

ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโค

Factors Affecting on Beef Tenderness

วัชรวิทย์ มีหนองใหญ่^{1*}

Watcharawit Meenongyai^{1*}

บทนำ

การบริโภคเนื้อโคในปัจจุบันผู้บริโภคจะให้ความสำคัญกับคุณภาพเนื้อ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อมากขึ้น ซึ่งความนุ่มของเนื้อโคเป็นลักษณะสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเนื้อ และมีผลอย่างมากต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค รวมทั้งการตัดสินใจซื้อหรือบริโภคซ้ำอีกครั้ง โดยผู้บริโภคยินดีจะจ่ายเงินมากขึ้นเพื่อซื้อเนื้อโคที่มีความนุ่ม หากมีการรับรองคุณภาพความนุ่มของผลิตภัณฑ์เนื้อที่จำหน่าย (Boleman et al., 1997) อย่างไรก็ตาม เนื้อโคที่ผลิตและจำหน่ายในปัจจุบันยังมีความนุ่มที่ผันผวนไม่คงที่ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากกระบวนการเลี้ยงโคที่ยังไม่มีประสิทธิภาพหรือกรรมวิธีการฆ่าและการจัดเก็บผลิตภัณฑ์เนื้อที่ไม่เหมาะสม โดยปัจจัยทั้งก่อนฆ่าและหลังการฆ่านั้นล้วนมีผลต่อความนุ่มของเนื้อทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นการผลิตเนื้อโคให้มีความนุ่มจึงต้องพิจารณาตลอดกระบวนการผลิตเพื่อให้เนื้อมีความนุ่มสูงสุด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการแข่งขัน และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เนื้อสู่ท้องตลาดให้ได้ราคาที่สูงขึ้น และเป็นแนวทางส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตโคเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ความนุ่มของเนื้อ (Tenderness)

ความนุ่มของเนื้อ หมายถึง ความยากหรือง่ายของเนื้อจากการตัดหรือเคี้ยว (Xargayó et al., 2007) ซึ่งชัยณรงค์ (2529) รายงานว่า ความนุ่มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งของความอร่อย และสาเหตุของความนุ่มเนื้อมียหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องและล้วนมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนกัน จึงเป็นการยากที่จะอธิบายว่าปัจจัยใดสำคัญกว่ากัน นอกจากนั้นความนุ่มยังมีความรู้สึกของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ซึ่งการที่จะวัดความรู้สึกของมนุษย์เป็นเรื่องยากและละเอียดอ่อนมาก ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะอธิบายและแจกแจงประสบการณ์การบริโภคเนื้อนุ่มด้วยถ้อยคำไม่กี่คำ

ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโค

ความนุ่มของเนื้อโคมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ได้แก่ อายุ เพศ อัตราการเกิดไกลโคลิซิส ปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในมัดกล้ามเนื้อ ความยาวของซาร์โคเมอร์ (sarcomere length) สภาวะการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ การสลายตัวของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อหลังการฆ่า (proteolysis post-slaughter) อิทธิพลของเอนไซม์ proteinases และปัจจัยด้านไขมันแทรกในเนื้อ (Koohmaraie, 1994; Belew et al. 2003; Warner et al., 2010) โดยปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อความนุ่มของเนื้อ คือ ปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

¹ สาขาทรัพยากรเกษตรชีวภาพ คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 47000

¹ Program in Agro-Bioresources, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus 47000, Thailand.

* Corresponding author: csnwmm@ku.ac.th

(connective tissue) ที่สะสมในเนื้อ ซึ่งส่วนมากจะเป็น คอลลาเจน (collagen effect) และโปรตีนจากเส้นใย กล้ามเนื้อ (actomyosin effect) (สุทธิพงษ์, 2542; Riley et al., 2005) และนอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลา ในการบ่มเนื้อ ความเร็วในการลดอุณหภูมิเนื้อ และวิธีการปรุงอาหาร ก็ล้วนมีผลต่อความนุ่มของเนื้อโคด้วย เช่นกัน (จุฑารัตน์ และญานิน, 2548)

ปัจจัยด้านพันธุกรรมต่อความนุ่มของเนื้อโค

พันธุ์สัตว์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะทาง ประสาทสัมผัสของเนื้อและคุณภาพของเนื้อ (Cuvelier et al., 2006) โดยพบว่า โคบราห์มันซึ่งเป็นโคเขตร้อน (*Bos indicus*) เนื้อจะมีความนุ่มน้อยกว่าโคเขตหนาว (*Bos taurus*) (Riley et al., 2005; Ibrahim et al., 2008) ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ calpastatin ที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อหลังการฆ่า ซึ่งโค กลุ่ม *Bos indicus* จะมีเอนไซม์ calpastatin ในเนื้อสูงกว่าโคกลุ่ม *Bos taurus* และเอนไซม์ calpastatin จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อนุ่ม (calpain) จึงทำให้เนื้อโคกลุ่ม *Bos taurus* มีแนวโน้ม ของความนุ่มเนื้อและคุณภาพในการบริโภคดีกว่า โคกลุ่ม *Bos indicus* (จุฑารัตน์ และญานิน, 2548) นอกจากนี้ เนื้อโคกลุ่ม *Bos indicus* จะมีแนวโน้มของไขมันแทรกในเนื้อและความนุ่มของเนื้อต่ำกว่าโคกลุ่ม *Bos Taurus* จึงส่งผลต่อการรับรู้ความนุ่มเนื้อของผู้บริโภคด้วย (Thompson, 2002) โดยจากการศึกษา เปรียบเทียบความนุ่มเนื้อของโคกลุ่ม *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) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าเนื้อโคพันธุ์เฮียฟอร์ด จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าเนื้อโคพันธุ์แองกัสและ ลูกผสมโคเขตหนาวสายพันธุ์อื่นๆ (Kim et al., 2007) อย่างไรก็ตาม บางการทดลองรายงานว่าระดับเลือด ของโคเขตร้อนที่สูงขึ้น ไม่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อและ กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ calpastatin ในเนื้อ (Stolowski et al., 2006)

