



การประเมินความนุ่มของเนื้อโคแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิค

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Non-Destructive Evaluation of Beef Tenderness by Using
NIR Spectroscopy

ดร.สวรัชช์

จันทร์เทพธิมากุล

ผศ.ดร.ครรชิต

กำลังกล้า

ดร.พลวัต

นิวเคลียร์

ว่าที่ ร.ต.ดร.ประสิทธิ์ จิยะพานิชกุล

โครงการทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบรายได้ปี 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การประเมินความนุ่มของเนื้อโคแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิค

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Non-Destructive Evaluation of Beef Tenderness by Using
NIR Spectroscopy

ดร.สวรักษ์

จันทรเทพธิมากุล

ผศ.ดร.ครรชิต

กำลังกล้า

ดร.พลวัต

นิวเคลียร์

ว่าที่ ร.ต.ดร.ประสิทธิ์

จิยะพานิชกุล

โครงการทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบรายได้ปี 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

กิตติกรรมประกาศนี้จัดทำขึ้นเพื่อแสดงความขอบคุณแก่สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ใช้งบประมาณเงินรายได้ ปี 2562 ในการสนับสนุนการทำวิจัยเรื่อง การประเมินความนุ่มของเนื้อโคแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ และบริษัท สยามแม็คโคร จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกเรื่องการสั่งซื้อตัวอย่างเนื้อโคในการดำเนินโครงการวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

2562



ชื่อโครงการวิจัย	การประเมินความนุ่มของเนื้อโคแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิค เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
คณะผู้วิจัย	ดร.สวรัักษ์ จันทระเทพธิมากุล ผศ.ดร.ครรชิต กำลังกล้า ดร.พลวัต นิเวศสิทธิ์ ว่าที่ ร.ต.ดร.ประสิทธิ์ จิยะพานิชกุล
ทุนวิจัย	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคนิค (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และศึกษาปัจจัยทางสายพันธุ์ต่อคุณภาพความนุ่มของเนื้อโค จากการศึกษาค่าความนุ่มด้วยเทคนิค NIRS จำนวน 65 ตัวอย่าง ระหว่างค่าแรงเฉือน (Warner-Bratzler Shear Force) และการประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory) โดยนำข้อมูลเนื้อโคที่ได้จากการยิงคลื่น NIRS มาทำการหาความสัมพันธ์ทางสถิติ (PLS) กับค่าแรงเฉือน และการประเมินทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐาน และนำไปใช้ในสมการสอบเทียบเพื่อทำนายค่าความนุ่มเนื้อ จากการทำนายความนุ่มเนื้อด้วยค่าแรงเฉือนพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC สามารถประเมินความนุ่มเนื้อได้ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.54 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2498 นาโนเมตร ในขณะที่การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มเนื้อ ความฉ่ำ และการเคี้ยว สมการยังให้ความแม่นยำของค่อนข้างต่ำ

คำสำคัญ: ความนุ่มเนื้อโค การสะท้อนกลับ เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี วิธีถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

Project	Non-Destructive Evaluation of Beef Tenderness Using NIR Spectroscopy
Author	Dr.Savarak Chantaratheptimakul Asst. Prof. Dr.Kanchit Kamlangkla Dr.Paulwatt Nuclear Acting Sub Lt. Dr. Prasit Jiyapanichkul
Fund	RMUTK Budget 2019

Abstract

The objective of this research was to develop a non-destructive method for predicting Warner-Bratzler Shear Force (WBSF) and sensory of beef tenderness using Near Infrared Spectroscopy (NIRS). Partial Least Squares (PLS) analysis was used to predict cooked longissimus Warner-Bratzler Shear Force values and result of sensory evaluations from spectra of steaks from 65 beef samples. The Model used the combination of Smoothing, Multiplicative Scattering Correction (MSC) and Standard Normal Variate (SNV). The use of Multiplicative Scattering Correction gave best prediction between NIR Spectra with Warner-Bratzler Shear Force, which had an R^2 of prediction of 0.54 for the full spectral range of 1100 to 2498 nm. But the sensory evaluations consist of tenderness, juiciness and chewiness were not accurately predicted.

Keyword: Beef tenderness, Reflectance, NIR Spectroscopy, Partial least squares (PLS)

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโคเนื้อ	5
2.2 สายพันธุ์โค	7
2.3 เนื้อโคและคุณภาพเนื้อ	16
2.4 เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy; NIR)	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	35
3.1 อุปกรณ์	35
3.2 วิธีดำเนินการ	36
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	44
4.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อโคสันนอกด้วยการใช้เทคนิค NIRS	44
4.2 การวิเคราะห์ค่าแรงเฉือน	55
4.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	55
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผล	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก แบบสอบถามและแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	72
ข ตารางบันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก	76



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติโค 5 สายพันธุ์	11
2.2 เปรียบเทียบคุณภาพซากของโคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตของประเทศไทย	12
2.3 คุณภาพเนื้อโคแต่ละประเภทภายใต้ระบบการผลิตโคเนื้อของประเทศไทย	12
2.4 ซากและลักษณะคุณภาพเนื้อที่ผ่านการแปรรูป	13
2.5 ข้อมูลซากและการผลิตของโคพันธุ์วากิว	14
4.1 ค่าทางสถิติของค่าการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในเนื้อโคสันนอก	47
4.2 ค่าทางสถิติของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบในเนื้อโคสันนอก ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์	47
4.3 ค่าทางสถิติของค่าการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในเนื้อโคสันนอก	50
4.4 ค่าทางสถิติของการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบในเนื้อโคสันนอก ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม	51
4.5 ผลของความกว้าง ความยาว น้ำหนัก และค่าสี	59
4.6 ผลของค่าแรงเค้น การทดสอบทางประสาทสัมผัส และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โคพันธุ์บราห์มันแดง (Red Brahman)	8
2.2 โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman)	9
2.3 โคพันธุ์ชาร์โรเลส์ (Charolais)	10
2.4 โคพันธุ์ลูกผสมแองกัส (Angus)	10
2.5 สัตส่วนของโคพันธุ์ลูกผสมแองกัส (Angus)	13
2.6 ความสัมพันธ์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (IMCT) ที่ส่งผลต่อความนุ่มของเนื้อโค	15
2.7 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของซากโคที่ตัดแบ่งเป็นชิ้นส่วน	17
2.8 ตัวอย่างเนื้อและชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดแต่งซากโค	18
2.9 ระดับสีของไขมันหุ้มซากและเนื้อโค	19
2.10 ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อโค	20
2.11 ความยาวคลื่นและช่วงการดูดกลืนแสง	26
2.12 องค์ประกอบในการวัดตัวอย่างโดยเทคนิค NIR spectrometer 1) light source 2) beam splitter system 3) reflector 4) sample chamber/detector inlet valve 5) diffuse reflection detector 6) transmission detector 7) control and data processing analyzed system 8) printer	27
2.13 ระบบการวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิค NIRS โดย A) การวัดแบบส่องทะลุผ่าน B) การวัดแบบสะท้อนแบบส่องผ่าน C) การวัดการสะท้อนแบบแพร่ D) และ E) การวัดการสะท้อนผ่านตัวอย่าง	28
3.1 ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายคุณภาพด้วยเทคนิค NIRS	38
3.2 เนื้อโคสันนอกที่มีความหนา 2.54 เซนติเมตร	39
3.3 การเตรียมตัวอย่างเนื้อโคสันนอกเพื่อทำสุก ก) ชิ้นเนื้อที่ผ่านการล้างเสร็จรอผึ่ง เพื่อสะเด็ดน้ำ และ ข) ขั้นตอนบรรจุสุญญากาศ	39
3.4 การทำสุกด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที	39
3.5 อุปกรณ์เจาะชิ้นตัวอย่าง ก) แท่งเจาะเนื้อโคสันนอก ข) ตัวอย่างการเจาะเนื้อโคสันนอก และ ค) ชิ้นเนื้อโคสันนอกที่ผ่านการเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร	40
3.6 ชิ้นเนื้อโคสันนอกมาวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer หัววัดแบบ Warner-Bratzler	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 การเตรียมตัวอย่าง เนื้อโคสันนอกเพื่อทดสอบชิม ก) การอุ่นเนื้อโคที่ใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ และ ข) ขึ้นเนื้อโคสันนอกพร้อมทำการทดสอบชิม	42
3.8 ฝึกฝนผู้ชิมก่อนทำแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	43
3.9 ผู้ทดสอบทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส	43
4.1 เส้นสเปกตรัมจากการเฉลี่ยข้อมูล 6 ตำแหน่ง	44
4.2 เส้นสเปกตรัมเฉลี่ยจาก 6 ตำแหน่งบนขึ้นเนื้อโคสันนอกที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIRS โดยยังไม่ปรับแต่งสเปกตรัม	45
4.3 เส้นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค ก) Smoothing ข) MSC และ ค) SNV	46
4.4 การกระจายตัวของค่าแรงเฉือน (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	48
4.5 ค่าทางสถิติแสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ของการประเมินทางประสาทสัมผัส	49
4.6 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	52
4.7 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค SNV) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	52
4.8 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ไม่ปรับแต่งสเปกตรัม) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	53
4.9 การกระจายตัวของค่าความฉ่ำที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smooth) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 การกระจายตัวของค่าความฉ่ำที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	54
4.11 การกระจายตัวของค่าการเคี้ยวที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smooth) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS	54
4.12 ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อโคสันนอกโดยใช้วิธี QDA	57
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคี้ยวและการประเมินทางประสาทสัมผัส	57



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การบริโภคเนื้อโคในปัจจุบัน ผู้บริโภคนิยมบริโภคเนื้อโคมากขึ้นซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อที่นำเข้ามาจากต่างประเทศประมาณ 6,000 ตันต่อปี เนื่องจากการผลิตในประเทศยังไม่สามารถผลิตเนื้อโคที่มีคุณภาพได้เพียงพอกับความต้องการส่วนใหญ่ เนื้อโคที่นิยมบริโภคมีหลายสายพันธุ์ เช่น เนื้อโคสันนอกพันธุ์อเมริกา พันธุ์ออสเตรเลีย พันธุ์นิวซีแลนด์ และเนื้อโคขุน ซึ่งจากการสำรวจข้อมูล ณ บริษัท ฟู้ดแลนด์ซูเปอร์มาร์เก็ต จำกัด เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2562 พบว่ามีราคา 1,735 1,095 985 และ 890 บาทต่อกิโลกรัม โดยการเลือกซื้อเนื้อโคของผู้บริโภคโดยส่วนมากจะให้ความสำคัญกับคุณภาพเนื้อและลักษณะทางประสาทสัมผัสมาก ซึ่งความนุ่มของเนื้อ (Tenderness) หมายถึง ความยากหรือง่ายของเนื้อจากการตัดหรือเคี้ยว เป็นลักษณะสำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของเนื้อ เพราะมีผลอย่างมากกับความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งผู้บริโภคจะยินดีจ่ายเงินเพิ่มมากขึ้นเพื่อซื้อเนื้อโคที่มีความนุ่ม หากมีการรับรองคุณภาพความนุ่มในการจำหน่าย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการจัดระดับคุณภาพเนื้อตามลักษณะของความนุ่มหรือระดับไขมันแทรกในเนื้อ โดยเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงหรือมีความนุ่มมากจะมีราคาแพงขึ้นตามไปด้วย

การประเมินคุณภาพเนื้อด้านความนุ่มเนื้อ ในปัจจุบันซึ่งจะมี 2 แบบ คือ 1) การตรวจประเมินแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ได้แก่ การประเมินระดับไขมันแทรกและลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยการตรวจพินิจ วิธีนี้ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเฉพาะของผู้ตรวจอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง 2) วิธีทดสอบแบบทำลายตัวอย่าง เป็นการทดสอบทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและการตรวจประเมินทางประสาทสัมผัสซึ่งให้ผลแม่นยำแต่ใช้ตัวอย่างและเวลาวิเคราะห์มาก นอกจากนี้ตัวอย่างทั้งหมดหลังการวิเคราะห์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบทำลายตัวอย่างและเนื่องจากเนื้อโคเป็นชิ้นส่วนที่มีมูลค่าสูงและเสื่อมเสียได้เร็วจึงทำให้การตรวจสอบด้วยวิธีหลังนี้จำกัดอยู่สำหรับการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถใช้ในเชิงพาณิชย์หรือใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ ณ สถานที่ผลิตและจำหน่ายได้

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) เป็นเทคนิคที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non Destructive Testing) โดยใช้คลื่นแสงในช่วง NIRS ส่องเข้าไปในตัวอย่างซึ่งสเปกตรัมในช่วงคลื่น NIRS ที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลและหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลของตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้

ค่ามาตรฐานนำไปใช้ในสมการสอบเทียบใช้ทำนายค่าปัจจัยคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและพัฒนาเทคนิคการใช้ NIRS เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเนื้อโคในด้านความนุ่มแบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยทำการศึกษาในเนื้อโคที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าในประเทศไทย วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIRS เพื่อหาความเป็นไปได้ในการทำนายค่าความนุ่มของเนื้อพัฒนาเทคนิควิธีการตรวจสอบให้มีความแม่นยำ และสามารถต่อยอดนำไปใช้ได้จริงในเชิงอุตสาหกรรมเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพเนื้อโคของประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้เทคนิค NIR Spectroscopy ในการตรวจสอบคุณภาพด้านความนุ่มของเนื้อโค

1.2.2 เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่มีความแม่นยำสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเนื้อโค

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาเป็นเนื้อโคแช่เย็นส่วนสันนอก (Sirloin) ที่วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งออกเป็นเนื้อโคที่ไม่ผ่านการบ่ม คือ สายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (Brahman) เนื้อโคที่ผ่านการบ่ม 7 วัน คือ สายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (Brahman) ลูกผสมชาร์โรเลส์ (Charolais) ลูกผสมวากิว (Wagyu) และลูกผสมแองกัส (Angus) เนื้อโคที่ผ่านการบ่ม 14 วัน คือ เนื้อโคนำเข้าจากต่างประเทศออสเตรเลีย (AUS.Chilled) เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ตัดให้มีความหนา 2.54 เซนติเมตร แบ่งตัวอย่างทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค NIRS โดยการใช้คลื่นแสงในช่วง NIRS ส่องเข้าไปในตัวอย่าง และกลุ่มที่ 2 วิเคราะห์ตามวิธีทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) และการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบทางพรรณนาเชิงปริมาณ (QDA) ซึ่งสเปกตรัมในช่วงคลื่น NIRS (กลุ่มที่ 1) จะถูกนำมาประมวลผล และหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลของตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ (กลุ่มที่ 2) เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานและนำไปใช้ในสมการสอบเทียบเพื่อใช้ทำนายค่าปัจจัยด้านความนุ่มเนื้อ

1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. วางแผนงานรวบรวมเอกสารทางวิชาการ																
2. ทำการทดลองเบื้องต้น																
3. การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มของเนื้อโคโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและการประเมินทางประสาทสัมผัส																
4. การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มของเนื้อโคด้วยเทคนิค NIRS																
5. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานจากเทคนิค NIRS เพื่อทำนายลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มของเนื้อโค																
6. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล																
7. จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์																

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้องค์ความรู้ในการใช้เทคนิค NIRS เพื่อใช้สมการในการทำนายความนุ่มเนื้อของเนื้อโค
- 1.5.2 สร้างช่องทางการตลาดและเพิ่มมูลค่าให้แก่เนื้อโคซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตร
- 1.5.3 ได้สมการในการทำนายเนื้อโคด้วยเทคนิค NIRS



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโคเนื้อ

โคเป็นสัตว์ในตระกูล Bovidae เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม กระเพาะรวม ทำเป็นกีบคู่ มีเขากลอง มีหลักฐานแสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีการเลี้ยงโคมาตั้งแต่ประมาณ 6500 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ในประเทศตุรกีและบริเวณแถบตะวันออก บางแหล่งเชื่อว่ามนุษย์มีการเลี้ยงโคมาประมาณ 10000 ปีมาแล้ว แต่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการเลี้ยงโคเกิดขึ้นภายหลังการเลี้ยง แกะ แพะ สุกร และสุนัข ในยุคแรกการเลี้ยงโคมุ่งเน้นการใช้แรงงานเป็นหลัก จึงนิยมโคที่มีโครงสร้างใหญ่ และกล้ามเนื้อแข็งแรง โดยไม่คำนึงถึงปริมาณเนื้อเท่าใดนัก ในระยะต่อมาเมื่อประชากรโลกเพิ่มมากขึ้น เริ่มมีการขาดแคลนเนื้อสัตว์เพื่อบริโภค มนุษย์จึงเริ่มหันมาสนใจการเลี้ยงโคเพื่อผลิตเนื้อ ทำให้มีการศึกษาและวิทยาการเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์เกิดขึ้น โดยยึดหลักง่าย ๆ ว่าโคที่ดีเมื่อผสมพันธุ์กับโคที่ดีย่อมให้ลูกที่ดี โดยหลีกเลี่ยงการผสมแบบเลือดชิด หรือการผสมพันธุ์ระหว่างพี่กับน้อง หรือระหว่างลูกกับพ่อหรือแม่ (ชฎารัตน์, 2552)

การเลี้ยงโคเนื้อเป็นอาชีพทางการเกษตรที่สำคัญอาชีพหนึ่งของประเทศไทย มีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 7 หมื่นล้านบาท และเกี่ยวข้องกับเกษตรกรไม่น้อยกว่า 1.3 ล้านครอบครัว ในอดีตการเลี้ยงโคของประเทศไทยจะเลี้ยงไว้เพื่อใช้แรงงานทางการเกษตรเป็นหลัก หลังจากปลดระวางจาก การใช้แรงงานแล้วจึงนำมาเป็นเนื้อสำหรับบริโภค แต่ในปัจจุบัน การใช้แรงงานจากโคลดลง ประกอบกับความต้องการบริโภค เนื้อโคมีสูงขึ้น จึงมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงโคเพื่อจำหน่ายเนื้อเป็นหลัก โดยมีการนำเข้าพันธุ์โคจากต่างประเทศ เข้ามาผสมพันธุ์กับโคพื้นเมืองของไทย เป็นการปรับปรุงพันธุ์ ให้ได้โคมีขนาดรูปร่างใหญ่ขึ้น สามารถให้เนื้อมากขึ้นและเนื้อ มีคุณภาพดีขึ้น (กรมปศุสัตว์, 2555)

สำหรับพันธุ์โคเนื้อที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงกันมากคือโคพื้นเมือง ซึ่งลักษณะเด่นคือ มีรูปร่างกะทัดรัด ลำตัวเล็ก ขาเรียวเล็กยาว เพศผู้มีหนอกขนาดเล็ก มีเหนียงคอเล็กน้อย หูเล็ก หนังใต้ท้องเรียบ มีสีไม่แน่นอน ส่วนใหญ่ คือ ขาวนวล น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม เหลืองอ่อน และดำ เมื่อโตเต็มวัยเพศผู้จะมีหนักประมาณ 300-350 กิโลกรัม และเพศเมียหนัก 200-250 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีโคพันธุ์จากต่างประเทศอีกหลายพันธุ์ ซึ่งนำเข้ามาเพื่อใช้ปรับปรุงพันธุ์โคในประเทศให้มีคุณลักษณะตามที่ตลาดต้องการ ได้แก่ 1) โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman) โคชนิดนี้ที่เลี้ยงในประเทศไทยส่วนใหญ่นำเข้ามาจากอเมริกาและออสเตรเลีย แล้วนำมาคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะสมที่จะเลี้ยงในประเทศไทยเป็นโคที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ได้สัดส่วน คือ กว้าง ยาว ลึก หลังตรง หนอกใหญ่ หูใหญ่

และยาวพอประมาณ จมูก ริมฝีปาก ขนตา และกีบเท้าเป็นสีดำ เหนียงคอ หนังใต้ท้อง หย่อนยาน โคนหางใหญ่ พู่หางดำ สีของโคมีหลายสีคือขาว เทา แดง แต่ที่นิยมเลี้ยงจะเป็นสีขาว เพศผู้น้ำหนักประมาณ 800–1,200 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 500–700 กิโลกรัม 2) โคพันธุ์ชาร์โรเลส์ (Charolais) เป็นโคที่มาจากประเทศฝรั่งเศส เชื่องง่าย ตลอดทั้งตัวเป็นสีขาวครีม รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขาสั้น ลำตัวกว้าง ยาวและลึก มีกล้ามเนื้อตลอดทั้งตัว มีขนาดใหญ่ เพศผู้น้ำหนักประมาณ 1,100–1,400 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 70–900 กิโลกรัม 3) โคพันธุ์ลิมูซิน (Limousin) เป็นโคจากฝรั่งเศส โครงร่างใหญ่ ตัวเป็นสีน้ำตาลแดงหรือทองแดง ส่วนรอบจมูก ปาก และข้อเท้าทั้งสี่จะเป็นสีอ่อน เพศผู้น้ำหนักประมาณ 900–1,000 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 650–850 กิโลกรัม 4) โคพันธุ์ซิมเมนทัล (Simmental) เป็นโคจากสวิตเซอร์แลนด์มีสีน้ำตาลแดงเข้ม เหลืองหรือเหลืองทอง และมีสีขาวที่หน้า ขา ท้อง และหาง โครงร่างเป็นสี่เหลี่ยม ลำตัวยาว ลึก ขาสั้น แข็งแรง บั้นท้ายใหญ่ เพศผู้น้ำหนักประมาณ 1,100–1,300 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 650–800 กิโลกรัม 5) โคพันธุ์เดร่าท์มาสเตอร์ (Droughtmaster) ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ในประเทศออสเตรเลีย เป็นลูกผสมระหว่างบราห์มัน ชอร์ตฮอร์นและเฮียร์ฟอร์ด ลำตัวสีน้ำตาลแดงลึกและเรียบ มีทั้งชนิดมีเขาและไม่มีเขา มีโหนกตรงหัวไหล่เล็กน้อย มีเหนียงเล็กน้อย เพศผู้น้ำหนักประมาณ 800–1,000 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 550–1,100 กิโลกรัม 6) โคพันธุ์อินดูบราซิล (Indu Brazil) เป็นโคอินเดียซึ่งได้รับการปรับปรุงพันธุ์ที่บราซิลมีหลายสี คือ ขาว เทา เกือบดำ ดำ แดง แดงเรื่อ ๆ แดงจุดขาว หน้าผากโหนกกว้าง หูกกว้างปานกลางและห้อยยาวมาก ปลายใบหูมักปิด เขาแข็งแรงและเอนไปทางด้านหลัง โหนกใหญ่ผิวหนังและเหนียงหย่อนยานมาก ตัวสูงใหญ่ เพศผู้น้ำหนักประมาณ 900–1,200 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 600–700 กิโลกรัม นอกจากโคพันธุ์ต่างประเทศดังกล่าวมา ในปัจจุบันนักวิชาการของไทยได้ทำการปรับปรุงพันธุ์โคลูกผสมต่างประเทศที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของไทยจนได้เป็นโคเนื้อสายพันธุ์ลูกผสมใหม่ของไทย ได้แก่ 1) โคพันธุ์กำแพงแสน (Kamphangsean) เป็นโคที่ปรับปรุงพันธุ์จากโคพันธุ์พื้นเมือง 25 % บราห์มัน 25 % และชาร์โรเลส์ 50 % โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เป็นโคขนาดกลาง ลำตัวคล้ายพันธุ์ชาร์โรเลส์ สีค่อนข้างขาว เพศผู้น้ำหนักประมาณ 800–1,000 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 500–600 กิโลกรัม 2) โคพันธุ์ตาก (Tak) เป็นโคที่ปรับปรุงพันธุ์โดยกรมปศุสัตว์ จากการผสมระหว่างชาร์โรเลส์กับบราห์มัน มีลักษณะคล้ายชาร์โรเลส์ เป็นโคขนาดกลาง มีสีน้ำตาลอ่อนคล้ายสีทอง เพศผู้น้ำหนักประมาณ 900–1,000 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 600–700 กิโลกรัม และ 3) โคพันธุ์กบินทร์บุรี เป็นโคที่ปรับปรุงพันธุ์โดยกรมปศุสัตว์ จากการผสมระหว่าง ซิมเมนทัลและบราห์มัน ที่ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ปราจีนบุรี ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอกบินทร์บุรี เป็นโคขนาดกลาง เพศผู้น้ำหนักประมาณ 900–1,000 กิโลกรัม เพศเมียน้ำหนักประมาณ 600–700 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2549) รายงานว่า ตลาดของโคเนื้อในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน ได้แก่ ตลาดเนื้อโคพื้นเมือง และตลาดเนื้อโคคุณภาพสูง สำหรับตลาดเนื้อโคพื้นเมืองนั้น ยังคงเป็นตลาดระดับล่างที่ผู้บริโภคซื้อเนื้อจากตลาดสดหรือเขียงเนื้อในตลาดทั่วไป จุดเด่นด้านคุณภาพเนื้อโคพื้นเมือง เช่น เส้นใยกล้ามเนื้อละเอียด และมีเนื้อสัมผัสแน่น ค่อนข้างแห้ง การสูญเสียจากชิ้นเนื้อน้อย ความสามารถในการอุ้มน้ำโปรตีนในเนื้อสูง ไขมันแทรกเนื้อและไขมันระหว่างก้อนกล้ามเนื้อน้อยมาก ทำให้เนื้อโคพื้นเมืองค่อนข้างเหนียว ซึ่งมีความแตกต่างกับคุณภาพของเนื้อโคขุนที่มีเล็ดยุโรปเนื้อจะมีความนุ่มมีไขมันแทรก ส่วนตลาดเนื้อโคคุณภาพสูงนั้นมีทั้งที่เป็นเนื้อโคที่ผลิตหรือเลี้ยงภายในประเทศโดยการนำเข้าพันธุ์โคจากต่างประเทศเข้ามาเลี้ยงและปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อให้ผลิตเนื้อได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับเนื้อโคต่างประเทศ และอีกประเภทคือการนำเข้าเนื้อโคคุณภาพสูงจากต่างประเทศ โดยตลาดในกลุ่มหลังนี้ เป็นตลาดระดับกลางถึงสูง ได้แก่ ห้างสรรพสินค้า โรงแรม ภัตตาคารต่าง ๆ โดยจะเน้นเรื่องคุณภาพเนื้อในส่วน of ไขมันแทรก ความนุ่มของเนื้อ และกลิ่นรสที่มีลักษณะเฉพาะตัว

