บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

แคลเซียม มาจากภาษาลาตินว่า Calx แปลว่า ปูนดิบ (lime) จัดเป็น อัลคาไลน์ เอิร์ท (alkaline earths) ซึ่งหมายถึง ธาตุที่อยู่ในหมู่ IIA ของตารางธาตุ ที่ไม่ละลายน้ำ จัดเป็นโลหะ และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเผา สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และนำมาใช้ได้ในปริมาณมาก (ชัยวัฒน์, 2524) นอกจากนี้ยังได้รายงานเกี่ยวกับการนำเอาแคลเซียมมาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ทำโลหะเจือกับอะลูมิเนียม (aluminium), คอปเปอร์ (copper) ใช้ในการถลุงโลหะ โดยการเกิด ไนตริด (nitrides) และคาร์ไบด์ (carbides) กับแร่ที่มีไนโตรเจนและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เป็นตัวออกซิ ไดซ์ สำหรับโลหะเจือหลายชนิด เช่น โครเมียม – นิเกิล (Cr – Ni) เหล็ก – นิเกล (Fe – Ni) นิเกิล – โคบอลต์ (Ni – Co) ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการเตรียมโลหะ โครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) เป็นต้น หรือใช้ประโยชน์ ในด้าน อื่น ๆ เช่น ใช้ดูดน้ำออกจากน้ำมัน หรือ แยกไนโตรเจนออกจากอาร์กอน เป็นต้น และจะไม่พบความเป็นพิษของแคลเซียม เพราะเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต อันตรายของแคลเซียม อาจเกิดจากการเผาไหม้ หรือการสัมผัสกับตัวออกซิไดซ์ เพราะการเผาไหม้อาจจะระเบิดได้

จะไม่พบแคลเซียมในรูปแคลเซียมอิสระ แต่จะพบในรูปสารประกอบเชิงซ้อนทั่ว ๆ ไป เช่น แคลเซียมคาร์บอนเนต (calcium carbonate, $CaCO_3$) แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate, $CaSO_4$) แคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride, CaF_2) แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, $CaCl_2$) เป็นต้น ซึ่งสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, $CaCl_2$) มีลักษณะเป็นผง หรือเกล็ดสีขาว พบตามธรรมชาติในแร่ tachhydrite ($CaCl_2 . 2MgCl_2 . 12H_2O$) และจากแร่ธาตุอื่น ๆ สารนี้เป็นองค์ประกอบของน้ำเกลือ เข้มข้น (brine) และมีประมาณ 0.15% ของน้ำทะเล (Lowen and Moran, 1975; cited by Budavari *et al.,* 1989; ชัยวัฒน์, 2524)

เกลือแคลเซียมพบมากในธรรมชาติ เรียกเกลือแคลเซียมว่า "hydroxy – apatile" คือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ กระดูกและฟัน แคลเซียมอิออน ซึ่งจะพบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เกิดมีกระบวนการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแคลเซียมอิออน จึงนับว่าเป็นตัว อัลคาไลน์ เอิร์ท (Kask and Rawn, 1993)

แคลเซียมคลอไรด์ที่ได้ส่วนใหญ่ เป็นผลจากการเตรียม โซดา แอช (soda ash, Na_2CO_3) โดยกระบวนการละลาย หรือ แอมโมเนียม โซดา (ammonium soda) เป็นสารที่ดูดน้ำได้ดี และมักอยู่ในรูปไฮเดรต ที่สำคัญได้แก่ $CaCl_2 . 2H_2O$ และ $CaCl_2 . 6H_2O$ แคลเซียมคลอไรด์ละลายน้ำได้ดี

มาก ดังนั้น แคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำจึงใช้ประโยชน์โดยการดูดซึมความชื้นจากอากาศ และดูดน้ำออกจากตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป ใช้โรยบนหิมะ หรือน้ำแข็งในประเทศแถบหนาว (ชัยวัฒน์, 2524)

Table 1 Physical property of calcium chloride (Adapted from Budavari *et al*, 1989; ชัยวัฒน์, 2524)

Color	silver white
Melting point	851 °C
Boiling point	1,482 °C
Density	1.54 g/cc, 20 °C
Specific heat	alpha – form (0 – 460 °C) 0.17 cal/g – °C
	beta – form (460 – 851 °C) 0.19 cal/g – °C
Heat of combustion	151.9 cal/g
Heat melting	2.23 kcal/mol
Heat vapor	36.7 kcal/mol, 1,482 °C
Structure	face – centered cubic, a 5.56 kX
Modulus of elasticity	$3 - 4 \times 10^6$ psi
Resistance	3.43 ohm – cm, 0 °C
	4.6 ohm – cm, 20 °C
Thermal conductivity	0.3 cal/sec – cm – °C, 20 °C equal heat
	conductor of sodium and other alkaline
Surface tension	255 dynes/cm

ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เช่นผลิตภัณฑ์เนยแข็ง การแช่ผักผลไม้ก่อนนำบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความกรอบ (Meyer, 1960) และมีกำหนดปริมาณในการใช้ตั้งแต่ 200 – 1,000 mg/kg (ศิริลักษณ์, 2525) ซึ่งผลไม้ที่มีลักษณะเนื้อนิ่มเกินไป สามารถทำให้ลักษณะแน่นคงตัวได้ โดยการแช่ผลไม้หรือผักในสารละลายเกลือแคลเซียมก่อนการแช่เยือกแข็ง ปฏิกิริยานี้แคลเซียมอิออนจะไปสร้างพันธะร่วมกับโพลีเมอร์ของเพคติน (pectin) หรือรวมกับกรดเพคติก (pectic) ในผักผลไม้ ได้เกลือแคลเซียมเพคเตท (pectate) ซึ่งไม่ละลายน้ำทำให้ผักคงรูปได้ (อรวินท์ และประชา, 2522; ไพบูลย์, 2532) นอกจากนี้ยังมีการใช้

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์สำหรับทำความเย็นในการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (สายสนม, 2539)

สภาพการณ์การบริโภคเนื้อโคภายในประเทศ

ในปัจจุบันประชากรโลกเพิ่มมากขึ้น แนวโน้มในการบริโภคเนื้อสัตว์จึงเพิ่มขึ้น (Bogart, 1977) พบว่าการบริโภคเนื้อสัตว์ทุกประเภทเพิ่มขึ้นถึง 29% (พ.ศ. 2532 – 2542) แต่เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตทางด้านการเกษตร พบว่าการผลิตเนื้อสัตว์ของโลกมีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.5% แต่ในทวีปเอเชียสามารถผลิตเพิ่มขึ้นปีละ 6% และสำหรับโคกระบือในภาคพื้นเอเชียสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นปีละ 1.9% ส่วนแนวโน้มการบริโภคภายในประเทศระหว่างปี 2545 – 2555 เพิ่มขึ้นในอัตราปีละ 3.5% โดยเฉลี่ย เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่ดีขึ้น และการเพิ่มจำนวนประชากร ส่วนประเทศในกลุ่มละตินอเมริกาจะเป็นผู้ส่งออกเนื้อโคมากขึ้น และการเปิดการค้าเสรีทำให้จีนหันมาบริโภคเนื้อโคเพิ่มขึ้น (ศรเทพ, 2544)

ในประเทศไทยการเลี้ยงโคมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่จำนวนในการบริโภคเนื้อโคมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะตามกฎหมายแล้วต้องการสงวนโค – กระบือ สำหรับทำงานในไร่นา (ชัยณรงค์, 2529) และจากรายงานของกรมปศุสัตว์ (2540); อ้างโดย สัญชัย (2543) พบว่าประเทศไทยมีจำนวนโคเนื้อประมาณ 5.2 ล้านตัว ซึ่งเป็นจำนวนที่ลดลงมาก เพื่อเป็นการตอบสนองด้านความต้องการในการบริโภคจึงมีการเลี้ยงโคเพื่อฆ่าหลายพันธุ์ ทั้งโคพันธุ์เนื้อ และโคพื้นเมือง การเลี้ยงโคโดยส่วนมากมักเป็นการเลี้ยงเพื่อบริโภคภายในประเทศ ซึ่งมีระบบการเลี้ยงแตกต่างกันออกไป สัญชัย (2534) ได้แบ่งระบบการเลี้ยง ซึ่งสามารถจัดเป็นเกรดของโคเข้าฆ่า ดังนี้ คือ

1. โคขุน มักเป็นโคพื้นเมือง หรือ โคพันธุ์ ขุนด้วยอาหารข้น อายุไม่เกิน 3 ปี มีปริมาณกล้ามเนื้อและการสะสมไขมันสูง เป็นโคที่เหมาะแก่การผลิตเนื้อคุณภาพสูง ราคาดี
2. โคมัน เป็นโคพื้นเมือง หรือ โคพม่าที่มีโครงร่างใหญ่ แต่ผอม อายุมากแล้วนำมาขุนต่อ 3 – 4 เดือน จะทำให้โคอ้วนขึ้น เนื้อมีคุณภาพดีปานกลางเป็นที่นิยมของผู้บริโภคตามเขียงต่าง ๆ
3. โคแก่ หมายถึง โคที่ปลดระวางจากการทำงานมีอายุมากกว่า 8 ปี คุณภาพเนื้อจะเลว และมีความเหนียวมาก

