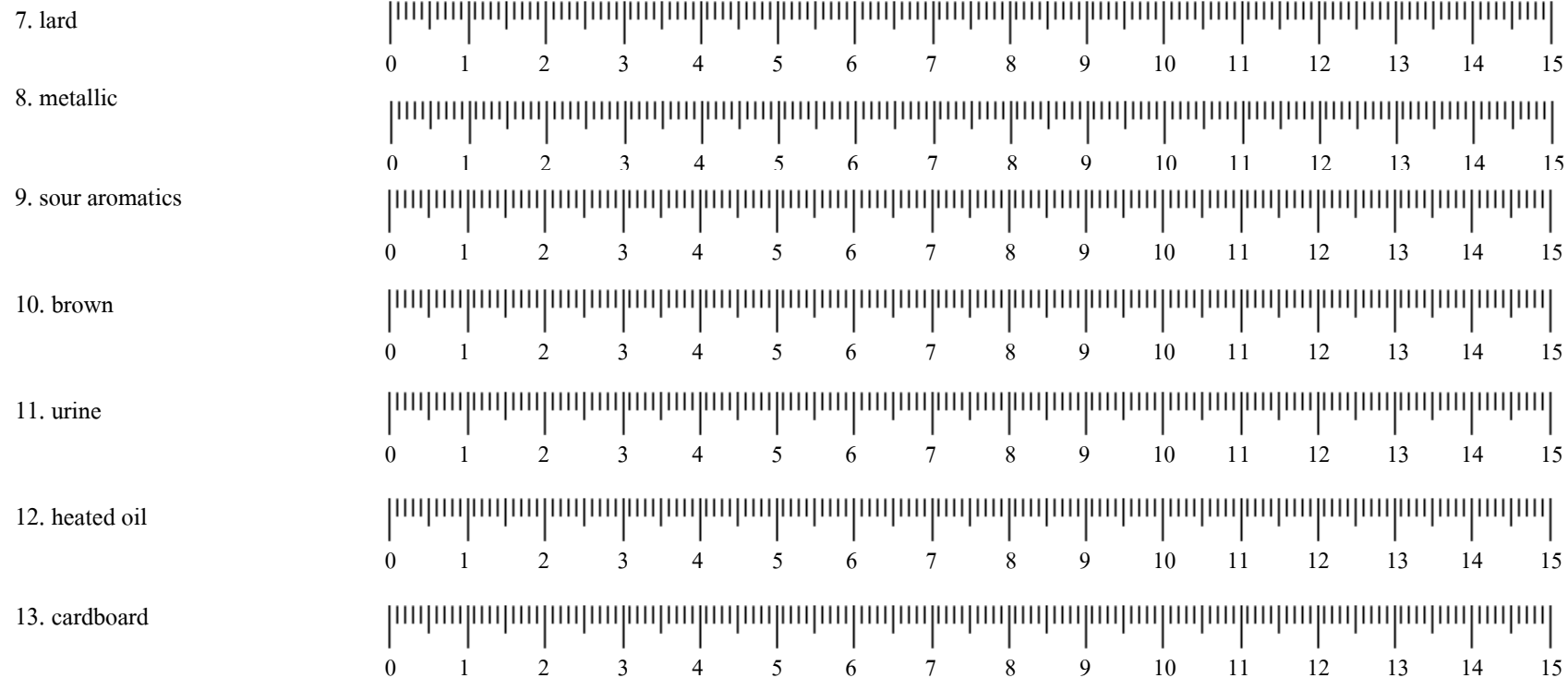
ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

flavor



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

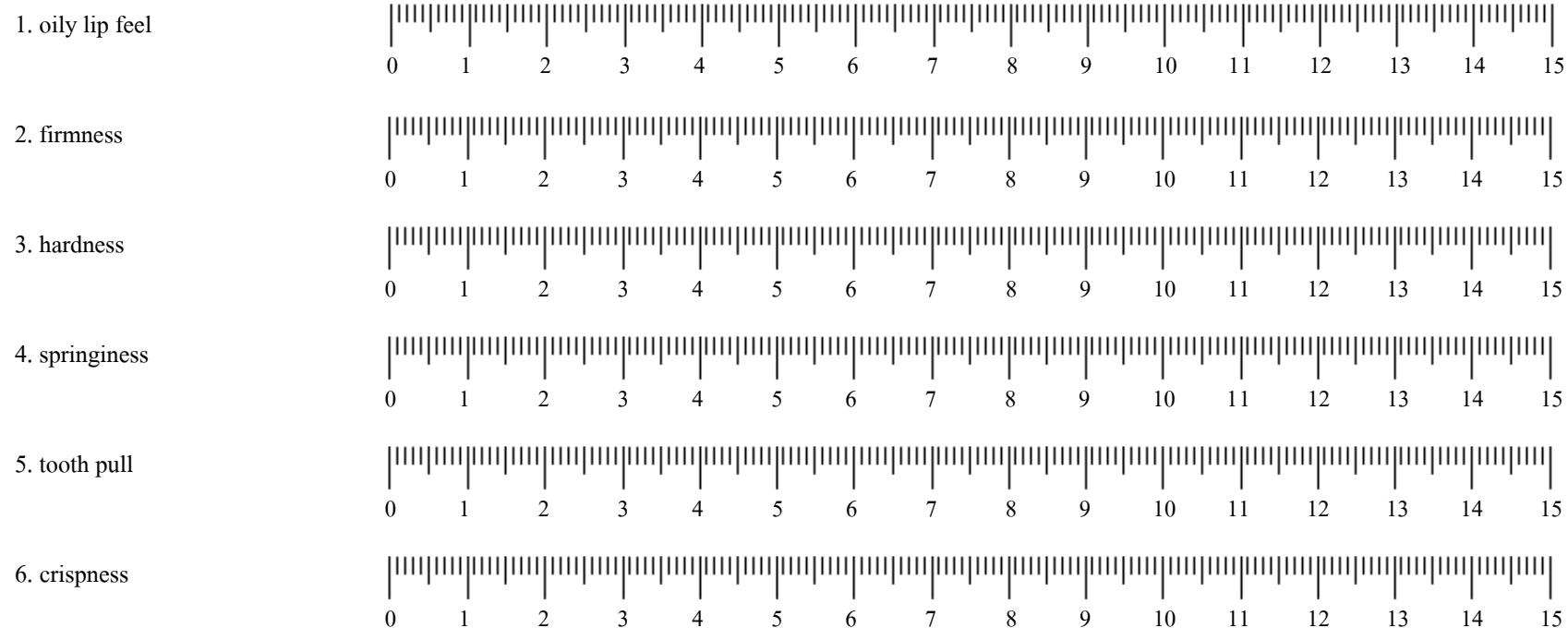
ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

Texture



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

ผู้ทดสอบ.....

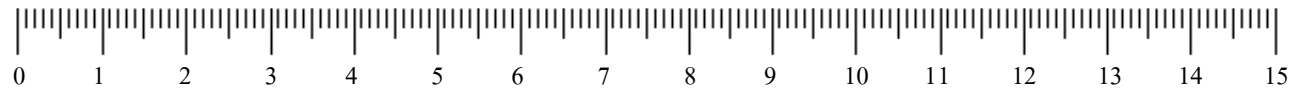
วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

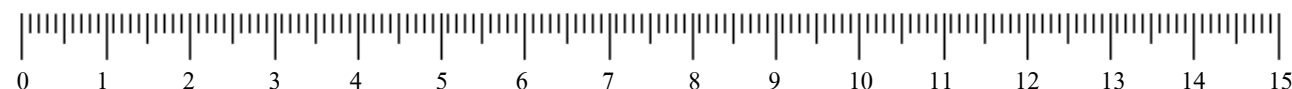
คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

Texture

7. moistness



8. chewiness



9. cohesiveness of mass



10. roughness



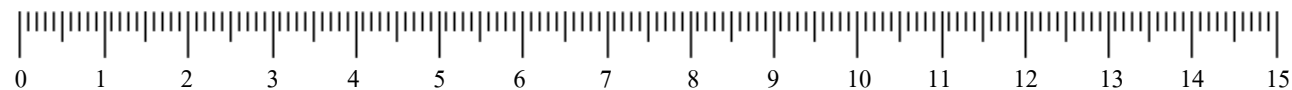
11. oily mouth feel



12. chew count



13. particle



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

ผู้ทดสอบ.....

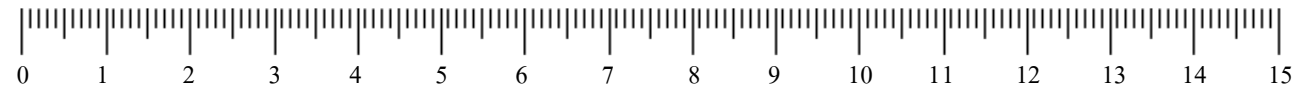
วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มข้นแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

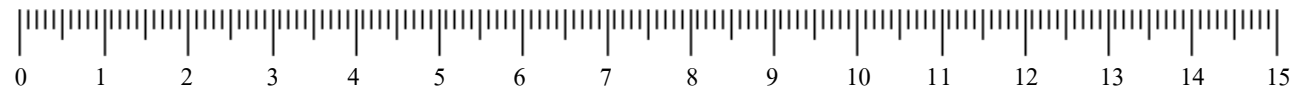
Chemical feeling

1. astringent



Taste

1. sour



2. salty



3. sweet

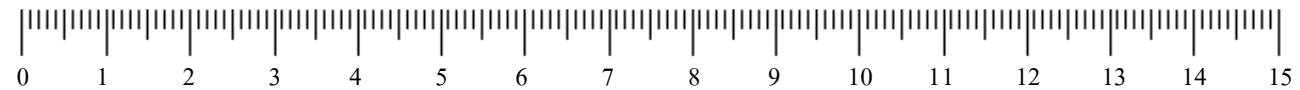


4. umami



Aftertaste

1. cooked pork ID



ใบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หมูสันนอก (สุก)

ผู้ทดสอบ.....