2.2 สายพันธุ์โค

การเลี้ยงโคมีหลากหลายสายพันธุ์ขึ้นอยู่กับพื้นที่ สภาพอากาศ และความเหมาะสมในการเลี้ยงดู สำหรับโครงการวิจัยได้ศึกษาความนุ่มของเนื้อโคทั้งหมด 5 สายพันธุ์ ได้แก่ โคพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน โคพันธุ์ลูกผสมชาร์โรเลส์ โคพันธุ์ลูกผสมแองกัส โคพันธุ์ลูกผสมวากิว และโคพันธุ์ออสเตอร์เลีย

2.2.1 โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman)

คำว่า บราห์มัน มาจาก Brahmini มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในประเทศ อินเดีย (India) แต่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ในประเทศสหรัฐอเมริกา จึงมีชื่อเรียกว่าพันธุ์อเมริกันบราห์มัน (American Brahman)

ลักษณะตัวโดยทั่วไปลำตัวมีสีหลากหลายตั้งแต่ สีขาว เทาอ่อน สีลายและจนถึงเกือบดำ จมูก กีบ และพู่หางมีสีดำ บางตัวอาจมีสีแดง จึงเรียกว่า บราห์มันแดง (Red Brahman) ดังภาพที่ 2.1 แต่ที่นิยมเลี้ยงกันมากที่สุด คือ สีขาวและสีเทา โคสายพันธุ์อเมริกันบราห์มันชนิดที่เลี้ยงในประเทศไทยส่วนใหญ่นำเข้ามาจากประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย แล้วนำมาคัดเลือกปรับปรุงพันธุ์โดยกรมปศุสัตว์และฟาร์มของเกษตรกรรายใหญ่ในประเทศ เป็นโคที่มีเขาขึ้นชันและงุ้มมีตะโหนก ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ต่อมาจากกล้ามเนื้อไหล่ทั้งเพศผู้และเพศเมีย ส่วนหูนั้นจะยาวชี้ลงข้างล่างจนถึงริมฝีปากแต่จะสั้นกว่าพันธุ์อินดูบราซิล มีหนังหุ้ม เหนียงใต้คางจะใหญ่ หนอกใหญ่ และหย่อน ขณะที่ผิวหนังใต้ท้องก็จะหย่อน พู่หางสีดำ ส่วนขนนั้นค่อนข้างยาวและจะมีกล้ามเนื้อตรงขาหลังมาก โคนขาใหญ่ มีร่างกายลำสัน ลำตัวมีความลึกมากและยาวได้สัดส่วน หน้าผากยาว

คอสั้น ส่วนอกกว้างลึก ดังภาพที่ 2.2 หลังค่อนข้างตรงเป็นโคที่เลี้ยงดูง่าย เหมาะสำหรับเลี้ยงในเขตร้อน ทนต่อโรคและแมลงได้ดีแต่โรคที่มักพบบ่อย คือ มะเร็งในตาหรือตาเป็นฝ้า มีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า มีความสมบูรณ์พันธุ์ (Fertility) ค่อนข้างต่ำ เปอร์เซ็นต์ของซากต่ำเมื่อเทียบกับโคสายพันธุ์อื่น (ชาร์โรเลส์ แองกัส แบริงกัส) มีนิสัยระวางภัยสูง โดยพันธุ์นี้นิยมผสมข้ามสายพันธุ์ ลูกผสมน้ำหนักแรกเกิดอยู่ที่ 30 ถึง 33 กิโลกรัม เพศผู้จะโตกว่าเพศเมียและลูกผสมที่ได้จะมีลักษณะดีเด่นกว่าพ่อแม่ (โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman), ออนไลน์, 2562; อ้างจาก จิตกร, ม.ป.ป)

ข้อเสียของโคชนิดนี้ คือ เป็นโคพันธุ์ที่มีอัตราการผสมพันธุ์ค่อนข้างต่ำ ให้ลูกตัวแรกช้า และค่อนข้างห่าง เปรียบเทียบคุณสมบัติของเนื้อโค ดังตารางที่ 2.1 โคพันธุ์บราห์มันนิยมเลี้ยงกันทั่วทุกภูมิภาคของโลก ซึ่งใช้เป็นโคเนกประสงค์ทั้งในแง่ผลิตโคพันธุ์แท้ โคลูกผสม โคเนื้อหรือโคนม โดยใช้เป็นแม่พื้นฐานในการสร้างสายพันธุ์โคพันธุ์ใหม่โดยเฉพาะกับโคพันธุ์เนื้อสายเลือดยุโรป เพื่อนำลูกไปเลี้ยงผลิตเป็นโคขุน ประเทศไทยเองมีการนำเข้าโคบราห์มันทั้งสองสายพันธุ์ คือ อเมริกันบราห์มันและออสเตรเลียบราห์มันเข้ามาเลี้ยงปรับปรุงพันธุ์มานานกว่า 40 ปี และจัดเป็นโคพันธุ์หลักพันธุ์หนึ่งที่ใช้ในการผสมพันธุ์เพื่อยกระดับสายเลือดของโคพันธุ์พื้นเมืองของไทยมาโดยตลอด



ภาพที่ 2.1 โคพันธุ์บราห์มันแดง (Red brahman)

ที่มา: โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman), ออนไลน์, 2562



ภาพที่ 2.2 โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman)

ที่มา: โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman), ออนไลน์, 2562

2.2.2 โคพันธุ์ชาร์โรเลส์ (Charolais)

โคพันธุ์ชาร์โรเลส์มีถิ่นกำเนิดในเมืองชาร์โรลส์ (Charolles) ประเทศฝรั่งเศส เดิมเคยเลี้ยงเป็นโคงาน แต่ได้ทำการคัดเลือกพันธุ์เพื่อใช้เป็นทั้งโคงานและโคเนื้อ (Dual Purpose) ลักษณะทั่วไปลำตัวมีสีขาวถึงสีครีม อาจมีผิวหนังสีแดงโดยเฉพาะบริเวณรอบจมูก ตาและใต้ท้อง มีรูปร่างยาวกว่าโคพันธุ์ยุโรปอื่น ๆ มีขนสั้น ลำตัวลึก ดังภาพที่ 2.4 จัดว่าเป็นโคเนื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกพันธุ์หนึ่ง โคเพศผู้โตเต็มที่มีน้ำหนักตัว 1000 ถึง 1200 กิโลกรัม เพศเมีย 800 ถึง 850 กิโลกรัม แม่โคให้ลูกที่มีน้ำหนักแรกเกิดสูง 45 กิโลกรัม และน้ำหนักตัวเมื่อหย่านมสูง 270 ถึง 300 จุการ์ตัน (2552) กล่าวว่า โคผสมพันธุ์ชาร์โรเลส์ มีเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่าโคพันธุ์อื่น ๆ มีคุณภาพซากที่ดี ดังตารางที่ 2.2 และเปรียบเทียบคุณภาพเนื้อโคสายพันธุ์บราห์มันและชาร์โรเลส์ ดังตารางที่ 2.3 ในเมืองไทยได้นำมาผสมพันธุ์กับโคลูกผสมบราห์มันแต่รักษาระดับเลือดของพันธุ์ชาร์โรเลส์ให้อยู่ระหว่างร้อยละ 50.0 ถึง 62.5

ประเทศไทยได้สั่งนำเข้าจากประเทศฝรั่งเศส โดยเน้นที่พ่อพันธุ์เพื่อจุดประสงค์เรื่องเนื้อเป็นสำคัญเพื่อปรับปรุงพันธุ์ เนื่องจากโคพันธุ์ชาร์โรเลส์เจริญเติบโตเร็ว ซากมีขนาดใหญ่ เนื้อนุ่ม เนื้อสันมีไขมันแทรกเหมาะที่จะผสมกับแม่โคบราห์มันเพื่อนำลูกมาเลี้ยงเป็นโคขุน ข้อเสียคือ ถ้าเลี้ยงเป็นพันธุ์แท้หรือมีสายเลือดสูง ๆ จะไม่ทนต่อสภาพอากาศในประเทศไทย (เนติยะ, ออนไลน์, 2562)



ภาพที่ 2.3 โคพันธุ์ชาร์โรเลส์ (Charolais)

ที่มา: เนติยะ, ออนไลน์, 2562

2.2.3 โคพันธุ์แองกัส (Angus)

โคลูกผสมพันธุ์แองกัสเป็นโคไม่มีเขาโดยธรรมชาติ มีสีดำทั้งตัว อาจจะมีสีขาวได้บ้าง บริเวณเต้านม ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โคพันธุ์ลูกผสมแองกัส (Angus)

ที่มา: เนติยะ, ออนไลน์, 2562

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติโค 5 สายพันธุ์

คุณสมบัติ	แองกัส	บราห์มัน	แบรงกัส	พื้นเมือง	ชาร์โรเลส์
ความคล่องตัว (Calving Ease)	-4	5	4	5	3
น้ำหนักแรกคลอด (Birth Weight)	+3	5	4	5	3
การเติบโตในคอกขุน (Growth Traits)	+3	3	4	1	1
คุณภาพเนื้อ (Quality)	-5	+1	-4	4	4
ความดีของซาก (Carcass Merit)	3	2	4	1	4
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Efficiency)	4	3	+4	2	5
อารมณ์ดี ไม่ดี (Disposition)	-4	2	3	3	4
ความคึกในการผสมพันธุ์ (Libido)	-5	-3	+3	5	4
อายุขัย (Longevity)	3	5	+4	5	3

หมายเหตุ 1. 5 = ดีที่สุด 1 = ต่ำที่สุด + = มากกว่าค่าเล็กน้อย - = น้อยกว่าเล็กน้อย
 2. ค่าต่าง ๆ ได้จากการสังเกตและความคิดเห็นของเจ้าของฟาร์มจำนวนมากไม่ใช่จากผลงานวิจัยเปรียบเทียบ

ที่มา: พรารณา (2548)

มีความสมบูรณ์พันธุ์สูง คลอดลูกง่าย ถึงวัยเจริญพันธุ์เร็ว ตัวผู้มีความสมบูรณ์พันธุ์ดี ผสมติดในอัตราสูงแม้จะคุมฝูงขนาดใหญ่และให้ลูกได้อย่างต่อเนื่องในฝูง ในด้านการให้เนื้อโคแองกัสสามารถขุนให้ได้น้ำหนักที่ต้องการได้เร็ว ตามสัดส่วนของโคพันธุ์ลูกผสมแองกัส มีพื้นที่หน้าตัดสันนอกใหญ่และเปอร์เซ็นต์ซากสูง ดังภาพที่ 2.5 และดังตารางที่ 2.4 ในเนื้อมีไขมันแทรกมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ โคพันธุ์ลูกผสมแองกัสในปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างสูงทั้งในประเทศอังกฤษ อเมริกาและออสเตรเลีย โดยมีชื่อเสียงในด้านของความสามารถผลิตเนื้อคุณภาพสูง ให้เนื้อนุ่ม มีสีแดงสวย และมีไขมันแทรกในกล้ามเนื้อมาก ร้านสเต็กที่มีใบรับประกันว่าใช้เนื้อจากโคแองกัส มักจะได้รับความนิยมเป็นพิเศษ (เนติยะ, ออนไลน์, 2562; อ้างจาก สรรเพชญ, ม.ป.ป)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณภาพซากของโคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตของประเทศไทย

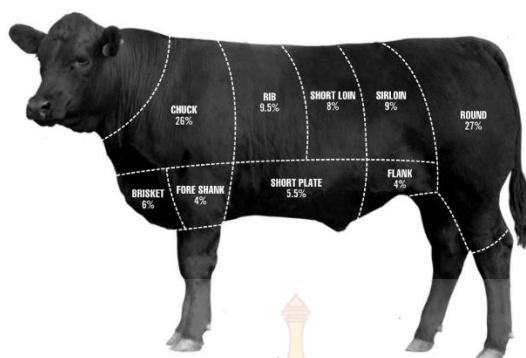
ข้อมูลการศึกษา	โคลูกผสมพันธุ์บราห์มัน	โคลูกผสมพันธุ์ชาร์โรเลส์
	เลือดสูง (n=297)	เลือดสูง (n=417)
น้ำหนักมีชีวิต	437.0	623.2
เปอร์เซ็นต์ซาก	53.8	58.2
เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซาก)		
เนื้อแดงรวม	74.1	68.0
ไขมัน	5.5	13.1
กระดูกรวม	15.8	13.3
เอ็น	2.2	0.6
เศษเนื้อ	2.0	3.4

ที่มา: จุฑารัตน์ (2552)

ตารางที่ 2.3 คุณภาพเนื้อโคแต่ละประเภทภายใต้ระบบการผลิตโคเนื้อของประเทศไทย

ข้อมูลการศึกษา	บราห์มันทั่วไป	ลูกผสมพันธุ์ชาร์โรเลส์
ความชื้น (ร้อยละ)	75.16	68.89
โปรตีน (ร้อยละ)	21.85	24.41
ไขมัน (ร้อยละ)	1.83	8.58
ขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ (มิลลิเมตร)	87.79	98.47
ค่าแรงตัดผ่าน (กิโลกรัม)	15.53	5.10
L*	35.01	38.76
a*	16.05	21.49
b*	5.07	8.55

ที่มา: จุฑารัตน์ (2552)



ภาพที่ 2.5 สัดส่วนของโคพันธุ์ลูกผสมแองกัส (Angus)

ที่มา: เนติยะ, ออนไลน์, 2562

ตารางที่ 2.4 ชากและลักษณะคุณภาพเนื้อที่ผ่านการแปรรูป

สายพันธุ์	จำนวน ตัวอย่าง	น้ำหนัก ชาก (g)	ร้อยละ การตัด แต่งชาก	ความลึกของ ชั้นไขมัน (mm)	สีไขมัน	สีเนื้อ	ไขมัน แทรก	pH
แองกัส	13,853	314	56.3	7.8	4.9	5.3	1.6	5.8
ชาร์โรเลส์	1,069	345	57.4	4.6	5.0	5.2	1.5	5.8
ซิมเมนทอล	3,045	331	56.6	5.6	5.0	5.3	1.5	5.8
ลิมูซิน	648	329.5	57.2	5.4	5.0	5.3	1.7	5.8

ที่มา: จุฑารัตน์ (2528)

2.2.4 โคพันธุ์วากิว (Japanese Black)

ในประเทศญี่ปุ่นโคพันธุ์วากิวมีทั้งหมด 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ดำ น้ำตาล ชอร์นฮอร์น และโพล (Black, Brown, Shorthorn and Polled) ซึ่งประชากรโคเนื้อกว่าร้อยละ 85 เป็น Japanese Black ประมาณร้อยละ 10 เป็น Japanese Brow และประมาณร้อยละ 3 เป็น Japanese Shorthorn ส่วน Japanese Poll มีน้อยมากเพียงร้อยละ 0.1 ดังนั้นเมื่อพูดถึงเนื้อวากิวโดยทั่วไป หมายถึง Japanese Black หรือโคพันธุ์สีดำ ไขมันในชากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงกว่าสายพันธุ์อื่น อย่างไร

ก็ตามยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับการจัดการสายพันธุ์รวมถึงต้นทุนการผลิตที่สูง การกำจัดมูลสัตว์ที่ไม่ได้รับการบำบัด ความต้องการอาหารที่นำเข้าและความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของอาหารที่เกิดจากโรคไวรัสต่าง ๆ ระบบการให้อาหารจำเป็นต้องเปลี่ยนไปสู่ระบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและปรับปรุงการจัดการสำหรับเกษตรกรความมั่นคงด้านอาหารสำหรับผู้บริโภคและสภาพแวดล้อมด้านสุขภาพสำหรับผู้อยู่อาศัยในประเทศญี่ปุ่น จุดเด่นของโคพันธุ์วากิวด้านซากและการผลิต ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลซากและการผลิตของโคพันธุ์วากิว

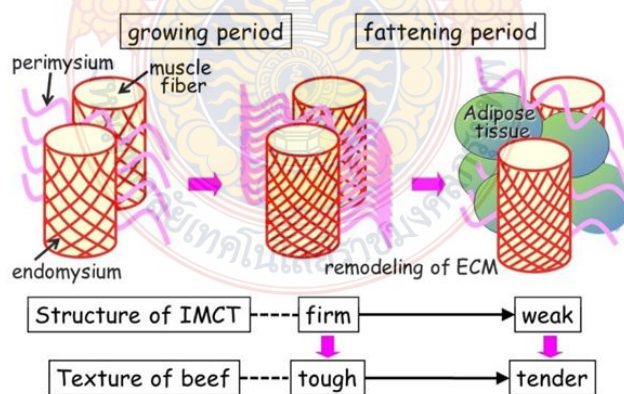
ซาก	การผลิต
1) มีไขมันแทรกสูง	1) คลอดง่าย
2) ไขมันมีองค์ประกอบที่นุ่ม โดยมีสัดส่วนของไขมันไม่อิ่มตัวสูง มีรสชาติดี	2) ความสมบูรณ์พันธุ์สูง
3) เนื้อละเอียดกว่า	3) เชื่อง
4) ไม่มีไขมันหุ้มสันมากเกินไป	4) ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้กว้าง
5) หน้าตัดเนื้อสันใหญ่	5) เพศเมียถึงวัยเจริญพันธุ์เร็ว
6) ผลผลิตสูง	

ที่มา: เนติยะ, ออนไลน์, 2562; อ้างจาก สรรพเชษฐ, ม.ป.ป

ซากของเนื้อวากิวเมื่ออายุ 26 เดือนจะประกอบด้วยกล้ามเนื้อร้อยละ 47.7 ไขมันร้อยละ 41.7 และกระดูกร้อยละ 10.6 ซึ่งเป็นระดับสูงสุดของไขมันเมื่อเทียบกับซากโคเบลเยียม เนื้อวากิวที่มีคุณภาพสูง (กล้ามเนื้อ *Longissimus*) ประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 13 ไขมันร้อยละ 40 และความชื้นร้อยละ 47 เนื้อโคเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพของมนุษย์ รวมถึงทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่นและป้องกันโรคหลอดเลือดสมอง การได้รับโปรตีนที่เพียงพอยังช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน หากขาดโปรตีนอาจมีแนวโน้มที่จะเป็นโรคโลหิตจาง สูญเสียความต้านทานต่อโรคและมีแนวโน้มที่จะเครียด 1 ใน 30 ของปริมาณโปรตีนในร่างกายของเรามีการแลกเปลี่ยนทุกวัน โปรตีนที่เกิดขึ้นในร่างกายประกอบด้วยกรดอะมิโน 20 ชนิด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมทางชีวภาพที่จำเป็นในการป้องกันโรคกรดอะมิโนของเนื้อโค เนื่องจากเนื้อโค

ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด เนื้อโคญี่ปุ่นสีดำคุณภาพสูงมีกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด และอัตราส่วนการดูดซึมโปรตีนจากเนื้อโคนั้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 97 มีลายหินอ่อนที่มีความคมชัดสูง

ลายหินอ่อน (ไขมันในกล้ามเนื้อ) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่กำหนดคุณภาพเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อสัมผัสและรสชาติ โคญี่ปุ่นสีดำมีลักษณะไขมันในกล้ามเนื้อจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าค่าแรงเหวี่ยงของกล้ามเนื้อ Longissimus ลดลงหลังจากอายุ 20 เดือน พร้อมกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณไขมัน ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณไขมัน และค่าแรงเหวี่ยงของกล้ามเนื้อ Longissimus ดังนั้นระดับที่สูงขึ้นของลายหินอ่อนมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ ผลของการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน Intramuscular Connective Tissue (IMCT) ด้วยการเจริญเติบโตของสัตว์คอลลาเจน Crosslinks จะมีเสถียรภาพมากขึ้นและความสมบูรณ์ของโครงสร้างของ IMCT เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของ IMCT ซึ่งมีส่วนทำให้เนื้อมีไขมันสะสมในกล้ามเนื้อส่วนใหญ่อยู่ใน Perimysium (ระหว่างการรวมกลุ่มเส้นใยกล้ามเนื้อ) ส่งผลให้พบลายหินอ่อน สิ่งนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเมทริกซ์นอกเซลล์และลดความแข็งแรงเชิงกลของ IMCT ซึ่งส่งผลให้เนื้อนุ่ม (Gotoh et al., 2018) ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (IMCT) ที่ส่งผลต่อความนุ่มของเนื้อโค
ที่มา: Gotoh et al., 2018

2.2.5 โคพันธุ์ออสเตรเลีย (Australia)

โคพันธุ์ออสเตรเลียมีชื่อเสียงในเรื่องคุณภาพ เนื่องจากการควบคุมการเลี้ยงโคที่ดี เพื่อให้เนื้อที่มีความนุ่มตามระดับที่ต้องการ เช่น การวัดค่า pH และอุณหภูมิ ซึ่งวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัดค่า pH และต้องต่ำกว่า 5.71 อุณหภูมิควรต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน AUS-MEAT การเลี้ยงโคส่วนใหญ่ในออสเตรเลียเป็นการเลี้ยงด้วยหญ้าหรือการเลี้ยงโคแบบปล่อย

ในทุ่งหญ้า ด้วยลักษณะอากาศและภูมิประเทศที่แตกต่างกันของออสเตรเลีย ทำให้สามารถผลิตเนื้อโคที่มีคุณภาพเฉพาะของตัวเอง แต่ส่วนที่เหมือนกันคือ เนื้อโคที่ผ่านการเลี้ยงด้วยหญ้า หรือ Grassfed beef จะมีไขมันน้อยเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคส่วนใหญ่เพราะมองว่าดีต่อสุขภาพและไขมันต่ำ โคที่กินหญ่ายังดูดซับสารสี (Pigment) จากหญ้าที่เรียกว่า แคโรทีน (Carotene) ซึ่งจะทำให้ไขมันที่พอกจะมีแทรกอยู่ในเนื้อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ และยังทำให้รสชาติเนื้อดียิ่งขึ้น เนื้อโคชนิดนี้ได้รับความนิยมมานานในอุตสาหกรรมโรงแรมและภัตตาคาร ในขณะที่การเลี้ยงโคด้วยธัญพืช (Grainfed Beef) พัฒนามาจากโคที่ถูกกำหนดจำนวนวันของการเลี้ยงให้น้อยที่สุด แต่ต้องได้สารอาหารสมดุลและสุขภาพดีแข็งแรงสมบูรณ์ ด้วยรูปแบบการเลี้ยงลักษณะนี้ทำให้เนื้อโคที่เลี้ยงด้วยธัญพืชมีลักษณะเฉพาะตามต้องการที่แน่นอน คือ มีระดับไขมันแทรกอยู่ในกล้ามเนื้อเหมือนลายหินอ่อนที่เรียกว่า มาร์เบิล สกอร์ (Marble Score) ได้ตามปริมาณที่ต้องการ เนื้อประเภทนี้จึงมีความนุ่มชนิดแทบละลายในปาก ชุ่มน้ำ (Juicy) และรสชาติดี ซึ่งไขมันลายหินอ่อนนี้จัดว่าเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Gotoh et al., 2018)

2.3 เนื้อโคและคุณภาพเนื้อ

2.3.1 โครงสร้างและชิ้นส่วนของเนื้อโค

เนื้อโค หมายถึง เนื้อส่วนที่บริโภคได้ที่ได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในตระกูล Bovidae เนื้อโคมีลักษณะพื้นฐานเหมือนเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยทั่วไป โครงสร้างของเนื้อสัตว์ประกอบด้วยกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) เป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุด (ภาพที่ 2.7) ซึ่งโครงสร้างของกล้ามเนื้อประกอบด้วย 1) เอพิมิเซียม (epimysium) ซึ่งเป็นส่วนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่ด้านนอกสุด ทำหน้าที่ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อเข้าด้วยกัน 2) เพอริมิเซียม (perimysium) ทำหน้าที่ห่อหุ้มแต่ละมัดกล้ามเนื้อย่อย (muscle bundle) 3) เส้นเลือด (blood vessel) ทำหน้าที่นำเลือดและสารอาหาร ออกซิเจนมาเลี้ยงกล้ามเนื้อ 4) มัดกล้ามเนื้อ ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์กล้ามเนื้อ หรือเรียกว่า มัสเซลไฟเบอร์ (muscle fiber) 5) เอนโดมิเซียม (endomysium) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มแต่ละเซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์กล้ามเนื้อ หรือ muscle fiber เป็นทรงกระบอกประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เรียกว่า myofibril เซลล์กล้ามเนื้อมีขนาดแตกต่างกัน ปกติความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 2.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-100 ไมครอน 6) ไมโอไฟบริล (myofibril) คือ ส่วนของเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากที่ประกอบอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อหนึ่งเซลล์ มีหน้าที่โดยตรงในการยืดและหดเซลล์ ภายในไมโอไฟบริลจะประกอบด้วย ไมโอฟิลาเมนต์ (myofilament) อยู่รวมกันภายใต้ผนังห่อหุ้ม ภายในไมโอฟิลาเมนต์ ประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุดของ ไมโอไฟบริล คือ ซาโคเมีย (sarcomere) มีลักษณะเป็นลายสลับบริเวณโปร่งแสง และทึบแสง

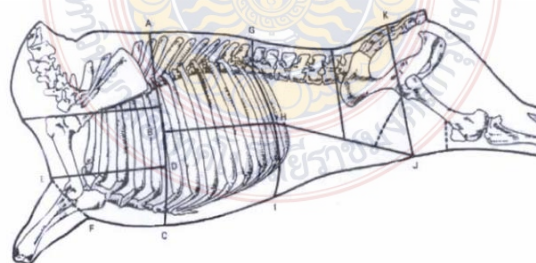
สลับกันไปอย่างเป็นระเบียบ และจากลักษณะดังกล่าวเป็นที่มาของการเรียกกล้ามเนื้อชนิดนี้ว่า กล้ามเนื้อลายอีกด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการยึดและหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยมีโปรตีนที่สำคัญคือ ไมโอซินและแอกติน โดยเกิดการจับตัวของโปรตีนแอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) เป็นแอกโทไมโอซิน ซึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อหด และจะคลายตัวได้ โดยใช้พลังงาน ATP ในกระบวนการเมแทบอลิซึมจึงทำให้กล้ามเนื้อยืดหดเคลื่อนไหวได้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร (2547) ได้กำหนดมาตรฐานเนื้อโคของประเทศไทยโดยจำแนกชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดแต่งซากโคไว้ดังนี้ (ภาพที่ 2.7 และ 2.8)

1) ชิ้นส่วนจากเสี้ยวหน้า (fore quarter) ประกอบด้วย ชิ้นส่วนไหล่บน (chuck) ชิ้นส่วนไหล่ล่าง (chuck arm) ชิ้นส่วนสันหลัง (rib) ชิ้นส่วนพื้นอก (plate) ชิ้นส่วนอก หรือ เสือร้องไห้ (brisket) และชิ้นส่วนแข้งหน้า