ปัจจัยด้านเพศต่อความนุ่มของเนื้อโค

เพศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อ ซึ่งโคตัวผู้ตอนและโคสาวจะให้เนื้อที่มีความนุ่ม (Zhang et al., 2010; Hanzelková et al., 2011) และมีไขมันแทรกในเนื้อสูงกว่าโคเพศผู้ (Lazzaroni and Biagini, 2008; Panjono et al., 2009) ในขณะที่เนื้อ โคสาวจะมีความนุ่ม (Bass et al., 2010) และไขมัน แทรกสูงกว่าโคตัวผู้ตอน (McIntyre et al., 2009) อย่างไรก็ตาม Zinn et al. (1970) รายงานว่าที่ระยะเวลาการเลี้ยงขุน 150 วัน เนื้อของโคสาวจะมีความนุ่ม มากกว่าโคเพศผู้ตอน แต่ที่ระยะเวลาการเลี้ยงขุน 240 วัน เนื้อของโคเพศผู้ตอนจะมีความนุ่มมากกว่าโคสาว อีกทั้งในการเลี้ยงโคขุนจะนิยมเลี้ยงโคเพศผู้ตอน เนื่องจากโคเพศผู้ตอนจะมีอัตราการเจริญเติบโตและ น้ำหนักซากดีกว่าโคสาว และด้วยขนาดของซากที่เล็ก กว่าโคตัวผู้จึงส่งผลให้ไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค อีกทั้ง ประเทศไทยมีกฎหมายห้ามฆ่าโคตัวเมียเด็ดขาดเว้น แต่เป็นหมัน (บัญญัติ, 2549)

ปัจจัยด้านอายุโคเมื่อฆ่าและต่อความนุ่มของเนื้อโค

ปัจจัยด้านอายุโคเมื่อฆ่าและเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความนุ่มของเนื้อโค โดยโคที่มีอายุอยู่ในวัยหนุ่มสาวจะเป็นช่วงที่เนื้อมีความนุ่มและมีไขมันแทรกน้อย ทั้งนี้เพราะว่าโควัยนี้จะมีการสร้างกล้ามเนื้อจนเกือบเต็มที่แล้ว แต่อายุยังไม่เลยวัยหนุ่มสาว จึงทำให้ ปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่ในระดับ ต่ำ มีผลทำให้เนื้อไม่แข็งแรงด้านทนต่อแรงกดและแรงบิด ของฟันมนุษย์ขณะเคี้ยวเนื้อต่ำด้วย จึงเป็นสาเหตุ ทำให้มีความรู้สึกที่เนื้อนุ่มไม่เหนียวเหมือนในโคอายุ มาก (บุญชู, 2548) ซึ่งความนุ่มของเนื้อโคจะลดลงจน เกือบเรียกได้ว่าเหนียวนั้น จะปรากฏชัดเจนเมื่อโคอายุ 30 เดือน และโคที่อายุมากกว่านี้เนื้อจะเหนียวมากขึ้น ตามลำดับแต่จะเป็นไปอย่างช้าๆ และต่อเนื่อง (ชัยณรงค์, 2529) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอายุที่มากขึ้น ของโคจะส่งผลต่อรสชาติของเนื้อ โดยทำให้เนื้อมีความ นุ่มลดต่ำลง ซึ่งในโคที่มีอายุน้อยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีความสัมพันธ์สูงกับ myofibrils โดยเฉพาะในส่วนเนื้อ สัน และในโคที่มีอายุมากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีความ

สัมพันธ์และมีจำนวนมากในเนื้อส่วนสะโพก (Xiong et al., 2007; Schönfeldt and Strydom, 2011) 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 (จุฑาทัน และญานิน, 2548)

ปัจจัยด้านไขมันแทรกต่อความนุ่มของเนื้อ

ไขมันแทรก หมายถึง ลักษณะไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน โดยทำการประเมินได้จากพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันระหว่างซี่โครงซี่ที่ 12 และ 13 โดยไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อนี้จะบ่งบอกถึงควมหนาเกินของเนื้อ ซึ่งไขมันจะช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำลายจึงทำให้เกิดความรู้สึกชุ่มน้ำอยู่ในปาก (Albrecht et al., 2006) โดยปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอิทธิพลทางพันธุกรรมของสัตว์ และเป็นที่ยอมรับกันว่าโคพันธุ์ Japanese Black (Figure 1) เป็นโคที่มีความสามารถในการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อ หรือไขมันแทรกได้สูงกว่าโคสายพันธุ์อื่นๆ (Yamada and Nakanishi, 2012) และโคเชตร้อนจะมีการสะสมไขมันแทรกได้น้อยกว่าโคเชตหนาว สอดคล้องกับ ปราวรณา (2548) รายงานว่า โคเนื้อพันธุ์ชาร์โลเลย์มีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงกว่าโคเนื้อพันธุ์อเมริกันบราร์ห์มัน แม้ว่าจะได้รับการเลี้ยงดูและให้อาหารเหมือนกัน และสอดคล้องกับ McKeith et al. (1985) รายงานว่าโคเนื้อพันธุ์แองกัสมีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงกว่าพันธุ์อเมริกันบราร์ห์มัน ภายใต้การเลี้ยงด้วยอาหารชนิดเดียวกัน อีกทั้งอายุโคที่โตเต็มที่ (mature) จะทำให้โคสามารถสะสมไขมันแทรกได้มากขึ้น โดยเมื่อโคโตเต็มที่จะสามารถมีไขมันแทรกในเนื้อได้เพิ่มถึง 40 เท่าหลังจากอายุแรกเกิด อย่างไรก็ตาม ชัยณรงค์ (2529) รายงานว่า ปริมาณไขมันแทรกไม่ได้

มีผลโดยตรงต่อความนุ่มของเนื้อ แต่จะทำหน้าที่เสมือนตัวหล่อลื่นขณะเคี้ยวเนื้อ จึงทำให้มีความรู้สึกเหมือนว่าเนื้อมีความนุ่ม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ระหว่างค่าแรงตัดผ่านเนื้อกับไขมันแทรกจะมีค่าต่ำมากเมื่อโคเนื้อเลี้ยงขุนด้วยอาหารหยาบเป็นหลัก ($r=0.025$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไขมันแทรกไม่ใช่ตัวชี้วัดความนุ่มของเนื้อที่ดี ในกรณีที่เลี้ยงขุนโคด้วยอาหารหยาบเป็นหลัก (Kim et al., 2007)