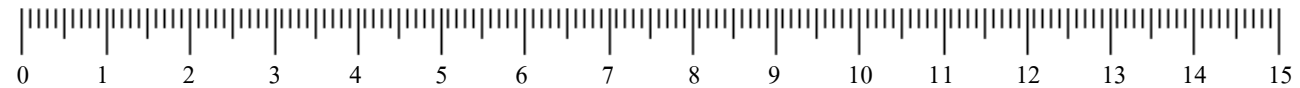
วันที่.....

รหัสตัวอย่าง.....

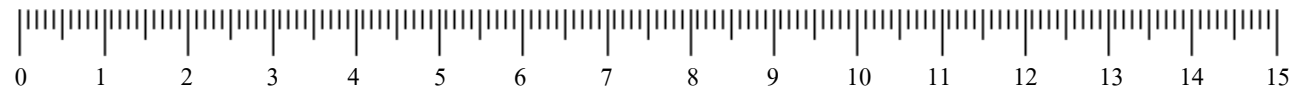
คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างแล้วทำเครื่องหมาย | ลงบนสเกลความเข้มข้นแต่ละคุณลักษณะในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน *กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

Aftertaste

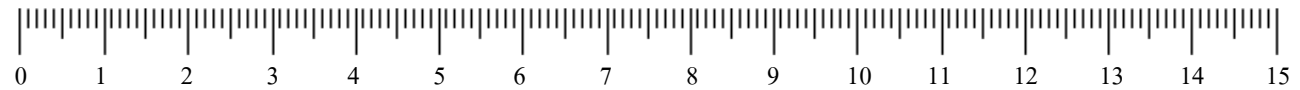
2. metallic



3. lard



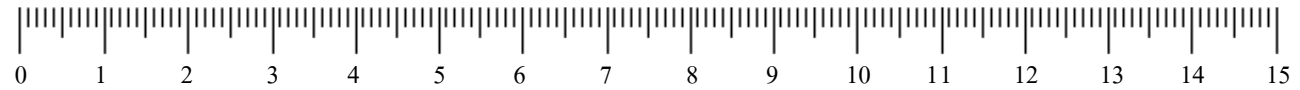
4. brothy



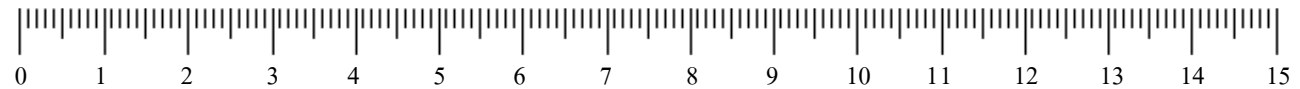
5. sour



6. salty



7. sweet



8. umami



ภาคผนวก ง

แบบสอบถามและประเมินความชอบในการบริโภค
และเลือกซื้อเนื้อสุกร

แบบสอบถามและประเมินความชอบในการบริโภคและซื้อเนื้อสุกร

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อสุกร ซึ่งต้องการสอบถามถึงข้อมูลและความคิดเห็นส่วนบุคคลของท่านเกี่ยวกับการบริโภคเนื้อสุกร และอีกส่วนหนึ่งเป็นการศึกษาความชอบของท่านจากการรับประทานเนื้อสุกรที่ผ่านการทำสุกแล้ว และความสนใจในการซื้อ

*** ผู้วิจัยได้แจ้งให้ท่านทราบและท่านยินดีให้ความร่วมมือเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยครั้งนี้

ถ้าท่านยินดีให้ความร่วมมือ กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ยินดี ***

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลง ใน ☐ หรือเติมข้อความในช่องว่างตามความเป็นจริง

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
2. อายุ ☐ 18-25 ปี ☐ 26-35 ปี ☐ 36-45 ปี
☐ 46-55 ปี ☐ 56-65 ปี ☐ 65 ปี ขึ้นไป
3. สถานภาพ ☐ โสด ☐ สมรส ☐ อื่นๆ
4. การศึกษา ☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท
☐ ปริญญาเอก ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
5. อาชีพ ☐ ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ ☐ พนักงานบริษัท / รัฐวิสาหกิจ
☐ ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย ☐ นักเรียน/นักศึกษา
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
6. รายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อเดือน
☐ ต่ำกว่า 7,500 บาท ☐ 7,501-18,000 บาท ☐ 18,001-24,000 บาท
☐ 24,001-35,000 บาท ☐ 35,001-50,000 บาท ☐ 50,001-85,000 บาท
☐ มากกว่า 85,000 บาท
7. จำนวนสมาชิกในครอบครัว คน
8. ลักษณะที่อยู่อาศัย
☐ บ้านเดี่ยว ☐ คอนโดมิเนียม ☐ อาคารพาณิชย์ / ทาวน์เฮาส์
☐ อพาร์ทเมนต์ / หอพัก ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
9. ท่านชอบรับประทานเนื้อหมูหรือไม่ เพราะเหตุใด
☐ ชอบ เพราะ (โปรดระบุ).....
☐ ไม่ชอบ เพราะ (โปรดระบุ).....

ตอนที่ 2 พฤติกรรมการซื้อและบริโภคเนื้อสุกร

คำชี้แจง โปรดพิจารณาข้อความต่อไปนี้และตอบความคิดเห็นโดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความในช่องว่างตามความเป็นจริง

1. โดยปกติท่านซื้อเนื้อหมูเองหรือไม่

☐ ซื้อเอง

☐ ไม่ได้ซื้อเอง

2. โดยปกติท่านหรือบุคคลในครอบครัวซื้อเนื้อหมูจากแหล่งใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ 1. ซูเปอร์มาร์เก็ต (Tops market / Gourmet market / Villa market / Foodland / Maxvalu)

☐ 2. ร้านค้าปลีกสมัยใหม่ (Modern trade: makro / Big C / Tesco)

☐ 3. ร้านค้าปลีกเนื้อสัตว์สมัยใหม่ (CP fresh mart / Betagro shop)

☐ 4. รถขายกับข้าว

☐ 5. ตลาดสด

☐ 6. อื่นๆ (โปรดระบุ).....

3. ท่านหรือบุคคลในครอบครัวซื้อเนื้อหมูจากแหล่งใดเป็นประจำ (โปรดระบุ)

4. โดยปกติท่านหรือบุคคลในครอบครัวเลือกซื้อเนื้อหมูแบรนด์ใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ Betagro

☐ S-Pure

☐ CP

☐ CP-กูโรนตะ

☐ ไม่มีชื่อ

☐ Natural meat

☐ Green pork

☐ Gunn pork

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

5. ความถี่ในการซื้อเนื้อหมูโดยเฉลี่ย

☐ ทุกวัน

☐ 4-5 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 1 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 2-3 ครั้งต่อเดือน

☐ 1 ครั้งต่อเดือน

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

6. ปริมาณการซื้อเนื้อหมูโดยเฉลี่ยต่อครั้ง

☐ น้อยกว่า 300 กรัม

☐ 300-500 กรัม

☐ 501 กรัม – 1 กิโลกรัม

☐ มากกว่า 1 กิโลกรัม

7. ความถี่ในการรับประทานเนื้อหมูโดยเฉลี่ยต่อสัปดาห์ (ครั้ง หมายถึง จำนวนครั้งที่รับประทาน)

☐ ไม่เกิน 1 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 4-5 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ มากกว่า 5 ครั้งต่อสัปดาห์

8. ท่าน นิยมบริโภค อาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชานู อาหารแบบเกาหลีหรือญี่ปุ่นหรือไม่

☐ ใช่

☐ ไม่ใช่

9. ท่าน นิยมปรุง อาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชานู อาหารแบบเกาหลีหรือญี่ปุ่นทานเองที่บ้านหรือไม่

☐ ใช่

☐ ไม่ใช่

10. เมื่อท่าน บริโภคเนื้อหมู ในอาหารประเภทปิ้งย่าง จิ้มจุ่ม ชานู ท่านพิจารณาถึงสิ่งใดเป็นอันดับแรก

☐ ความนุ่ม

☐ ความชุ่มฉ่ำ

☐ กลิ่นรส

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

11. เมื่อท่าน บริโภคอาหารประเภทสับ ท่านพิจารณาถึงสิ่งใดเป็นอันดับแรก

☐ ความนุ่ม

☐ ความชุ่มฉ่ำ

☐ กลิ่นรส

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

12. ท่าน นิยมบริโภค อาหารเพื่อสุขภาพหรือไม่

☐ ใช่

☐ ไม่ใช่

ตอนที่ 3 แบบประเมินความพึงพอใจในการบริโภคเนื้อสุกร

คำชี้แจง 1. ท่านจะได้รับตัวอย่างเนื้อหมูปรุงสุก 3 ตัวอย่าง

2. กรุณาใส่เลขรหัสตัวอย่างที่ท่านได้รับลงในช่องว่างให้ตรงตามลำดับตัวอย่างที่ได้รับ
3. กรุณากลั้วปากด้วยน้ำเล็กน้อยก่อนชิมตัวอย่างแรก
4. ก่อนชิมตัวอย่างถัดไป กรุณาทานแครกเกอร์เล็กน้อยแล้วตามด้วยการกลั้วปากด้วยน้ำดื่มเล็กน้อยเพื่อล้างสิ่งตกค้างภายในปาก ท่านสามารถบ้วนหรือคายทิ้งในถ้วยทรงสูงที่เตรียมไว้ให้
5. ให้ท่านชิมตัวอย่างเนื้อหมูทีละตัวอย่างตามลำดับที่ได้รับ แล้วพิจารณาระดับความชอบของท่านต่อแต่ละลักษณะของตัวอย่าง โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลง ในตารางด้านล่าง

โดย **ความนุ่ม** หมายถึง ความยากง่ายในการเคี้ยวเพื่อบริโภค

ความชุ่มฉ่ำ หมายถึง ปริมาณความชุ่มฉ่ำจากเนื้อที่เกิดขึ้นในระหว่างการบริโภค

ความมัน หมายถึง ปริมาณการเคลือบของไขมันจากเนื้อที่เกิดขึ้นในระหว่างการบริโภค

ตัวอย่างที่

ระดับความชอบ	รหัส.....				
	ความนุ่ม	ความชุ่มฉ่ำ	ความมัน	กลิ่นและรสชาติโดยรวม	ความชอบโดยรวม
ชอบมากที่สุด					
ชอบมาก					
ชอบปานกลาง					
ชอบเล็กน้อย					
เฉยๆ					
ไม่ชอบเล็กน้อย					
ไม่ชอบปานกลาง					
ไม่ชอบมาก					
ไม่ชอบมากที่สุด					

ท่านรู้สึกว่าคุณสมบัติที่กำลังทดสอบมีความมันเป็นอย่างไรมากที่สุด

☐ ไม่มันเลย ☐ มันเล็กน้อย ☐ มันปานกลาง ☐ มันมาก ☐ มันมากที่สุด

ท่านรู้สึกว่าคุณสมบัติที่กำลังทดสอบมีความอร่อยในระดับใดมากที่สุด

☐ ไม่อร่อย ☐ ไม่อร่อย ☐ ไม่อร่อย ☐ ไม่อร่อย ☐ เฉยๆ ☐ อร่อย ☐ อร่อย ☐ อร่อยมาก ☐ อร่อยมากที่สุด

ความคิดเห็นเพิ่มเติม.....