2) ชิ้นส่วนจากเสี้ยวหลัง (hind quarter) ประกอบด้วย ชิ้นส่วนสะโพก (round) ชิ้นส่วนสัน (loin) ชิ้นส่วนพื้นท้อง (flank) และชิ้นส่วนแข้งหลัง (hind shank)

นอกจากนี้ชิ้นส่วนและรูปแบบการตัดแต่งซากโคยังมีความหลากหลาย ขึ้นกับจุดประสงค์การใช้งานรวมถึงความนิยมการบริโภคเนื้อโคของประเทศนั้น ๆ อีกด้วย

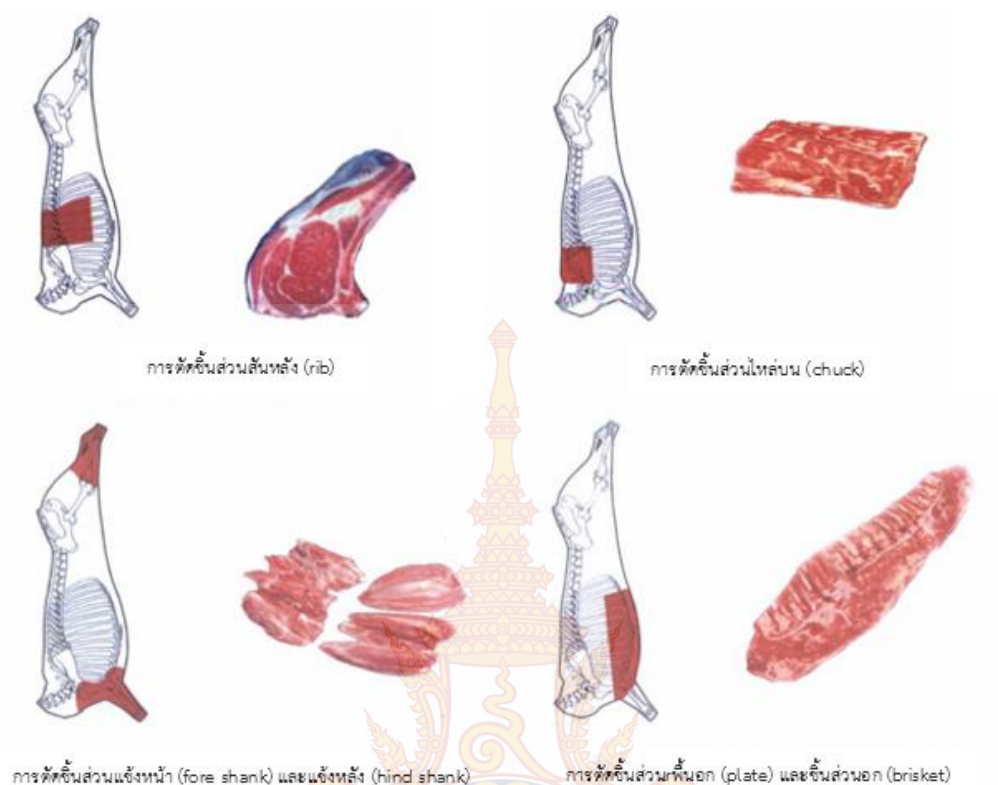


รูปภาพที่ 1 ชิ้นส่วนต่างๆ ของซากโคที่ตัดแบ่งเป็นชิ้นส่วน

C = ชิ้นส่วนไหล่บน (chuck), Ca = ชิ้นส่วนไหล่ล่าง (chuck arm), R = ชิ้นส่วนสันหลัง (rib), P = ชิ้นส่วนพื้นอก (plate), B = ชิ้นส่วนอก (brisket), Fs = ชิ้นส่วนแข้งหน้า (fore shank), F = ชิ้นส่วนพื้นท้อง (flank), Ro = ชิ้นส่วนสะโพก (round), SL = สันสะเอว (short loin), S = สันสะโพก (sirloin), Hs = แข้งหลัง (hind shank)

ภาพที่ 2.7 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของซากโคที่ตัดแบ่งเป็นชิ้นส่วน

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร (2547)



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างเนื้อและชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดแต่งซากโค
ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร (2547)

นอกจากนี้ยังได้กำหนดชั้นคุณภาพไว้ทั้งหมด 5 ชั้นคุณภาพ ตามลักษณะของสีเนื้อ สีไขมัน อายุสัตว์ และระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (ภาพที่ 2.9 และ 2.10) (marbling score) ดังต่อไปนี้

ชั้นดีเลิศ (prime) หมายถึง เนื้อโคที่ได้จากโคขุนอายุไม่เกิน 36 เดือน ระดับไขมันแทรกอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 ไขมันมีสีขาวหรือสีครีม เส้นเนื้อมีสีน้ำตาลและสีแดง

ชั้นดีมาก (choice) หมายถึง เนื้อโคที่ได้จากโคขุนอายุไม่เกิน 36 เดือน ระดับไขมันแทรกอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 4.5 ไขมันมีสีขาวหรือสีครีม เส้นเนื้อมีสีน้ำตาลและสีแดง

ชั้นดี (select) หมายถึง เนื้อโคที่ได้จากโคที่ผ่านการขุนหรือไม่ผ่านการขุน และมีอายุไม่เกิน 42 เดือน ระดับไขมันแทรกอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 ไขมันมีสีครีมหรือสีเหลืองอ่อน เส้นเนื้อมีสีน้ำตาลและสีแดงเข้ม

ชั้นปานกลาง (commercial) หมายถึง เนื้อโคที่ได้จากโคที่ผ่านการขุนหรือไม่ผ่านการขุน และมีอายุมากกว่า 42 เดือน ระดับไขมันแทรกอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 ไขมันมีสีเหลืองอ่อน เส้นเนื้อหยาบและมีสีแดงคล้ำเล็กน้อย

ชั้นพอใช้ (utility) หมายถึง เนื้อโคที่ได้จากโคที่ไม่ผ่านการขุน และมีอายุมากกว่า 42 เดือน ระดับไขมันแทรกอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ไขมันมีสีเหลืองอ่อน เส้นเนื้อหยาบและมีสีแดงคล้ำ



ภาพที่ 2.9 ระดับสีของไขมันหุ้มซากและเนื้อโค

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร (2547)



ภาพที่ 2.10 ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อโค

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร (2547)

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังตายแล้ว

หลังจากที่สัตว์ผ่านกระบวนการฆ่าแล้ว ภายในก้อนเนื้อจะค่อยๆ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณออกซิเจนในก้อนเนื้อลดลงและหมดไป กล้ามเนื้อจะเกิดการเกร็งตัว ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ทำให้ความเป็นกรดมีมากขึ้น โดยค่าความเป็นกรดจะลดลงจาก pH 6.5 การเกร็งตัวของเนื้อสัตว์ในระยะนี้เรียกว่า rigor mortis เป็นระยะที่เนื้อมีความเหนียว ถ้าทำการเก็บเนื้อไว้ในสภาวะที่มีความเย็นประมาณ 0 – 5 องศาเซลเซียสสักพัก เอนไซม์พวโปรติเอสจะทำให้เนื้อเกิดความนุ่มขึ้น เนื่องจากการลดลงของ pH จากการเปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกรดแลคติก หลังจากการถูกฆ่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของเนื้อลดลงด้วย ถ้าเนื้อมีความเป็นกรดมากก็

คุณภาพของเนื้อก็ลดลง การที่สัตว์ได้รับการพักผ่อน และป้องกันไม่ให้สัตว์ตกใจ หรือถูกทุบตี จะทำให้เนื้อที่มีคุณภาพดี มีความเป็นกรดต่างประมาณ 5.8-5.6 แต่ถ้าสัตว์มีการตื่นตกใจ หรือเหนียวก่อนถูกฆ่า ความเป็นกรดต่างหลังถูกฆ่าจะต่ำถึง 5.4 ทำให้โปรตีนในเนื้อเสียสภาพธรรมชาติ เช่น ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการอุ้มน้ำ รวมทั้งสีจะเข้มขึ้นด้วย (ชัยณรงค์, 2529)

การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย (Rigor mortis) คือ การเกร็งตัวของเนื้อสัตว์ เป็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า เกิดจากการหดตัวในระดับโมเลกุลของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) เนื่องจากตอนที่มีชีวิตการจับตัวของโปรตีนแอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) เป็นแอกโทไมโอซิน และจะคลายตัวได้ โดยใช้พลังงาน ATP จากการกระบวนการเมแทบอลิซึม จึงทำให้กล้ามเนื้อยืดหดเคลื่อนไหวได้ (ชัยณรงค์, 2529)

ดังนั้นเมื่อสัตว์ตาย เซลล์กล้ามเนื้อขาดพลังงานจากการหายใจ แอกทินกับไมโอซินจะจับกันล็อกแน่น กล้ามเนื้อหดตัว แต่ไม่คลายตัว เนื่องจากขาด ATP ทำให้ซากสัตว์แข็งที่อยู่วะยะหนึ่งภายหลังจากที่สัตว์ตาย สัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น วัว ควาย หมู จะมีระยะ rigor mortis นานกว่าสัตว์เล็ก เช่น สัตว์ปีก สัตว์น้ำ Rigor mortis เป็นระยะที่เนื้อแน่น เหนียวโดยเฉพาะสัตว์ใหญ่ เช่น วัว ไม่เหมาะกับการนำเนื้อสัตว์ไปปรุงอาหาร ควรรอให้พ้นระยะนี้ไปแล้ว ด้วยการเก็บรักษาเนื้อไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 0-5 องศาเซลเซียส เรียกว่า การบ่มเนื้อสัตว์ (meat aging) โดยเป็นกระบวนการที่รอให้เอนไซม์โปรติเอส (protease) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยแอกโทไมโอซินได้ ย่อยแอกโทไมโอซิน เนื้อสัตว์ที่หดเกร็งจะค่อย ๆ คลายตัวทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น (ชัยณรงค์, 2529)

2.3.3 ความนุ่มของเนื้อโค

ความนุ่มของเนื้อ (Tenderness) หมายถึง ความยากหรือง่ายของเนื้อจากการตัดหรือเคี้ยว ซึ่งชัยณรงค์ (2529) รายงานว่า ความนุ่มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งของความอร่อย และสาเหตุของความนุ่มเนื้อก็มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องและล้วนมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนกัน จึงเป็นการยากที่จะอธิบายว่าปัจจัยใดสำคัญกว่ากัน นอกจากนั้นความนุ่มยังมีความรู้สึกของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ซึ่งการที่จะวัดความรู้สึกของมนุษย์เป็นเรื่องยากและละเอียดอ่อนมาก ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะอธิบายและแจกแจงประสบการณ์การบริโภคเนื้อนุ่มด้วยถ้อยคำไม่กี่คำ ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ได้แก่ อายุ เพศ อัตราการเกิดไกลโคลิซิสปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในมัดกล้ามเนื้อ ความยาวของซาร์โคเมอร์ (sarcomere length) สภาวะการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ การสลายตัวของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อหลังการฆ่า (proteolysis post-slaughter) อิทธิพลของเอนไซม์ proteinases และปัจจัยด้านไขมันแทรกในเนื้อ (Koochmaraie, 1994; Belew et al. 2003; Warner et al., 2010) โดยปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อความนุ่มของเนื้อ คือ ปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่สะสมในเนื้อ ซึ่งส่วนมากจะเป็นคอลลาเจน (collagen effect) และโปรตีน

จากเส้นใยกล้ามเนื้อ (actomyosin effect) (Riley et al., 2005) และนอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาในการบ่มเนื้อ ความเร็วในการลดอุณหภูมิเนื้อ และวิธีการปรุงอาหาร ก็ล้วนมีผลต่อความนุ่มของเนื้อโคด้วยเช่นกัน (จุฑารัตน์ และญานิน, 2548)

วัชรวิทย์ (2557) รายงานถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความนุ่มของเนื้อโคไว้ดังต่อไปนี้

1) ปัจจัยด้านพันธุกรรมต่อความนุ่มของเนื้อโคพันธุ์สัตว์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อและคุณภาพของเนื้อ พบว่า โคบราห์มันซึ่งเป็นโคเขตร้อน (*Bos indicus*) เนื้อจะมีความนุ่มน้อยกว่าโคเขตหนาว (*Bos taurus*) (Riley et al., 2005; Ibrahim et al., 2008) ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ calpastatin ที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลังการฆ่า ซึ่งโคกลุ่ม *Bos indicus* จะมีเอนไซม์ calpastatin ในเนื้อสูงกว่าโคกลุ่ม *Bos taurus* และเอนไซม์ calpastatin จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อนุ่ม (calpain) จึงทำให้เนื้อโคกลุ่ม *Bos taurus* มีแนวโน้มของความนุ่มเนื้อและคุณภาพในการบริโภคดีกว่าโคกลุ่ม *Bos indicus* (จุฑารัตน์ และญานิน, 2548) นอกจากนี้ โคเนื้อกลุ่ม *Bos indicus* จะมีแนวโน้มของไขมันแทรกในเนื้อและความนุ่มของเนื้อต่ำกว่าโคกลุ่ม *Bos Taurus* จึงส่งผลต่อการรับรู้ความนุ่มเนื้อของผู้บริโภคด้วย (Thompson, 2002) โดยจากการศึกษาเปรียบเทียบความนุ่มเนื้อของโคกลุ่ม *Bos Taurus* ได้แก่ โคพันธุ์ Blonde d'Aquitaine, Holstein, Limousin และ Brown Swiss พบว่า โคพันธุ์ Holstein และ Limousin มีค่าคะแนนความนุ่มสูงกว่า Blonde d'Aquitaine และ Brown Swiss ($P < 0.05$) เมื่อผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วันขึ้นไป (Monsón et al., 2005)

2) ปัจจัยด้านเพศต่อความนุ่มของเนื้อโคเพศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อซึ่งโคตัวผู้ตอนและโคสาวจะให้เนื้อที่มีความนุ่ม และมีไขมันแทรกในเนื้อสูงกว่าโคเพศผู้ ในขณะที่เนื้อโคสาวจะมีความนุ่ม และไขมันแทรกสูงกว่าโคตัวผู้ตอน อย่างไรก็ตาม Zinn et al. (1970) รายงานว่าที่ระยะเวลาการเลี้ยงขุน 150 วัน เนื้อของโคสาวจะมีความนุ่มมากกว่าโคเพศผู้ตอน แต่ที่ระยะเวลาการเลี้ยงขุน 240 วัน เนื้อของโคเพศผู้ตอนจะมีความนุ่มมากกว่าโคสาวอีกทั้งในการเลี้ยงโคขุนจะนิยมเลี้ยงโคเพศผู้ตอน เนื่องจากโคเพศผู้ตอนจะมีอัตราการเจริญเติบโตและน้ำหนักซากดีกว่าโคสาว และด้วยขนาดของซากที่เล็กกว่าโคตัวผู้ จึงส่งผลให้ไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค

3) ปัจจัยด้านอายุโคเมื่อฆ่าห้ผลต่อความนุ่มของเนื้อโค ปัจจัยด้านอายุโคเมื่อฆ่าชำแหละเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความนุ่มของเนื้อโค โดยโคที่มีอายุอยู่ในวัยหนุ่มสาวจะเป็นช่วงที่เนื้อดีมีคุณภาพดีและมีความนุ่ม ทั้งนี้เพราะว่าโควัยนี้จะมีการสร้างกล้ามเนื้อจนเกือบเต็มที่แล้วแต่อายุยังไม่เลยวัยหนุ่มสาว จึงทำให้ปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่ในระดับต่ำ มีผลทำให้เนื้อแข็งแรงต้านทานต่อแรงกดและแรงบิดของฟันมนุษย์ขณะเคี้ยวเนื้อ จึงเป็นสาเหตุทำให้มีความรู้สึกว่เนื้อนุ่มไม่เหนียวเหมือนในโคอายุมาก (บุญชู, 2548) ซึ่งความนุ่มของเนื้อโคจะลดลงจนเกือบเรียกได้ว่าเหนียวนั้น จะปรากฏชัดเจนเมื่อโคอายุ 30 เดือน และโคที่อายุมากกว่านี้เนื้อจะเหนียว

มากขึ้นตามลำดับแต่จะเป็นไปอย่างช้าๆ และต่อเนื่อง (ชัยณรงค์, 2529) โดยปัจจัยด้านอายุต่อความนุ่มของเนื้อ เป็นผลมาจากโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีในกล้ามเนื้อลาย โดยเฉพาะ myofibrils และ intermediate filaments รวมทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อ (endomysium และ perimysium) ซึ่งประกอบด้วย collagen ซึ่งจะมีการสะสมมากขึ้นเมื่อโคมีอายุมากขึ้น (Takahashi, 1996) ซึ่งพบว่าเนื้อสันของโคที่มีอายุ 12 เดือน จะมีความนุ่มมากกว่าโคที่มีอายุ 17 และ 24 เดือน (Gullett et al., 1996) และโดยทั่วไปแล้วโคขุนคุณภาพควรมีอายุเมื่อฆ่าไม่เกิน 3 ปี (จุฑารัตน์ และ ญาณิน, 2548) สอดคล้องกับ ญาณิน และคณะ (2547) ที่ทำการศึกษาการผลิตเนื้อโคคุณภาพสูงจากโคลูกผสมเลือดชาร์โรเลห์ต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อตัวพบว่า อายุเมื่อส่งฆ่ามีอิทธิพลต่อน้ำหนักมีชีวิตสุดท้าย ($P < 0.01$) และระดับคะแนนไขมันแทรก ($P < 0.05$) คือน้ำหนักมีชีวิตสุดท้ายและระดับคะแนนไขมันแทรกเพิ่มสูงขึ้นตามอายุเมื่อส่งฆ่า ส่วนระยะเวลาการขุนมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ซากขนาดใหญ่ที่หน้าตัดเนื้อสันนอก ($P < 0.05$) และระดับคะแนนไขมันแทรกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) คือระยะเวลาการขุน 300-349 วัน มีเปอร์เซ็นต์ซากขนาดใหญ่ที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และระดับคะแนนไขมันแทรกดีที่สุด เมื่อน้ำหนักมีชีวิตสุดท้ายมากขึ้น พบว่าระดับคะแนนไขมันแทรกสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลรวมของอายุเมื่อส่งฆ่ากับระยะเวลาการขุนที่มีต่อระดับคะแนนไขมันแทรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบเนื้อที่มีระดับคะแนนไขมันแทรกต่างกันพบว่าเนื้อที่มีคะแนนไขมันแทรกระดับ 3-3.5 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียระหว่างการทำให้สุก ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเปอร์เซ็นต์ความชื้นและโปรตีนสูงกว่าเนื้อที่มีคะแนนไขมันแทรกระดับ 4-5 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่เนื้อที่มีคะแนนไขมันแทรกสูงมีเปอร์เซ็นต์ไขมันและค่าสีของเนื้อในรูปค่า L^* (lightness) และค่า b^* (yellowness) สูงกว่า อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าสีของเนื้อในรูปค่า a^* (redness) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และสอดคล้องกับการศึกษาของ นารัตยาและสมพิศ (2551) ซึ่งศึกษาคุณภาพซากโคขุนลูกผสมพื้นเมือง เพื่อดูคุณภาพซาก ปริมาณเนื้อแดงและคุณภาพความแน่นเนื้อของชิ้นเนื้อที่มีมูลค่า ได้แก่ Rib, Rump และ Top side โดยนำโคขุนลูกผสมพื้นเมือง ที่มีอายุก่อนขุนโดยเฉลี่ย 1 ปี จำนวน 14 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 7 ตัว นำมาขุน ที่ระยะเวลาต่างกัน คือ 12 และ 18 เดือน ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยโดยรวมด้านคุณภาพซากและปริมาณเนื้อแดงที่มีมูลค่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เนื้อส่วนสันนอก (Rib) ที่ได้จากโคขุน 12 เดือน มีความนุ่มมากกว่าการขุนโคในระยะเวลา 18 เดือน ซึ่งพบว่าในชิ้นเนื้อขาสะโพก Rump และ Top side ของการขุนโค 12 เดือน มีความแน่นเนื้อน้อยกว่า การขุนโค 18 เดือน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$)

4) ปัจจัยด้านไขมันแทรกต่อความนุ่มของเนื้อไขมันแทรก หมายถึง ลักษณะไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนโดยทำการประเมินได้จากพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันระหว่างซี่โครงซี่ที่ 12 และ 13 โดยไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อนี้จะบ่งบอกถึงความน่ากิน

ของเนื้อ ซึ่งไขมันจะช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำลายจึงทำให้เกิดความรู้สึกชุ่มน้ำอยู่ในปาก โดยปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอิทธิพลทางพันธุกรรมของสัตว์ และโคเชตร้อนจะมีการสะสมไขมันแทรกได้น้อยกว่าโคเชตหนาว (Albrecht et al., 2006)

5) ปัจจัยด้านการบ่มต่อความนุ่มของเนื้อโค การบ่มเนื้อเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ เมทาบอลิซึมในเนื้อหลังจากการฆ่า (Cifuni et al., 2004) ซึ่งโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐานนั้น หลังการฆ่าจะนำซากโคเข้าห้องแช่เย็นที่ 3 °C ทันทีและคงอุณหภูมิขนาดนี้ไปจนครบ 24 ชม. เพื่อให้ขบวนการแข็งตัว (rigor mortis) เกิดขึ้นตามขั้นตอนจนสมบูรณ์ (ชัยณรงค์, 2529) Hannula and Puolanne (2004) รายงานว่า ระยะเวลาที่ยาวนานของการบ่มจะเกิดการ ทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในเนื้อ ทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น ซึ่ง Monsónet et al. (2005) รายงานว่าการบ่มเนื้อเป็นระยะเวลามากกว่า 7 วันขึ้นไปจะช่วยลดอิทธิพลของสายพันธุ์ต่อความนุ่มเนื้อได้ สอดคล้องกับ Marino et al. (2013) ศึกษาการบ่มเนื้อโคที่ระยะ 1, 7, 14 และ 21 วัน พบว่าระยะการบ่มเนื้อที่นานขึ้นจะทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำลง ($P < 0.01$) อีกทั้งทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแตกตัวได้มากขึ้น ($P < 0.01$) ซึ่งระยะเวลาของการบ่มเนื้อที่ยาวนานขึ้น จะทำให้สภาพแวดล้อมภายในเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี คือทำให้ actomyosin ถูกตัดขาด ณ บริเวณ Z-line ทำให้ความตึงตัวลดลงและเป็นที่เหตุให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อีกกิจกรรมที่พบขณะบ่มซาก คือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเนื้อโดยสารถาย่อย cathepsins เกิดการรั่วไหลออกมานอกเซลล์ แล้วเข้าไปย่อยโปรตีนบริเวณ Z-line ดังกล่าว จึงทำให้ sarcomere มีความยาวขึ้นและเนื้อมีความนุ่มขึ้น (ชัยณรงค์, 2529)

6) ปัจจัยด้านชิ้นส่วนของเนื้อต่อความนุ่มของเนื้อโค กล้ามเนื้อจากชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกายมีความนุ่ม ความเหนียวแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและไขมันที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อนั้น ๆ เนื่องจากส่วนร่างกายที่มีการเคลื่อนไหวมาก เช่น เนื้อน่อง เนื้อต้นคอ เนื้อสันท้อง จะมีเอ็นและพังผืดอยู่มาก ในทางตรงกันข้ามเนื้อสันในเป็นเนื้ออยู่ในบริเวณที่เคลื่อนไหวน้อยจึงทำให้เนื้อมีความนุ่มมาก (จุฬารัตน์และญาติ, 2548) นารถยาและสมพิศ (2551) กล่าวว่าเนื้อส่วนขาหลัง (Hindquarter) มีกล้ามเนื้อที่นุ่ม เหมาะสำหรับการทำ สเต็ก (Steak) สามารถจำหน่ายได้ราคาสูงกว่าส่วนอื่น ได้แก่ ส่วนหัวสันใน (Fillet) สันนอก (Rib Steak) ส่วนขาสะโพกได้แก่ Rump และ Topside หรือ Inside เนื้อส่วนขาหน้า (Forequarter) ประกอบด้วยชิ้นเนื้อ เสือร้องไห้ (Brisket) พื้นที่ของบริเวณซี่โครง (Plate) พื้นที่ของบริเวณขาหลัง (Flank) น่อง (Shank) ไหล่ (Shoulder) เศษเนื้อ (Trim meat) ซึ่งชิ้นเนื้อของขาหน้าไม่นิยมใช้ทำ สเต็ก เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissue) หรือเอ็นจำนวนมาก จึงมีลักษณะเหนียวมากกว่าชิ้นเนื้อของขาหลัง เนื้อขาหน้าใช้ทำเนือบดหรือใช้ในการแปรรูปเนื้อสัตว์ เช่น แฮมเบอร์เกอร์

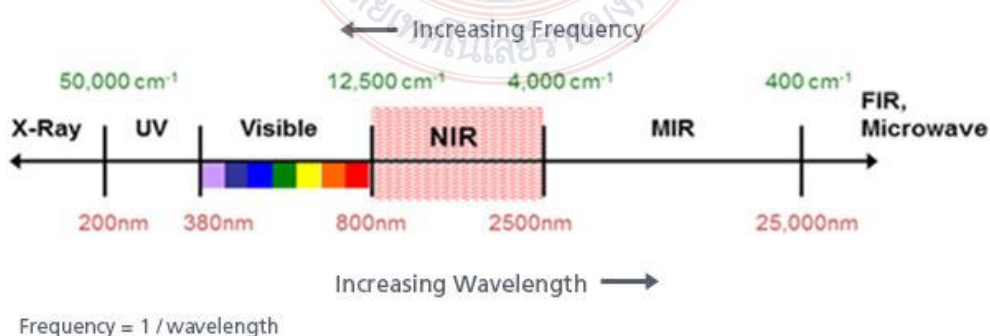
7) ปัจจัยด้านเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อต่อความนุ่มของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นอีกตัวชี้วัดในการประเมินความนุ่มของเนื้อโค (Brooks and Savell, 2004) ซึ่งการที่เนื้อสัตว์มีความแตกต่างกันในแง่ของความนุ่มนั้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นผลมาจากปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่ภายในเนื้อ สอดคล้องกับ Møller (1981) รายงานว่าความนุ่มของเนื้อที่เกิดขึ้นจากการปรงสุกเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างและปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของเนื้อนั้น และมักปรากฏอยู่เสมอว่าเนื้อที่นุ่มมักจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ต่ำ โดยปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นผลสะท้อนมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อนั้นๆ เป็นหลัก เช่น กล้ามเนื้อขาหลัง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องแข็งแรงและมีกำลังมากกว่ากล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ จึงทำให้ต้องมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงตามไปด้วย ส่วนเนื้อสัตว์ที่มีอายุมากก็เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งสัตว์ที่มีอายุมากก็ต้องทำงานหนักมากขึ้นจึงเป็นเหตุให้ intermolecular cross link ภายในเส้นใยย่อยของ คอลลาเจน เพิ่มขึ้นตามอายุสัตว์ที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความสามารถในการละลายของ คอลลาเจน ลดต่ำลง และในขณะเดียวกันความสามารถในการต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวในปากมนุษย์ก็สูงขึ้นหรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าเนื้อเหนียว (ชัยณรงค์, 2529)