จากแนวโน้มความต้องการในการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้จำนวนเนื้อโคสำหรับภายในประเทศมีไม่เพียงพอ จึงมีรายงานการลักลอบนำโคจากประเทศเพื่อนบ้านข้ามชายแดนเข้ามาภายในประเทศ ในปีหนึ่ง ๆ ประมาณ 500,000 – 600,000 ตัว นอกจากนี้ยังได้มีการนำเข้าเนื้อแช่แข็งคุณภาพดีจากต่างประเทศเข้ามา (สัญชัย, 2543) กรมปศุสัตว์ (2544); อ้างโดย ศรเทพ (2544) รายงานว่าตั้งแต่ปี 2543 เป็นต้นมามีการลักลอบเนื้อโคกระบือแช่แข็งเข้าประเทศโดยผ่านทาง

ชายแดนภาคใต้ มีอัตราการลักลอบนำเข้าเพิ่มขึ้นถึงเดือนละ 2 ล้านกิโลกรัม คิดเป็น 100 ล้านบาทต่อเดือน นอกเหนือจากการนำเข้าโคกระบือมีชีวิตอีกปีละ 800,000 ตัว คิดเป็นมูลค่าปีละ 4,000 ล้านบาท ในขณะที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์โคเนื้อ 452.9 ล้านบาท แต่มีการนำเข้าสูงถึง 5,617 ล้านบาท และปัญหาที่เกิดจากการลักลอบนำเข้าตามแถบชายแดนนั้น มักมีผลกระทบตามมาที่สำคัญ คือ โรคระบาด ทำให้อาชีพการเลี้ยงโคภายในประเทศไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร เพราะโคที่ลักลอบนำเข้ามีราคาถูก และปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือทำให้รัฐขาดรายได้จากการเก็บภาษีและค่าธรรมเนียม (กษิดิศ, 2536) และอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าและคุณภาพเนื้อของโคที่ลักลอบเข้ามาได้ คือ การนำมาขุนต่ออีก ประมาณ 3 – 4 เดือน โดยเป็นการให้หญ้าสด หรือฟางรดยูเรียเต็มที่ แล้วให้อาหารเสริมแทน เมื่อฆ่าแล้วจะให้เปอร์เซ็นต์ซากปานกลาง ประมาณ 52 – 55% เนื้อที่ได้มีคุณภาพดีปานกลาง เรียกโคชนิดนี้ว่า โคมัน (สัญชัย, 2534)

ในการเลี้ยงและการนำโคเข้าฆ่ามีข้อแตกต่างกันมาก เช่น สายพันธุ์ อายุ เช่นโคที่ปลดระวางจากการทำงานแล้ว มักมีอายุมากกว่า 8 ปี ดังนั้นคุณภาพเนื้อที่ได้จึงมีความแตกต่างกัน ซึ่งความเหนียวความนุ่มของเนื้อนับว่าเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ การปรับปรุงความนุ่มของเนื้อเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า และเพิ่มความน่ารับประทานจึงนับว่าเป็นสิ่งจำเป็น

แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อ

ในสหรัฐอเมริกาได้มีการปรับปรุงความนุ่มทั้งในเนื้อโค และเนื้อสุกร (McFarlane and Unruh, 1996) เพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อความเหนียวของเนื้อ การปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโคโดยการใช้สารละลายเกลือ กรดน้ำส้ม หรือ ไวน์ เป็นต้น (Morgan *et al.*, 1991) สารเหล่านี้จะไปมีผลต่อโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้เกิดลักษณะ swelling และช่วยทำให้เพิ่มค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เพิ่มความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำ นอกจากนี้การใช้เอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่นเอนไซม์ papain จากมะละกอโดยเริ่มจากการจัดการก่อนฆ่า โดยการฉีดเอนไซม์ เข้าเส้นเลือดในรูปเฉื่อย (inactive form) และมันจะเริ่มทำงานในช่วงที่กล้ามเนื้อเป็นกรดเพิ่มขึ้นหลังจากสัตว์ตาย และหลังจากการประกอบอาหาร เอนไซม์จะย่อยเส้นใยโปรตีนทำให้เกิดความนุ่มในเนื้อมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์ยังมีปัญหาในการถูกขับออกนอกร่างกายโดยตับ และมีปัญหาเกี่ยวกับสวัสดิภาพสัตว์ด้วย (Bogart, 1977; Warriss, 2000)

การปรับปรุงความนุ่มของกล้ามเนื้อโค นับว่ามีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งส่งผลต่อด้านการตรวจชิม (Hoover *et al.*, 1995) และการประเมินด้านความน่ากินของเนื้อมีพื้นฐานที่ต้องพิจารณาคือ ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และรสชาติ (Miller, 1967) ได้มีการทดลองใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโค ซึ่งสารละลายนี้จะทำหน้าเกี่ยวข้องกับ

เอนไซม์ในการย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ แต่ปัญหาที่พบคือ แคลเซียมมักจะทำให้กลิ่นและรสชาติของเนื้อผิดปกติไป และทำให้คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคลดต่ำลงด้วย (Harris *et al.*, 2001)