ปัจจัยด้านอาหารที่เลี้ยงขุนและวิธีการเลี้ยงต่อความนุ่มของเนื้อโค

อาหารที่ใช้เลี้ยงขุนโคถือว่าเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโค ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะพบว่าเนื้อโคที่ได้จากการเลี้ยงขุนด้วยหญ้า จะมีความนุ่มและรสชาติดีต่อกว่าเนื้อโคที่ได้จากการเลี้ยงขุนด้วยอาหารข้น (Fukumoto et al. 1999) สอดคล้องกับ Schor et al. (2008) รายงานว่า เนื้อโคที่เลี้ยงขุนด้วยอาหารข้นเป็นระยะเวลา 80 วันขึ้นไป จะมีความนุ่มสูงกว่าเนื้อโคที่ได้จากการเลี้ยงขุนด้วยอาหารหยาบเป็นหลัก อีกทั้งโคเนื้อที่เลี้ยงขุนด้วยหญ้าเมื่อเปรียบเทียบกับเลี้ยงขุนด้วยอาหารข้น จะพบว่าโคที่เลี้ยงขุนด้วยหญ้าจะมีไขมันแทรกต่ำกว่า แต่จะมีกรดไขมันชนิดโอเมกา 3 (omega-3 fatty acids) กรดไขมันไม่อิ่มตัว และ กรดไขมันคอนจูเกตลิโนลิก (conjugated linoleic acid) สะสมในเนื้อสูงกว่าโคที่เลี้ยงขุนด้วยอาหารข้น (French et al. 2000) สอดคล้องกับ Allingham et al. (1998) รายงานว่าการขุนโคลูกผสมบราร์ห์มันด้วยการเลี้ยงปล่อยและเสริมในแปลงหญ้า เลี้ยงขุนให้กินหญ้าแห้งและเสริมหญ้าสด และเลี้ยงขุนให้กินหญ้าแห้งและเสริมเมล็ดธัญพืช พบว่ากลุ่มที่เสริมเมล็ดธัญพืชมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ผ่านการปรุงสุกต่ำที่สุด ($P<0.05$) อีกทั้งค่าแรงอัด (compression) และค่าการเกาะตัวของเนื้อ (adhesion) ของกลุ่มที่เสริมเมล็ดธัญพืชมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงปล่อยและเสริมในแปลงหญ้า ($P<0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อที่ลดลงและทำให้ความเหนียวของเนื้อลดต่ำลง และ Barker et al. (1995) ศึกษากระบวนการเลี้ยงขุนโคลูกผสม American Wagyu x Angus แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกขุนแบบให้อาหารข้นกินอย่างต่อเนื่อง 454 วัน กลุ่มที่สอง

เลี้ยงขุนแบบแบ่งเป็น 2 ระยะ โดย 224 วันแรก ให้กินอาหารหยาบ หลังจากนั้นอีก 230 วัน ให้กินอาหารข้นอย่างเต็มที่ ผลการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตตลอดทั้ง 454 วัน ของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับคุณภาพซากพบว่ากลุ่มที่ 1 สูงกว่ากลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และค่าคะแนนของไขมันแทรกในเนื้อกลุ่มที่ 1 จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ปัจจัยด้านการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากต่อความนุ่มของเนื้อ

การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความนุ่มของเนื้อ (Rosenvold et al., 2008) โดยเป็นการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังซากโคหลังจากการฆ่าใหม่ๆ ซึ่งเป็นการทำให้ pH ในเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลทำให้เอนไซม์ทำงานได้เร็วขึ้น (Hwang and Thompson, 2001) โดย สัตูชัย (2543) รายงานว่า มีการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากและให้ผลทางการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อ โดยเนื้อที่มีความเหนียวซึ่งเกิดจากเซลล์กล้ามเนื้อเกิด cold shortening ดังนั้นการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากจะช่วยให้เกิด rigor mortis ได้เร็วขึ้น จึงสามารถช่วยลดระยะเวลาการบ่มซากและช่วยให้เนื้อนุ่มขึ้นประมาณ 15-30% ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการกระตุ้นและปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย และ Gursansky et al. (2010) รายงานว่า ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ไนโค *Bos indicus* ที่ไม่ได้กระตุ้นซากด้วยไฟฟ้า จะมีค่าสูงกว่า โค *Bos Taurus* แต่เมื่อกระตุ้นด้วย แรงดันไฟฟ้าสูง (1130 V) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของเนื้อโค *Bos indicus* จะมีค่าสูงกว่าซากที่ไม่ได้กระตุ้นไฟฟ้า และมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ โค *Bos Taurus* และ Koh et al. (1987) รายงานว่า การกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าต่ำหรือสูงก็สามารถเพิ่มความนุ่มของเนื้อได้เหมือนกัน อย่างไรก็ตามพบว่า การกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง จะสามารถกระตุ้นให้เนื้อเกิดความนุ่มได้ดีกว่าการกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Janz et al., 2001) ซึ่ง White et al. (2006) รายงานว่าการเพิ่มความนุ่มของเนื้อจากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้านั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในเนื้อ หรือการแตกตัวของโครงสร้าง

เส้นใยกล้ามเนื้อ และนอกจากนี้อาจเนื่องจากเป็นการป้องกันการเกิด cold shortening ร่วมด้วย สอดคล้องกับ Ho et al. (1996) รายงานว่าการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากจะทำให้ myofibrillar เพิ่มการแยกตัวมากขึ้น จึงทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น