2.4 เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy; NIR)

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIR) เป็นวิธีการวัดและวิเคราะห์รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 800-2500 นาโนเมตร ($12500-4000\text{ cm}^{-1}$) แสดงดังภาพที่ 2.11 เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์สารได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ สามารถประยุกต์ใช้ได้ตั้งแต่การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ร่วมกับวิธีการทางเคมีกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์สารที่สนใจ โดยอาศัยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงจากการวัดด้วยเครื่อง NIR กับปริมาณองค์ประกอบด้วยวิธีมาตรฐาน (reference or standard method) ที่แสดงผลในรูปแบบกราฟที่เรียกว่า สเปกตรัม โดย NIR มีข้อได้เปรียบหลายประการ ได้แก่ เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง รวมทั้งวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย ประหยัดระยะเวลา เชื่อถือได้และปลอดภัย ใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ในระยะยาว สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ อีกทั้งยังไม่ใช่สารเคมีในการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งองค์ประกอบในการวัดตัวอย่างโดยเทคนิค NIR spectrometer แสดงดังภาพที่ 2.12 (Haiyan and Yong, 2007; uang et al, 2008)

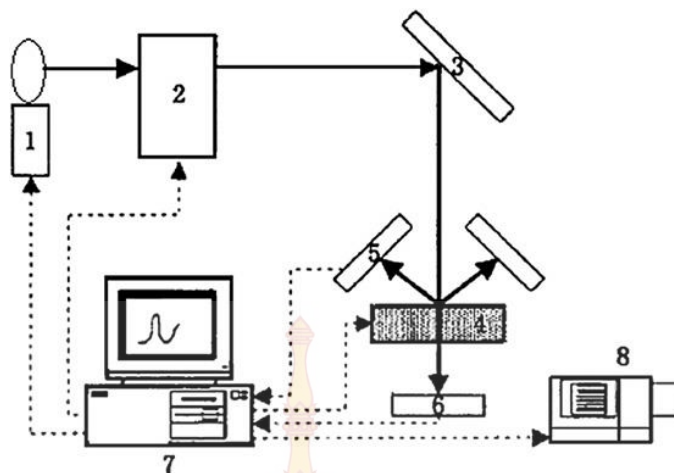
เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ อาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนในพันธะของโมเลกุลสารตัวอย่าง โดยเมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังตัวอย่างไม่ว่าจะเป็นสารละลายหรือวัตถุดิบ จะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ และกระตุ้นให้เกิดการสั่นที่ความถี่สูงของ

โมเลกุลใน Functional groups ต่างๆ 2 ลักษณะ คือการยืดหด (stretching) และการเปลี่ยนมุม (bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ C=H เป็นต้น ซึ่งเป็นโมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ โดย การสั่นนั้นจะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไป ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน ดังนั้น เมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่นและดูดกลืน รังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (vibration ground state) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานให้อยู่ในสภาวะกระตุ้นแบบข้ามขั้น (Excited vibration level) หรือเกิดการสั่นแบบโอเวอร์โทน (overtone vibration) และคอมบิเนชัน (combination vibration) (Alishahi et al., 2010; Haiyan and Yong, 2007; Haibo et al, 2008) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงาน ความร้อน ซึ่งปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงจะเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มข้นของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนหรือปริมาณขององค์ประกอบ ทางเคมีนั้น ที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Nicolai และคณะ, 2007) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เทคนิค NIRS สามารถ วิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ C, H, O และ N เป็นองค์ประกอบได้ โดยรังสี NIR ในช่วงความ ยาวคลื่น 12500-9090 cm^{-1} เป็นช่วงคลื่นสั้นซึ่งมีพลังงานสูงสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในตัวอย่างได้ 5-10 มิลลิเมตร และช่วงความยาวคลื่น 9090-4000 cm^{-1} เป็นช่วงคลื่นยาวจะมีพลังงานต่ำกว่า สามารถทะลุทะลวงตัวอย่างได้ 1-3 มิลลิเมตร (อนุพันธ์, 2545; Huang et al, 2008)



ภาพที่ 2.11 ความยาวคลื่นและช่วงการดูดกลืนแสง

ที่มา: ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก <https://www.fossanalytics.com/en/newsarticles/technologies/nir> (สืบค้นวันที่ 19 เมษายน 2561)



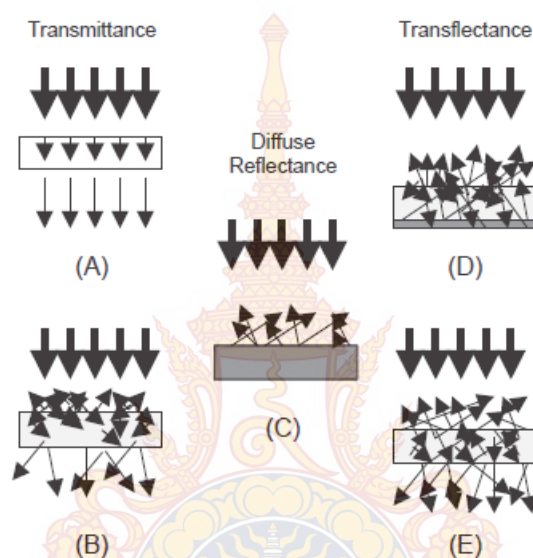
ภาพที่ 2.12 องค์ประกอบในการวัดตัวอย่างโดยเทคนิค NIR spectrometer 1) light source 2) beam splitter system 3) reflector 4) sample chamber/detector inlet valve 5) diffuse reflection detector 6) transmission detector 7) control and data processing analyzed system 8) printer

ที่มา: Haiyan and Yong (2007)

ระบบการวัดด้วยเทคนิค NIRS ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมี 4 แบบ ได้แก่ แบบส่องผ่าน (transmittance) แบบสะท้อนกลับ (reflectance) แบบส่องผ่านสะท้อนกลับ (transflectance) และแบบอินเตอร์แอคแทนซ์หรือการสะท้อนผ่านตัวอย่าง (Interactance) ดังภาพที่ 2.13 โดยส่วนใหญ่นิยมวัดค่าในรูปแบบ Reflectance ที่วัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ส่องเข้าไป หรือ Transmittance ที่วัดความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ส่องเข้าไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวอย่างที่ต้องการวัด ถ้าตัวอย่างมีความโปร่งใสจะใช้ระบบการวัดแบบส่องทะลุผ่าน (transmittance) ส่วนตัวอย่างที่เป็นของเหลวขุ่นหรือมีสถานะกึ่งของแข็ง และเป็นของแข็ง ในการวัดจะมีการกระเจิงของแสงที่ผิวของวัตถุก่อนจะส่องทะลุผ่านหรือสะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่างจะใช้ระบบการวัดแบบการสะท้อนแบบส่องผ่าน (diffuse reflectance) หรือวัดการสะท้อนแบบแพร่ หรือการวัดการสะท้อนผ่านตัวอย่าง (transflectance) โดยมีอุปกรณ์สำหรับใส่ตัวอย่างที่ใช้ในเครื่อง NIRS ดังนี้ (นิมิตรา, 2559; อนุพันธ์, 2545)

- Round cup ใช้กับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดที่สัมผัสกับพื้นที่ผิวในการรับแสงอินฟราเรด เช่น แป้ง ผงปูน

- Transport cell ใช้กับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นเมล็ดที่ใส่ตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองผืนผ้าขนาดใหญ่เพื่อให้จำนวนเมล็ดที่ได้รับรังสีอินฟราเรดมีมากขึ้น
- Cuvett ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของเหลว โดยจะมีความหนาหลายระดับเพื่อให้มีการดูดกลืนที่เหมาะสมในแต่ละสารละลาย



ภาพที่ 2.13 ระบบการวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิค NIRS โดย A) การวัดแบบส่องทะลุผ่าน B) การวัดแบบสะท้อนแบบส่องผ่าน C) การวัดการสะท้อนแบบแฟร์ D) และ E) การวัดการสะท้อนผ่านตัวอย่าง

ที่มา: Reich (2005) อ้างโดย นิยมมิตร (2559)

2.4.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล Near infrared spectra (NIRs)

การดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRs ประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration set) และ ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (Validation set) หรือ test set จำนวนตัวอย่างของ calibration set มีมากกว่าตัวอย่างของ validation set เสมอ ในการสร้างสมการที่ใช้ทำนายก็เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายค่าคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้ เรียกว่า การทำ Validation เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความแม่นยำหรือไม่เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือ แล้วจึงนำสมการที่ได้ไป

ใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา จากสเปกตรัม NIRs ที่ทำการวัดมาได้ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ดีจะต้องมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อย่างพอเพียงทั้งตัวอย่างในปัจจุบันและตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ในอนาคต โดยเฉพาะปริมาณองค์ประกอบทางเคมีจะต้องมีค่าครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุดและสูงสุดของตัวอย่าง โดยมีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ที่ถูกต้องเพียงพอและเป็นตัวแทนที่ของประชากร การสุ่มตัวอย่างถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ดี ทำให้ค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดลองลดลง นอกจากนี้ควรพิจารณาวิธีวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งควรเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานและมีความแม่นยำเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเนื่องจากส่งผลต่อสมการที่สร้างขึ้นต่อไป (นิมิตรา, 2559; อนุพันธ์, 2545)

สำหรับพีคของการดูดกลืนแสงในช่วง NIR นั้น มักจะมีลักษณะเป็นพีคที่กว้างเตี้ย (broad bands) และมีลักษณะพีคเหลื่อมซ้อนกัน (overlapping peaks) หรืออาจจะเรียกว่าเป็นแถบของการดูดกลืนแสง (absorption band) เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันแบบโอเวอร์โทนและสเปกตรัมเกิดการรวมกันของการสั่นที่มีรูปแบบต่างกัน (combination) หรือการที่พีคของการดูดกลืนแสงหลายอันรวมกันแบบพหุคูณ (multiple of bands) ซึ่งทำให้สเปกตรัมที่ได้ยากต่อการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ร่วมกับวิธีการทางเคมี (chemometrics) เป็นการใช้การวิเคราะห์ความถดถอยร่วมกับการปรับแต่งสเปกตรัม (pretreatment) ก่อนการวิเคราะห์ เพื่อกำจัดอิทธิพลที่หลงเหลืออยู่ทำให้ค่าสเปกตรัมที่ได้เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ วิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction, MSC) และ วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน และการปรับแนวโน้ม (Standard Normal Variate; SNV และ Detrending) สามารถลดหรือกำจัดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงที่เกิดจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัมทั้งเส้น (baseline offsets) และใช้ NIRs แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง (diffuse reflectance) นอกจากนี้วิธีการหาค่าอนุพันธ์ (derivative) สามารถแก้ปัญหาพีคที่มีฐานกว้างเนื่องจากการซ้อนทับกันของพีคและอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (baseline shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) ซึ่งทำให้สเปกตรัมเบี่ยงเบนไป ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอและการกระจายตัวของตัวอย่าง หรือการใช้วิธีการหาค่าอนุพันธ์ (derivative) ร่วมกับการปรับเรียบ (smoothing) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสเปกตรัม

จากนั้นสเปกตรัมที่ได้จากการบันทึกด้วยเครื่อง NIRs ภายหลังจากปรับแต่งสเปกตรัมแล้วก็บ่งองค์ประกอบในตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานจะถูกนำมาสร้างความสัมพันธ์ ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยแบบหลายตัวแปร (multivariate regression) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่นิยมมากที่สุดในการวิเคราะห์ NIR ปัจจุบัน คือการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square Regression; PLSR) และการถดถอยโดยใช้องค์ประกอบหลัก (Principle Component Regression; PCR) เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองเทียบมาตรฐาน (Calibration set) และตรวจสอบความ

แม่นยำของสมการมาตรฐานที่สร้างขึ้น (Validation set) ด้วยการทดสอบแบบภายนอก (external validation) เมื่อได้สมการเทียบมาตรฐานที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จะประเมินความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน โดยอธิบายได้จากค่าทางสถิติต่าง ๆ ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; R) คือค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 หมายความว่า สมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก

ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (Standard error of calibration; SEC) คือค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (Standard error of prediction; SEP) คือ ค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้นมาทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIRs มีความแม่นยำสูงหรือต่ำ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง

ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRs (Average of difference between actual value and NIR value; bias) คือค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลของตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม Validation set ต่อค่า SEP (Ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่าจากที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIRs มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์จริง

2.4.2 การประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS

ปัจจุบันเทคนิค NIRS สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร (อดิศักดิ์และคณะ, 2557; วรพิสัย และอารีรัตน์, 2551; Zahang et al., 2015) สารต้านอนุมูลอิสระ (Schmutzler and Huck, 2016; Chen et al., 2012; Sinelli et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (Haiyan and Yong, 2007; Huang et al., 2008; ปิยะพร, 2559) เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างและรวดเร็ว เช่น Chen et al. (2012) รายงานว่าการใช้เทคนิค NIR สามารถวัดประสิทธิภาพสารต้านอนุมูลอิสระในชาเขียวได้ โดยสร้างสมการทำนายด้วยวิธี PLS พบว่าให้ค่า RMSEP = 0.02161 และ Rp = 0.9691 ซึ่งเป็นค่าที่สูง สมการจึงมีความน่าเชื่อถือและมีศักยภาพในการวัดค่า

สารต้านอนุมูลอิสระในชาเขียว เช่นเดียวกับ Zhang et al., 2004 ได้ศึกษาเป็นไปได้อาจใช้เทคนิค NIR เพื่อประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของชาเขียว โดยสร้างสมการทำนายด้วยวิธี PCR พบว่าสมการที่ดีที่สุดมีค่า RMSEP เท่ากับ 1.81

Sinelli et al. (2008) ใช้เทคนิค NIRS เพื่อทำนายเชิงปริมาณของสารฟีนอลทั้งหมด (RMSECV = 0.14 mg catechin/g และ RMSEP = 0.18 mg catechin/g) flavonoids ทั้งหมด (RMSECV = 0.20 mg catechin/g และ RMSEP = 0.25 mg catechin/g) รวมทั้ง anthocyanins (RMSECV = 0.25 mg malvidin/g และ RMSEP = 0.22 mg catechin/g) ในบลูเบอรี่ ด้วยสร้างสมการทำนายด้วยวิธี PLS ถือว่าให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพึงพอใจ ซึ่งอาจใช้เพื่อลดต้นทุนในการวิเคราะห์คุณภาพได้ นอกจากนี้ยังมีงานอื่นๆ อีกมากที่ใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ปิยะพร (2559) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) ในการตรวจติดตามปริมาณคอลลาเจนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เสริมคอลลาเจนที่วางจำหน่ายภายในประเทศ จำนวน 114 ตัวอย่าง ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ที่ต่อกับตัวตรวจวัดสัญญาณชนิดฟลูออเรสเซนส์ จากนั้นสร้างสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยกับค่าทางเคมี ด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) พบว่าสมการที่เหมาะสมที่ให้ค่าการทำนายดีที่สุดมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficients of determination, R^2) เท่ากับ 0.939 ค่า SEP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,574 mg/L และค่า RMSECV เท่ากับ 6697

Guelpa et al. (2017) ศึกษาการใช้เทคนิค NIR เพื่อตรวจสอบคุณภาพของน้ำผึ้งจากแอฟริกาใต้ เพื่อการปลอมปนของน้ำผึ้งเทียมที่ผลิตจากน้ำตาล โดยการสร้างสมการทำนายด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) พบว่า มีความแม่นยำอยู่ในช่วง 93.3% ถึง 99.9% เมื่อใช้เครื่องมือ NIR สามแบบ ได้แก่ เครื่องมือห้องปฏิบัติการ แบบพกพา และอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก

Long et al. (2015) ใช้เทคนิค NIRS เพื่อแยกแยะข้าวที่ผ่านการดัดแปลงพันธุกรรม (transgenic) 2 สายพันธุ์ คือ TCTP และ mi166 กับข้าวป่าพันธุ์ Zhonghua 11 ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ ที่ช่วงเลขคลื่น $4000-8000 \text{ cm}^{-1}$ และ $4000-10000 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดช่วงสเปกตรัม สร้างสมการทำนายด้วยวิธี PLS-DA พบว่าช่วงเลขคลื่น $4000-10000 \text{ cm}^{-1}$ สามารถแยกแยะระหว่างสายพันธุ์ของข้าวที่ถูกดัดแปลงพันธุกรรม รวมถึงข้าวป่า ออกจากกันได้ได้อย่างถูกต้อง 100%

พิมพ์ใจ และคณะ (2559) ศึกษาความสามารถของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลเสาวรสแบบไม่ทำลาย โดยนำผลเสาวรสสด

จำนวน 140 ผล (ชุดสร้างสมการจำนวน 100 ผล และชุดทดสอบสมการจำนวน 40 ผล) มาวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้นของเนียร์อินฟราเรด (800-1100 นาโนเมตร) ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (Interactance) แล้วคำนวณสมการเทียบมาตรฐานโดยใช้วิธี PLSR เมื่อนำสมการเทียบมาตรฐานมาใช้นำปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลเสาวรส ชุดทดสอบสมการพบว่า ค่า R^2 คือ 0.834 โดยมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย SEP เท่ากับ ร้อยละ 0.29 และมีค่า Bias เท่ากับ ร้อยละ 0.07 และค่า RPD เท่ากับ 2.4 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลเสาวรส ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในโรงคัดบรรจุและอุตสาหกรรมอาหารได้

อดิศักดิ์ ญัฐวัฒน์ และปาริชาติ (2558) ได้ศึกษาการประเมินคุณภาพของผลมะละกอโดยเทคนิคแบบไม่ทำลายตัวอย่างคือ เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีของผลมะละกอกับข้อมูลสเปกตรัมที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง NIR System 6500 และเครื่อง NIRS แบบพกพา ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) สามารถใช้เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวของผลมะละกอได้ การใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีด้วยเครื่อง NIR System 6500 สามารถใช้ประเมินคุณภาพปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะละกอทั้งในผลแก่และผลสุก ส่วนการใช้เครื่อง NIRS แบบพกพาไม่สามารถนำมาประเมินคุณภาพปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

อาทิตย์ และคณะ (2553) ได้ศึกษาผลลองกองเกี่ยวกับการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}\text{Brix}$) ด้วยการใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น โดยนำตัวอย่างลองกอง 300 ผล แบ่งเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยปีที่ 1 เท่ากับ 180 ตัวอย่าง (Calibration 135 ตัวอย่าง Prediction 45 ตัวอย่าง) และปีที่ 2 เท่ากับ 120 ตัวอย่าง (Calibration 90 ตัวอย่าง Prediction 30 ตัวอย่าง) ทำการวัดโดยใช้วิธีสะท้อนกลับ (Interactance Mode) ในช่วงความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร และใช้วิธีส่องผ่าน (Transmittance Mode) ในช่วงความยาวคลื่น 650-955 นาโนเมตร จากนั้นสร้างสมการทดสอบ (Calibration) และสมการทำนาย (Prediction) ด้วยวิธี PLSR พบว่าการทำนายค่า $^{\circ}\text{Brix}$ ของลองกอง เมื่อมีการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมแบบ Second Derivative มีค่า R^2 ดีที่สุด และมีค่า RMSEC ต่ำที่สุด คือ ลองกอง ปีที่ 1 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.935 ปีที่ 2 มีค่า 0.970 และ RMSEC มีค่าต่ำที่สุด พบว่า ลองกองปีที่ 1 มีค่า 0.396 ปีที่ 2 มีค่า 0.386 และเมื่อนำสเปกตรัมปีที่ 1 และปีที่ 2 มารวมกัน ทำให้มีค่า R ดีที่สุด คือ 0.947 และมีค่า RMSEC ต่ำที่สุด คือ 0.448 จากผลที่ได้พบว่าเทคนิคการใช้คลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรดแบบส่องผ่านและแบบสะท้อนกลับมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}\text{Brix}$) แบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ แต่แบบส่องผ่านค่อนข้างจะดีกว่าเพราะมีความเข้มแสงที่จะสามารถทะลุทะลวงได้ดี

อริยนันท์ และอนุพันธ์ (2560) ศึกษาการประเมินคุณภาพทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุด ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRS) เพื่อแก้ปัญหาการส่งออกทุเรียนอ่อน โดยใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองจำนวน 140 ผล โดยจะวัดค่าการดูดกลืนแสงที่พหุซึ่งผ่านเปลือกให้เปรียบเทียบกับ การวัดค่าการดูดกลืนแสงของเนื้อผลโดยตรง แล้วนำข้อมูลการดูดกลืนแสงและค่าน้ำหนักเนื้อแห้ง มาสร้างสมการประเมินน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยเทคนิค PLSR ผลการวิเคราะห์พบว่า สมการของสเปกตรัมเนื้อผลที่สร้างจาก FT-NIR Spectrometer มีความแม่นยำในการประเมินมากกว่าด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.78 และค่า RMSEP เท่ากับ ร้อยละ 3.02 โดยสมการที่สร้างจากสเปกตรัมทั้งผลผ่านเปลือกให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.69 และ RMSEP เท่ากับ ร้อยละ 3.57 โดย ความคลาดเคลื่อนของทั้งสองโมเดลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นแนวทางการวัดการดูดกลืนแสงแบบทำลายน้อยที่สุดที่ให้ผลการประเมินค่าน้ำหนักเนื้อแห้งที่มีแนวโน้มที่ดี

แก้วกานต์ และคณะ (2560) ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRS) และการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR-HSI) สำหรับการคัดแยกเมล็ดถั่วเขียวดี (เมล็ดที่เพาะงอก) ออกจากเมล็ดแข็ง (เพาะไม่งอก) นำมาวัดการดูดกลืนแสงโดยวางเมล็ดแบบ Hilum Face-Up ด้วยเทคนิค NIRS ที่มีการศึกษาการวัดแบบส่องผ่านร่วมกับการวัดแบบสะท้อนและเปรียบเทียบกับ การวัดด้วยเทคนิค NIR-HSI โดยสมการ Calibration ที่เหมาะสมใช้การวิเคราะห์แบบ Partial Least Squares Discriminant Analysis; PLSDA สำหรับเทคนิค NIRS มีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing, Second Derivative และ Multiplicative Scatter Correction; MSC พบว่า Hilum Faced-Up โมเดล ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.711 และ 0.395 ตามลำดับ (ความแม่นยำ ร้อยละ 84.85) และความแม่นยำของสมการแม่นยำขึ้น เมื่อทำการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี Normalization ด้วยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1150 นาโนเมตร ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.965 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.132 สามารถคัดแยกเมล็ดงอกและไม่งอกได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ จากการวิจัยด้วยเทคนิค NIR-HSI ให้ผลที่ดีกว่าเทคนิค NIRS โดยโมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมที่มีการปรับแต่งด้วยวิธี SNV ให้ค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.990 และ RMSEP เท่ากับ 0.070 (ความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์) ข้อได้เปรียบของเทคนิค NIR-HIS คือ สามารถแสดงภาพความแตกต่างระหว่างเมล็ดปกติและเมล็ดแข็ง

รีนฤติ และคณะ (2553) ศึกษาการใช้เทคนิค NIRS ร่วมกับวิธี PLSR เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดสำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนการคัดเลือกประชากรของโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อทดแทนวิธีการสกัดด้วยสารเคมี เริ่มจากสร้างสมการเบื้องต้นจากตัวอย่างข้าวโพด 102 ตัวอย่าง นำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 1200–2400 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณน้ำมันด้วยวิธีการมาตรฐาน นำสมการเบื้องต้นไปใช้ทำนายปริมาณน้ำมันในข้าวโพด 800 ตัวอย่าง แต่ละครั้งนำสมการที่ดีที่สุดไปใช้ทำนายปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพดจากโปรแกรม

การปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งผลทางสถิติของสมการที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี แสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำเทคนิค NIRS มาใช้ทดแทนวิธีสกัดด้วยสารเคมี

นิมิตรา (2559) ศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งบนผลมะม่วงต่อประสิทธิภาพการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ และเทคนิคการถ่ายภาพเชิงสเปกตรัมในการตรวจสอบคุณภาพภายในและปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ใช้ตัวอย่างมะม่วงจำนวน 188 ผล มาวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิค NIRS ที่ตำแหน่งบนผลมะม่วงที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตำแหน่งไหล่ผล แก้มผล และปลายผล ความยาวคลื่น 800 ถึง 2500 นาโนเมตร การวัดความหนาแน่นเนื้อด้วยเทคนิค NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 950 ถึง 1650 นาโนเมตร ในระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ สมการที่ดีที่สุดมีค่า R^2 เท่ากับ 0.72 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 12.2 นิวตัน จากการศึกษพบว่า ตำแหน่งของการวัดสเปกตรัมบนผลมะม่วงมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIRS โดยอิทธิพลของตำแหน่งบนผลมะม่วงมีผลต่อการทำนายคุณภาพในการตรวจสอบปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยเทคนิค NIRS พบว่าสมการทำนายค่าที่ตำแหน่งไหล่ผล แก้มผล และปลายผล (R^2 อยู่ในช่วง 0.62 ถึง 0.77) มีความแม่นยำน้อยกว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมเฉลี่ยจากทุกตำแหน่งบนผล