อิทธิพลของการบ่ม

กลไกการเกิดความนุ่มของการบ่มเนื้อ

ช่วงระยะเวลาในการบ่มจะทำให้สาร ย่อยคาร์เทปซินในกล้ามเนื้อซึ่งมีอยู่รั่วออกจากระบบเก็บกักภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ และสารย่อยนี้จะทำหน้าที่ย่อยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันร่วมกับการทำปฏิกิริยาในระดับซาร์โครเมียร์ จนทำให้เนื้อนุ่ม ซึ่งเนื้อที่นุ่มเกิดจาก การทำงานของเอนไซม์ ที่ช่วยย่อยเส้นใยกล้ามเนื้อ เอนไซม์ที่สำคัญ คือ cathepsin, calpain และ millicalpain เอนไซม์ calpain จะถูกกระตุ้นการทำงานด้วยแคลเซียมอิสระภายในกล้ามเนื้อ ในระหว่างการบ่มเนื้อ ที่อุณหภูมิห้องเย็นเนื้อสัตว์ทุกชนิดจะนุ่มขึ้นในระหว่างการบ่ม แต่อัตราและระยะเวลาในการบ่มนั้นจะผันแปรไปตามชนิดของสัตว์ และจะเกิดขึ้นช้า ๆ ในช่วงหลังสัตว์ตาย (สัญชัย, 2543)

ดังนั้น การแช่เย็นซากเป็นเวลานาน (aging) จะเป็นการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อ ชัยณรงค์ (2529) รายงานว่าเนื้อจากซากแช่เย็นนั้นมีความหนาแน่นมากกว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการเกิดการอยู่ตัว (setting – up) ของกล้ามเนื้อในระหว่างการแช่เย็นซากตามปกติ และการอยู่ตัวดังกล่าว มาจากการสูญเสียการยืดหยุ่น (extensibility) ของกล้ามเนื้อ ซึ่งมักเกิดควบคู่กับ rigor mortis อยู่เสมอ และนอกจากนั้นก็เป็นผลจากการแข็งตัวของไขมันภายในหรือรอบ ๆ มัดกล้ามเนื้อ ในบางกล้ามเนื้อเมื่อทำการวัดความกว้างขวางของซาร์โครเมียร์นั้น อาจหดสั้นไปมากจนถึงประมาณ 2 ไมโครเมตร ซึ่งการหดสั้นลงนี้แสดงถึงภายในโครงสร้างของซาร์โครเมียร์นั้น เส้นใยฝอยไมโอซิน และ แอคตินได้เลื่อนเข้าหากัน และเหลื่อมกันมาก จนทำให้กล้ามเนื้อมีลักษณะแน่นและตึงตัวมาก

กลไกการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับระยะเวลาในการบ่ม

การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้ากล้ามเนื้อเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ โดยการใช้สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ เป็นทางเลือกหนึ่ง ที่ช่วยปรับปรุงและเพิ่มความนุ่มของเนื้อ เป็นการเร่งขบวนการที่ทำให้เนื้อนุ่ม (accelerated tenderization) อีกวิธีหนึ่ง นอกจากนั้น ระหว่างการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ มีผลต่อแรงอัด (pressurization) สัญชัย (2543) รายงานว่าการปลดปล่อยแคลเซียมในช่วงต้น ๆ จากผนังกล้ามเนื้อเป็นผลจากแรงอัด ดังนั้น เป็นไปได้ที่การคงอยู่ไม่ว่า calpain หรือ แคลเซียม อันเกี่ยวข้องกับแรงอัดที่ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

จะมีผลต่อค่าความสมดุลของปฏิกิริยา เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ แคลเซียมอิออน (Ca^{++}) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจนทำให้เกิดความสมดุล ถ้าหากปฏิกิริยาเกิดเป็นการเพิ่มความเข้มข้น การทำให้เกิดความสมดุลจะเกิดขึ้นอีกครั้งโดยการเพิ่ม ผลที่ได้ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา และถ้าความเข้มข้นของผลที่ได้เพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะดำเนิน ไปทางซ้าย ยกตัวอย่าง เช่น

$$H_2(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons H_2O(g) + CO(g)$$

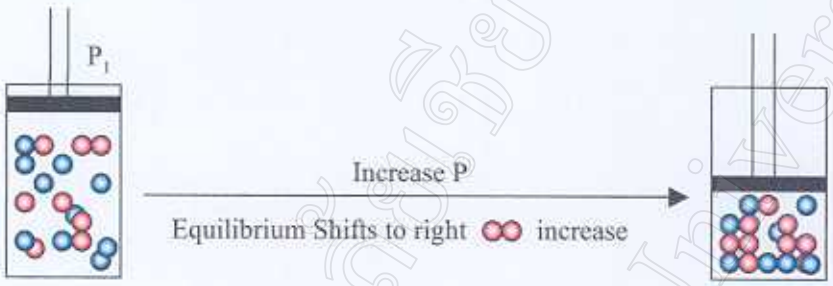

Figure 1 Effect of pressure on position of equilibrium (Kask and Rawn, 1993)