ตอนที่ 4 แบบประเมินความพึงพอใจในการเลือกซื้อเนื้อสุกร

คำชี้แจง 1. ให้ท่านพิจารณาภาพตัวอย่างเนื้อหมูทั้ง 3 ภาพ ที่ละภาพ

2. กรุณาใส่เลขรหัสตัวอย่างภาพที่ท่านได้รับตามลำดับ

3. ให้ท่านพิจารณาภาพตัวอย่างเนื้อหมูทีละตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอจากทางด้านซ้ายมือของท่านไป

ยังตัวอย่างทางขวามือ แล้วพิจารณาเลือกระดับความชอบของท่านต่อปริมาณไขมันแทรกในแต่ละตัวอย่าง

โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลง ในตารางด้านล่างให้ตรงกับระดับความชอบของท่าน

ตัวอย่างที่.....

ระดับความชอบ	รหัส.....
	ปริมาณไขมันแทรก (ปริมาณจุดหรือลายเส้นสีขาวบนผิวหนังชั้นเนื้อ ไม่รวมไขมันที่ขอบ)
ชอบมากที่สุด	
ชอบมาก	
ชอบปานกลาง	
ชอบเล็กน้อย	
เฉยๆ	
ไม่ชอบเล็กน้อย	
ไม่ชอบปานกลาง	
ไม่ชอบมาก	
ไม่ชอบมากที่สุด	

ผลการตัดสินใจซื้อ

เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันแทรกในภาพชั้นเนื้อ รหัส..... ท่านจะตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อชิ้นนี้หรือไม่

☐ ซื้อแน่นอน ☐ อาจจะซื้อ ☐ ไม่มั่นใจ ☐ อาจจะไม่ซื้อ ☐ ไม่ซื้อแน่นอน

เพราะ.....

ความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก จ
ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมี กายภาพ และ
คุณภาพด้านการบริโภคของเนื้อสันนอกสุกร
ที่มีไขมันแทรกแตกต่างกัน

ตารางภาคผนวก จ ที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

	VML ²⁾	moisture	fat	ash	protein	pH	DL	TL	CL	WBSF ³⁾	SL	MFD ⁴⁾	TC ⁵⁾	IC ⁶⁾	SC ⁷⁾	CSP ⁸⁾	L* ⁹⁾	a* ⁹⁾	b* ⁹⁾	TBARS ¹⁰⁾
VML ²⁾	1																			
moisture	-.75**	1																		
fat	.91**	-.91**	1																	
ash	-.22	.23	-.19	1																
protein	-.30*	.33*	-.36*	.06	1															
pH	.28	.00	.11	.12	-.46**	1														
drip loss (DL)	-.46**	.44**	-.45**	.14	.34*	-.00	1													
Thawing loss (TL)	-.31*	-.11	-.09	-.05	-.05	-.22	.07	1												
cooking loss (CL)	-.47**	.49**	-.44**	-.04	.11	-.16	.39**	.17	1											
WBSF ³⁾	-.12	.17	-.24	.15	.44**	-.10	.21	-.14	.19	1										
Sarcomere (SL)	-.20	.17	-.13	.08	-.13	.01	-.03	.22	.06	-.22	1									
MFD ⁴⁾	-.13	-.10	-.06	-.29	-.10	.04	.15	-.17	-.07	.01	-.11	1								
TC ⁵⁾	.12	-.31*	.26	-.17	-.11	-.11	.04	.28	-.03	-.04	.18	-.15	1							
IC ⁶⁾	.17	-.33*	.29	-.16	-.11	-.06	.05	.22	-.05	-.04	.15	-.15	.99**	1						
SC ⁷⁾	-.36*	-.05	-.03	-.16	-.06	-.40**	-.04	.57**	.12	-.05	.33*	-.02	.61**	.52**	1					
CSP ⁸⁾	-.50**	.27	-.33*	.02	.04	-.33*	-.07	.36*	.18	-.03	.17	.11	-.33*	-.44**	.54**	1				
L* ⁹⁾	.10	-.24	.31*	-.18	-.12	-.32*	-.21	.37*	-.03	-.32*	.10	-.28	.24	.22	.28	.07	1			
a* ⁹⁾	.37**	-.19	.27	-.03	-.21	.52**	.05	-.28	-.17	-.02	-.08	.20	.02	.04	-.21	-.28	-.46**	1		
b* ⁹⁾	.50**	-.33*	.46**	-.15	-.23	.20	-.15	.00	-.16	-.37*	.08	-.04	.12	.12	.00	-.14	.37*	.52**	1	
TBARS ¹⁰⁾	-.17	.06	-.04	.03	.14	-.35*	-.19	.20	-.04	.23	.02	-.15	-.06	-.07	.02	.03	.15	-.18	-.13	1

* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Pearson's correlation coefficient

²⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันแทรก (VML) กับคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Spearman's rank correlation coefficient

³⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011), ⁴⁾ WBSF= Warner Bratzler Shear Force, ⁵⁾ MFD=muscle fiber diameter,

⁶⁾ TC=total collagen, ⁷⁾ IC=insoluble collagen, ⁸⁾ SC=soluble collagen, ⁹⁾ CSP=collagen solubility percentage, ¹⁰⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง,

¹⁰⁾ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) คือ การวัดค่าการออกซิเดชันของไขมันในเนื้อจากปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในเนื้อ

ตารางภาคผนวก จ ที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณกลูตาไธโอน และนิวคลีโอไทด์ของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

	VML ²⁾	C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C14:1	C16:1	C18:1	C20:1	C18:2n6	C18:3n3	C20:3C20:4	SFA ³⁾	UFA ⁴⁾	MUFA ⁵⁾	PUFA ⁶⁾	PUFA n-3	PUFA n-6	PUFA :SFA	GSH ⁷⁾	GSSG ⁸⁾	total GSH ⁹⁾	GSH:GSSG ¹⁰⁾	hypo ¹¹⁾	Ino ¹²⁾	IMP	GMP
VML ²⁾	1																										
C14:0	.19	1																									
C16:0	.54**	.76**	1																								
C18:0	.21	.39**	.57**	1																							
C20:0	.34*	.02	.23	.42**	1																						
C14:1	.32*	-.11	-.03	.01	-.06	1																					
C16:1	.28	.42**	.38*	-.42**	-.43**	.11	1																				
C18:1	.43**	-.31*	-.34*	-.68**	-.36*	.05	.44**	1																			
C20:1	.35*	.08	.21	-.21	.31*	-.17	.19	.14	1																		
C18:2n6	-.59**	-.37*	-.49**	.05	.28	-.05	-.69**	-.62**	-.16	1																	
C18:3n3	-.35*	-.24	-.33*	.28	.20	.04	-.67**	-.55**	-.22	.75**	1																
C20:3C20:4	-.78**	-.27	-.49**	-.20	-.26	-.10	-.30*	-.42**	-.32*	.76**	.38*	1															
SFA ³⁾	.33*	.66**	.87**	.89**	.37*	-.03	-.06	-.65**	-.02	-.16	.02	-.29	1														
UFA ⁴⁾	-.33*	-.66**	-.87**	-.89**	-.37*	.03	.06	.65**	.02	.16	-.02	.29	1.0**	1													
MUFA ⁵⁾	.38*	-.22	-.25	-.69**	-.40**	.07	.57**	.99**	.17	-.68**	-.61**	-.43**	-.61**	.61**	1												
PUFA ⁶⁾	-.67**	-.36*	-.51**	.01	.14	-.06	-.65**	-.61**	-.19	.99**	.74**	.81**	-.19	.19	-.66**	1											
PUFA n-3	-.69**	-.33*	-.52**	.02	-.08	-.05	-.58**	-.52**	-.32*	.87**	.84**	.76**	-.20	.20	-.57**	.90**	1										
PUFA n-6	-.62**	-.36*	-.49**	.04	.20	-.06	-.67**	-.62**	-.16	1.0**	.75**	.77**	-.17	.17	-.68**	1.0**	.88**	1									
PUFA:SFA	-.78**	-.21	-.43**	-.22	-.58**	-.08	-.17	-.20	-.39**	.47**	.27	.83**	-.30*	.30*	-.21	.54**	.63**	.49**	1								
GSH ⁷⁾	-.28	-.21	-.40**	-.12	-.12	-.09	-.26	-.05	-.21	.36*	.40**	.34*	-.27	.27	-.09	.37*	.48**	.35*	.34*	1							
GSSG ⁸⁾	.31*	.18	.14	.10	.37*	.18	-.00	.12	.17	-.20	-.07	-.40**	.10	-.10	.11	-.23	-.29	-.20	-.42**	-.05	1						
total GSH ⁹⁾	.01	-.01	-.17	-.01	.19	.07	-.18	.05	-.02	.10	.23	-.06	-.11	.11	.02	.08	.12	.09	-.08	.66**	.72**	1					
GSH:GSSG ¹⁰⁾	-.45**	-.36*	-.39**	-.05	-.20	-.19	-.33*	-.25	-.29	.51**	.40**	.60**	-.20	.20	-.28	.54**	.60**	.51**	.52**	.62**	-.66**	-.06	1				
hypo ¹¹⁾	.26	.21	.18	-.00	-.30*	-.03	.39**	.26	.01	-.45**	-.22	-.22	.05	-.05	.30*	-.43**	-.31*	-.45**	-.04	.06	.06	.09	-.13	1			
Ino ¹²⁾	-.04	.10	.14	-.10	-.12	.00	.32*	.01	.08	-.12	-.06	.05	.01	-.01	.06	-.08	-.03	-.10	.12	.07	.07	.10	-.07	.53**	1		
IMP	.15	-.02	.02	.08	.21	.06	-.16	.08	.05	-.09	-.07	-.18	.05	-.05	.05	-.11	-.20	-.09	-.20	-.17	.08	-.06	-.21	-.21	-.13	1	
GMP	.30*	.12	.09	-.02	-.07	-.04	.10	.11	.14	-.20	-.06	-.10	.04	-.04	.12	-.18	-.16	-.19	-.02	-.07	.03	-.03	-.12	.15	.22	.60**	1

* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

¹⁾ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Pearson's correlation coefficient และความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขมันแทรก (VML) กับคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพวิเคราะห์ด้วย Spearman's rank correlation coefficient,

²⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011), ³⁾SFA = saturated fatty acid, ⁴⁾UFA = unsaturated fatty acid, ⁵⁾MUFA = monounsaturated fatty acid, ⁶⁾PUFA = polyunsaturated fatty acid,

⁷⁾GSH=reduced glutathione content, ⁸⁾GSSG=oxidized glutathione content, ⁹⁾total GSH=total glutathione content, ¹⁰⁾GSH:GSSG=อัตราส่วนของ reduced glutathione ต่อ oxidized glutathione, ¹¹⁾hypo=hypoxanthine, ¹²⁾Ino=inosine

ตารางภาคผนวก จ ที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ ชนิดและสัดส่วนกรดไขมัน และ ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวของเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*) 209

	VML ²⁾	moist	fat	ash	pH	DL	CL	CSP ³⁾	a ⁴⁾	b ⁴⁾	GSH ⁵⁾	GSSG ⁶⁾	GSH:GSSG ⁷⁾	SFA ⁸⁾	UFA ⁹⁾	MUFA ¹⁰⁾	PUFA ¹¹⁾	PUFA n-3	PUFA n-6	PUFA:SFA
VML ²⁾	1																			
moisture (moist)	-.75**	1																		
fat	.91**	-.91**	1																	
ash	-.22	.23	-.19	1																
pH	.28	.00	.11	.12	1															
drip loss (DL)	-.46**	.44**	-.45**	.14	-.00	1														
cooking loss (CL)	-.47**	.49**	-.44**	-.04	-.16	.39**	1													
CSP ³⁾	-.50**	.27	-.33*	.02	-.33*	-.07	.18	1												
a ⁴⁾	.37**	-.19	.27	-.03	.52**	.05	-.17	-.28	1											
b ⁴⁾	.50**	-.33*	.46**	-.15	.20	-.15	-.16	-.14	.52**	1										
GSH ⁵⁾	-.28	.49**	-.42**	-.04	.17	.22	.23	.21	.07	.04	1									
GSSG ⁶⁾	.31*	-.02	.16	-.07	.26	.03	-.15	-.31*	.45**	.43**	-.05	1								
GSH:GSSG ⁷⁾	-.45**	.38**	-.39**	-.04	-.08	.05	.28	.42**	-.27	-.28	.62**	-.66**	1							
SFA ⁸⁾	.33*	-.23	.30*	-.11	.14	-.11	-.04	-.33*	-.03	.04	-.27	.10	-.20	1						
UFA ⁹⁾	-.33*	.23	-.30*	.11	-.14	.11	.04	.33*	.03	-.04	.27	-.10	.20	-1.00**	1					
MUFA ¹⁰⁾	.38*	-.41**	.31*	-.01	-.02	-.11	-.28	-.10	.23	.19	-.09	.11	-.28	-.61**	.61**	1				
PUFA ¹¹⁾	-.67**	.72**	-.68**	.11	-.10	.25	.39**	.44**	-.25	-.27	.37*	-.23	.54**	-.19	.19	-.66**	1			
PUFA n-3	-.69**	.67**	-.65**	.04	-.13	.23	.38*	.45**	-.30*	-.23	.48**	-.29	.60**	-.20	.20	-.57**	.90**	1		
PUFA n-6	-.62**	.70**	-.65**	.11	-.10	.23	.37*	.43**	-.25	-.25	.35*	-.20	.51**	-.17	.17	-.68**	1.0**	.88**	1	
PUFA:SFA	-.78**	.61**	-.72**	.07	-.15	.39**	.42**	.37*	-.20	-.37*	.34*	-.42**	.52**	-.30*	.30*	-.21	.54**	.63**	.49**	1

* เครื่องหมายกำกับกับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ** เครื่องหมายกำกับกับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

¹⁾ ค่าสหสัมพันธ์ Pearson's correlation ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ และค่าสหสัมพันธ์ Spearman's rank correlation ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตาคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ

²⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011), ³⁾ CSP=collagen solubility percentage, ⁴⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง, ⁵⁾ GSH=reduced glutathione content,

⁶⁾ GSSG=oxidized glutathione content, ⁷⁾ GSH:GSSG=อัตราส่วนของ reduced glutathione ต่อ oxidized glutathione, ⁸⁾ SFA = saturated fatty acid, ⁹⁾ UFA = unsaturated fatty acid, ¹⁰⁾ MUFA = monounsaturated fatty acid, ¹¹⁾ PUFA = polyunsaturated fatty acid

ตารางภาคผนวก จ ที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์¹⁾ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินจากสายตา (visual marbling level; VML²⁾) ต่อคุณภาพเนื้อทางเคมีกายภาพ ความชอบ ในการบริโภค และการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

210

	VML ²⁾	moisture	fat	ash	CP ³⁾	pH	DL ⁴⁾	TL ⁵⁾	CL ⁶⁾	WBSF ⁷⁾	SL ⁸⁾	MFD ⁹⁾	TC ¹⁰⁾	IC ¹¹⁾	SC ¹²⁾	CSP ¹³⁾	L* ¹⁴⁾	a* ¹⁴⁾	b* ¹⁴⁾	TA ¹⁵⁾	juicy ¹⁵⁾	oily ¹⁵⁾	flavor ¹⁵⁾	OV ¹⁵⁾	VMLL ¹⁵⁾	PI ¹⁵⁾
VML ²⁾	1																									
moisture	-.75**	1																								
fat	.91**	-.91**	1																							
ash	-.22	.23	-.19	1																						
CP ³⁾	-.30*	.33*	-.36*	.06	1																					
pH	0.28	.00	.11	.12	-.46**	1																				
DL ⁴⁾	-.46**	.44**	-.45**	.14	.34*	-.00	1																			
TL ⁵⁾	-.31*	.11	-.09	-.05	-.05	-.22	.07	1																		
CL ⁶⁾	-.47**	.49**	-.44**	-.04	.11	-.16	.39**	.17	1																	
WBSF ⁷⁾	-.12	.17	-.24	.15	.44**	-.10	.21	-.14	.19	1																
SL ⁸⁾	-.20	.17	-.13	.08	-.13	.10	-.03	.22	.06	-.22	1															
MFD ⁹⁾	-.13	-.10	-.06	-.29	-.10	.04	.15	-.17	-.07	.01	-.11	1														
TC ¹⁰⁾	.12	-.31*	.26	-.17	-.11	-.11	.04	.28	-.03	-.04	.18	-.15	1													
IC ¹¹⁾	.17	-.33*	.29	-.16	-.11	-.06	.05	.22	-.05	-.04	.15	-.15	.99**	1												
SC ¹²⁾	-.36*	-.05	-.03	-.16	-.06	-.40**	-.04	.57**	.12	-.05	.33*	-.02	.61**	.52**	1											
CSP ¹³⁾	-.50**	.27	-.33*	.02	.04	-.33*	-.07	.36*	.18	-.03	.17	.11	-.33*	-.44**	.54**	1										
L* ¹⁴⁾	.29	-.38*	.42**	-.03	-.15	-.27	-.24	.11	-.12	-.30*	.08	-.36*	.16	.15	.15	.02	1									
a* ¹⁴⁾	.08	-.04	.02	-.05	.12	.09	.29	-.12	.05	.05	-.30*	.28	.06	.06	-.04	-.11	-.49**	1								
b* ¹⁴⁾	.43**	-.32*	.40**	-.15	-.10	.14	-.01	.09	-.28	-.49**	.03	.03	.13	.14	.05	-.10	.07	.55**	1							
tender ¹⁵⁾	.36*	-.27	.28	-.07	-.19	.37*	-.04	-.51**	.01	.16	-.49**	.01	-.20	-.17	-.47**	-.29	.15	.09	-.02	1						
juicy ¹⁵⁾	.15	-.10	.07	-.09	-.14	.31*	.06	-.49**	.16	.08	-.39**	.05	-.16	-.13	-.42**	-.22	.12	.11	-.07	.91**	1					
oily ¹⁵⁾	.36*	-.17	.28	-.10	-.14	.52**	.10	-.31*	.08	.11	-.25	-.09	.03	.10	-.52**	-.56**	-.08	.13	.10	.63**	.66**	1				
flavor ¹⁵⁾	.01	.11	-.06	.03	.03	.23	.16	-.45**	.31*	.00	-.24	-.07	-.14	-.10	-.45**	-.21	.01	-.06	-.23	.71**	.85**	.65**	1			
OV ¹⁵⁾	.28	-.20	.21	-.07	-.13	.30*	-.02	-.51**	.07	.08	-.44**	.03	-.18	-.13	-.52**	-.33*	.17	.09	-.04	.91**	.94**	.73**	.85**	1		
VMLL ¹⁵⁾	-.09	.15	-.14	.36*	.08	-.07	.02	-.29	.20	-.06	-.04	-.22	-.15	-.10	-.33*	-.05	.07	-.12	-.34*	.16	.39**	.28	.63**	.38**	1	
PI ¹⁵⁾	-.38**	.40**	-.40**	.37*	.26	-.08	.23	-.02	.09	.22	.21	-.17	-.18	-.20	-.04	.19	-.16	-.07	-.37*	-.35*	-.38**	-.25	-.14	-.25	.45**	1