ภัทรกร เปรมกมล และกาญจนา (2560) ศึกษาศักยภาพและความเป็นได้ของการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบสะท้อนกลับ ในการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยด้วยวิธีการผลิตแก๊สของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง โดยใช้ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์ปากช่องที่ เก็บจากสถานที่ต่าง ๆ จำนวน 112 ตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน ใยหยาบ และอินทรีย์วัตถุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง และทำการหาการย่อยได้ด้วยวิธีการผลิตแก๊ส นำตัวอย่างไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง Near Infrared Reflectance Spectroscopy; NIRS ที่ช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 2500 นาโนเมตร นำสเปกตรัมมาสร้างสมการและใช้ในการทดสอบสมการ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างสมการด้วยวิธี Modified Partial Least Squares; MPLS โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป OPUS พบว่า NIRS สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูง ($R^2 > 0.83$) และความผิดพลาดมาตรฐาน ในการทำนายค่า ส่วนการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ การผลิตแก๊สสามารถทำนายได้แม่นยำปานกลาง ($R^2 = 0.62-0.76$) สรุปได้ว่า NIRS สามารถทำนายค่าส่วนประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ (การย่อยได้ของวัตถุแห้งและการผลิตจุลินทรีย์โปรตีน) ของหญ้าเนเปียร์ปากช่องได้อย่างแม่นยำและสามารถนำไปใช้ในการวิจัยด้านโภชนาการสัตว์เคี้ยวเอื้องได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab) ยี่ห้อ Mini Scan XE Plus รุ่น D/8-S

3.1.1.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ยี่ห้อ M LAB รุ่น WBN

3.1.1.3 เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง (Analytical Balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น LE

3.1.1.4 เครื่องสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FT-NIR Spectrometer Frontier

3.1.1.5 เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Vacuum Sealer) ยี่ห้อ Spring Green Evolution รุ่น VCX

3.1.1.6 เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด (Infrared Thermometer) ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT300S

3.1.1.7 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA.XT Plus

3.1.1.8 นาฬิกาจับเวลา (Stopwatch)

3.1.1.9 ไม้บรรทัดฉาก (Ruler Scene)

3.1.1.10 เชียง (Cutting board)

3.1.1.11 ฟิล์มแรป (Cling Film)

3.1.1.12 ถุงซิปล็อค ขนาด 20 x 25 ตารางเซนติเมตร (Zipper Bag)

3.1.1.13 ถุงซีลสุญญากาศลายขนุน (Vacuum Seal Bags)

3.1.1.14 แท่งเจาะเนื้อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร

3.1.1.15 ถ้วยพลาสติก (Plastic Cup)

3.1.1.16 ไม้จิ้มฟัน (Toothpick)

3.1.1.17 ถาดสแตนเลส (Stainless Steel Tray)

3.1.1.18 กระดาษสติ๊กเกอร์ (Sticker Paper)

3.1.1.19 ปากกาเคมี (Chemical Pen)

3.1.1.20 ตะแกรงสแตนเลส (Stainless Steel Grating)

3.1.1.21 มีด (Knife)

3.1.2 วัดถุดิบ

3.1.2.1 เนื้อโคสันนอก (Sirloin)

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของเนื้อโคสันนอกด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างและวัดค่า Transmittance โดยใช้เครื่อง NIRS

1) เตรียมตัวอย่างเนื้อโคชิ้นส่วนสันนอก (Sirloin) จำนวน 65 ตัวอย่าง ตัดเป็นชิ้นหนา 2.54 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.2 ดัดแปลงจาก Dalzotto et al. (2018) และ Ishihara et al. (2013) ตัวอย่างละ 2 ชิ้น รวมทั้งสิ้น 130 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็นเนื้อโคที่ไม่ผ่านการบ่ม คือสายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (Brahman) เนื้อโคที่ผ่านการบ่ม 7 วัน คือสายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (Brahman) ลูกผสมชาร์โรเลส์ (Charolais) ลูกผสมวากิว (Wagyu) และลูกผสมแองกัส (Angus) เนื้อโคที่ผ่านการบ่ม 14 วัน คือเนื้อโคนำเข้าจากต่างประเทศออสเตรเลีย (AUS.Chilled)

เนื้อโคที่ถูกตัดเรียบร้อยแล้วจะถูกนำมาบรรจุใส่ถุงซิปล็อคและทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง

2) นำเนื้อโคสันนอกมาทำการวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 7 ± 3 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด

3) เปิดเครื่อง NIRS ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ทำการวัด Background ของบรรจุภัณฑ์ที่ใส่เนื้อโคสันนอก

4) เนื้อโคสันนอกจากข้อ 3.2.1.1 (1) ทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) วัดค่า Transmittance ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (Reflectance Mode) ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 800 ถึง 2000 นาโนเมตร (4000 ถึง 10000 cm^{-1}) บันทึกผลทุก ๆ 2 นาโนเมตร ความละเอียดของการวัด 16 เลขคลื่น จำนวนการสแกน 32 ครั้ง วัดค่า Transmittance จำนวน 3 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.2 ทั้งสองด้าน รวมทั้งสิ้น 6 ตำแหน่งต่อตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Mlček et al., 2006 และ ปานมนัส, 2555)

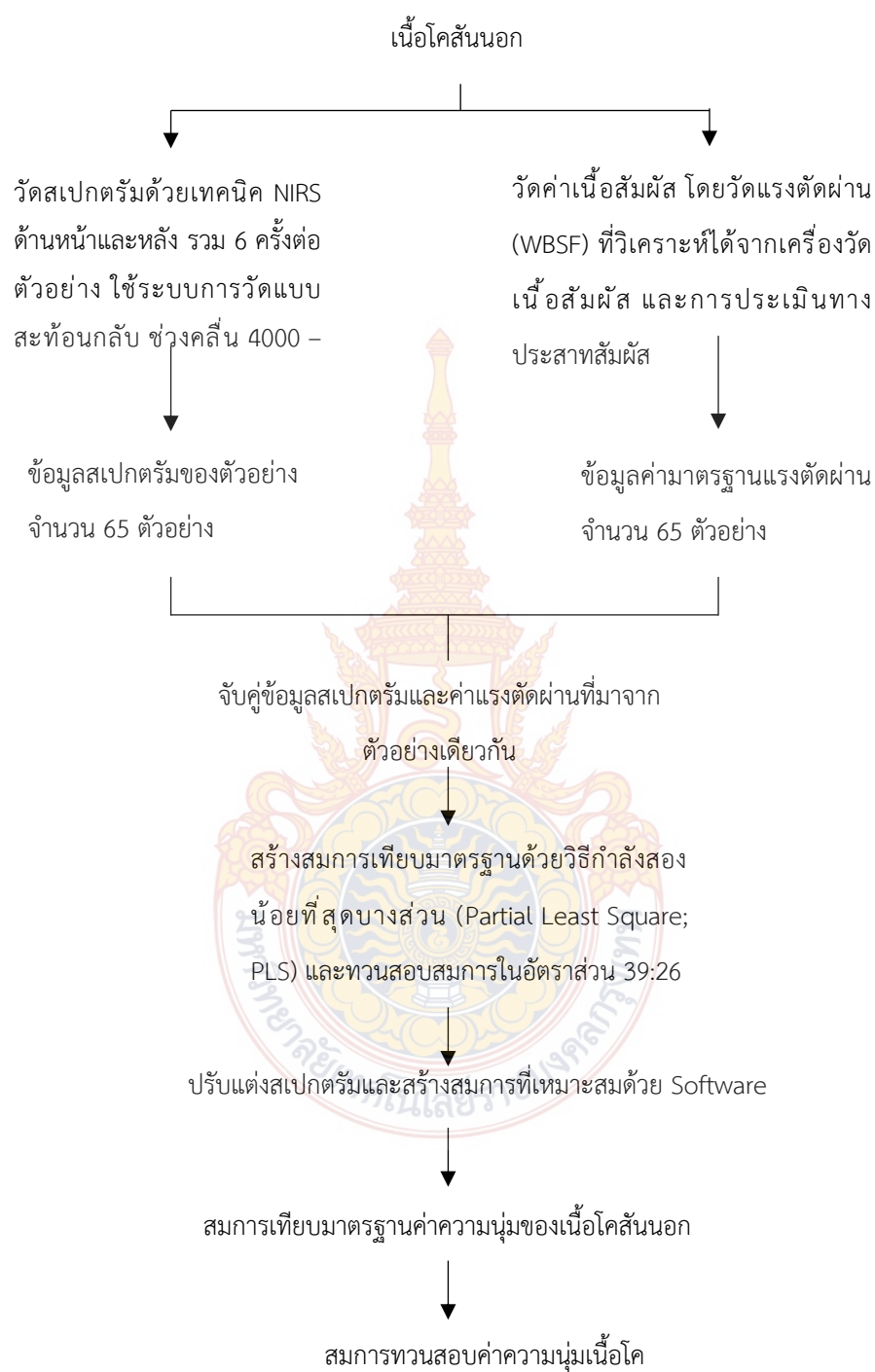
5) หลังจากทำการวัดสเปกตรัมแล้ว ทำการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อโคสันนอก ได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

3.2.1.2 การสร้างสมการและการทำนายสมการจากเทคนิค NIRS ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม The Unscrambler Version 9.7 ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

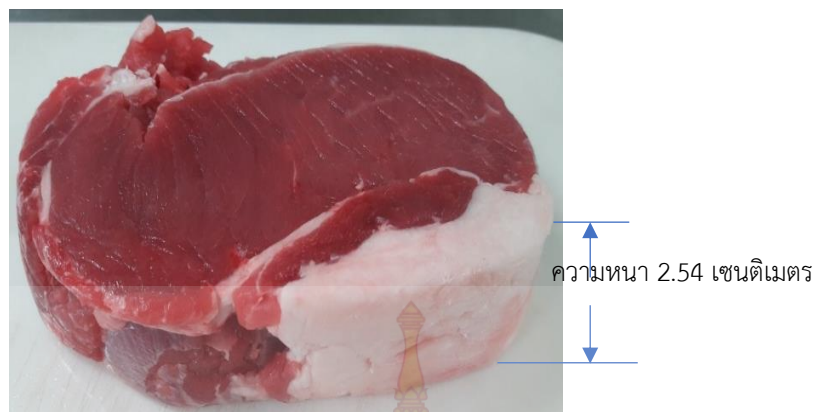
1) กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระโดยให้ตัวแปรตาม คือ คุณภาพของเนื้อโคสันนอก ได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ความนุ่ม ความฉ่ำและการเคี้ยว ตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIRS

2) นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามทั้งหมดของเนื้อโคสันนอกโดยเรียงจากน้อยไปมากแล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (Calibration Set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (Prediction Set) กลุ่ม Calibration Set ร้อยละ 60 ($n=39$) และกลุ่ม Prediction ร้อยละ 40 ($n=26$) โดยแต่ละกลุ่ม มีการกระจายตัวของข้อมูลเท่า ๆ กัน ค่าในกลุ่ม Calibration จะต้องมียุคที่ต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

3) นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่ม Calibration มาสร้างสมการในการทำนายโดยใช้วิธี Partial Least Squares Regression; PLSR เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด มีการปรับแต่งสมการโดยใช้วิธี Multiplicative Scatter Correction; MSC, Smoothing และ Standard Normal Variate; SNV การสร้างสมการจะพิจารณาที่ ค่า R^2 หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 จะมีความสัมพันธ์กันมาก ค่า Root Mean Square Error of Cross Validation; RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุด โดยค่า RMSECV หมายถึงค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการ Calibration กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ต้องมีค่าที่ต่ำที่สุด และค่า Bias หมายถึง ค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ต้องมีค่าต่ำสุดด้วย เมื่อได้สมการ Calibration แล้วให้นำไปทำนาย ตัวอย่างในกลุ่ม Prediction Set เพื่อดูความแม่นยำของสมการ ขั้นตอนในการสร้างสมการทำนายความนุ่มเนื้อของเนื้อโคสันนอกด้วยเทคนิค NIRS ดังภาพที่ 3.1 (ดัดแปลงจาก นิยมิตรา, 2559)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายคุณภาพด้วยเทคนิค NIRS



ภาพที่ 3.2 เนื้อโคสันนอกที่มีความหนา 2.54 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างเนื้อโคสันนอกเพื่อทำสุก ก) ชิ้นเนื้อที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและผึ่งเพื่อสะเด็ดน้ำ และ ข) ขั้นตอนบรรจุสุญญากาศ



ภาพที่ 3.4 การทำสุกด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

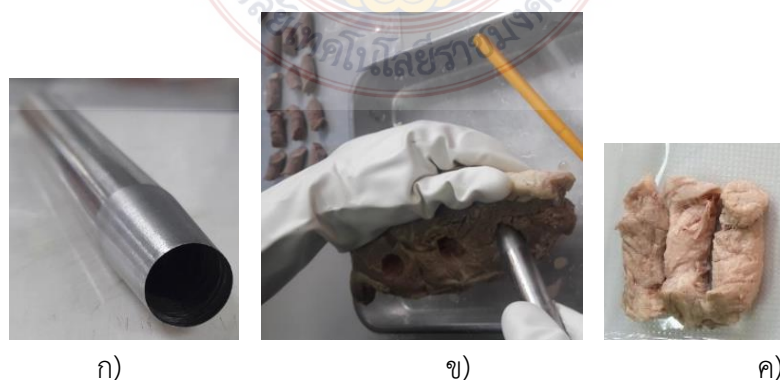
3.2.2. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (ดัดแปลงจาก Tian et al., 2016)

3.2.2.1 การเตรียมตัวอย่างนำเนื้อโคส้นนอกที่ มาทำความสะอาดเนื้อโคส้นนอกโดยล้างน้ำเป็นเวลา 7 วินาที แล้วนำมาผึ่งเพื่อให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงสแตนเลสเป็นเวลา 12 นาที ดังภาพที่ 3.3ก โดยกลับด้านตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 6 นาที จากนั้นทำการบรรจุสุญญากาศ ดังภาพที่ 3.3ข พร้อมเขียนรหัสกำกับบนถุง

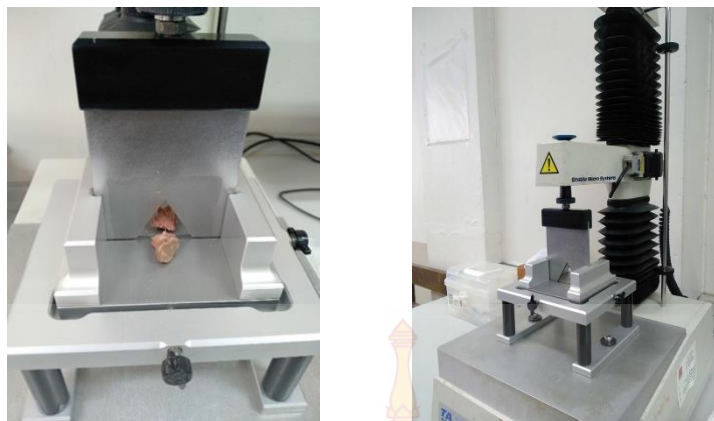
3.2.2.2 การทำสุกด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ นำเนื้อโคส้นนอกมาทำสุกที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที โดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ ดังภาพที่ 3.4 จนได้อุณหภูมิใจกลางของเนื้อโคส้นนอกอยู่ในช่วง 75 ± 3 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเนื้อโคส้นนอกไปลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น เป็นเวลา 15 นาที ให้อุณหภูมิสุดท้ายใกล้เคียง 4 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1 คืน) (ดัดแปลงจาก Romina et al., 2018)

3.2.2.3 เตรียมตัวอย่างโดยนำเนื้อโคส้นนอกที่ได้จากข้อ 3.2.2.3 (3) มาเจาะกับแม่พิมพ์ทรงกลมสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.5ก จำนวน 3 ตำแหน่ง ออกแรงกดทำมุม 45 องศา ตัดผ่านเส้นใยกล้ามเนื้อในแนวทแยง ดังภาพที่ 3.5ข ได้ชิ้นเนื้อนำไปวัดค่าแรงเคียน ดังภาพที่ 3.5ค

3.2.2.4 การวัดค่าแรงเคียนของเนื้อโคส้นนอกนำไปวัดค่าแรงตัดผ่านโดยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัววัดแบบ Warner-Bratzler Shear Force ใช้ความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อวินาที Trigger Force 0.10 N ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์เจาะชิ้นตัวอย่าง ก) แท่งเจาะเนื้อโคส้นนอก ข) ตัวอย่างการเจาะเนื้อโคส้นนอก และ ค) ชิ้นเนื้อโคส้นนอกที่ผ่านการเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.6 ชิ้นเนื้อโคสันนอกมาวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer หัววัดแบบ Warner-Bratzler Shear Force

3.2.3 การศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมตัวอย่าง การคัดเลือกผู้ทดสอบชิม และการทดสอบชิม

3.2.3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำเนื้อโคสันนอกจากข้อ 3.2.2.5 ตัดเอาส่วนไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันรอบนอกออก จากนั้นตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมความหนาด้านละ $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.7ข จากนั้นใส่ถุงซิปล็อคนำไปอุ่นด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 54°C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อรอทดสอบชิม ดังภาพที่ 3.7ก (ดัดแปลงจาก Gomes et al., 2014)

3.2.3.2 การคัดเลือกผู้ทดสอบชิม

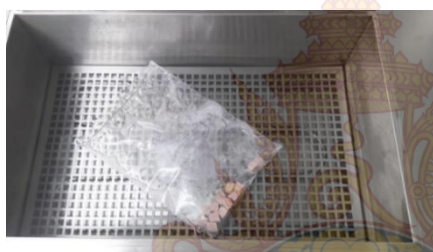
1) วิธีการอภิปรายกลุ่ม (Focus Group Discussion) สมาชิกภายในกลุ่มจำนวน 3 คน ทำโดยการสอบถามความคิดเห็นในด้านลักษณะที่ปรากฏของเนื้อโคสันนอก คือ ด้านความนุ่ม ความฉ่ำ และการเคี้ยว จากสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อให้คำนิยามคุณลักษณะต่าง ๆ (ดัดแปลงจาก Choe et al., 2016) ดังนี้

1.1) ความนุ่ม หมายถึง การกัดระหว่างฟันกราม 1 ถึง 2 ครั้ง เส้นใยกล้ามเนื้อขาดแสดงว่ามีความนุ่มมาก

1.2) ความฉ่ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่ออกมาจากชิ้นเนื้อระหว่างการเคี้ยว 1 ถึง 3 ครั้ง แสดงว่ามีความฉ่ำมาก

1.3) การเคี้ยว หมายถึง ฟันกรามที่บดกัดชิ้นเนื้อจนสามารถกลืนลงได้ 10 ถึง 20 ครั้ง แสดงว่าเคี้ยว ถ้าหากเคี้ยวตั้งแต่ 40 ครั้งขึ้นไปถึงจะกลืนได้ แสดงว่าเคี้ยวยาก

2) การฝึกฝน (Training) และคัดเลือกผู้ทดสอบชิม (Panel) ทำโดยเลือกผู้ทดสอบชิมจำนวน 9 คน ตามความสมัครใจในการทดสอบชิมเนื้อโคสันนอก โดยผู้ทำโครงการวิจัยสร้างความเข้าใจ และอธิบายค่านิยมของคุณลักษณะทั้ง 3 ด้าน คือ ในด้านความนุ่ม ความฉ่ำ และการเคี้ยว จากนั้นทำการฝึกฝนกับผู้ทดสอบจนเกิดความคุ้นเคยและสามารถจดจำคุณลักษณะต่าง ๆ โดยให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างเพื่อให้คะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้ง 3 ด้าน ลงในแบบทดสอบพรรณาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis; QDA) ดังภาพที่ 3.8 ทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง จนกระทั่งผู้ทดสอบมีการให้คะแนนในแต่ละลักษณะใกล้เคียงกัน และเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการคัดเลือกผู้ทดสอบชิมโดยเลือกจากผู้ทดสอบชิมที่ตอบได้แม่นยำหรือใกล้เคียงที่สุดจำนวน 8 คน



ก)



ข)

ภาพที่ 3.7 การเตรียมตัวอย่างเนื้อโคสันนอกเพื่อทดสอบชิม ก) การอุ่นเนื้อโคที่ใช้ใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ และ ข) ชิ้นเนื้อโคสันนอกพร้อมทำการทดสอบชิม



ภาพที่ 3.8 ฝึกฝนผู้ชิมก่อนทำแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.2.3.3 การทดสอบชิม

นำเนื้อโคสนนอกที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3.2.3.1 ทำการจัดเตรียมให้แก่ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกจำนวน 8 คน (จากข้อ 3.2.3.2) คนละ 2 ชิ้น ประเมินโดยให้คะแนนในด้านความนุ่ม ความฉ่ำ และการเคี้ยวของเนื้อโคสนนอก โดยใช้แบบทดสอบพรรณาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis; QDA) ดังภาพที่ 3.9 บันทึกคะแนนที่ได้ (ดัดแปลงจาก Gomes et al., 2014)



ภาพที่ 3.9 ผู้ทดสอบทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมถูกมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบการสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

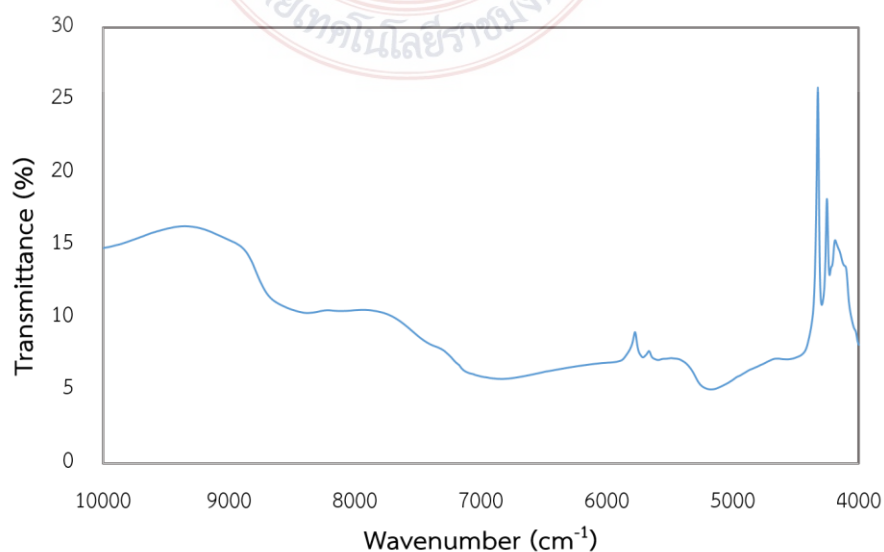
บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

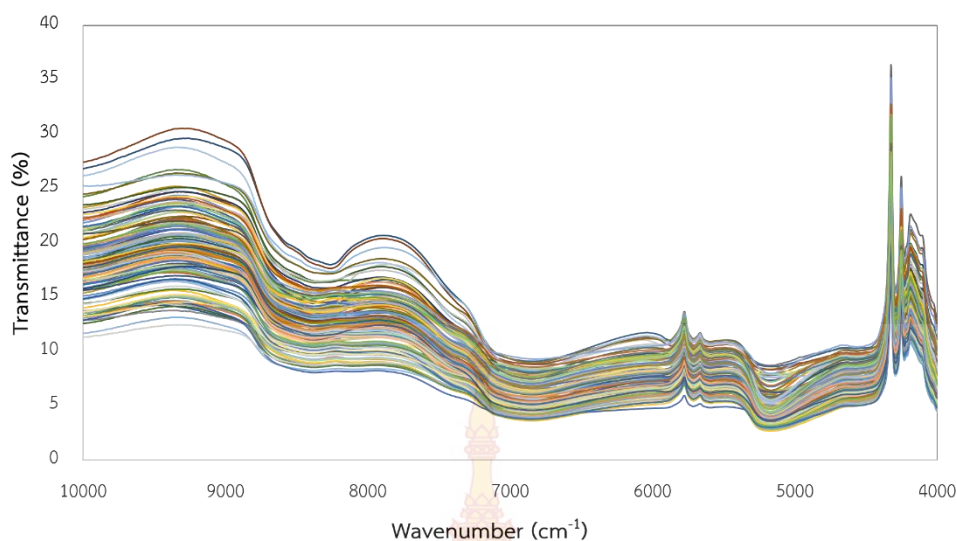
4.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อโคส้นนอกด้วยการใช้เทคนิค NIRS

4.1.1 สเปกตรัม NIRS

ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยจาก 6 ตำแหน่ง ด้านละ 3 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.3 บนชั้นเนื้อโคส้นนอกที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIRS ของสายพันธุ์เนื้อโคที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 4.1 พบว่า เส้นสเปกตรัมที่ได้มีลักษณะการส่องผ่าน (Transmittance) ที่คล้ายคลึงกัน โดยเส้นสเปกตรัมมีการส่องผ่านที่ซ้อนทับกัน (Overlapping) ทำให้เกิดพิกขนาดใหญ่ครอบคลุมช่วงกว้าง เนื่องจากชั้นเนื้อโคส้นนอกที่มีปริมาณน้ำแทรกอยู่ในกล้ามเนื้อ และปริมาณน้ำเกาะบริเวณถุงสำหรับบรรจุเนื้อ ทำให้พิกของน้ำอาจเกิดการซ้อนทับพิกที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งเป็นสเปกตรัมที่ยังไม่ผ่านการปรับแต่ง ดังนั้นเพื่อให้ได้สมการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำจึงจำเป็นต้องทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การปรับแต่งสเปกตรัมในโปรแกรม The Unscrambler V 9.7 โดยเลือก 3 เทคนิคที่ใช้ในการปรับแต่งด้วยกัน คือ Smoothing, Multiplicative Scattering Correction; MSC, Standard Normal Variate; SNV