ปัจจัยด้านการบ่มต่อความนุ่มของเนื้อโค

การบ่มเนื้อเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ เมตาบอลิซึมในเนื้อหลังจากการฆ่า (Cifuni et al., 2004) ซึ่งโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐานนั้น หลังการฆ่าจะนำซากโคเข้าห้องแช่เย็นที่ 3 °C ทันที และคงอุณหภูมิขนาดนี้ไปจนครบ 24 ชม. เพื่อให้กระบวนการแข็งตัว (rigor mortis) เกิดขึ้นตามขั้นตอนจนสมบูรณ์ (ชัยณรงค์, 2529) สอดคล้องกับ Hannula and Puolanne (2004) รายงานว่า ระยะเวลาที่ยาวนานของการบ่มจะเกิดการ ทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในเนื้อ ทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น ซึ่ง Monsón et al. (2005) รายงานว่าการบ่มเนื้อเป็นระยะเวลา มากกว่า 7 วันขึ้นไปจะช่วยลดอิทธิพลของสายพันธุ์โคต่อความนุ่มเนื้อได้ สอดคล้องกับ Marino et al. (2013) ศึกษาการบ่มเนื้อโคที่ระยะ 1, 7, 14 และ 21 วัน พบว่า ระยะเวลาการบ่มเนื้อที่นานขึ้นจะทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำลง ($P < 0.01$) อีกทั้งทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแตกตัวได้มากขึ้น ($P < 0.01$) ซึ่งระยะเวลาของการบ่มเนื้อที่ยาวนานขึ้น โดยจะทำให้สภาพแวดล้อมภายในเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี คือทำให้ actomyosin ถูกตัดขาด ณ บริเวณ Z-line ทำให้ความตึงตัวลดลงและเป็นเหตุให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ก็กิจกรรมที่พบขณะบ่มซาก คือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเนื้อ โดยสารย่อย cathepsins เกิดการรั่วไหลออกมานอกเซลล์ แล้วเข้าไปย่อยโปรตีนบริเวณ Z-line ดังกล่าว จึงทำให้ sarcomere มีความยาวขึ้นและเนื้อมีความนุ่มขึ้น (ชัยณรงค์, 2529) นอกจากนี้แล้วระดับ pH และอุณหภูมิในเนื้อจะส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ cathepsins และตัวที่ทำหน้าที่ยับยั้ง ซึ่งจะส่งผลต่อความนุ่มของเนื้อ (Dransfield, 1994) ซึ่งโคขุนที่มีเลือดโคเขตร้อนจะใช้เวลาในการบ่มเนื้อนานกว่าขุนเลือดยุโรป นอกจากนี้การนำเนื้อไปแช่แข็งทันทีโดยไม่ผ่าน

การบ่มจะทำให้เนื้อเกิดความเหนียวมากขึ้น (สัญญาชัย, 2543) สอดคล้องกับ จุฑารัตน์ และญานิน (2548) รายงานว่าการลดอุณหภูมิในเนื้ออย่างรวดเร็วภายหลังกระบวนการฆ่าสิ้นสุดอาจทำให้เนื้อมีความเหนียวมากขึ้น เนื่องจากเกิดสภาวะการหดตัวเนื่องจากความเย็น (cold shortening) ซึ่งปรากฏการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่น่าซากโคเข้าห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำ และถ้าอุณหภูมิในเนื้อลดลงต่ำกว่า 10°C อย่างรวดเร็วภายใน 10 ชม. โอกาสเกิดสภาวะดังกล่าวจะมีสูงมาก และซากโคที่มีไขมันหุ้มซากบาง โอกาสเกิด cold shortening จะสูงกว่าซากโคที่มีไขมันหุ้มซากหนา

ปัจจัยด้านการใช้สารเคมีต่อความนุ่มของเนื้อโค

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ได้มีการนำมาใช้ในการเพิ่มคุณสมบัติความนุ่มของเนื้อ (Jaturasitha et al., 2004) ซึ่งกลไกการทำงานของ CaCl_2 ในการเพิ่มความนุ่มของเนื้อคือ CaCl_2 จะทำให้ endogenous Ca^{2+} ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และไปกระตุ้นการทำงานของ เอนไซม์ m-Calpain และ μ -Calpain เพื่อเร่งกระบวนการทำให้เนื้อนุ่ม ซึ่งความเข้มข้นของ Ca^{2+} ประมาณ 100 mM ก็สามารถกระตุ้นการทำงานของ calpain proteolytic system ได้ และสภาวะ pH ที่เหมาะสมคือ 6.5-8.0 และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 0 - 37.5°C (Dayton et al., 1976) โดย calpain proteolytic system ประกอบด้วย เอนไซม์ m-Calpain และ μ -Calpain นอกจากนี้ การฉีดสารละลาย CaCl_2 ยังเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Calpastatin ซึ่งทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของ μ -Calpain โดย Morgan et al. (1991) รายงานว่า การฉีดสารละลาย 300 mM CaCl_2 ในระดับ 10% (wt/wt) ที่ 30 นาทีหลังฆ่า เปรียบเทียบกับกลุ่มไม่ฉีด พบว่ากลุ่มที่ฉีดสารละลาย CaCl_2 ทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง ($P < 0.05$) สอดคล้องกับ Wheeler et al. (1992) รายงานว่าการฉีดสารละลาย 300 mM CaCl_2 ในระดับ 10% (wt/wt) ที่ 30 นาที และ 24 ชม. หลังฆ่า เปรียบเทียบกับกลุ่มไม่ฉีด พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อในระยะการบ่มที่ 2 และ 5 วัน หลังฆ่า ในกลุ่มที่ฉีดสารละลาย CaCl_2 มีค่าลดต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) และการฉีดสารละลาย CaCl_2 ที่ 30 นาทีหลังฆ่า ทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่าการฉีดสารละลาย

CaCl_2 ที่ 24 ชม. หลังฆ่า ($P < 0.05$) และสอดคล้องกับ Jaturasitha (2004) ศึกษาการใช้ CaCl_2 ที่ระดับ 0, 200, 300 และ 400 mM ในระดับ 10% (wt/wt) ในเนื้อหลังฆ่าที่ 45 นาที และ 24 ชม. พบว่าการฉีดสารละลาย CaCl_2 ช่วยให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม การฉีดสารละลาย 300 mM CaCl_2 ในระดับ 10% (wt/wt) ในเนื้อ จะทำให้เนื้อมีรสขมและเฝื่อน (Morris et al., 1997) สอดคล้องกับ Scanga et al. (2000) รายงานว่า การฉีดสารละลาย 150 mM CaCl_2 ในเนื้อ ทำให้เนื้อมีรสขมและเฝื่อน ซึ่งการใช้สารละลายแต่งรส 10% (flavoring/seasoning marinade) ร่วมด้วย จะช่วยลดความเฝื่อนและรสขมจากการฉีดสารละลาย CaCl_2 ได้