หลักการทำงานของแคลเซียมคลอไรด์ ที่ช่วยเพิ่มความนุ่มของเนื้อ เกิดจาก calpain proteolytic system เป็นหลักใหญ่ ช่วงค่า pH 6.5 – 8.0 ที่เหมาะสมกับการทำงานอุณหภูมิในช่วง 0 – 37.5°C (Dayton *et al.*, 1976) calpain proteolytic system (Koohmaraie *et al.*, 1990; Koohmaraie *et al.*, 1988; cited by Shackelford, 1994; Kuboki *et al.*, 1990) ประกอบด้วย

1. μ – calpain (micromolar Ca^{++}) ทำงานที่ความเข้มข้นของแคลเซียมอิออนประมาณ 100 มิลลิโมล
2. m – calpain (millimolar Ca^{++}) ทำงานที่ความเข้มข้นของแคลเซียมอิออนมากกว่า 100 มิลลิโมล
3. calpastatin (endogenous inhibitor of the calpain) ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของ μ – calpain

calcium ion เป็นตัวที่สำคัญของ calpain proteolytic system ในกล้ามเนื้อสัตว์หลังตาย และเป็นที่ยอมรับว่ากระบวนการ proteolysis มีบทบาทสำคัญต่อโปรตีนในเส้นใยกล้ามเนื้อ ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้ชี้ให้เห็นถึงระบบการทำงานของเอนไซม์ calpain ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อระหว่างการเก็บเนื้อ หลังจากสัตว์ตาย (Croall and Demartino, 1991; cited by Shackelford *et al.*, 1994) เนื่องจากเอนไซม์ calpain เป็นเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน โดยเฉพาะกรดอะมิโนซีสตีน (cysteine) ในกล้ามเนื้อ ที่ต้องการแคลเซียมช่วยในกระบวนการย่อยโปรตีนด้วย (Goll *et al.*, 1999; cited by Harris *et al.*, 2001) ซึ่ง Ca^{++} กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ calpain เอนไซม์นี้จะช่วยย่อยเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้เนื้อนุ่มในกล้ามเนื้อหลังการตายความเข้มข้นของ

แคลเซียมอิออนประมาณ 100 มิลลิโมลเพียงพอสำหรับกระตุ้นการทำงานของ μ – calpain เพียงอย่างเดียว การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ endogenous Ca^{++} ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นกระตุ้นการทำงานของ μ – calpain และ m – calpain เพื่อเร่งกระบวนการทำให้เนื้อนุ่ม

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกล้ามเนื้อสัตว์หลังจากที่ฉีดด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่ากล้ามเนื้อจะเกิดการหดตัว และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะเกิดการแตกตัวได้เป็น Ca^{++} และ $2Cl^{-}$ ปกติแล้ว Ca^{++} เป็นสารอนินทรีย์ที่พบในกล้ามเนื้อสัตว์ แหล่งที่เก็บจะอยู่ใน sarcoplasmic recticulum โดยตัวมันเองจับตัวกับโปรตีนที่อยู่ใน sarcoplasmic recticulum โดยปกติจะมีหน้าที่กระตุ้นให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว และตัว sarcoplasmic recticulum นี้มีรูปร่างเป็นโครงข่ายหุ้มรอบเส้นใย ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับ T – tubes ทั้งสองตัวนี้มีหน้าที่เป็นตัวดูดและปล่อย calcium ion มีผลต่อการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ (สัญชัย, 2534)

ทั้งนี้กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อจำเป็นต้องมี Ca^{++} เป็นตัวเริ่มต้น หลังจากนั้น Ca^{++} จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และมีอิทธิพลต่อการทำงานของตัวที่ยับยั้งหรือตัวที่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ด้วย (Clare *et al.*, 1997) การทำงานของเอนไซม์นั้นจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยร่วมตัวอื่น ๆ เช่นพวกโลหะ เป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญ เช่น Mg^{++}, Fe^{++} และ Ca^{++} เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วการฉีดสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์เข้าในกล้ามเนื้อสัตว์จะมีผลทำให้เอนไซม์ calpain ย่อยกล้ามเนื้อได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ร่วมกับระยะเวลาในการบ่มด้วย แต่เอนไซม์ calpain ยังมีตัวที่ยับยั้งการทำงานที่สำคัญคือ calpastatin โดยเมื่อทำการฉีดแคลเซียมคลอไรด์แล้ว จะส่งผลให้การทำงานของ calpastatin ในกล้ามเนื้อลดน้อยลงทำให้เอนไซม์ calpain ทำงานในการย่อยเส้นใยกล้ามเนื้อได้เต็มที่ ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นการเพิ่มความนุ่มให้กับเนื้อได้