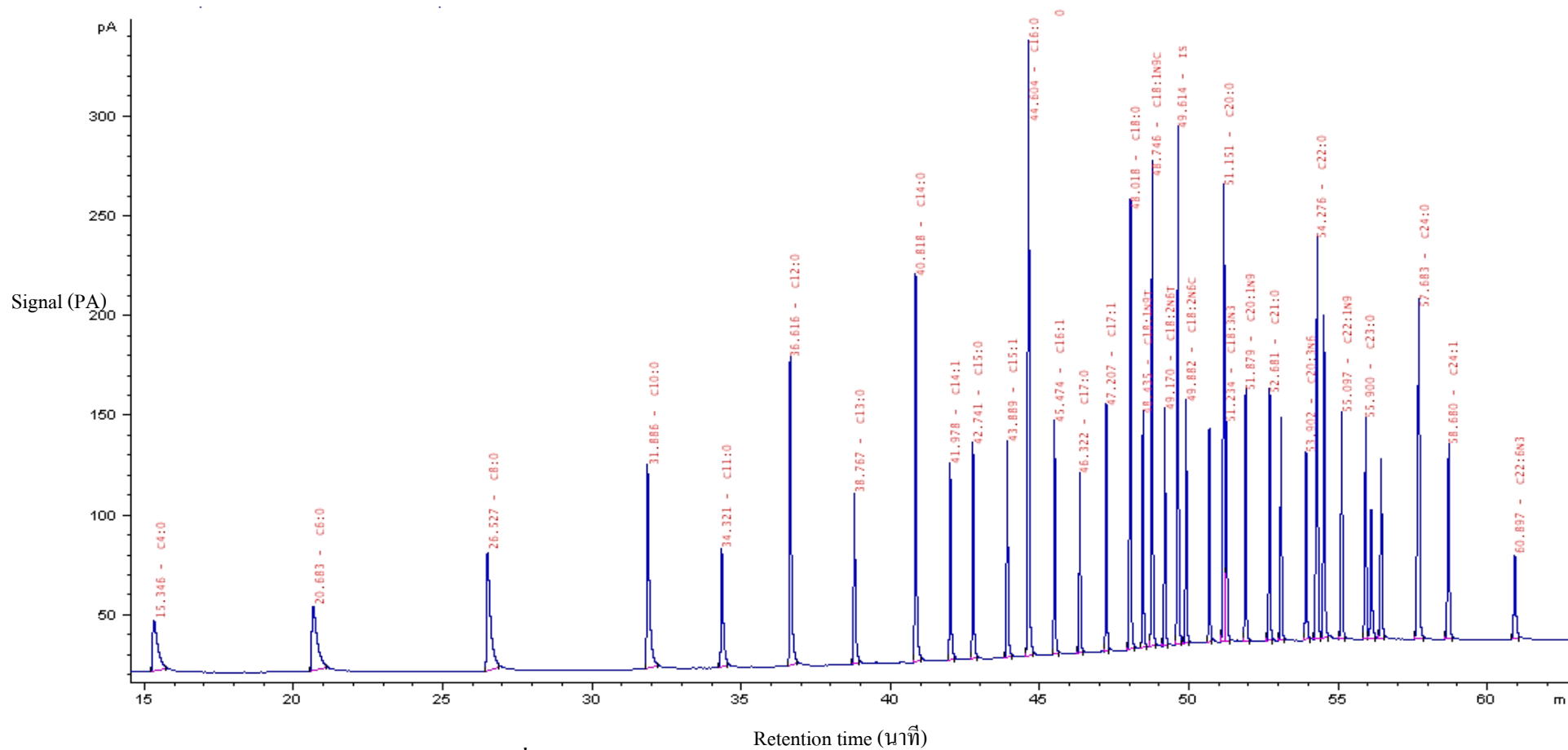
* เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ** เครื่องหมายกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสูงทางสถิติ (p<0.01). ¹⁾ ค่าสหสัมพันธ์ Pearson's correlation ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ และค่าสหสัมพันธ์ Spearman's rank correlation ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรกที่ประเมินด้วยสายตาคุณภาพเนื้อทางเคมีและกายภาพ ความพึงพอใจของผู้บริโภคและการเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกร

²⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011), ³⁾ CP = Crude protein, ⁴⁾ DL=drip loss, ⁵⁾ TL=thawing loss, ⁶⁾ CL=cooking loss, ⁷⁾ WBSF= Warner Bratzler Shear Force, ⁸⁾ SL = sarcomere,

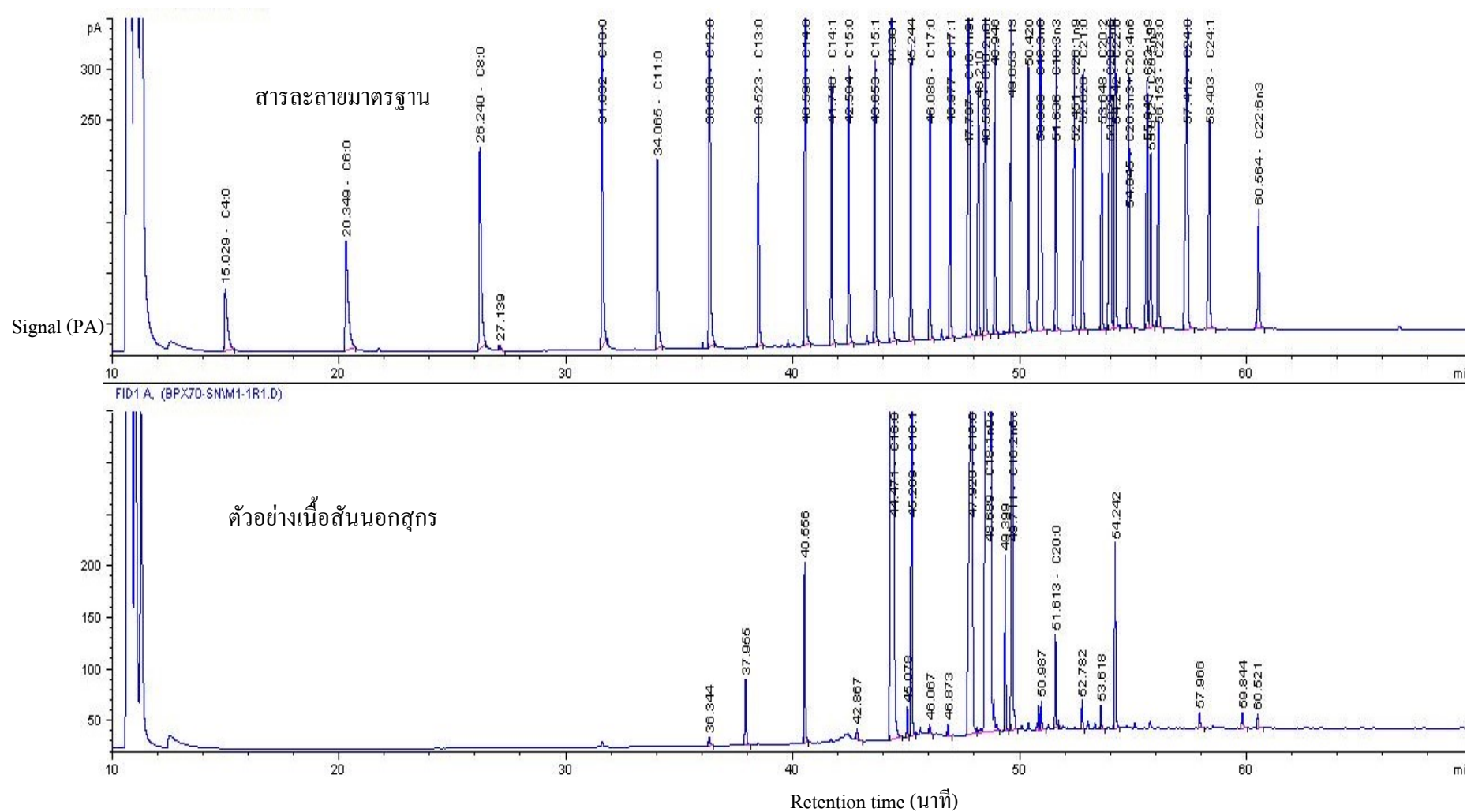
⁹⁾ MFD = muscle fiber diameter, ¹⁰⁾ SC = soluble collagen, ¹¹⁾ IC = insoluble collagen, ¹²⁾ TC = total collagen, ¹³⁾ CSP = collagen solubility percentage, ¹⁴⁾ ค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ตัดให้สัมผัสอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, ¹⁵⁾ การประเมินความชอบ และพึงพอใจในการบริโภคและเลือกซื้อเนื้อสันนอกสุกรของผู้บริโภค