ปัจจัยด้านความเครียดต่อความนุ่มของเนื้อโค

โคที่เลี้ยงในลักษณะการปล่อยเลี้ยงจะมีความเครียดสูงกว่าการขังรวมกันเชิงการค้า อีกทั้งการต่อสู้กันภายในฝูงล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเครียด นอกจากนี้การขนส่งโคจากฟาร์มสู่โรงฆ่าจะทำให้อุณหภูมิในร่างกายสัตว์สูงขึ้น และอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากปกติ อีกทั้งระยะทางที่ยาวไกลและความหนาแน่นของการบรรทุกจะทำให้โคเกิดความเครียดเพิ่มขึ้น ซึ่งความเครียดขณะมีชีวิตก่อนฆ่า นั้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของเนื้อ โดยโคที่มีความเครียดจะมีการนำไกลโคเจนที่สะสมในเนื้อไปใช้จนเหลือน้อยมาก จึงมีผลทำให้เนื้อโคมีค่า pH สุดท้ายสูงมาก เป็นผลทำให้เนื้อมีลักษณะคล้ายแข็งแห้ง (dark firm dry, DFD) ไม่น่ารับประทาน (สัญญาชัย, 2543) ซึ่งโดยปกติแล้วหลังสัตว์ตายกล้ามเนื้อจะมีค่า pH ลดลงจากประมาณ 7 (ขณะมีชีวิต) เป็น 6.2-6.3 ภายในเวลา 1 ชม. แล้วจะค่อยๆ ลดลงเป็น 5.6-5.7 ภายในเวลา 24 ชม. แต่เนื้อที่มีลักษณะ DFD จะคงค่า pH ไว้ที่ 6.7-6.8 ตลอด จึงทำให้ความสามารถในการจับน้ำใกล้เคียงกับขณะที่มีชีวิตอยู่ จึงทำให้ความนุ่มของเนื้อ DFD มีความนุ่มมากกว่าเนื้อโคปกติ (ทดสอบด้วยเครื่องวัดความนุ่ม warner bratzler shear force) (สุทธิพงษ์, 2542) สอดคล้องกับ Beltrh et al. (1997) ศึกษาความนุ่มของเนื้อที่มีค่า pH > 6.3, 6.3-5.8 และ < 5.8 ด้วยเครื่องวัดความนุ่ม warner

bratzler shear force พบว่า เนื้อที่มี pH >6.3 มีความนุ่มสูงที่สุด ($P < 0.01$) และ เอนไซม์ m-Calpain ณ วันที่ 7 หลังฆ่ามีปริมาณสูงสุด ($P < 0.01$)

ปัจจัยด้านชิ้นส่วนของเนื้อต่อความนุ่มของเนื้อโค

กล้ามเนื้อจากชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกายมีความนุ่ม ความเหนียวแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและไขมันที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อนั้นๆ เนื้อจากส่วนร่างกายที่มีการเคลื่อนไหวมาก เช่น เนื้อน่อง เนื้อต้นคอ เนื้อพันท้อง จะมีเอ็นและพังผืดอยู่มาก ในทางตรงกันข้ามเนื้อสันในเป็นเนื้ออยู่ในบริเวณที่เคลื่อนไหวน้อยจึงทำให้เนื้อมีความนุ่มมาก (จุฑาวัชริน และ ญาณิน, 2548) สอดคล้องกับ Stolowski et al. (2006) รายงานว่า ชนิดของกล้ามเนื้อมีบทบาทสำคัญต่อความนุ่มของเนื้อโค โดยศึกษาชิ้นส่วนของกล้ามเนื้อโคลูกผสม (บราห์มัน x แองกัส) 7 ชนิด ได้แก่ เนื้อส่วนสะโพก (round steak) 4 ชนิด คือ M. semimembranosus (SM), M. semitendinosus (ST), M. biceps femoris (BF), M. vastus lateralis (VL) เนื้อส่วนสัน (loin steak) 2 ชนิด คือ M. gluteus medius (GM), M. longissimus dorsi lumborum (LD), และ เนื้อส่วนไหล่ (chuck) 1 ชนิดคือ M. triceps brachii (TB) พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อส่วนสะโพก (SM, ST, BF และ VL) สูงกว่าส่วนเนื้อสัน (LD, GM) และส่วนไหล่ (TB) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และ Calkins and Sullivan (2007) รายงานว่า กล้ามเนื้อจากชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกายโคมีความนุ่มแตกต่างกัน โดยพบว่าเนื้อสันใน (Tenderloin) จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำที่สุดและมีค่าคะแนนความนุ่มจากการทดสอบด้วยผู้ชิมสูงสุด

ปัจจัยด้านเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อต่อความนุ่มของเนื้อ

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นอีกตัวชี้วัดในการประเมินความนุ่มของเนื้อโค (Brooks and Savell, 2004) ซึ่งการที่เนื้อสัตว์มีความแตกต่างกันในแง่ของความนุ่มนั้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นผลมาจากปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่ภายในเนื้อ (Harper et al., 1999) สอดคล้องกับ Møller (1981) รายงานว่าความนุ่มของเนื้อที่เกิดขึ้นจากการปรุงสุกเป็นผลมาจากลักษณะ

โครงสร้างและปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของเนื้อนั้น และมักปรากฏอยู่เสมอว่าเนื้อที่นุ่มมักจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ต่ำ โดยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อส่วนใหญ่จะประกอบด้วย collagen และ elastin ซึ่ง collagen จะมีจำนวน 1-15% น้ำหนักแห้งในกล้ามเนื้อ และ elastin จะมีจำนวน 0.6-3.7% น้ำหนักแห้งในกล้ามเนื้อ (Purslow, 2005) อีกทั้งคำว่าเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีความหมายครอบคลุมโครงสร้างหลายๆ ส่วนในร่างกายสัตว์ได้แก่ เอ็นและพังผืด ซึ่งทำหน้าที่ในการยึดและมัดรวมกล้ามเนื้อให้อยู่รวมกันได้ใในกล้ามเนื้อนั้น เนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีอยู่ในรูปของ epimysium perimysium และ endomysium ซึ่งห่อหุ้มและแทรกตัวเข้าไปในกล้ามเนื้อจนถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นผลสะท้อนมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อนั้นๆ เป็นหลัก เช่น กล้ามเนื้อขาหลัง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องแข็งแรงและมีกำลังมากกว่ากล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ จึงทำให้ต้องมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงรวมทั้งต้องมีปริมาณของ cross link สูงตามไปด้วย และการเพิ่มความเหนียวของเนื้อสัตว์ที่มีอายุมากก็เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งสัตว์ที่มีอายุมากก็จะต้องทำงานหนักมากขึ้นจึงเป็นเหตุให้ intermolecular cross link ภายในเส้นใยย่อยของ collagen เพิ่มสูงขึ้นตามอายุสัตว์ที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความสามารถในการละลายของ collagen ลดต่ำลง และในขณะเดียวกันความสามารถในการต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวในปากมนุษย์ก็สูงขึ้น หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าเนื้อเหนียว (ชัยณรงค์, 2529) สอดคล้องกับ Girard et al. (2012) รายงานว่า สัตว์ที่อายุมากขึ้นจะทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มสูงขึ้น