นอกจากนี้เนื้อที่ต้องการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ อาจจะเป็นเนื้อสดหรือเนื้อที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งมาแล้วก็ได้ แต่ถ้าหากว่านำเนื้อนั้นไปผ่านกระบวนการแช่แข็งก่อน จะทำให้เซลล์ของกล้ามเนื้อแตกออก เอนไซม์ calpain จะทำการย่อยเซลล์กล้ามเนื้อได้ทั่วถึงมากขึ้น ซึ่ง Whipple and Koohmaraie (1992) ให้เหตุผลของการแช่แข็งเนื้อเมื่อเทียบกับเนื้อสด หลังจากการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเนื้อที่แช่แข็งจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ calpastatin ได้ดีกว่า ดังนั้น เอนไซม์ calpain จึงทำงานได้ดีขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Duckett *et al.* (1998); Koohmaraie (1990) พบว่าการแช่แข็งกล้ามเนื้อสันนอกของแกะที่อุณหภูมิ –20°C เป็นเวลา 6 สัปดาห์ จะทำให้เนื้อนุ่ม และลดค่าแรงตัดผ่าน แต่อย่างไรก็ตาม และ Koohmaraie (1990) พบว่าการแช่กล้ามเนื้อในไนโตรเจนเหลว และเก็บที่ –70°C เป็นเวลา 6 สัปดาห์ จะลดการทำงานของเอนไซม์ calpastatin (calpastatin activity) ซึ่งเอนไซม์ calpastatin เป็นตัวยับยั้งการทำงานของ μ และ m – calpain โดยการทำงานของ calpastatin มีความสัมพันธ์กับอัตราของกระบวนการ

proteolysis หลังสัตว์ตาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับความนุ่มของกล้ามเนื้อสันนอก (Shackelford *et al.*, 1991) แต่ทั้งนี้ความนุ่มของเนื้อยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสัตว์ ด้วยซึ่ง Crouse *et al.* (1989) รายงานว่าโคสายพันธุ์ *Bos indidcus* จะมีความนุ่มต่ำกว่า *Bos taurus* เนื่องจากบทบาททางชีวภาพของเอนไซม์ calpain ซึ่งมีความแตกต่างกันในระดับ mRNA ของ calpain I, II และมีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อเยื่อ (Ilian *et al.*, 1998) แต่ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอนไซม์ calpastatin ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิในการแช่แข็งด้วย ซึ่งจะไม่มีผลต่อการทำงานของ μ หรือ m – calpain และจากการศึกษาของ Wheeler *et al.* (1991) ได้ศึกษาถึงผลของการฉีดแคลเซียมคลอไรด์หลังฆ่าเพื่อปรับปรุงความนุ่มของเนื้อวัว โดยมีกลุ่มควบคุมที่ 0 และ 24 ชั่วโมง และมีกลุ่มที่ฉีดแคลเซียมคลอไรด์ ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง ระดับแคลเซียมคลอไรด์ ที่ใช้ 10% โดยน้ำหนัก ผลที่ได้ปรากฏว่า แคลเซียมคลอไรด์ ที่ฉีดที่ 24 ชั่วโมง จะลดค่าแรงตัดผ่านด้วยเช่นกัน ผลจากการทดลองนี้นอกจากจะลดค่าแรงตัดผ่านแล้ว ยังช่วยลดสัดส่วนปฏิกิริยาระหว่าง calpain และ calpastatin ด้วย นอกจากนี้ Wheeler *et al.* (1997) ได้รายงานการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ ที่ 14 วัน จะช่วยลดค่าแรงตัดผ่านถึง 0.7 กิโลกรัม และเพิ่มความนุ่มในอัตรา 0.7 หน่วย และจากการศึกษาของ Wheeler *et al.* (1992) รายงานถึงผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีด 0 ชั่วโมง และ 1 วันหลังจากที่ฆ่าแล้วเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และเนื้อที่แช่เย็นโดยที่ไม่ฉีด และที่ฉีดแคลเซียมคลอไรด์ต่อผลของค่าแรงตัดผ่าน ค่าการสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร และค่าการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2