ภาคผนวก ฉ

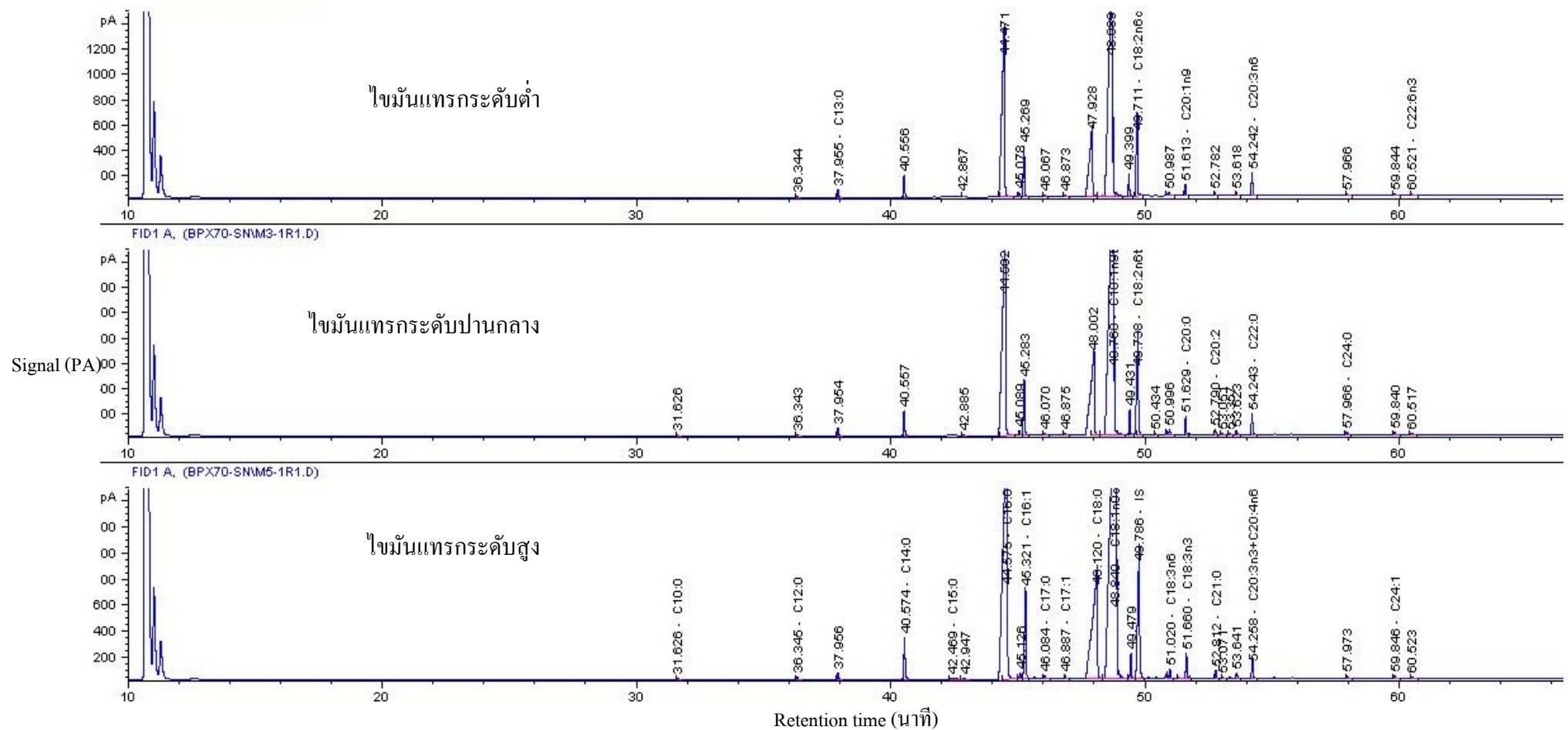
โครมาโทแกรมขององค์ประกอบของกรดไขมัน
ปริมาณนิวคลีโอไทด์ และกลูต้าไธโอน
ของเนื้อสัตว์นอกสุกรที่มีไขมันแทรกแตกต่างกัน



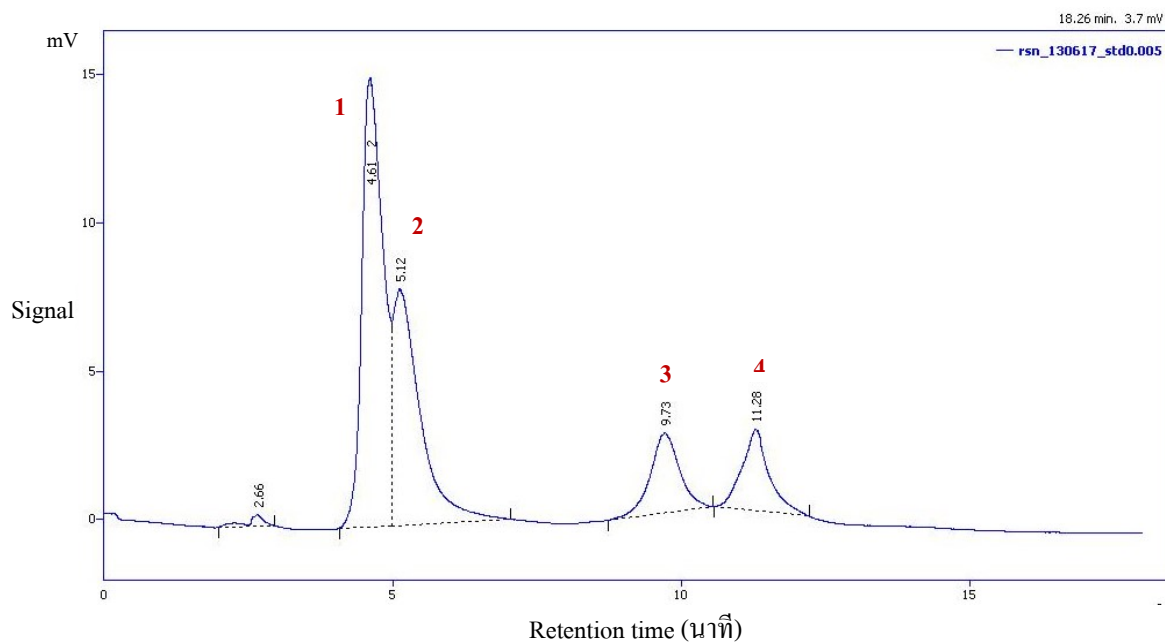
ภาพภาคผนวก จ ที่ 1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานขององค์ประกอบของกรดไขมัน C4-C24 โดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (flame ionization detector; FID) แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 เป็นเวลา 70 นาที



ภาพภาคผนวก จ ที่ 2 โครมาโทแกรมเปรียบเทียบของสารละลายมาตรฐานขององค์ประกอบของกรดไขมัน C4-C24 และองค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในตัวอย่างเนื้อสัตว์นอกสุกร โดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (flame ionization detector; FID) แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 เป็นเวลา 70 นาที



ภาพภาคผนวก ง ที่ 3 โครมาโทแกรมขององค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในเนื้อสันนอกสุกรที่มีระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบของ US National Pork Board (2011) โดยใช้เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (flame ionization detector; FID) แยกสารด้วยคอลัมน์ BPX-70 เป็นเวลา 70 นาที



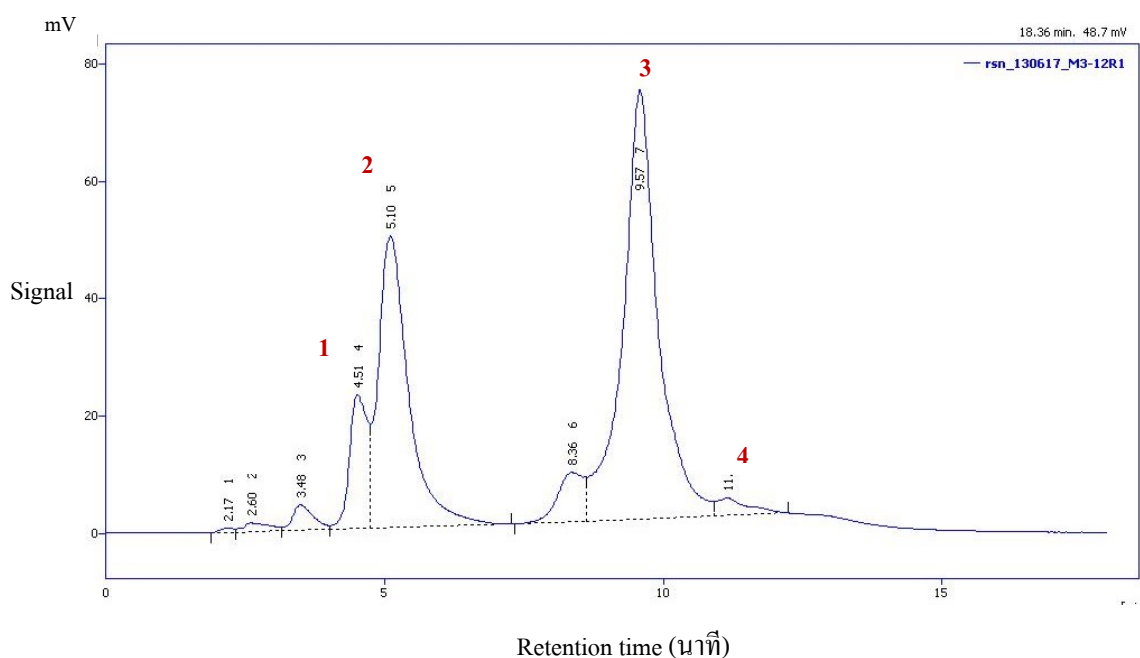
ภาพภาคผนวก จ ที่ 4 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของสารประกอบนิวคลีโอไทด์

โดย พีคที่ 1 นาทีที่ 4.6 คือ hypoxanthine ความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

พีคที่ 2 นาทีที่ 5.1 คือ Inosine ความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

พีคที่ 3 นาทีที่ 9.7 คือ IMP (Inosine monophosphate) ความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