ปัจจัยด้านวิธีปรุงอาหารต่อความนุ่มของเนื้อ

กรรมวิธีการปรุงอาหารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยการปรุงสุกของชิ้นส่วนเนื้อแต่ละส่วนที่ต่างกัน ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันจะทำให้เนื้อมีความนุ่มแตกต่างกันไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ากล้ามเนื้อชนิดนั้นมีเอ็น พังผืด และไขมันแทรกมากน้อยเพียงใด เนื้อสันนอกเป็นเนื้อที่มีความนุ่มรองจากเนื้อสันใน นิยมนำไปทำอาหารประเภทที่ใช้

ความร้อนสูงและเวลาสั้นในการทำให้เนื้อสุก เนื่องจากความร้อนจะทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพและทำให้เนื้อแข็งกระด้าง ดังนั้นเนื้อที่มีความนุ่มอยู่แล้วจึงไม่ควรปรุงให้สุกมาก (well done) ดังนั้นคนที่ชอบรับประทานเนื้อสเต็กแบบสุกมาก ควรเลือกชิ้นเนื้อสันนอกที่มีไขมันแทรกสูง เพราะฉะนั้นเนื้อจะไม่แห้งและแข็งกระด้างเมื่อสุก เนื่องจากจะมีไขมันช่วยดูดซับน้ำไม่ให้ออกไปจากเนื้อ ในทางตรงกันข้ามเนื้อที่มีเอ็นและพังผืด เช่น เนื้อน่อง เนื้อพินท้อง เนื้อคอ ควรปรุงสุกแบบใช้ความร้อนปานกลางในการต้มหรือตุ๋น โดยใช้ระยะเวลาาน ซึ่งจะช่วยให้เอ็นนุ่มและเปลี่ยนเป็นเจลาติน (จุฑารัตน์ และญานิน, 2548) ซึ่ง Wheeler et al. (1999) ศึกษาการย่างเนื้อสเต็กด้วยอุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) สอดคล้องกับ Møller (1981) รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิของการปรุงสุกจาก 60°C ไปเป็น 80°C ทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (myofibrillar, Warner-Bratzler shear force) เพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าแรง

ตัดผ่านเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue component, Warner-Bratzler shear force) ลดลง และสอดคล้องกับ สัตย์ชัย (2543) รายงานว่า การปรุงอาหารให้สุกด้วยความร้อนนั้น อุณหภูมิเริ่มแรกที่ประมาณ 55°C จะทำให้เส้นใยโปรตีนเสียสภาพ (denature) และหดตัวกัน เกิดโครงสร้างของเส้นใยโปรตีนที่แน่นขึ้น และความยาวของ sarcomere สั้นลง เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น (>60°C) เป็นผลให้ collagen หดตัวลงไปถึง 1/3 ของความยาวปกติ ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้น้ำสูญเสียออกจากก้อนเนื้อ และยังปรุงอาหารนานขึ้นความนุ่มก็ยิ่งลดลง อย่างไรก็ตามการปรุงอาหารด้วยความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า 65°C เป็นผลให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันอ่อนตัว เนื่องจาก collagen เปลี่ยนสภาพเป็น gelatin ดังนั้นเนื้อที่มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงจะนุ่มขึ้นภายใต้สภาวะการปรุงอาหารแบบร้อนขึ้น ในทางตรงกันข้ามเนื้อที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่ำจะเหนียวขึ้น เมื่อปรุงอาหารด้วยความร้อนขึ้นเป็นเวลานานๆ อันเนื่องมาจากการเสียสภาพของเส้นใยโปรตีน



Figure 1 a) Japanese Black cattle b) Meat of Japanese Black cattle

Source: <http://goo.gl/X6cPDI>, <http://goo.gl/px80nm>

สรุป

ความนุ่มของเนื้อเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยเนื้อโคที่มีความนุ่มจะได้มาจากโคที่มีสายเลือดของโคเขตหนาวอยู่สูง ซึ่งมีการเลี้ยงแบบจำกัดพื้นที่เพื่อลดการทำงานของกล้ามเนื้อ และใช้

อาหารชั้นเลี้ยงขุนเป็นหลัก โดยอายุเมื่อฆ่าไม่ควรเกิน 3 ปี และเป็นโคเพศผู้ตอนหรือโคเพศเมียซึ่งจะมีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่สะสมในเนื้อต่ำ อีกทั้งการเลี้ยงให้โคอยู่สบายรวมทั้งขั้นตอนการขนส่งเข้าโรงฆ่าสัตว์ต้องกระทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้โคเกิดสภาวะเครียด โดยการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าหลังการ

ฆ่าจะทำให้เนื้อมีความนุ่ม และการปมซากที่อุณหภูมิ 3°C เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 14 วัน จะช่วยทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น อีกทั้งการฉีดสารละลาย CaCl₂ ร่วมกับการใช้สารแต่งรสจะทำให้เนื้อมีความนุ่มและลดความชื้นและเฝื่อนลงได้ รวมทั้งการเลือกชิ้นส่วนของเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวน้อย มาประกอบอาหารด้วยวิธีการปรุงสุกที่เหมาะสมจะทำให้เนื้อมีความนุ่มสูงสุด ซึ่งการพิจารณานำปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อดังกล่าว มาประยุกต์ใช้กับการผลิตเนื้อโค จะเป็นกลยุทธ์และแนวทางในการสร้างผลิตภัณฑ์เนื้อคุณภาพสูงให้สามารถแข่งขันได้