จากการศึกษาของ Lansdell *et al.* (1995) ได้ศึกษาถึงผลของการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ในกล้ามเนื้อวัวที่สองระดับ คือกลุ่มที่ไม่ฉีดเป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ฉีดที่ระดับ 200 mM $CaCl_2$ ที่ 5% (wt/wt) ที่ 30 ชั่วโมงหลังฆ่า จากนั้นจะเก็บกล้ามเนื้อไว้ที่ 2°C เป็นเวลา 7 วัน ค่าแรงตัดผ่านที่ได้ พบว่า กลุ่มควบคุมมีค่าแรงตัดผ่านสูงกว่ากลุ่มที่ฉีด แต่การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มักพบปัญหาในเรื่องของกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ แต่ปัญหาเหล่านี้จะหมดไป ถ้าหากว่าใช้ในปริมาณต่ำ ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น สามารถลดค่าแรงตัดผ่านเนื้อได้ สอดคล้องกับการรายงานของ Wheeler *et al.* (1993) พบว่าค่าแรงตัดผ่านกล้ามเนื้อสันนอกที่ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM และ 250 mM สามารถลดค่าแรงตัดผ่านเนื้อได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ฉีด และจากการศึกษาของ Dilles *et al.* (1994) รายงานว่าการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถเพิ่มความนุ่มและเมื่อรวมกับระยะเวลาในการบ่มเนื้อสามารถเพิ่มความนุ่มได้มากขึ้น นอกจากนี้ Angelo (1991) รายงานว่า การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หลังการฆ่าจะทำให้เนื้อนุ่มขึ้น โดยผ่านการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยเนื้อที่ใช้แคลเซียมอิสระ ซึ่งทั้งหมดนี้พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่

ย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ calpain ให้ทำงานได้ดีขึ้น โดยได้รับการกระตุ้นการทำงานจากความเข้มข้นของ Ca^{++} (Koohmaraie *et al.*, 1990)

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณคอลลาเจน

คอลลาเจนเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ คอลลาเจน อิลาสติน และเรติคูลิน (ชัยณรงค์, 2529; สัญชัย, 2543) ปริมาณของคอลลาเจนมีมากที่สุด ซึ่งมีผลต่อคุณภาพเนื้อด้านความความนุ่ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของ intermolecular cross – link ที่เป็นตัวที่ทำหน้าที่เชื่อมโมเลกุลของคอลลาเจนเข้าด้วยกัน นอกจากนี้คอลลาเจนยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเนื้อ มีอยู่ประมาณ 2% และคอลลาเจนยังมีคุณสมบัติทางโมเลกุลที่แตกต่างกันออกไป ประกอบด้วยกรดอะมิโน ไกลซีน (glycine) โพรลีน (proline) และ ไฮดรอกซี่โพรลีน (hydroxy proline) ในปริมาณสูง และมี ซัลเฟอร์อะมิโนแอซิด (sulfer amino scid) เมทไธโอนีน (methionine) และ ทริปโตเฟน (tryptophane) ในปริมาณต่ำ (Ockerman, 1977)

Table 2 Least squares means for Warner–Bratzler shear (WBS) force, cooking loss and activities of the calpain proteolytic system (Wheeler *et al.*, 1992)

Treatment	Total aging time, d	WBS, kg	Cooking loss, %	μ – Calpain [e]	M – Calpain [e]	Calpastatin [f]
Control	1	8.36[b]	21.9[c]	-	-	-
Control	7	7.24[b]	22.6[c]	0.71[b]	0.86[b]	1.20[b]
0 h Inject	7	2.81[d]	21.8[c]	ND[d]	0.14[d]	0.19[d]
1 d Inject	7	3.85[d]	27.1[b]	0.18[d]	0.45[c]	0.69[c]
Freeze	7	5.13[c]	27.8[b]	0.35[c]	0.67[bc]	1.14[b]
Freeze/inject	7	2.56[d]	30.4[b]	0.05[d]	0.30[cd]	0.33[d]
SEM	-	0.46	1.4	0.06	0.10	0.11

[b,c,d] Means within a column lacking a common superscript letter differ ($p< 0.05$)

ND = Not detectable

[e] Total activity per gram of muscle (caseinolytic activity)

[f] Inhibition of casein hydrolysis by m – calpain per gram of muscle

ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ถึงค่าความเหนียวความนุ่มของกล้ามเนื้อ จะมีความสัมพันธ์กันโดยถ้าหากปริมาณของคอลลาเจนในกล้ามเนื้อน้อยทำให้เนื้อมีความนุ่มมาก ทั้งนี้ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับอายุของโคที่เข้าฆ่าด้วย สัตว์ที่มีอายุมากและชนิดของกล้ามเนื้อที่ทำงานหนักเป็นประจำเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีความแข็งแรง ส่งผลต่อความนุ่มและคุณภาพของเนื้อ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในร่างกายสัตว์มีเฉพาะการขยายขนาดและความแข็งแรงเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ สัญชัย (2534) การทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายแต่ละส่วนมีความแตกต่างกันต่อเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กล้ามเนื้อที่มีการทำงานหนักและทำหน้าที่รองรับน้ำหนักมาก ๆ มีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสูงประกอบกับคุณภาพของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่ำส่งผลให้เนื้อมีความเหนียวมากขึ้น ซึ่งอายุของสัตว์จะมีความสัมพันธ์กับคะแนนของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ซึ่งเกี่ยวเนื่องถึงความน่ากิน (palatability) และจะเป็นการลดลงของคอลลาเจนที่ละลายได้ (solubility collagen) เมื่ออายุสัตว์เพิ่มมากขึ้น (Wulf *et al.*, 1996)