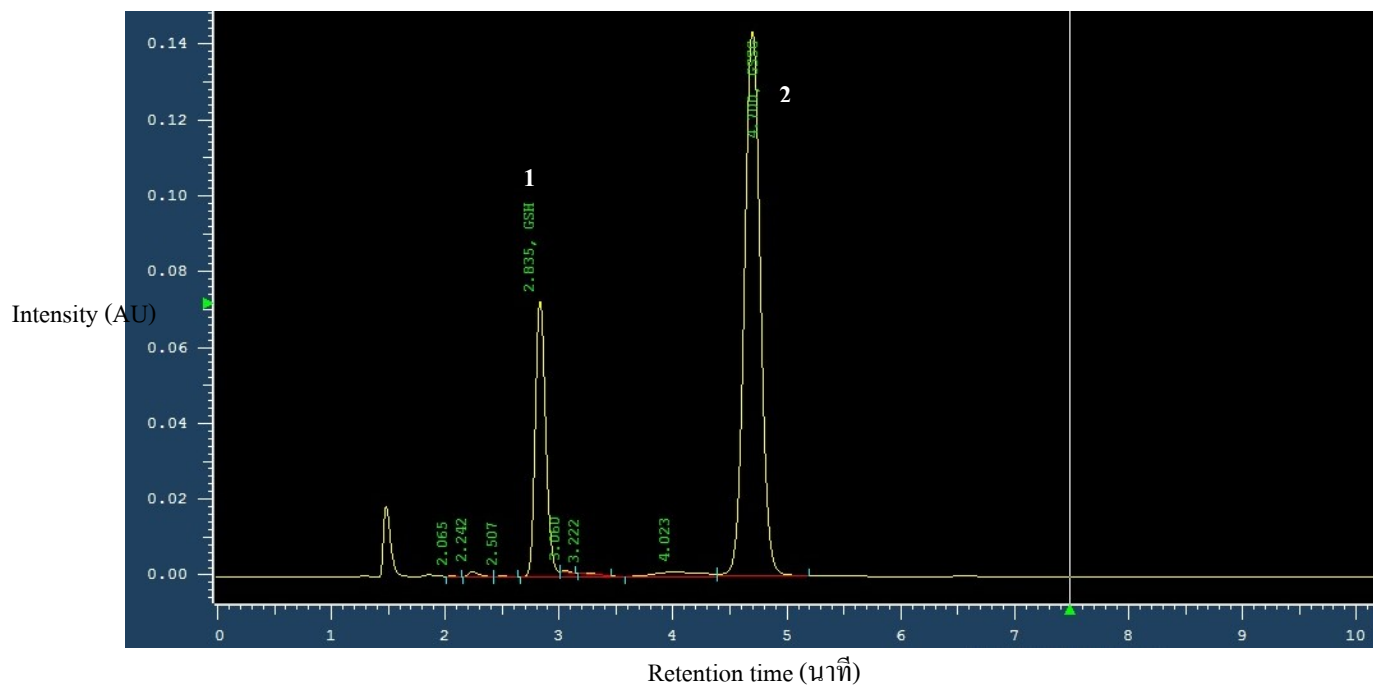
พีคที่ 4 นาทีที่ 11.2 คือ GMP (Guanosine monophosphate) ความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร



ภาพภาคผนวก จ ที่ 5 โครมาโทแกรมของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ของตัวอย่างเนื้อสัตว์นอกสุกร

โดย พีคที่ 1 คือ hypoxanthine พีคที่ 2 คือ Inosine พีคที่ 3 คือ IMP (Inosine monophosphate)

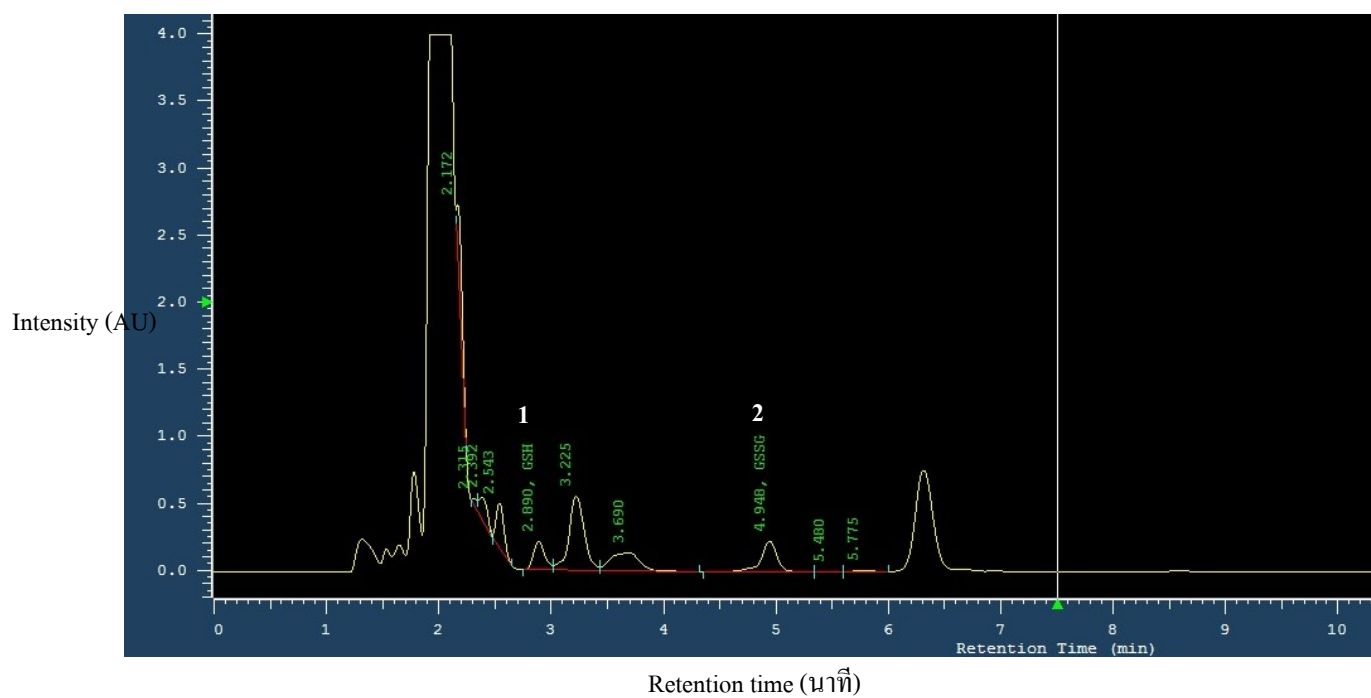
และพีคที่ 4 คือ GMP (Guanosine monophosphate)



ภาพภาคผนวก จ ที่ 6 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างรีดิวซ์กลูต้าไธโอน (reduced glutathione; GSH) และออกซิไดซ์กลูต้าไธโอน (oxidized glutathione; GSSG)

ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

โดย พีกที่ 1 นาทีที่ 2.8 คือ รีดิวซ์กลูต้าไธโอน พีกที่ 2 นาทีที่ 4.8 คือ ออกซิไดซ์กลูต้าไธโอน



ภาพภาคผนวก จ ที่ 7 โครมาโทแกรมของรีดิวซ์กลูต้าไธโอน (reduced glutathione; GSH) และออกซิไดซ์กลูต้าไธโอน (oxidized glutathione; GSSG) ของตัวอย่างเนื้อสันนอกสุกร

ภาคผนวก ข

อิทธิพลของระดับไขมันแทรกต่อ
องค์ประกอบของกรดไขมัน (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม)
ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ตารางภาคผนวก ข ที่ 1 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน (มิลลิกรัม ต่อเนื้อ 100 กรัม) ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
<i>กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids)</i>					
C14:0 (myristic acid)	31.63 ^b	41.98 ^b	67.06 ^a	2.11	0.000
C16:0 (palmitic acid)	550.89 ^b	723.86 ^b	1,175.51 ^a	36.35	0.000
C18:0 (stearic acid)	284.64 ^b	374.68 ^b	599.99 ^a	19.03	0.000
C20:0 (arachidic acid)	4.13 ^b	5.60 ^b	9.74 ^a	0.35	0.000
<i>กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acids)</i>					
C14:1 (Myristoleic acid)	0.15	0.74	0.69	0.12	0.096
C16:1n-7 (palmitoleic acid)	61.22 ^b	81.16 ^b	137.60 ^a	4.82	0.000
C18:1n-9c (oleic acid)	922.39 ^b	1,158.53 ^b	1,945.96 ^a	60.42	0.000
C20:1n-9 (eicosenoic acid)	15.92 ^b	20.34 ^b	33.83 ^a	1.03	0.000
<i>กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids)</i>					
C18:2n-6c (linoleic acid)	221.75 ^b	234.56 ^b	315.12 ^a	9.31	0.000
C18:3n-3 (α-linolenic acid)	11.27 ^b	12.44 ^b	18.08 ^a	0.54	0.000
C20:3 n-3 (eicosatrienoic acid) + C20:4 n-6 (arachidonic acid)	19.71	18.39	20.04	0.61	0.508

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

ตารางภาคผนวก ข ที่ 2 อิทธิพลของระดับไขมันแทรก¹⁾ ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันโดยรวม (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม) ในเนื้อสันนอกสุกร (*Longissimus dorsi*)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับไขมันแทรก ¹⁾			SEM ²⁾	p-value
	ต่ำ (n=15)	ปานกลาง (n=15)	สูง (n=15)		
SFA	899.05 ^b	1,175.79 ^b	1,888.17 ^a	57.96	0.000
UFA	1,281.46 ^b	1,555.94 ^b	2,508.52 ^a	75.30	0.000
MUFA	1,002.51 ^b	1,263.66 ^b	2,122.20 ^a	66.06	0.000
PUFA	278.95 ^b	292.27 ^b	386.32 ^a	11.08	0.001
PUFA n-3 ³⁾	17.91 ^b	17.54 ^b	23.87 ^a	0.89	0.004
PUFA n-6 ⁴⁾	233.72 ^b	248.02 ^b	330.57 ^a	9.89	0.000
Unidentified MUFA	2.98 ^c	3.64 ^b	4.81 ^a	0.00	0.015
Unidentified PUFA	6.92 ^c	8.10 ^b	9.34 ^a	0.01	0.000
UFA : SFA	1.42 ^a	1.33 ^b	1.34 ^b	0.00	0.028
PUFA : SFA	0.304 ^a	0.246 ^b	0.205 ^c	0.00	0.000
SFA : UFA	0.706	0.757	0.754	0.01	0.060
PUFA n-6 : n-3	12.88	14.58	13.59	0.31	0.093