เอกสารอ้างอิง

- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548. คุณภาพของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตและการตลาดของ ประเทศไทย. บริษัทสุพีเรียฟรินดิงเฮาส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ชัยณรงค์ คันธพานิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. ภาควิชา สัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- บัญญัติ วิชัยดิษฐ์. 2549. การเลี้ยงโคขุน. สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์, นนทบุรี.
- บุญชู โสมไธสง. 2548. วัวขุน. มิวนิคัพพลาฟรินดริง, เชียงใหม่.
- ปรารภนา พฤษะศรี. 2548. สารความรู้เกี่ยวกับโคเนื้อ: ชุดที่ 3 พันธุ์และการคัดเลือกโคพันธุ์. นีออน บู้ค มีเดีย, กรุงเทพฯ.
- สัฎฐชัย จตุรสิทธิ์ธา. 2543. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่.
- สุทธิพงศ์ อูริยะพงศ์สวรรค์. 2542. เนื้อสัตว์และเคมีเนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K., and J. Wegner. 2006. Growth- and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 1067-1075.
- Allingham, P. G., G. S. Harper, and R. A. Hunter. 1998. Effect of growth path on the tenderness of the semitendinosus muscle of Brahman-cross steers. *Meat Sci.* 48: 65-73.
- Barker, B. P., W. L. Mies, J. W. Turner, a D. K. Luntb, and S. B. Smith. 1995. Influence of production system on carcass characteristics of F1 Wagyu x Angus steers and heifers. *Meat Sci.* 41: 1-5.
- Bass, P. D., T. E. Engle, K. E. Belk, P. L. Chapman, S. L. Archibeque, G. C. Smith, and J. D. Tatum. 2010. Effects of sex and short-term magnesium supplementation on stress responses and longissimus muscle quality characteristics of crossbred cattle. *J. Anim. Sci.* 88: 349-360.
- Belew, J. B., J. C. Brooks, D. R. McKenna, and J. W. Savell. 2003. Warner-Bratzler shear evaluation of 40 bovine muscles. *Meat Sci.* 64: 507-512.
- Beltrán, J. A., I. Jaime, P. Santalaria, C. Sañudo, P. Alberti, and P. Roncales. (1997). Effect of stress-induced high post-mortem pH on protease activity and tenderness of beef. *Meat Sci.* 45: 201-208.
- Boleman, S. J., S. L. Boleman, R. K. Miller, J. F. Taylor, H. R. Cross, T. L. Wheeler, M. Koochmaraie, S. D. Shackelford, M. F. Miller, R. L. West, D. D. Johnson, and J. W. Savell. 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *J. Anim. Sci.* 75: 1521-1524.
- Brooks, J. C. and J. W. Savell. 2004. Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness. *Meat Sci.* 67: 329-334.
- Calkins, C. R. and G. Sullivan. 2007. Ranking of beef muscles for tenderness. National Cattlemen's Beef Association. Available from: <http://goo.gl/8qqwo2>. Accessed Feb, 2014.
- Cifuni, G. F., F. Napolitano, A. M. Riviezz, A. Braghieri, and A. Girolami. 2004. Fatty acid profile, cholesterol content and tenderness of meat from Podolian young bulls. *Meat Sci.* 67: 289-297.
- Cuvelier, C., J. F. Cabaraux, I. Dufrasne, A. Clinquart, J. F. Hocquette, L. Istasse, and J. L. Hornick. 2006. Performance, slaughter characteristics and meat quality of young bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds fattened with a sugar-beet pulp or a cereal based diet. *J. Anim. Sci.* 82: 125-132.
- Dayton, W. R., W. J. Reville, D. E. Goll, and M. H. Stromer. 1976. A Ca²⁺-activated protease possibly involved in myofibrillar protein turnover: Partial characterization of the purified enzyme. *Biochem.* 15: 2159-2167.
- Dransfield, E. 1994. Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. *Meat Sci.* 36: 105-121.
- French, P. C. Stanton, F. Lawless, E. G. O'Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, and A. P. Moloney. 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. *J. Anim. Sci.* 78: 2849-2855.

- Fukumoto, G. F., Y. S. Kim, K. H. Kim, and H. Ako. 1999. Carcass and meat quality characteristics of forage based beef. In: Food for Health in the Pacific Rim. 3rd International Conference of Food Science and Technology (J.R. Whitaker, N. M. Haard, C. F. Shoemaker and R. P. Singh (eds.)) pp. 12-21. Food & Nutrition Press, Inc. Trumbull, CT.
- Girard, I., H. L. Bruce, J. A. Basarab, I. L. Larsen, and J. L. Aalhus. 2012. Contribution of myofibrillar and connective tissue components to the Warner–Bratzler shear force of cooked beef. *Meat Sci.* 92: 775-782.
- Gullett, E. A., S. Buttenham, and T. Hore. 1996. Effect of age and cut on consistency of tenderness and leanness of beef. *Food Quality and Pref.* 7: 37-45.
- Gursansky, B., J. M. O'Halloran, A. Egan, and C. E. Devine. 2010. Tenderness enhancement of beef from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle following electrical stimulation. *Meat Sci.* 86: 635-641.
- Hannula, T., and E. Puolanne. 2004. The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7 °C. *Meat Sci.* 67: 403-408.
- Hanzelková, Š., J. Simeonovová, D. Hampel, A. Dufek, and J. Šubr. 2011. The effect of breed, sex and aging time on tenderness of beef meat. *Acta Veterinaria Brno*, 80: 191-196.
- Harper, G. S., P. G. Allinghama, and R. P. Le Feuvre. 1999. Changes in connective tissue of M. semitendinosus as a response to different growth paths in steers. *Meat Sci.* 53: 107-114.
- Ho, C. Y., M. H. Stromer, and R. M. Robson. 1996. Effect of electrical stimulation on postmortem titin, nebulin, desmin, and troponin-T degradation and ultrastructural changes in bovine longissimus muscle. *J. Anim. Sci.* 74: 1563-1575.
- Hwang, I. H. and J. M. Thompson. 2001. The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle. *Meat Sci.* 58: 135-144.
- Ibrahim, R. M., D. E. Goll, J. A. Marchello, G. C. Duff, V. F. Thompson, S. W. Mares, and H. A. Ahmad. 2008. Effect of two dietary concentrate levels on tenderness, calpain and calpastatin activities, and carcass merit in Waguli and Brahman steers. *J. Anim. Sci.* 86: 1426-1433.
- Janz, J. A. M., J. L. Aalhus, and M. A. Price. 2001. Blast chilling and low voltage electrical stimulation influences on bison meat quality. *Meat Sci.* 57: 403-411.
- Jaturasitha, S., P. Thirawong, V. Leangwunta, and M. Kreuzer. 2004. Reducing toughness of beef from *Bos indicus* draught steers by injection of calcium chloride: Effect of concentration and time postmortem. *Meat Sci.* 68: 61-69.
- Kim, Y. S., A. Ong, N. Bobbili, M. W. DuPont, and G. K. Fukumoto. 2007. Evaluation of meat tenderness of forage-finished cattle produced in Hawaii, and factors affecting the tenderness. University of Hawai'i at Mānoa, CTAHR Publication FST-27.
- Koh, K. C., T. D. Bidner, K. W. McMillin, and G. M. Hill. 1987. Effects of electrical stimulation and temperature on beef quality and tenderness. *Meat Sci.* 21: 189-201.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Sci.* 36: 93-104.
- Koohmaraie, M., T. L. Wheeler, and S. D. Shackelford. 1995. Beef Tenderness: Regulation and Prediction. Meat '95, CSIRO Meat Ind. Res. Conf. Session 4A: 1-10. CSIRO Australia, Cannon Hill, Queensland.
- Lazzaroni, C. and D. Biagini. 2008. Effect of pre- and post-pubertal castration on Piemontese male cattle. II: Carcass measures and meat yield. *Meat Sci.* 80: 422-448.
- Marino, R., M. Albenzio, A. della Malva, A. Santillo, P. Loizzo, and A. Sevi. 2013. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. *Meat Sci.* 95: 281-287.
- McIntyre, B. L., G. D. Tudor, D. Read, W. Smart, T. J. Della Bosca, E. J. Speijers, and B. Orchard. 2009. Effects of growth path, sire type, calving time and sex on growth and carcass characteristics of beef cattle in the agricultural area of Western Australia. *Anim. Reprod. Sci.* 49: 504-514.
- McKeith, F. K., J. W. Savell, G. C. Smith, T. R. Dutson, and Z. L. Carpenter. 1985. Tenderness of major muscles from three breed-types of cattle at different times-on-feed. *Meat Sci.* 13: 151-166.
- Møller, A. J. 1981. Analysis of Warner-Bratzler shear pattern with regard to myofibrillar and connective tissue components of tenderness. *Meat Sci.* 5: 247-260.
- Monsón, F., C. Sañudo, and I. Sierra. 2005. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Sci.* 71: 471-479.