ภาพที่ 4.1 เส้นสเปกตรัมจากการเฉลี่ยข้อมูล 6 ตำแหน่ง

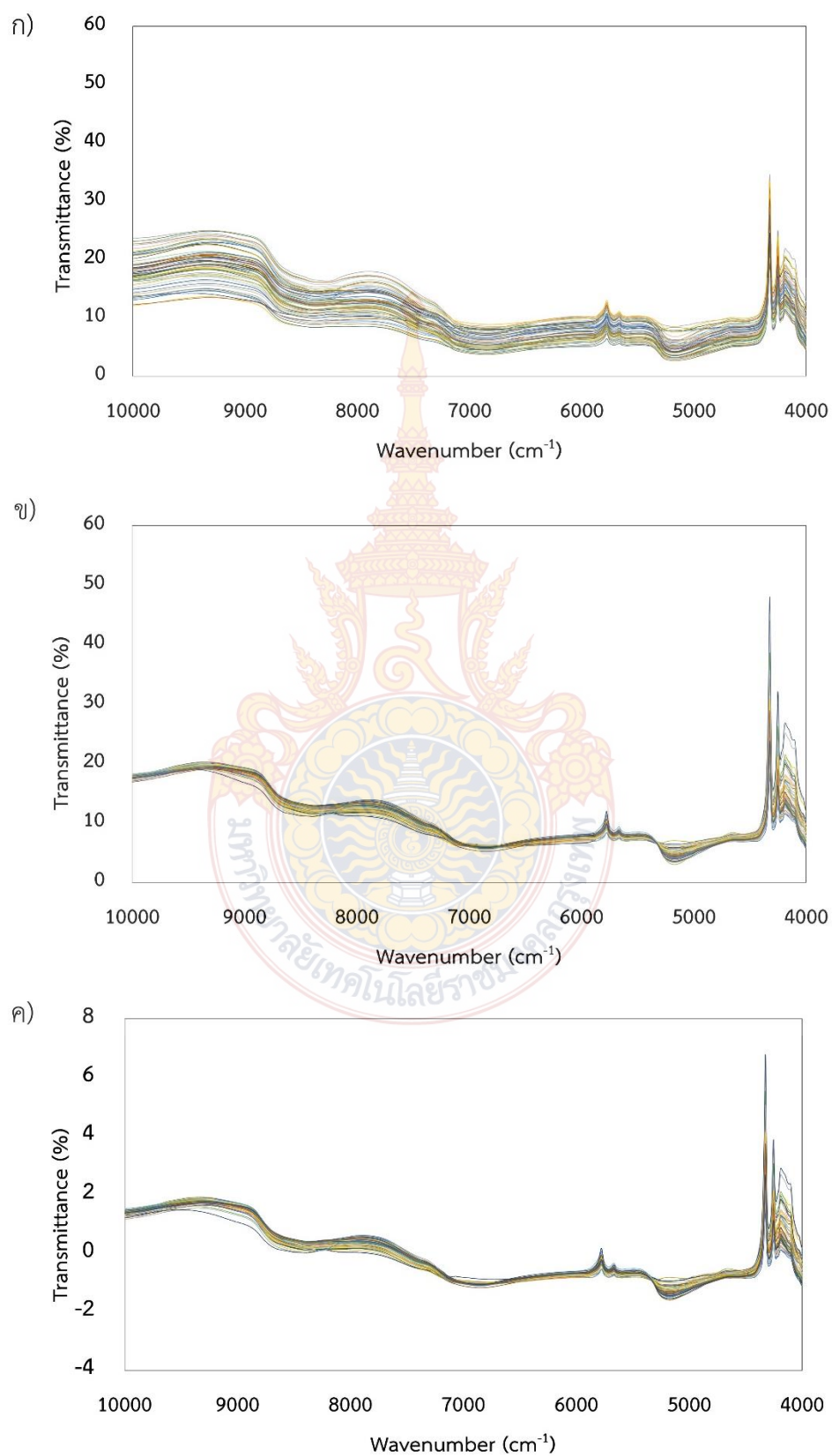


ภาพที่ 4.2 เส้นสเปกตรัมเฉลี่ยจาก 6 ตำแหน่งบนชิ้นเนื้อโคสันนอกที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIRS โดยยังไม่ปรับแต่งสเปกตรัม

ข้อมูลสเปกตรัมที่เฉลี่ยจาก 6 ตำแหน่งบนชิ้นเนื้อโคสันนอกโดยนำเส้นสเปกตรัมที่ยังไม่ผ่านการปรับแต่งมาทำการปรับแต่งด้วยเทคนิค 3 เทคนิค ได้แก่ Smoothing, Multiplicative Scattering Correction; MSC, Standard Normal Variate; SNV ซึ่งเป็นการลดสิ่งรบกวนที่มีผลต่อข้อมูล ลักษณะการส่องผ่านของแสง หรือลักษณะของเส้นสเปกตรัมมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เทคนิคในการปรับแต่งสเปกตรัมมีผลต่อการวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิค NIRS ดังภาพที่ 4.3

4.1.2 การทำนายค่าความนุ่มเนื้อโดยการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อโคสันนอกด้วยเทคนิค NIRS

การศึกษาการใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายค่าความนุ่มเนื้อของเนื้อโคสันนอก ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทวนสอบสมการของการทำนายค่าความนุ่มเนื้อ โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 126 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 64 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทวนสอบสมการจำนวน 62 ตัวอย่าง จากการทดสอบการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ข้อมูลแบบ MSC ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Smoothing และ SNV พิจารณาได้จากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.54 SEP เท่ากับ 1.32 Bias เท่ากับ 0.1 และ RPD เท่ากับ 1.46 ซึ่งการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ MSC เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสง ใกล้เคียงกับ Park et al. (1998) ได้ทำการศึกษาความนุ่มของเนื้อโค โดยใช้เทคนิค NIRS วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค PLS



ภาพที่ 4.3 เส้นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค ก) Smoothing ข) MSC และ ค) SNV

โดยหาความสัมพันธ์ของค่าแรงเฉือนด้วยเทคนิค PLS ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.67 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำในการทำนายสมการ เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม ดังตารางที่ 4.2 ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.39 SEP เท่ากับ 1.52 Bias เท่ากับ -0.01 และ RPD เท่ากับ 1.27

การกระจายตัวของค่าแรงเฉือนที่ได้จากการปรับแต่งด้วยเทคนิค MSC ข้อมูลมีการกระจายตัวเข้าใกล้เส้นเป้าหมายมากขึ้น ดังภาพที่ 4.4 ซึ่งข้อมูลสเปกตรัมแบบ MSC แสดงถึงประสิทธิภาพการทำนายค่าของสมการไปในทิศทางเดียวกัน และมีความแม่นยำในการทำนายค่าความนุ่มเนื้อระดับหนึ่ง

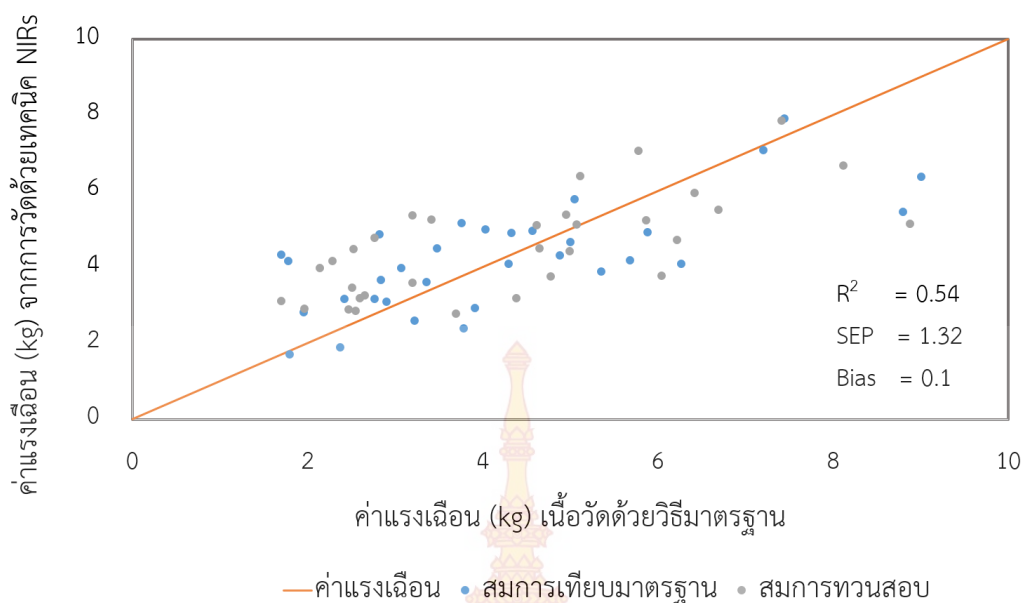
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของค่าการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในเนื้อโคสนั่นอก

ลักษณะ ประเมิน	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน ตัวอย่าง	ต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย±ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน
แรงเฉือน	Cal	64	1.96-9.02	5.27±2.04
	Val	62	1.70-6.26	3.29±1.13

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบในเนื้อโคสนั่นอก ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์

ปรับแต่งสเปกตรัม	สมการเทียบ มาตรฐาน		สมการทวนสอบ			RPD
	R^2	RMSE	R^2	SEP	Bias	
ไม่ผ่านการปรับแต่ง	0.41	1.36	0.39	1.52	-0.01	1.27
Smoothing	0.41	1.36	0.46	1.42	-0.01	1.36
MSC	0.47	1.34	0.54	1.32	0.1	1.46
SNV	0.49	1.32	0.45	1.44	0.02	1.34

หมายเหตุ R^2 ; Coefficients of Determination, RMSE; Root Mean Square Error, SEP; Standard Error of Prediction, RPD; Ratio of Standard Error of Prediction to Standard to Deviation

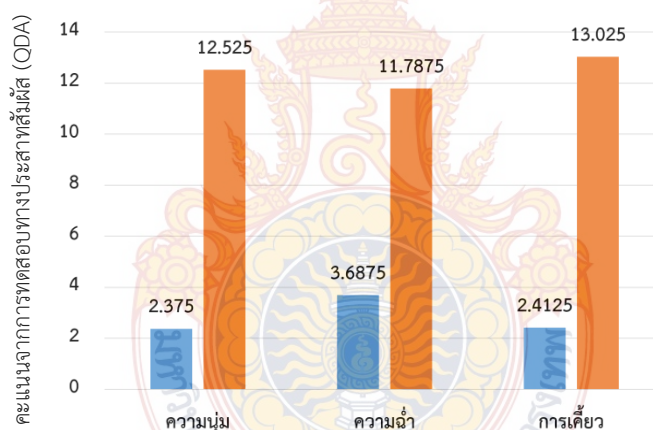


ภาพที่ 4.4 การกระจายตัวของค่าแรงเหวี่ยง (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS

4.1.3 การทำนายค่าความนุ่มเนื้อโดยการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อโคสันนอกด้วยเทคนิค NIRS

การศึกษาการใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายค่าความนุ่มเนื้อของเนื้อโคสันนอก ซึ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่ม 3 ด้าน ได้แก่ ความนุ่ม ความฉ่ำ การเคี้ยว (จำนวนครั้งในการเคี้ยว) มีค่าความนุ่มอยู่ในช่วง 2.38 ถึง 12.53 ความฉ่ำอยู่ในช่วง 3.69 ถึง 11.79 และการเคี้ยวอยู่ในช่วง 2.41 ถึง 13.03 แสดงดังภาพที่ 4.5 และค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทวนสอบสมการของการทำนายค่าความนุ่มเนื้อ โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 65 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 33 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทวนสอบสมการจำนวน 32 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.3 จากการทดสอบการวิเคราะห์การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่ม ดังตารางที่ 4.4 พบว่า การไม่ปรับแต่งสเปกตรัม และการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Smoothing ให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกัน โดยค่า R^2 เท่ากับ 0.26 SEP เท่ากับ 2.39 Bias เท่ากับ 0 และ RPD เท่ากับ 1.21 ซึ่งเป็นผลการทำนายสมการที่มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ จึงนำไปทำการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ MSC และ SNV พบว่าข้อมูลแบบ MSC และ SNV ให้ผลดีที่สุด พิจารณาได้จากข้อมูลแบบ MSC มีค่า R^2 เท่ากับ 0.28 SEP เท่ากับ 2.35 Bias เท่ากับ 0.03 และ RPD เท่ากับ 1.23 และข้อมูลแบบ SNV มีค่า R^2 เท่ากับ 0.28 SEP เท่ากับ 2.36 Bias เท่ากับ -0.01 และ RPD เท่ากับ 1.22 สอดคล้องกับ Venel et al. (2001) ศึกษาการทำนายคุณสมบัติทาง

ประสาทสัมผัส (ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ รสชาติ เนื้อสัมผัส ความเคี้ยวและการยอมรับ) ของเนื้อโคโดยใช้เทคนิค NIR Spectroscopy (750–1100 นาโนเมตร) ทำการศึกษากล้ามเนื้อส่วน *M. longissimus dorsi* และ *semimembranosus* จำนวน 75 ตัว วิเคราะห์ข้อมูลโดย PCR พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.24 SEP เท่ากับ 0.89 ซึ่งให้ผลการทำนายสมการในส่วน *semimembranosus* ไม่สามารถทำนายคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสได้อย่างน่าพอใจ แต่สำหรับ *M. longissimus dorsi* ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการทำนายความนุ่มเนื้อ และการกระจายตัวของค่าความนุ่มเนื้อที่ได้จากการปรับแต่งด้วยเทคนิค MSC และ SNV ข้อมูลมีการกระจายตัวไม่เข้าใกล้เส้นเป้าหมาย ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งข้อมูลสเปกตรัมแบบ MSC และ SNV แสดงถึง ประสิทธิภาพการทำนายค่าของสมการกระจาย และมีความแม่นยำในการทำนายค่าความนุ่มเนื้อค่อนข้างต่ำ แต่การกระจายตัวของข้อมูลมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.5 ค่าทางสถิติแสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ของการประเมินทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบการวิเคราะห์การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความฉ่ำ ดังตารางที่ 4.4 มีข้อมูลที่มีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smoothing, MSC, SNV และ ข้อมูลที่ไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม โดยข้อมูลที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม และปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Smoothing ให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกัน โดยค่า R^2 เท่ากับ 0 SEP เท่ากับ 1.99 Bias เท่ากับ 0.47 และ RPD เท่ากับ 0.93 และการปรับแต่งด้วยเทคนิค MSC และ SNV ให้ผลการทำนายไม่แตกต่างกัน โดยค่า R^2 เท่ากับ -0.04 SEP เท่ากับ 2.04 Bias เท่ากับ 0.47 0.46 ตามลำดับ และ RPD เท่ากับ 0.91 พบว่า ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถใช้ในการทำนายได้ เนื่องจากมีความแม่นยำต่ำมาก ข้อมูลมีการกระจายตัวไม่เข้าใกล้เส้นเป้าหมาย ซึ่งข้อมูลสเปกตรัมแบบ ไม่ปรับแต่งสเปกตรัม และข้อมูลสเปกตรัมแบบ Smoothing ดังภาพที่ 4.9 และข้อมูลสเปกตรัมแบบ MSC และ SNV ดังภาพที่ 4.10 แสดงถึงประสิทธิภาพการทำนายค่าของสมการกระจาย และมีความแม่นยำในการทำนายค่าความฉ่ำค่อนข้างต่ำมาก ตามหลักการ

ของ ภัทรกร เปรมกมล และ กาญจนา (2559) อ้างจาก Williams (2007) กล่าวว่า ค่า R^2 ที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIRS ถ้าหาก 0-0.25 สมการยังไม่เป็นที่ยอมรับ (Not Usable in NIRS Calibration) 0.26-0.49 ไม่ควรใช้เพราะมีความสัมพันธ์กันต่ำ (Poor Correlation) 0.5-0.64 ใช้ได้สำหรับการคัดแยกแบบหยาบๆ (Rough Screening) 0.66-0.81 ใช้ได้สำหรับการคัดแยก หรือจำแนกกลุ่ม (Screening and Approximate Calibration) 0.83-0.90 ใช้สมการอย่างระมัดระวัง (Caution for Most Application, Including Research) 0.92-0.96 สามารถใช้กับการประกันคุณภาพได้ (Quality Assurance) และ 0.98 ขึ้นไป สามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานทุกประเภท (Any Application)

ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของค่าการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทดสอบด้วยเทคนิค NIRS ในเนื้อโคสันนอก

ลักษณะ ประเมิน	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ความนุ่ม	Cal	33	2.38-12.53	6.07±2.37
	Val	32	6.28-12.45	10.26±1.47
ความฉ่ำ	Cal	33	4.64-9.54	7.09±1.34
	Val	32	3.69-11.79	8.06±2.17
การเคี้ยว	Cal	33	3.3-13.03	9.30±2.43
	Val	32	2.41-11.01	5.21±1.94

จากการทดสอบการวิเคราะห์การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านการเคี้ยว ดังตารางที่ 4.4 พบว่าข้อมูลที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม และปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Smoothing ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ MSC และ SNV ซึ่งข้อมูลแบบที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม และการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Smoothing พิจารณาได้จากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.34 SEP เท่ากับ 2.5 Bias เท่ากับ 0.21 และ RPD เท่ากับ 1.20 และการกระจายตัวของด้านการเคี้ยวที่ได้จากการไม่ปรับแต่งสเปกตรัม และปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smoothing ข้อมูลมีการกระจายตัวเข้าใกล้เส้นเป้าหมายมากขึ้น ดังภาพที่ 4.11 แสดงถึงประสิทธิภาพการทำนาย ค่าของสมการไปในทิศทางเดียวกัน ใกล้เคียงกับ Liu et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการทำนายสีพื้นผิวและลักษณะทางประสาทสัมผัสของสเต็กเนื้อด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นที่ความยาวคลื่น 400–1080 นาโนเมตร ศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัส 2 ด้าน คือ ความฉ่ำและการเคี้ยว จากการหาความสัมพันธ์ของการประเมิน

ทางประสาทสัมผัสด้านการเคี้ยว ด้วยเทคนิค PLS ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.58 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำในการทำนายสมการระดับหนึ่ง

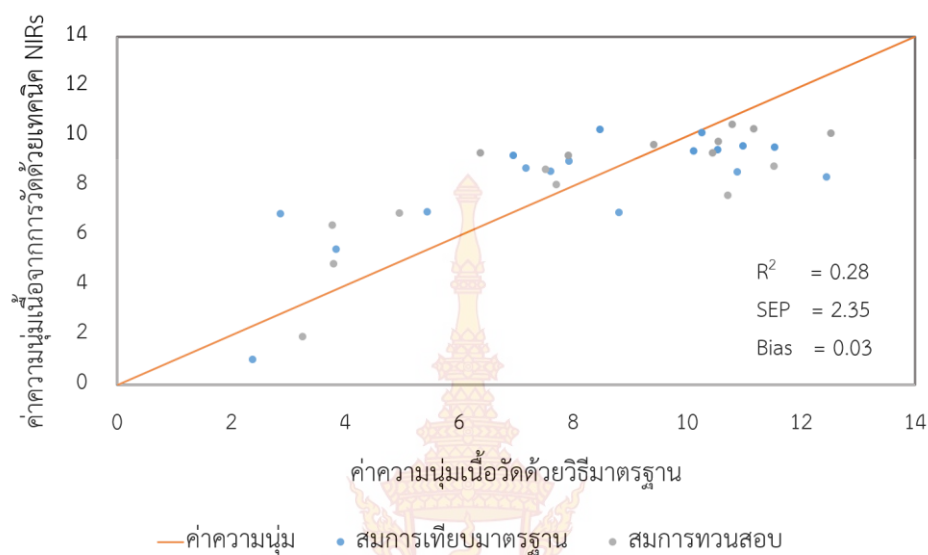
ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบในเนื้อโคสันนอก ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม

ลักษณะ คุณภาพ	ปรับแต่งสเปกตรัม	สมการเทียบ มาตรฐาน		สมการทวนสอบ			RPD
		R^2	RMSE	R^2	SEP	Bias	
ความนุ่ม	ไม่ผ่านการปรับแต่ง	0.32	2.45	0.26	2.39	0	1.21
	Smoothing	0.32	2.45	0.26	2.39	0	1.21
	MSC	0.64	1.79	0.28	2.35	0.03	1.23
	SNV	0.65	1.76	0.28	2.36	-0.01	1.22
ความฉ่ำ	ไม่ผ่านการปรับแต่ง	0.16	1.29	0	1.99	0.47	0.93
	Smoothing	0.16	1.29	0	1.99	0.47	0.93
	MSC	0.14	1.31	-0.04	2.04	0.47	0.91
	SNV	0.14	1.31	-0.04	2.04	0.46	0.91
การเคี้ยว	ไม่ผ่านการปรับแต่ง	0.16	2.69	0.34	2.5	0.21	1.20
	Smoothing	0.16	2.69	0.34	2.5	0.21	1.20
	MSC	0.51	2.05	0.27	2.64	0.18	1.14
	SNV	0.53	2.03	0.27	2.63	0.22	1.14

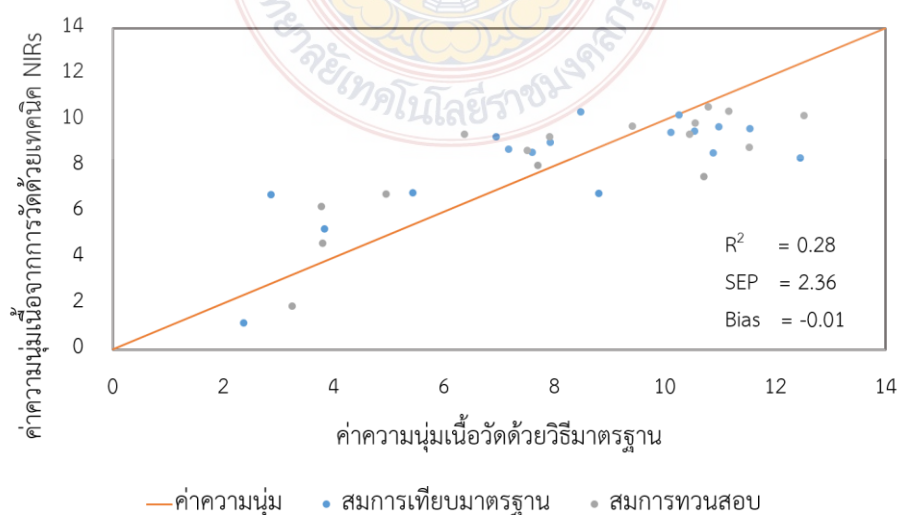
หมายเหตุ R^2 ; Coefficients of Determination, RMSE; Root Mean Square Error, SEP; Standard Error of Prediction, RPD; Ratio of Standard Error of Prediction to Standard to Deviation

จากการศึกษาการทำนายค่าความนุ่มเนื้อโดยการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อโคสันนอกด้วยเทคนิค NIRS พบว่าปัจจัยด้านความนุ่ม การปรับแต่งข้อมูลแบบ MSC ให้ผลดีที่สุด ปัจจัยด้านความฉ่ำ สมการยังใช้ไม่ได้ เนื่องจากข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันเท่าที่ควร และปัจจัยด้านการเคี้ยว การไม่ปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม และการปรับแต่งข้อมูลแบบ Smoothing ให้ผลดีที่สุด Frost (2013) กล่าวว่า ค่า R^2 ที่ได้จากการทำนายมีค่าน้อยในแต่ละปัจจัย สำหรับการประเมินทาง

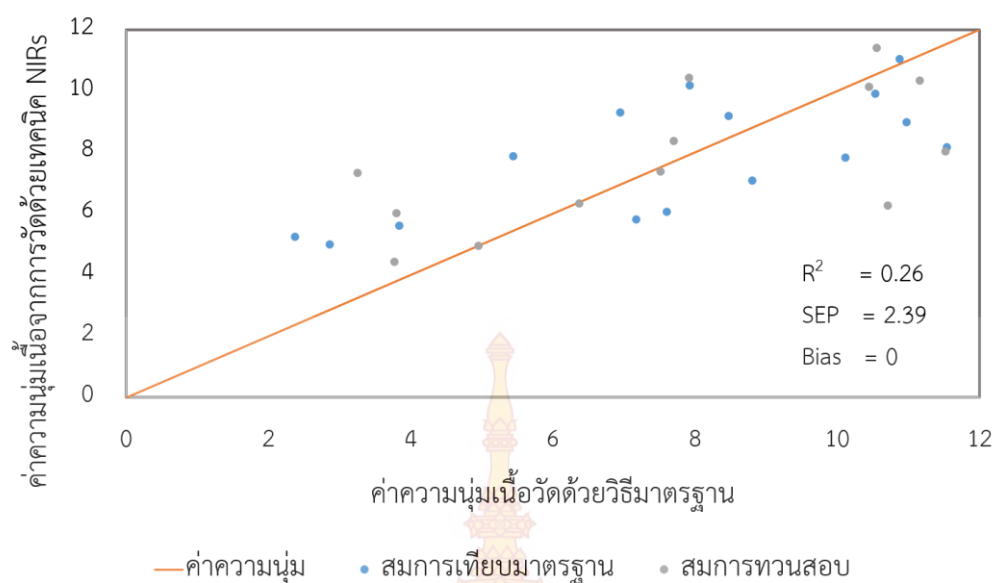
ประสิทธิภาพ เนื่องจากการทำนายพฤติกรรมมนุษย์ ในสาขาจิตวิทยา โดยทั่วไปค่า R^2 ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50 เพราะมนุษย์เป็นสิ่งที่ยากจะคาดเดาได้ เมื่อเทียบกับกระบวนการทางกายภาพ



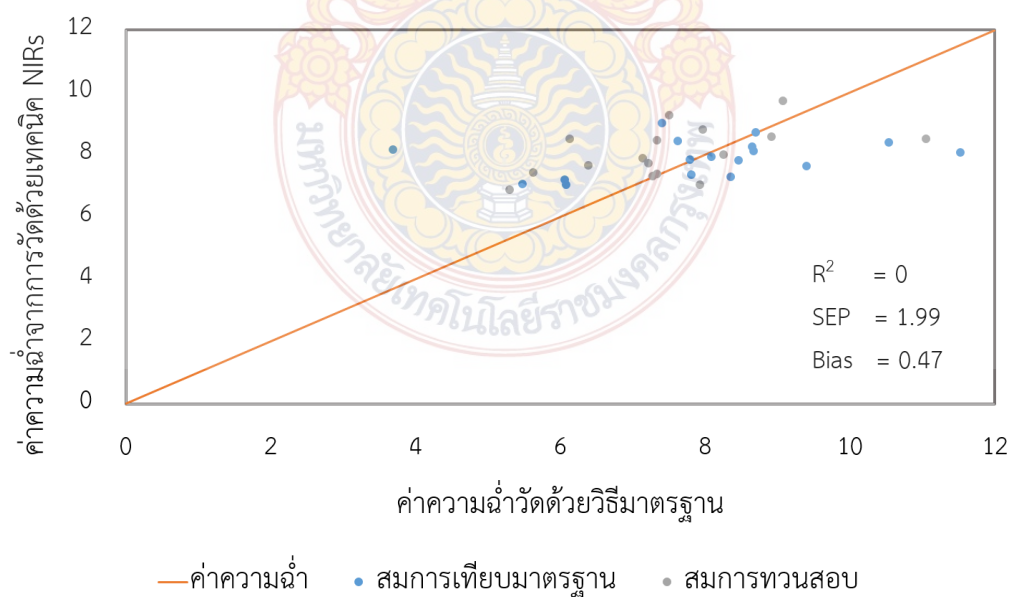
ภาพที่ 4.6 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS



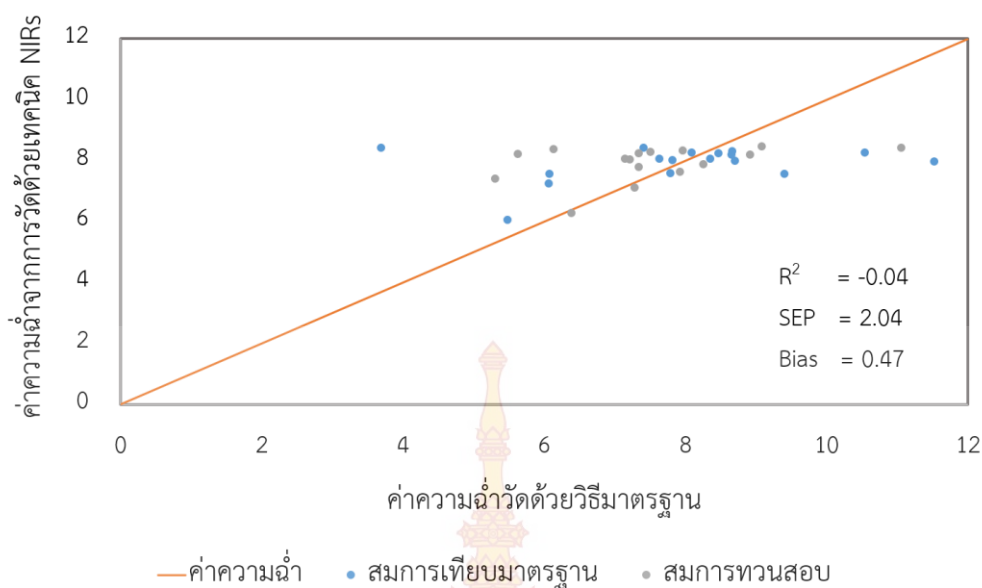
ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค SNV) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS



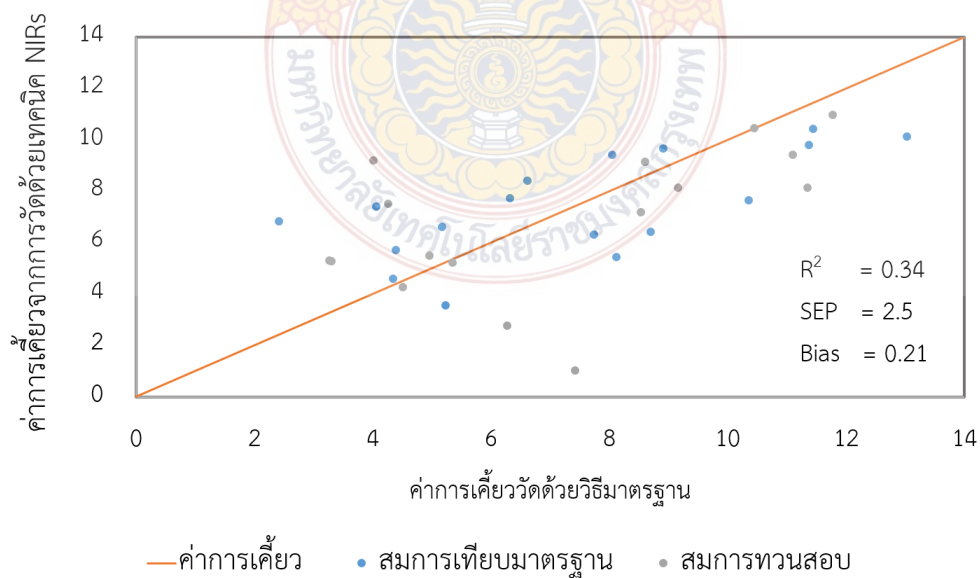
ภาพที่ 4.8 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ไม่ปรับแต่งสเปกตรัม) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS



ภาพที่ 4.9 การกระจายตัวของค่าความนุ่มที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smooth) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS



ภาพที่ 4.10 การกระจายตัวของค่าความชื้นที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค MSC) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS



ภาพที่ 4.11 การกระจายตัวของค่าการเคี้ยวที่ประเมินจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smooth) ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS

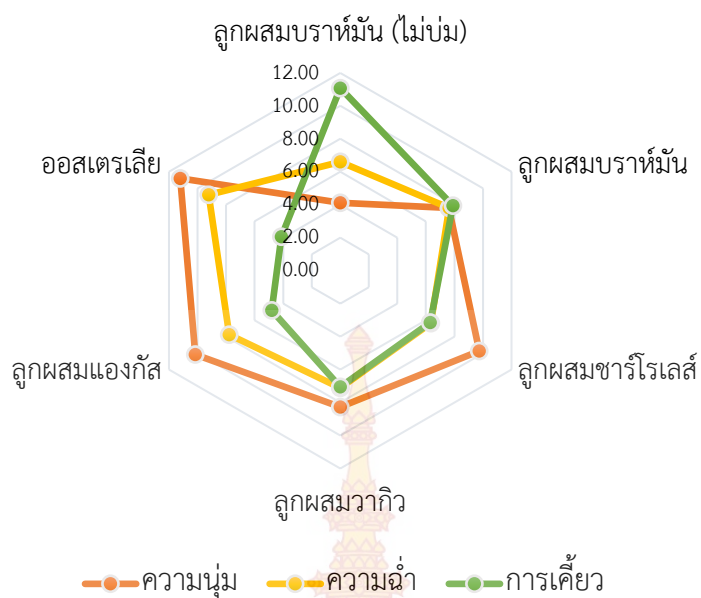
4.2 การวิเคราะห์ค่าแรงเฉือน

การวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนของเนื้อโคหลังจากผ่านการทำสุกโดยใช้ Texture Analyzer หัววัดแบบ Warner-Bratzler Shear Force โดยค่าแรงเฉือนที่มากที่สุด หมายถึงเนื้อที่มีความเหนียว และค่าแรงเฉือนที่น้อยที่สุด หมายถึงเนื้อที่มีความนุ่ม พบว่าค่าแรงเฉือนของเนื้อโคสันนอกที่นำมาทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง 2.78 ± 0.59 ถึง 6.54 ± 1.68 กิโลกรัม ซึ่งค่าแรงเฉือนของเนื้อสายพันธุ์ลูกผสม บราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม) ลูกผสมบราห์มัน ลูกผสมชาร์โรเลส์ ลูกผสมแอ็งกัส ลูกผสมวากิว และ สายพันธุ์ออสเตอร์เลีย เท่ากับ 6.54 ± 1.68 , 4.23 ± 1.43 , 4.04 ± 1.74 , 3.63 ± 0.69 , 3.44 ± 0.44 และ 2.78 ± 0.59 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 โดยเนื้อสายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม) มีค่าแรงเฉือนสูงที่สุด เท่ากับ 6.54 ± 1.68 กิโลกรัม และเนื้อสายพันธุ์ออสเตอร์เลียมีค่าแรงเฉือนน้อยที่สุดเท่ากับ 2.78 ± 0.59 กิโลกรัม ซึ่งเป็นผลมาจากระยะเวลาการบ่ม เพราะเนื้อสายพันธุ์ออสเตอร์เลีย ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน เป็นผลให้มีค่าแรงเฉือนที่ลดลง สอดคล้องกับ Hannula and Puolanne (2004) กล่าวว่าระยะเวลาของการบ่มจะเกิดการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในเนื้อ ทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น ในขณะที่ Monsón et al. (2005) รายงานว่าการบ่มเนื้อเป็นระยะเวลา มากกว่า 7 วันขึ้นไปจะช่วยลดอิทธิพลของสายพันธุ์โคต่อความนุ่มเนื้อได้ และ Marino et al. (2013) ศึกษาการบ่มเนื้อโคที่ระยะ 1, 7, 14 และ 21 วัน พบว่าระยะการบ่มเนื้อที่นานขึ้น จะทำให้ค่าแรงเฉือนเนื้อต่ำลง ($p < 0.01$) อีกทั้งทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแตกตัวได้มากขึ้น ($p < 0.01$) โดยจะทำให้สภาพแวดล้อมภายในเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี คือทำให้ Actomyosin ถูกตัดขาด ณ บริเวณ Z-line ทำให้ความตึงตัวลดลงและสาเหตุให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น เนื้อสายพันธุ์ลูกผสม บราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม) แตกต่างกับเนื้อสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน

4.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส จากการวิเคราะห์พรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis; QDA) ของเนื้อโคสันนอกในด้านความนุ่ม ความฉ่ำ และการเคี้ยว ดังภาคผนวกที่ ก ซึ่งใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ดังภาพที่ 3.8 วิเคราะห์ โดยกราฟใยแมงมุม (ภาพที่ 4.12) ด้านความนุ่มอยู่ในช่วง 4.12 ± 1.23 ถึง 11.21 ± 0.86 ความฉ่ำอยู่ในช่วง 6.35 ± 2.42 ถึง 9.22 ± 1.68 และการเคี้ยวอยู่ในช่วง 4.12 ± 1.15 ถึง 11.09 ± 1.12 พบว่าเนื้อสายพันธุ์ออสเตอร์เลียมีค่าความนุ่มมากที่สุด มีความฉ่ำมากที่สุด และมีค่าการเคี้ยวน้อยที่สุด ซึ่งค่าความนุ่มจะแปรผกผันกับค่าการเคี้ยว กล่าวคือนุ่มมากจะมีค่าการเคี้ยวน้อย เนื้อโคสายพันธุ์ลูกผสม บราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม) แตกต่างกับสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Marino et al. (2013) กล่าวว่า ค่าแรงเฉือนที่ทดสอบด้วยเครื่อง Texture

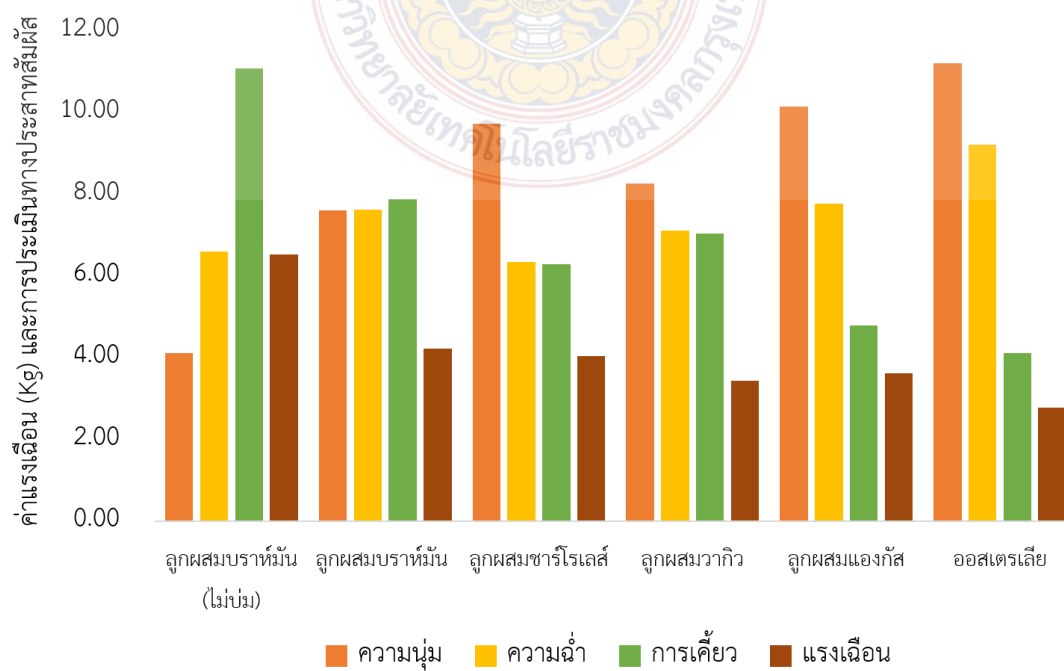
Analyzer ดังภาพที่ 4.13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับค่าแรงเฉือน พบว่าค่าความนุ่มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีค่าผกผันกับค่าแรงเฉือน คือ เมื่อค่าแรงเฉือนมีค่ามากจะแสดงถึงความนุ่มที่น้อยลงเนื่องจากแรงเฉือน คือ แรงที่กระทำในทิศทางขนานกับพื้นที่รับแรงเพื่อตัดให้เนื้อขาดออกจากกัน และจากระยะเวลาในการบ่มเนื้อมีความเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมในเนื้อหลังจากการฆ่าซึ่งจะเกิดการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในเนื้อ ทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยณรงค์ (2529) กล่าวว่า การบ่มเนื้อโคที่ระยะ 1, 7, 14 และ 21 วัน พบว่าระยะเวลาการบ่มเนื้อที่นานขึ้นจะทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำลง ($p < 0.01$) อีกทั้งยังทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแตกตัวได้มากขึ้น ($p < 0.01$) ซึ่งระยะเวลาของการบ่มเนื้อทำให้สภาพแวดล้อมภายในเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี คือ ทำให้ Actomyosin ถูกตัดขาดบริเวณ Z-line ทำให้ความตึงตัวลดลงและเป็นที่ทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น ส่วนด้านความฉ่ำเป็นผลมาจากความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์และปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ น้ำที่มีอยู่ในเนื้อนอกจากจะทำให้เนื้อมีความชุ่มฉ่ำดี น้ำในเนื้อก็จะช่วยหล่อลื่นทำให้การเคี้ยวเป็นไปได้ง่ายขึ้นความชุ่มฉ่ำของเนื้อนอกจากเกิดจากปริมาณน้ำในเนื้อแล้วยังขึ้นกับไขมันแทรกในเนื้อ ในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อเพื่อทำให้สุกนั้น ไขมันแทรกจะละลายแล้วไปอุดในช่องว่างระหว่างเพอริไมเซียม จึงทำหน้าที่คล้าย ๆ กับเป็นตัวป้องกันไม่ให้น้ำภายในเนื้อถูกปล่อยออกมามาก ทำให้เนื้อมีความชุ่มฉ่ำภายในสูง



โดยกำหนดสเกล 0 = นุ่มน้อย ฉ่ำน้อยและเคี้ยวน้อย

15 = นุ่มมาก ฉ่ำมากและเคี้ยวมาก

ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อโคสันนอกโดยใช้วิธี QDA



ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคี้ยวและการประเมินทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.5 ผลของความกว้าง ความยาว น้ำหนัก และค่าสี

สายพันธุ์	ลักษณะกายภาพ			ค่าสี		
	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	L*	a*	b*
ลูกผสมบราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม)	9.83±1.22 ^d	16.71±2.33 ^a	338.71±54.96 ^c	38.44±4.16 ^a	11.05±1.81 ^a	8.50±1.51 ^a
ลูกผสมบราห์มัน	8.57±0.57 ^c	21.52±1.12 ^b	325.27±39.07 ^c	38.85±2.18 ^a	10.32±1.18 ^a	9.08±1.31 ^a
ลูกผสมชาร์โรเลส์	10.29±0.97 ^d	19.39±1.13 ^c	324.35±51.14 ^c	41.03±2.53 ^{ab}	15.23±2.13 ^b	12.85±0.94 ^{bc}
ลูกผสมวากิว	9.65±1.39 ^d	18.74±0.61 ^c	299.56±31.52 ^{bc}	40.06±4.32 ^{ab}	16.12±1.21 ^b	13.84±2.15 ^c
ลูกผสมแอ่งกัส	5.97±0.31 ^a	18.38±0.77 ^c	232.30±14.34 ^a	42.99±1.32 ^b	10.43±0.79 ^a	11.84±0.33 ^b
ออสเตรเลีย	7.57±0.90 ^b	19.44±1.01 ^c	269.46±45.25 ^{ab}	38.64±4.18 ^a	15.86±3.12 ^b	12.94±2.21 ^{bc}

ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

L*: ค่าความสว่าง, a*: ค่าความเป็นสีเขียวไปแดง, b*: ค่าความเป็นสีน้ำเงินไปเหลือง

ตารางที่ 4.6 ผลของค่าแรงเหวี่ยง การทดสอบทางประสาทสัมผัส และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก

สายพันธุ์	ค่าแรงเหวี่ยง (กิโลกรัม)	การทดสอบทางประสาทสัมผัส			ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลัง
		ความนุ่ม	ความฉ่ำ	การเคี้ยว	การทำสุก
ลูกผสมบราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม)	6.54±1.68 ^a	4.12±1.23 ^a	6.60±1.30 ^a	11.09±1.12 ^a	24.02±3.68 ^{bc}
ลูกผสมบราห์มัน	4.23±1.43 ^b	7.62±1.00 ^b	7.63±1.23 ^{ab}	7.89±1.86 ^b	18.40±5.07 ^c
ลูกผสมชาร์โรเลส์	4.04±1.74 ^b	9.74±1.44 ^c	6.35±2.42 ^a	6.30±2.60 ^{bc}	22.03±2.91 ^c
ลูกผสมวากิว	3.44±0.69 ^b	8.27±1.87 ^b	7.12±1.64 ^a	7.05±0.89 ^b	18.92±3.95 ^c
ลูกผสมแอ่งกัส	3.63±0.44 ^b	10.15±0.65 ^{cd}	7.78±0.47 ^{ab}	4.81±0.37 ^{cd}	12.66±2.67 ^a
ออสเตรเลีย	2.78±0.59 ^b	11.21±0.86 ^d	9.22±1.68 ^b	4.12±1.15 ^d	27.80±7.61 ^b

ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

L*: ค่าความสว่าง, a*: ค่าความเป็นสีเขียวไปแดง, b*: ค่าความเป็นสีน้ำตาลไปเหลือง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการใช้เทคนิค NIR Spectroscopy เพื่อทำนายความนุ่มของเนื้อโคสันนอก พบว่า การทำนายค่าความนุ่มเนื้อโดยการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อโคสันนอกโดยวิธี Partial Least Squares; PLS ด้วยเทคนิค NIRS มีค่า R^2 เท่ากับ 0.39 และ SEP เท่ากับ 1.52 และเมื่อปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smoothing, Multiplicative Scattering Correction; MSC และ Standard Normal Variate; SNV พบว่า สเปกตรัมที่ปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค MSC สามารถทำนายความนุ่มนยาได้ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.54 และ SEP เท่ากับ 1.32 ในขณะที่การทำนายค่าความนุ่มเนื้อโดยการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อโคสันนอกด้วยเทคนิค NIRS พบว่า ปัจจัยด้านความนุ่ม การปรับแต่งข้อมูลแบบ MSC ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.28 และ SEP เท่ากับ 2.35 ปัจจัยด้านความฉ่ำ สมการยังให้ความแม่นยำของสมการค่อนข้างต่ำ เนื่องจากข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันเท่าที่ควร และปัจจัยด้านการเคี้ยว การปรับแต่งข้อมูลแบบ Smoothing ให้ผลดีที่สุดที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.34 และ SEP เท่ากับ 2.5

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อโคสันนอกด้วยการใช้เทคนิค NIRS ในการประเมินความนุ่มของเนื้อโค งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความเป็นไปได้ที่จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพเนื้อโคด้านความนุ่มเนื้อโดยวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยวิธี Warner-Bratzler Shear Force และวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบพรรณาเชิงปริมาณ (QDA) เพื่อเพิ่มมูลค่าและสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารต่อไป

ในส่วนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เนื้อสายพันธุ์ออสเตรเลียมีความนุ่ม ความฉ่ำมากที่สุด และจำนวนในการเคี้ยวน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเคี้ยวที่น้อยที่สุดเท่ากับ 2.78 บ่งบอกถึงเนื้อมีความนุ่มมากกว่าอีก 4 สายพันธุ์ เพราะถ้าค่าแรงเคี้ยวมีค่ามากจะแสดงถึงความนุ่มที่น้อยลง และสายพันธุ์ออสเตรเลียมีย่อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังให้ความร้อนมากที่สุด ร้อยละ 27.80 กล่าวคือเนื้อสายพันธุ์ออสเตรเลียมีความนุ่มและเหมาะแก่การนำไปบริโภคมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมก่อนนำเส้นสเปกตรัมไปหาความสัมพันธ์กับค่าทางกายภาพ เช่น การคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสอง (Second Derivative)

5.2.2 ควรปรับสเปกตรัมของข้อมูลในรูป Transmittance (%) เป็นข้อมูลสเปกตรัมรูปแบบ Absorbance เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์หสมการทำนาย เนื่องจากเป็นที่นิยมมากกว่า

5.2.3 ควรตัดความยาวคลื่นในแต่ละช่วงมาทำการวิเคราะห์หสมการทำนาย เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมินความนุ่มเนื้อ



บรรณานุกรม

- แก้วกานต์ พวงสมบัติ, อนุพันธุ์ เทอดวงศ์วรกุล, **ณัฐภรณ์ สุทธิวิจิตรภักดี**, อาทิตย์ พวงสมบัติ, Tsuchikawa, S., Inagaki, T. and Ma, T. (2560). การจำแนกเมล็ดถั่วเขียวสำหรับการเพาะออกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีและการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้. **สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**, 23(1), 23-29.
- โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.sinthornmeat.co.th/th/main/content.php?page=sub&category=&id=9> (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2562).
- จิตรกร บัวปลี. [ม.ป.ป.]. **คู่มือการเพาะเลี้ยง “โคเนื้อ&โคงาม” ฉบับสมบูรณ์**. หน้า 68-69.
- จุฑารัตน์ ศรีพรหมมา. (2528). **การจัดการเนื้อสัตว์**. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. (2548). **คุณภาพของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตและการตลาดของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สุพีเรียฟรินด์เฮาส์.
- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. (2552). คุณค่าของเนื้อโคพื้นเมือง. **ปศุสัตว์เกษตรศาสตร์**, 35(140), 39-45.
- ชัยณรงค์ คันธพานิต. (2529). **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- นพมาศ อัครจันทโชติ และ กิตาการ สายธนู. (2560). การใช้การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนในการประเมินผลผลิตของตัวแบบการถดถอย. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ** 69, 3(1), 71.
- นารัตยา ชมนารถ และ สมพิศ ชูแสงจันทร์. (2551). **คุณภาพซากและปริมาณเนื้อที่มีมูลค่าของโคขุนลูกผสมพื้นเมือง**. สำนักพัฒนาการปศุสัตว์และถ่ายทอดเทคโนโลยีกรมปศุสัตว์.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. (2545). **หลักพื้นฐานเทคนิค Near Infrared Spectroscopy**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิมิตรา ไชยรัตน์โชติ. (2559). **การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้และเทคนิคการถ่ายภาพเชิงสเปกตรัมในการติดตามคุณภาพภายในและปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เนติยะ ยอดเณร. (ม.ป.ป). **โคพันธุ์ชาร์โรเลส์ (Charolais)**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.thai-livestock.com> (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2562).

- เนติยะ ยอดเนตร. (ม.ป.ป). โคพันธุ์แองกัส-Angus Cattle. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.thaيلivestock.com/cattle_handling/AA-angus-cattle (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2562).
- เนติยะ ยอดเนตร. (ม.ป.ป). โควากิว-Japanese Black Cattle. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.thaيلivestock.com/cattle_handling/A7-japanese-black-cattle (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2562).
- ปรารธนา พุกษะศรี. (2548). สารานุกรมเกี่ยวกับโคเนื้อ ชุดที่ 3 พันธุ์และการคัดเลือกโคพันธุ์. นนทบุรี: นีออน บুক มีเดีย, 32-33.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. (2555). การตรวจสอบคุณภาพของสั้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยวิธีแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. ทุนวิจัยวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิมพ์ใจ สีหะนาม, พลกฤษณ์ มณีวรร, คาซูฮิโร นากาโน และ ดนัย บุญเกียรติ. (2559). การประเมินปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลเสาวรสดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. วิทยาศาสตร์สงขลานครินทร์, ฉบับพิเศษ, 94-101.
- ภัทรกร ทศพงษ์, เปรมกมล ทองดอนเสียง และ กาญจนา โพธิ์เนียม. (2559). การทำนายส่วนประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดย เนียร์อินฟราเรดรีเฟลกแตนซ์สเปกโทรสโกปี (NIRS). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร, 25(2), 113-121.
- ระจิตร์ สุวพานิช และ นภณัฐ สະสมทรัพย์. 2556. การตรวจหาปริมาณไนเตรทในผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 5-17.
- ระบบลำเลียงแสงที่ 4.1: IR Spectroscopy and Imaging. (2562). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <https://www.slri.or.th/th/beamline/bl41.html> (วันที่สืบค้น 3 เมษายน 2562).
- รินฤดี แก้วชื่นชัย, ศุมาพร เกษมสำราญ, วิเชียร กิรตินิจกาล และ วารุณี ธนะแพสย์. (2553). การพัฒนาสมการสำหรับทำนายปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับใช้ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุ่งนภา ศัสณียวรรณ. (2550). การวิเคราะห์หาไขมันและความชื้นในผลิตภัณฑ์เนยแข็งที่มีไขมันและความชื้นสูงโดยวิธี Near-Infrared. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.sithiphorn.com> (วันที่สืบค้น 13 มีนาคม 2562).
- วรรณภา อ่างทอง, ทวีศักดิ์ ชื่นปรีชา, อภินันท์ จินดานิรตุล และ โสภณ ชินเวโรจน์. (2559). สมรรถนะการเจริญเติบโตและลักษณะซากโคนมเพศผู้ที่เลี้ยงเสริมโดยใช้กากมันสำปะหลังหมักเติมยีสต์

และไม่เต็มยีสต์. รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี พ.ศ. 2552 กรมปศุสัตว์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วรารักษ์ บุญมี, สมปอง สรรวมศิริ และ อำพล วรพิธิธรรม. (2552). **ผลของพันธุ์และน้ำหนักเริ่มขุนต่อสมรรถภาพในการผลิตส่วนประกอบและคุณภาพซากโคขุน.** การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์.

ครั้งที่ 4. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วัชรวิทย์ มีหนองใหญ่. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโค. **แก่นเกษตร**, 42(3), 443-452.

วิชชุดา สังข์แก้ว. (2546). **ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ทีพีเอ็นเพรส.

ศุมาพร เกษมสำราญ. (2545). ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. ใน: วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ ธงชัย สุวรรณสีชนัน, (ผู้รวบรวม), **การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 131-151.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2547). **มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 6001-2547 เนื้อโค.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 13.

อดิศักดิ์ จูมวงศ์, ญัฐวัฒน์ หมื่นมาณี และ ปาริชาติ เทียนจุมพล. (2558). **การประเมินคุณภาพของผลมะละกอโดยเทคนิคไม่ทำลายตัวอย่างเนี่ยอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. (2545). การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. **การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค NIRS เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 67-98.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. (2558). **เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อริยนันท์ ตลับนาค และ อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. (2560). **การประเมินความแก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้.** สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 23(2), 9-16.

อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ธนะแพทย์, ศุมาพร เกษมสำราญ และ จิราภรณ์ อนุสรณ์วงศ์ชัย. (2553). **การตรวจสอบค่าความหวานผลลองกองด้วยเครื่องวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านใกล้อินฟราเรด.** วิทยาศาสตร์เกษตร, 41(3/1), 29-32.

อาทิตย์ พวงสมบัติ, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. (2550). **การศึกษาการวิเคราะห์**

- คุณภาพแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง Vis/Nir Spectrometer. วิทยาศาสตร์เกษตร, 41(1), 397-400.
- อิมเอิบ พันสด. (2549). องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสัตว์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://elearning.nsrui.ac.th/web_elearning/meattech/lesson/less3_2.html (วันที่สืบค้น 21 มีนาคม 2562).
- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K. and Wegner J. (2006). Growth-and Breed-Related Changes of Marbling Characteristics in Cattle. **Journal of Animal Science**, 84(5), 1067-1075.
- Boakye, K. and Mittal, G. S. (1996). Changes in Colour of Beef *M. longissimus dorsi* Muscle During Ageing. **Journal of Meat Science**, 42(3), 347-354.
- Branes, R. J., Dhanoa, M. S. and Lister, S. J. (1989). Standard Normal Variate Transformation and De-Trending of Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra. **Journal of Applied Spectroscopy**, 43(5), 772-777.
- Chambaz, A., Scheeder, M., Kreuzer, M. and Dufey, P. (2003). Meat Quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin Steers Compared at the Same Intramuscular Fat Content. **Journal of Meat Science**, 63(4), 491-500.
- 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-Australasian Journal of Animal Sciences**, 29(7), 1029-1036.
- Chris, R. Calkins and Sullivan G. (2007). Ranking of Beef Muscles for Tenderness. **Beef Facts Product Enhancement**.
- Cifuni, G. F., Napolitano, F., Riviezz, A. M., Braghieri, A. and Girolami, A. (2004). Fatty Acid Profile, Cholesterol Content and Tenderness of Meat from Podolian Young Bulls. **Journal of Meat Science**, 67(2), 289-297.
- Dalzotto, G., Fabre, R., Perlo, F., Bonato, P., Teira, G. and Tisocco, O. (2018). Force of Different Beef. **Journal of Meat Science**, 138, 10-14.
- Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M. T. and Molin, E. (2008). Relationship Between Beef Consumer Tenderness Perception and Warner-Bratzler Shear Force. **Journal of Meat Science**, 78(3), 153-165.

- Food network solution. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร (ตอนที่3). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com> (วันที่สืบค้น 14 มีนาคม 2562).
- Frost, J. (2013). **Regression Analysis**. [online]. Retrieved from: <https://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics-2/regression-analysis-how-do-i-interpret-r-squared-and-assess-the-goodness-of-fit> (2019, April 9).
- Frylinck, L., O'Neill, A., du Toit, E., Strydom, P. E. and Webb, E. C. (2015). The Beef Tenderness Model. **South African Journal of Animal Science**, 45(3), 234-248.
- Gomes, C. L., Pflanzera, S. B., Cruzab, A. G, de Felícioa, P. E. and Bolinia, H. M. A. (2014). Sensory Descriptive Profiling and Consumer Preferences of Beef Strip. **Journal of Food Research International**, 54, 76-84.
- Gotoh, T., Nishimura, T., Kuchida, K. and Mannen, H. (2018). The Japanese Wagyu Beef Industry: Current Situation and Future Prospects-A Review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 31(7), 933-950.
- Hannula, T. and Puolanne, E. (2004). The Effect of Cooling Rate on Beef Tenderness: The Significance of pH at 7 °C. **Journal of Meat Science**, 67(3), 403-408.
- Hruschka, W. R. (2001). **Data Analysis: Wavelength Selection Methods**. In: P.C. Williams and K. H. Nortis, (eds.), Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, 32(8), 39-58.
- Ishihara, Y., Moreira, R., de Souza, G., Salviano, A. and Madruga, M. (2013). Study of the Warner-Bratzler Shear Force, Sensory Analysis and Sarcomere Length as Indicators of the Tenderness of Sun-Dried Beef. **Journal of Molecules**, 18(8), 9432-9440.
- Kawano, S., Abe, H. and Iwamoto, M. (1995). Development of a Calibration Equation with Temperature Compensation for Determination the Brix Value in Intact Peaches. **Journal of Near infrared Spectroscopy**, 3(4), 211-218.
- Kawano, S. (2002). **Sampling and Sample Presentation**. p. 115-124. In: Siesler, H. W., Ozaki, Y., Kawata, S. and Heise, H. M. (eds.), Near-Infrared Spectroscopy: Principle, Instrument, Application. WILEY-VCH Verlag GmbH. Germany.

- Liu, Y., Lyon, B. G., Windham, W. R., Realini, C. E., Pringle, T. D. and Duckett, S. (2003). Prediction of Color, Texture and Sensory Characteristics of Beef Steaks by Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. A Feasibility Study. **Journal of Meat Science**, 65, 1107-1115.
- Marino, R., Malva, D., Santillo, A., Loizzo, P. and Sevi, A. (2013). Proteolytic Pattern of Myofibrillar Protein and Meat Tenderness as Affected by Breed and Aging Time. **Journal of Meat Science**, 95(2), 281-287.
- McKillip, K., Wilfong, A., Gonzalez, J., Houser, T., Unruh, J., Boyle, E. and Quinn, T. (2017). Sensory Evaluation of Enhanced Beef Strip Loin Steaks Cooked to 3 Degrees of Doneness. **Journal of Meat Muscle Biology**, 227-241.
- Mlček, J., Sustova, K. and Simeonovová, J. (2006). Application of FT NIR Spectroscopy in the Determination of Basic Chemical Composition of Pork and Beef. **Czech Journal of Animal Science**, 51(8), 361-368.
- Møller, A. J. (1981). Analysis of Warner-Bratzler Shear Pattern with Regard to Myofibrillar and Connective Tissue Components of Tenderness. **Journal of Meat Science**, 5(4), 247-260.
- Monsón, F., Sañudo C., and Sierra, I. (2005). Influence of Breed and Ageing Time on the Sensory Meat Quality and Consumer Acceptability in Intensively Reared Beef. **Journal of Meat Science**, 71, 471-479.
- Nguyen, D. V. and Rocke, D. M. (2002). Tumor Classification by Partial Least Squares Using Microarray Gene Expression Data. **Journal of Bioinformatics**, 18(1), 39-50.
- Osborne, B. G., Fearn, T. and Hindle, P. H. (1993). Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis. **Longman Scientific & Technical**, 6(12), 1-7.
- Ozaki, Y., McClure, W. F. and Christy, A. (2007). Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology. **Journal of Food Science and Technology**, 18(2), 72-83.
- Park, B., Chen, Y. R., Hruschka, W. R., Shackelford, S. D. and Koohmaraie, M. (1998). Near-Infrared Reflectance Analysis for Predicting Beef Longissimus Tenderness. **Journal of Animal Science**, 76, 2115-2120.

- Romina, F., Gabriela, D., Flavia, P., Patricia, B., Gustavo, T. and Osvaldo, T., (2018). **Cooking Method Effect on Warner-Bratzler Shear Force of Different Beef Muscles. Journal of Meat Science**, 138, 10-14.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J. and Kawano, S. (2001). Improvement of PLS Calibration for Brix Value and Dry Matter of Mango Using Information from MLR Calibration. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, 9(4), 287-295.
- Siesler, H. W., Ozaki, Y. and Kawata, S. (2002). Near-Infrared Spectroscopy. **Journal of Chemometrics**, 16(12), 636-638.
- Takahashi, K. (1996). Structural Weakening of Skeletal Muscle Tissue During Postmortem Ageing of Meat: the Non-Enzymatic Mechanism of Meat Tenderization. **Journal of Meat Science**, 43(1), 67-80.
- Thompson, J. (2002). Managing Meat Tenderness. **Journal of Meat Science**, 62(3), 295-308.
- Tian, X., Wu, W., Yu, Q., Hou, M., Jia, F., Li, X. and Dai, R. (2016). Quality and Proteome Changes of Beef *M. longissimus dorsi* Cooked Using Water Bath and Ohmic Heating Process. **Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 34, 259-266.
- University of Washington. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชนิด. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <https://www.ehs.washington.edu/radiation/non-ionizing-radiation-safety> (วันที่สืบค้น 3 เมษายน 2562).
- Vaudagna, S. R., Sanchez, G., Neira, M. S., Insani, E. M., Gallinger, M. M. and Picallo, A. B. (2002). Sous Cooked Semitendinosus Muscles: Effect of Low Temperature-Long Time Treatments on Quality Characteristics and Storage Stability of Product. **Journal of Food Science and Technology**, 37(4), 425-441.
- Venel, C., Mullen, A. M., Downey, G. and Troy, D. J. (2001). Prediction of Tenderness and Other Quality Attributes of Beef by Near Infrared Reflectance Spectroscopy Between 750 and 1100 nm, Further Studies. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, 9, 185-198.
- Williams, P. (2007). **Near-infrared Technology - Getting the best out of light**. (5.4 ed). A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada.

- Williams, P. and Norris, K. H. (2001). **Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries**. (2nd ed.). Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Zinn, D. W., Gaskins, C. T., Gann, G. L. and Hedrick, H. B. (1970). Beef Muscle Tenderness as Influenced by Days on Feed, Sex, Maturity and Anatomical Location. **Journal of Animal Science**, 31(2), 307-309.







ภาคผนวก ก

แบบสอบถามและแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถาม

คำชี้แจง ให้ผู้ทดสอบชิมทำแบบทดสอบ เพื่อเป็นประโยชน์ในการทดสอบชิม โปรดเติมเครื่องหมาย ✓
ในช่องตามความจริง

ตอนที่ 1 ข้อมูลของผู้ทดสอบ

1. ชื่อ-นามสกุล วันที่

2. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

1. มีอาการป่วย (เป็นไข้) ระหว่างการทดสอบหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

2. มีบาดแผลในปากหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

3. ได้รับประทานอาหารมาก่อนการทดสอบ 30 นาทีหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

4. สูดบุหรืหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ถ้าหากสูบบุหรี่ก่อนการทดสอบ 30 นาทีหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

6. ดื่มแอลกอฮอล์หรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ถ้าหากดื่มแอลกอฮอล์ท่านได้ดื่มก่อนการทดสอบ

30 นาทีหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

8. ได้รับประทานอาหารต่อไปนี้ก่อนการทดสอบ 30 นาทีหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ก. ลูกกวาด ลูกอม ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ข. เครื่องดื่มและน้ำอัดลม ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ค. ขนมขบเคี้ยว ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ง. หมากฝรั่ง ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

จ. อื่นๆ..... ☐ ใช่ ☐ ไม่ใช่

ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ QDA

ผลิตภัณฑ์เนื้อโค

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ

กรุณาชิมตัวอย่างเนื้อโค เรียงลำดับจากซ้ายไปขวาแล้วทำเครื่องหมาย | บนเส้นแสดงคุณลักษณะต่างๆ ในตำแหน่งที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยเขียนรหัสตัวอย่างกำกับไว้ที่เส้นที่ขีดด้วย (กรุณาบ้วนปากทุกครั้งก่อนชิมตัวอย่างถัดไป)

รหัสตัวอย่าง

เนื้อสัมผัส

ความนุ่ม



ความฉ่ำ



การเคี้ยว



ข้อเสนอแนะ

ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

Scoring test

ชื่อ.....วันที่

ผลิตภัณฑ์ เนื้อโค

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา โดยให้คะแนนความนุ่มของเนื้อโค (กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างถัดไป) และให้คะแนนดังนี้

1 = เหนียวมาก 2 = เหนียวน้อย 3 = ปานกลาง 4 = นุ่มน้อย 5 = นุ่มมาก

1 = ไม่ฉ่ำเลย 2 = ฉ่ำน้อยมาก 3 = ปานกลาง 4 = ฉ่ำน้อย 5 = ฉ่ำมาก

1 = เคี้ยวยาก 2 = เคี้ยวค่อนข้างยาก 3 = ปานกลาง 4 = เคี้ยวค่อนข้างน้อย

5 = เคี้ยวง่าย

ความนุ่ม

รหัส = _____

รหัส = _____

รหัส = _____

รหัส = _____

ความฉ่ำ

รหัส = _____

รหัส = _____

รหัส = _____

รหัส = _____

การเคี้ยว

รหัส = _____

รหัส = _____

รหัส = _____

รหัส = _____

ข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก



ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
1	B11		9.1	23.2	357.03	311.26	12.82	6.2
	B12		8.1	20.6	321.17	274.89	14.41	8.1
2	B21		8.4	21.3	342.53	302.79	11.60	8.8
	B22		8.9	22.6	336.71	296.38	11.98	6.8

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
3	B31		7.9	20.0	349.73	312.94	10.52	7.3
	B32		8.4	21.3	303.81	263.63	13.23	4.9
4	B41		8.1	20.6	296.06	250.39	15.43	9.1
	B42		8.9	22.6	267.66	225.98	15.57	6.3

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
5	B51		6.9	17.4	282.78	226.64	19.85	8.1
	B52		8.1	20.6	341.85	288.64	15.57	10.4
6	B61		8.1	20.6	311.19	252.63	18.82	5.1
	B62		8.1	20.6	372.73	314.07	15.74	6.7

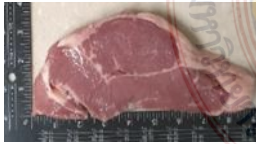
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
7	B71		9.1	23.2	286.31	252.09	11.95	6.9
	B72		8.9	22.6	269.20	232.15	13.76	8
8	B81		8.9	22.6	273.68	229.94	15.98	7.2
	B82		8.9	22.6	326.77	275.61	15.66	8.2

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
9	B91		8.9	22.6	293.57	247.14	15.82	7.5
	B92		8.1	20.6	339.59	296.56	12.67	8.1
10	B10.1		8.1	20.6	288.88	230.62	20.17	8.1
	B10.2		8.4	21.3	241.74	176.16	27.13	8.3

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
11	B11.1		8.9	22.6	334.52	244.37	26.95	8
	B11.2		8.4	21.3	310.47	232.74	25.04	7.1
12	B12.1		8.9	22.6	373.12	289.79	22.33	7
	B12.2		8.1	20.6	363.91	273.31	24.90	8.6

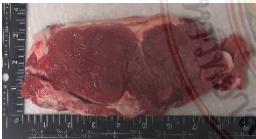
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
13	B13.1		7.6	19.4	271.33	212.32	21.75	8.2
	B13.2		8.1	20.6	318.35	256.73	19.36	7.2
14	B14.1		9.1	23.2	381.25	276.19	27.56	10.8
	B14.2		10.4	26.5	378.35	283.57	25.05	8.3

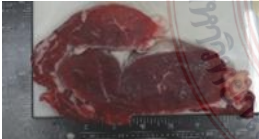
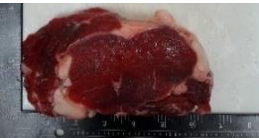
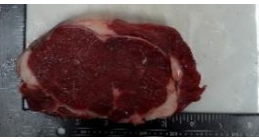
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
16	B16.1		8.9	22.6	403.54	317.65	21.28	6
	B16.2		10.2	25.8	423.91	317.54	25.09	7.5
17	K11		8.9	15.7	264.04	227.20	22.73	4.8
	K12		9.1	14.2	316.56	267.99	19.66	4.7

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
18	K21		8.1	23.4	405.22	323.90	20.07	5.5
	K22		8.9	15.7	387.82	299.36	22.81	9.9
19	K31		8.6	11.4	221.66	178.88	19.30	10.3
	K32		8.1	13.2	236.23	183.81	22.19	8.7

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
20	K41		11.4	20.3	372.15	283.55	23.81	3.4
	K42		12.7	19.1	488.18	390.20	20.07	5.4
21	K51		10.2	16.5	378.19	298.56	21.06	6.4
	K52		9.4	15.7	366.33	291.23	20.50	6.4

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
22	K61		10.2	15.2	399.62	322.53	19.29	2.9
	K62		10.2	15.2	364.23	285.25	21.68	2.4
23	K71		9.4	17.8	367.70	267.45	27.26	11.6
	K72		7.6	16.5	329.56	235.03	28.68	11.2

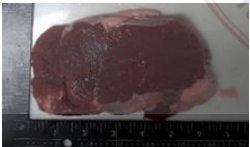
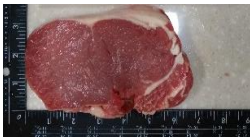
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
24	K81		10.9	14.2	316.45	225.46	28.75	11.1
	K82		9.1	16.5	320.83	234.98	26.76	10.7
25	K91		10.2	19.1	350.08	254.35	27.35	9
	K92		9.4	18.0	340.37	240.47	29.35	7.5

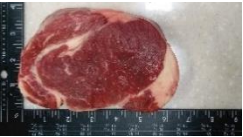
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
26	K10.1		12.7	17.0	386.78	286.07	26.04	5
	K10.2		12.7	17.0	424.42	314.39	25.92	5.9
27	K11.1		8.9	16.3	286.13	225.09	21.33	7.6
	K11.2		10.2	15.2	310.62	237.11	23.67	6.3

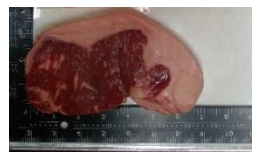
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
28	K12.1		8.9	16.3	270.40	185.45	31.42	4.2
	K12.2		10.2	16.5	273.57	197.59	27.77	5.3
29	K13.1		8.9	16.5	286.20	203.35	28.95	7.8
	K13.2		8.9	16.5	296.50	205.45	30.71	7.3

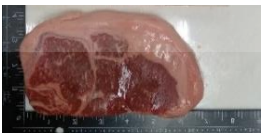
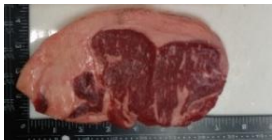
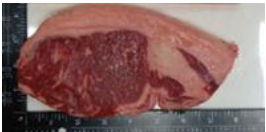
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
30	K14.1		10.2	16.5	295.58	220.36	25.45	6.2
	K14.2		10.2	16.5	331.65	248.06	25.20	6.3
31	K15.1		9.1	15.5	338.64	274.48	18.95	5.4
	K15.2		9.4	16.5	340.92	273.51	19.77	3.6

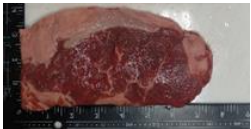
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
32	K16.1		10.9	16.8	389.55	307.59	21.04	4
	K16.2		10.9	16.5	382.54	298.67	21.92	4
33	V11		10.2	19.1	282.14	232.55	17.58	9.4
	V12		10.2	17.8	277.92	230.10	17.21	7.4

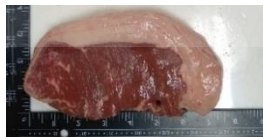
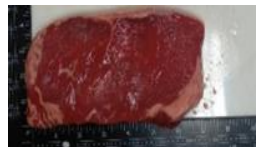
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
34	V21		10.2	17.8	290.29	233.43	19.59	9.7
	V22		10.2	17.8	275.20	232.17	15.64	10.1
35	V31		10.7	18.3	336.12	285.46	15.07	8.2
	V32		10.7	20.3	341.13	291.04	14.68	9.8

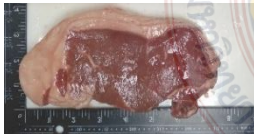
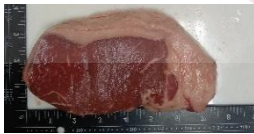
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
36	V41		10.2	17.8	311.27	252.48	18.89	5.6
	V42		10.2	18.3	310.30	250.00	19.43	5.5
37	C11		10.2	19.1	340.18	263.91	22.42	3.6
	C12		9.4	21.6	295.46	228.48	22.67	3.2

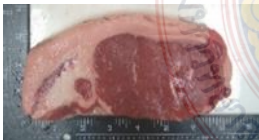
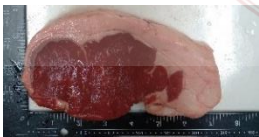
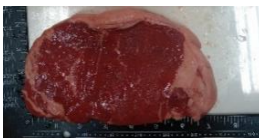
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
38	C21		8.9	17.8	279.18	217.04	22.26	5.8
	C22		8.9	18.3	282.94	219.46	22.44	5.1
39	C31		11.4	19.1	435.83	323.81	25.70	2.8
	C32		11.4	17.8	389.01	284.73	26.81	4.0

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
40	C41		9.4	19.1	281.14	218.59	22.25	4.1
	C42		8.9	19.1	268.48	206.91	22.93	3.4
41	C51		11.4	19.1	320.89	250.54	21.92	4.5
	C52		11.4	18.3	334.84	258.03	22.94	3.0

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
42	C61		10.2	19.1	275.13	219.55	20.20	3.1
	C62		10.2	19.1	271.37	217.10	20.00	3.6
43	C71		11.4	20.3	393.60	291.43	25.96	2.3
	C72		11.4	17.8	409.24	305.17	25.43	2.4

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
44	C81		10.2	20.3	307.00	243.65	20.64	2.1
	C82		10.2	20.3	335.00	275.08	17.89	3.4
45	C91		10.2	20.3	313.00	260.97	16.62	2.9
	C92		10.2	22.9	306.00	252.09	17.62	2.9

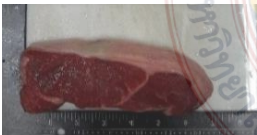
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
46	AK11		6.4	19.1	237.65	213.61	10.12	2.8
	AK12		5.6	19.1	245.56	220.47	10.22	2.9
47	AK21		5.6	17.0	232.22	204.82	11.80	3.8
	AK22		5.6	18.3	241.14	218.33	9.46	3.1

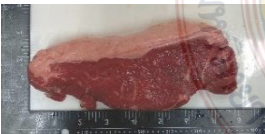
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
48	AK31		6.4	19.1	260.87	219.73	15.77	5.3
	AK32		6.4	19.1	218.93	185.44	15.30	5.6
49	AK41		5.6	17.8	203.25	175.66	13.57	3.7
	AK42		6.4	17.8	218.75	185.98	14.98	3.9

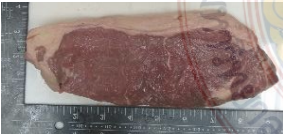
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
50	A11		6.4	17.8	210.69	160.04	24.04	3.8
	A12		6.4	19.1	219.24	165.49	24.52	3.7
51	A21		2.5	7.5	227.04	183	19.40	3.9
	A22		2.5	7.75	242.72	165	32.02	3.3

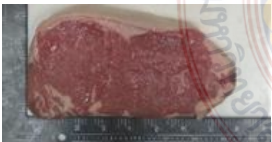
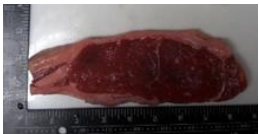
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
52	A31		2.5	7.7	283.75	212	25.29	5.7
	A32		2.5	7.5	248.3	174	29.92	6.6
53	A41		2.5	7.5	223.72	142	36.53	3.9
	A42		6.9	19.1	246.91	151.77	38.53	3.1

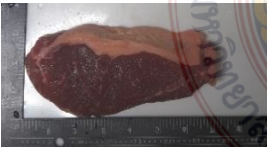
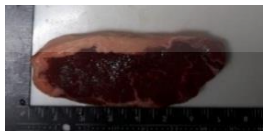
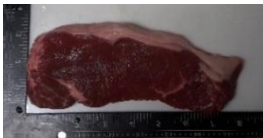
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
54	A51		6.9	18.8	324.95	189.47	41.69	5.5
	A52		10.2	20.3	327.69	193.04	41.09	6.8
55	A61		7.6	20.3	300.20	175.33	41.60	6.5
	A62		7.6	20.3	310.33	181.26	41.59	4.9

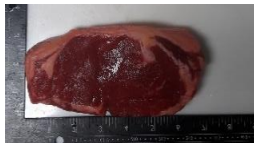
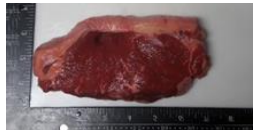
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
56	A71		10.2	20.3	259.61	184.58	28.90	3.7
	A72		8.9	19.1	408.38	278.46	31.81	4.6
57	A81		6.4	19.6	192.12	141.07	26.57	7.9
	A82		6.4	21.6	200.80	146.22	27.18	7.4

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
58	A91		7.6	17.8	226.05	172.98	23.48	7.3
	A92		8.1	17.8	208.06	155.21	25.40	7.5
59	A10.1		8.1	19.1	250.32	197.36	21.16	8.3
	A10.2		7.6	21.6	257.83	201.75	21.75	8.2

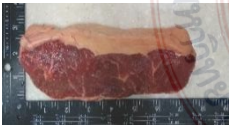
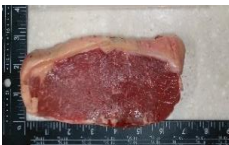
ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
60	A11.1		8.1	19.1	290.83	232.59	20.03	2.7
	A11.2		7.6	19.1	315.68	255.66	19.01	2.6
61	A12.1		7.6	17.8	268.65	220.71	17.84	8.8
	A12.2		8.9	17.8	309.32	246.26	20.39	8.8

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
62	A13.1		7.9	19.1	236.17	177.45	24.86	7.80
	A13.2		7.6	19.1	263.75	195.25	25.97	7.7
63	A14.1		7.6	20.3	300.83	225.12	25.17	6.1
	A14.2		7.6	20.3	302.47	226.64	25.07	5.2

ตาราง ข-1 บันทึกผลการวัดขนาดและน้ำหนักของเนื้อโคก่อนและหลังการทำสุก (ต่อ)

No.	Code	ตัวอย่างเนื้อ	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	น้ำหนักก่อน ทำสุก (g)	น้ำหนักเนื้อ หลังทำสุก (g)	% cooking loss	Temp.ขณะ ทดสอบ NIR (°C)
64	A15.1		7.6	20.3	267.98	207.87	22.43	6.6
	A15.2		7.6	17.8	288.24	225.48	21.77	5.6
65	A16.1		7.6	20.3	302.47	226.64	25.07	5.2
	A16.2		7.6	19.3	281.84	214.04	24.06	5.7

หมายเหตุ B = เนื้อโคพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (ผ่านการบ่ม 7 วัน), K = เนื้อโคพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน (ไม่ผ่านการบ่ม), V = เนื้อโคพันธุ์ลูกผสมวากิว, C = เนื้อโคพันธุ์ลูกผสม

ชาร์โรเลส์, AK = เนื้อโคพันธุ์ลูกผสมแองกัส, A = เนื้อโคพันธุ์ฮอสเตอร์เลีย