^{a b c} อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

¹⁾ ระดับไขมันแทรก คือ ไขมันแทรกระดับต่ำ (คะแนน 1-2) ปานกลาง (คะแนน 3-4) และสูง (คะแนน 5-6) ตามระบบ US National Pork Board (2011)

²⁾ SEM (standard error of mean) คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัด

³⁾ PUFA n-3 = C18:3 n-3 + C22:6 n-3 + C20:5 n-3

⁴⁾ PUFA n-6 = C18:2 n-6t+ C18:2 n-6c + C18:3 n-6 + C20:3 n-6

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศวรรณกมล น้อยคัด
วัน เดือน ปีเกิด	15 สิงหาคม 2528
ที่อยู่	88 หมู่ 1 ซอยฉิมพลี 3 แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170
ประวัติการศึกษา	2550 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร 2553 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนวิจัยที่ได้รับ	1) การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก บริษัท เบทาโกรเกษตร อุตสาหกรรม จำกัด ภายใต้โครงการ “คุณภาพของเนื้อสุกรที่ผู้บริโภค ต้องการเมื่อเลือกซื้อและบริโภคเนื้อสุกรคุณภาพสูง” 2) เงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ภายใต้โครงการ “อิทธิพลของไขมันแทรกต่อคุณสมบัติด้าน ความนุ่มของเนื้อสุกร”
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
2553-2555	นักวิชาการ ฝ่ายธุรกิจฟาร์มโคนม บริษัท ฟาร์มโชคชัย จำกัด
2555-2555	ผู้ช่วยนักวิจัย สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
2555-2558	นักวิชาการ บริษัท นิวไวเทค จำกัด
2560-2561	ผู้ช่วยผู้ประสานงานสำนักประสานงาน ชุดโครงการขยายโอกาสทางธุรกิจของเนื้อโคไทย สำนักงานสนับสนุนกองทุนการวิจัย (สกว.)
ผลงานวิจัย	
1)	พิริวิทย์ เชื้อวงษ์บุญ พลัฒ์พลึง พึ่งไทย และศวรรณกมล น้อยคัด. 2551. หน้า 309-312. การศึกษาระดับของฮอร์โมน PMSG และ FSH ในการกระตุ้นเพิ่มการตกไข่ในหนูแรท. ใน การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 4. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น, 25-26 มกราคม 2551. ขอนแก่น.
2)	ศวรรณกมล น้อยคัด รุจริน ลิ้มสุวานิช และจุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2552. ผลของการบ่มต่อ คุณภาพเนื้อแม่โคนมขุนที่เลี้ยงด้วยผลพลอยได้จากเปลือกสับปะรดหรือข้าวโพดหมักเป็น

- แหล่งอาหารหายาบ ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 1. 17-18 ธันวาคม 2552, กรุงเทพฯ.
- 3) ฉลองชัย ชุ่มชื่น สุพรชัย ฟ้าริ โหมยิต เหลืองจรัสสุริยา สุมน โพธิ์จันทร์ จุฑารัตน์ เศรษฐกุล สวรรณกมล น้อยดัด และอัญชลี ณ เชียงใหม่. 2553. หน้า 11-17. คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของกระบือพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยผักจามจูรี. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 2. 17-18 ธันวาคม 2553, กรุงเทพฯ.
 - 4) สวรรณกมล น้อยดัด รุจริน ลิ่มสุกวานิช และจุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2553. “ผลของระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อแม่โคนมขุนที่เลี้ยงด้วยผลพลอยได้จากเปลือกสับประรดหรือข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหายาบ.” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า (ฉบับพิเศษ) 28 (2) : 52-60.
 - 5) จุฑารัตน์ เศรษฐกุล อัทธ์ ภู่อแจ้ง สวรรณกมล น้อยดัด มยุรินทร์ รักทอง และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2555. “คุณภาพเนื้อของแม่โคนมคัดทั้งขุนต่างอายุและต่างระยะเวลาการบ่มเนื้อ.” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 29 (3): 73-83.
 - 6) สวรรณกมล น้อยดัด จันทร์พร เจ้าทรัพย์ รณชัย สิทธิไกรพงษ์ และจุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2556. “อิทธิพลของชนิดกลัมนเนื้อต่อคุณภาพเนื้อโคนมเพศผู้.” ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 4. 19 กรกฎาคม 2556, กรุงเทพฯ.
 - 7) จันทร์พร เจ้าทรัพย์ สวรรณกมล น้อยดัด และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2556. “คุณภาพเนื้อของกลัมนเนื้อสะโพก 4 ชนิดของแพะลูกผสมพันธุ์บอร์.” ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 4. 19 กรกฎาคม 2556, กรุงเทพฯ.
 - 8) สวรรณกมล น้อยดัด รุจริน ลิ่มสุกวานิช และจุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2557. หน้า 9-10. “ผลของชนิดอาหารหายาบและระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อของแม่โคนมคัดทั้งขุนที่ 24 ชั่วโมงของการจำลองการวางจำหน่าย.” ใน การประชุมวิชาการเกษตรพระจอมเกล้า ครั้งที่ 2. 4-5 มีนาคม 2557, กรุงเทพฯ.
 - 9) สวรรณกมล น้อยดัด รัชกฤษ เลิศภัทรโกมล และ มยุรินทร์ รักทอง. 2557. การศึกษาเบื้องต้นของคุณภาพซากแม่โคนมคัดทั้ง. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 5. 25-26 กรกฎาคม 2557, กรุงเทพฯ.
 - 10) สวรรณกมล น้อยดัด รัชกฤษ เลิศภัทรโกมล และ มยุรินทร์ รักทอง. 2557. การศึกษาเบื้องต้นของคุณภาพซากโคนมขุนเพศผู้ตอน. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 5. 25-26 กรกฎาคม 2557, กรุงเทพฯ.
 - 11) สวรรณกมล น้อยดัด และรัชกฤษ เลิศภัทรโกมล. 2561. อิทธิพลของน้ำหนักเข้าฆ่าต่อคุณภาพซากและคะแนนไขมันแทรกของโคนมขุนเพศผู้ตอน. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 6. 18-19 มิถุนายน 2561, กรุงเทพฯ.

- 12) รัชกฤษ เลิศภัทรโกมล และสุวรรณกมล น้อยดัด. 2561. การศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักเข้ามาต่อคุณภาพซากและระดับไขมันแทรกของโคนมขุนเพศเมีย. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 6. 18-19 มิถุนายน 2561, กรุงเทพฯ.
- 13) Noidad, S., Limsupavanich, R., Opatpatanakit, Y. and Sethakul, J. 2010. "Quality of *Longissimus* Muscle from Finished Dairy Cows as Affected by Roughage Sources and Ageing Periods." In **The 14th AAAP Animal Science Congress**, August 23-27, 2010 Pingtung, Taiwan.
- 14) Kongrith, C., Limsupavanich, R., Noidad, S. and Intoum, P. 2018. "Proximate composition of reformed Chinese sausage style pork snack added with mangosteen rind or pulp and seed." In **The 64rd ICoMST, International Congress of Meat Science and Technology**, August 13-18, 2017 Melbourne, Australia.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ภายใต้โครงการวิจัย

- 1) รุจริน ลิ่มสุกวานิช และสุวรรณกมล น้อยดัด. 2561. อิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าสีของเนื้อสันนอกสุกรที่ 1 ชั่วโมงหลังจากตัดให้สัมผัสอากาศ. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 6. 18-19 มิถุนายน 2561, กรุงเทพฯ.
- 2) Noidad, S., Limsupavanich, R. and Suwonsichon, S. 2016. Influences of marbling levels on water holding capacity, juiciness, and tenderness of pork loin and Thai consumer responses. In **The 62nd ICoMST, International Congress of Meat Science and Technology**, August 14-19, 2016, Bangkok, Thailand.
- 3) Noidad, S., Limsupavanich, R., Suwonsichon, S., Sitthigripong, R. and Chaosap, C. 2016. How do Thai consumers respond to quality of pork with different marbling levels? : a preliminary study in different age ranges. In **The 17th AAAP Animal Science Congress**, August 23-25, 2016, Fukuoka, Japan.
- 4) Noidad, S., Limsupavanich, R., Suwonsichon, S., Kongrith, C., Vijitrotai, N. and Chaosap, C. 2017. High marbling cooked pork loin provides unsaturated fatty acid associated with desirable and undesirable eating sensory traits. In **The 63rd ICoMST, International Congress of Meat Science and Technology**, August 13-18, 2017, Cork, Ireland.
- 5) Limsupavanich, R., Noidad, S. and Pothising, N. 2017. Effect of marbling and bloom time on CIE L*, a*, and b* values of pork loins during 3-h of bloom. In **The 63rd ICoMST, International Congress of Meat Science and Technology**, August 13-18, 2017, Cork, Ireland.

- 6) Vijitrothai, N., Noidad, S. and Limsupavanich, R. 2018. Determination of adenosine triphosphate breakdown products in cooked pork loin by the isocratic HPLC-UV method. In **The 64rd ICoMST, International Congress of Meat Science and Technology**, August 13-18, 2017, Melbourne, Australia.
- 7) Noidad, S., Limsupavanich, R., Suwonsichon, S. and Chaosap, C. 2019. “Effect of visual marbling levels in pork loins on meat quality and Thai consumer acceptance and purchase intent.” **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** (*In press*) doi : <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0084>.
(Impact factor 1.227)

รางวัลที่ได้รับ

- 1) Young scientist and JASA excellent oral presentation award in The 17th AAAP Animal Science Congress, August 23-25, 2016, Fukuoka, Japan, paper entitled “How do Thai consumers respond to quality of pork with different marbling levels? : a preliminary study in different age ranges.”