- Morgan, J. B., R. K. Miller, F. M. Mendez, D. S. Hale, and J. W. Savell. 1991. Using calcium chloride injection to improve tenderness of beef from mature cows. *J. Anim. Sci.* 69: 4469-4476.
- Morris, C. A., R. L. Theis, R. K. Miller, G. R. Acu, and J. W. Savell. 1997. Improving the flavor of calcium chloride and lactic acid injected mature beef top round steaks. *Meat Sci.* 45: 531-537.
- Panjono, S. M. K., I. S. Lee, and S. K. Lee. 2009. Carcass characteristics of Hanwoo (Korean cattle) from different sex conditions, raising altitudes and slaughter seasons. *Livest. Sci.* 123: 283-287.
- Purslow, P. P. 2005. Review: Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Sci.* 70: 435-447.
- Riley, D. G., D. D. Johnson, C. C. Chase Jr., R. L. West, S. W. Coleman, T.A. Olson, and A.C. Hammond. 2005. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Sci.* 70: 347-356.
- Rosenvold, K., M. North, C. Devine, E. Micklander, P. Hansen, P. Dobbie, and R. Wells. 2008. The protective effect of electrical stimulation and wrapping on beef tenderness at high pre rigor temperatures. *J. Meat Sci.* 79: 299-306.
- Scanga, J. A., R. J. Delmore Jr., R. P. Ames, K. E. Belk, J. D. Tatum, and G. C. Smith. 2000. Palatability of beef steaks marinated with solutions of calcium chloride, phosphate, and (or) beef-flavoring. *Meat Sci.* 55: 397-401.
- Schönfeldt, H. C., and P. E. Strydom. 2011. Effect of age and cut on tenderness of South African beef. *Meat Sci.* 87: 206-218.
- Schor, A., M. E. Cossu, A. Picallo, J. M. Ferrer, J. J. G. Naón, and D. Colombatto. 2008. Nutritional and eating quality of Argentinean beef: A review. *Meat Sci.* 79: 408-422.
- Stolowski, G. D., B. E. Baird, R. K. Miller, J. W. Savell, A. R. Sams, J. F. Taylor, J. O. Sanders, and S. B. Smith. 2006. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *Meat Sci.* 73: 475-483.
- Takahashi, K. 1996. Structural weakening of skeletal muscle tissue during postmortem ageing of meat: the non-enzymatic mechanism of meat tenderization. *Meat Sci.* 43: 67-80.
- Thompson, J. 2002. Managing meat tenderness. *Meat Sci.* 62: 295-308.
- Warner, R. D., P. L. Greenwood, D. W. Pethick, and D. M. Ferguson. 2010. Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Sci.* 86: 171-183.
- Wheeler, T. L., J. D. Crouse, and M. Koochmaraie. 1992. The effect of postmortem time of injection and freezing on the effectiveness of calcium chloride for improving beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 70: 3451-3457.
- Wheeler, T. L., S. D. Shackelford, and M. Koochmaraie. 1999. Tenderness classification of beef: III. Effect of the interaction between end point temperature and tenderness on Warner Bratzler shear force of beef longissimus. *J. Anim. Sci.* 77: 400-407.
- White, A., A. O'Sullivan, D. J. Troy, and E. E. O'Neil. 2006. Effects of electrical stimulation, chilling temperature and hot-boning on the tenderness of bovine muscle. *Meat Sci.* 73: 196-203.
- Xargayó, M., L. Lagares, E. Fernández, D. Borrell, and G. Juncá. 2007. Spray marinating: A definitive solution for improving meat texture, Girona, Spain.
- Xiong, Y. L., Mullins, O. E., Stika, J. F., Chen, J., Blanchard, S. P., & Moody, and W. G. 2007. Tenderness and oxidative stability of post-mortem muscles from mature cows of various ages. *Meat Sci.* 77: 105-113.
- Yamada, T. and N. Nakanishi. 2012. Effects of the roughage/ concentrate ratio on the expression of angiogenic growth factors in adipose tissue of fattening Wagyu steers. *Meat Sci.* 90: 807-813
- Zhang, Y. Y., L. S. Zan, H. B. Wang, Y. P. Xin, C. M. Adoligbe, and J. A. Ujan 2010. Effect of sex on meat quality characteristics of Qinchuan cattle. *Afr. J. Biotechnol.* 9: 4504-4509.
- Zinn, D. W., C. T. Gaskins, G. L. Gann, and H. B. Hedrick. 1970. Beef muscle tenderness as influenced by days on feed, sex, maturity and anatomical location. *J. Anim. Sci.* 31: 307-309.