ชนิดของกล้ามเนื้อก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กล้ามเนื้อแต่ละชนิดนั้นมีความเหนียวความนุ่มที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ปัจจัยในกระบวนฆ่านับว่ามีผลต่อความเหนียวความนุ่มของเนื้อ (Dransfield, 1999) ซึ่งมีผลเกี่ยวเนื่องหลังจากสัตว์ตายแล้ว โดยพบว่าเกิดการแตกตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ (titin, nebulin, filamin, desmin และ troponin – T) มีความสัมพันธ์กับความนุ่มในกล้ามเนื้อ ซึ่งต้องวิเคราะห์หาในรูปของเอนไซม์ calpain โดยอัตราการแตกตัวของโปรตีนทั้ง 5 ชนิด จะเกิดขึ้นสูงในกล้ามเนื้อที่มีค่าแรงตัดผ่านต่ำมากกว่ากล้ามเนื้อที่มีค่าแรงตัดผ่านสูง (Huff – Lonergan *et al.*, 1996) และจากการศึกษาของ Wulf *et al.* (1996) พบว่า ค่าแรงตัดผ่าน และคะแนนความนุ่มจากการตรวจชิม มีความสัมพันธ์กับ calpastatin

ในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อจากกล้ามเนื้อที่มีคุณภาพต่ำ วิธีการปรุงอาหารนับว่ามีความสำคัญเพราะสามารถลดความเหนียวของเนื้อได้ อาจทำได้โดยการต้มหรือการเคี่ยวนาน ๆ คอลลาเจนจะเปลี่ยนแปลงเป็นเจลาติน (Edsall and Wyman, 1958; Ockerman, 1977) นอกจากนี้การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อ นับว่าเป็นทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการปรับปรุงในด้านอื่น ๆ เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ calpastatin ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ calpain ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนในเส้นใยกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Morgan *et al.* (1991) โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโคในกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ วัดจากค่าแรงตัดผ่าน และค่าการวิเคราะห์คอลลาเจน ดังแสดงในตารางที่ 3

Table 3 Effect of $CaCl_2$ injection on calcium content, sarcomere length and collagen traits by subprimal cut (Morgan *et al.*, 1991)

subprimal	control			Calcium chloride injected			SEM	p-level (trt)[d]
	SL[a]	TS[b]	TR[c]	SL	TS	TR		
Water extractable Ca, μg/g	13	11	14	489	516	566	99.70	0.01
Sarcomere length, μg/g	1.49	1.51	1.55	1.10	1.07	1.23	0.17	0.01
Total collagen, mg/g	5.36	5.24	5.98	5.39	5.29	6.02	0.32	0.81
Insoluble collagen, mg/g	4.88	4.84	5.63	4.86	4.90	5.63	0.37	0.90
Soluble collagen, mg/g	0.48	0.40	0.35	0.53	0.39	0.39	0.11	0.84
Heat–labile collagen, %	8.95	7.63	5.85	9.83	7.37	6.47	0.45	0.77

[a]SL = Strip loin

[b]TS = Top sir loin

[c]TR = Top round

[d]Trt = probability that control subprimal was significantly different from calcium–injected subprimal counter part. Expressed as a percentage of total collagen

ระยะเวลาในการบ่มเนื้อ และระดับของแคลเซียมคลอไรด์ต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

คุณภาพของเนื้อสัตว์ที่ดี ประกอบด้วยคุณสมบัติหลายประการที่มีความสำคัญต่อผู้บริโภค เช่น คุณค่าทางโภชนะหรือองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ เป็นตัวที่กำหนดคุณภาพของเนื้อสัตว์ได้เป็นอย่างดี คุณค่าทางโภชนะของเนื้อประกอบด้วยปริมาณของ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่ (สัญชัย, 2543) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับ อายุ เพศ สายพันธุ์ และชนิดของสัตว์ โดยอายุจัดเป็นตัวกำหนดคุณค่าทางโภชนะของเนื้อโค ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ผ่านการใช้แรงงาน และมีอายุมาก ๆ นั้น การทำงานของระบบกล้ามเนื้อจะสูงและมีองค์ประกอบของกล้ามเนื้อที่แข็งแรง มีการสะสมเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในอัตราที่สูง การแทรกตัวของไขมันจึงมีน้อย ทั้งนี้ระหว่างโคเนื้อที่ขุนเพื่อขาย และโคที่เลี้ยงเพื่อใช้เป็นแรงงาน ค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จะแตกต่างกัน โดยจะพบปริมาณของโปรตีนรวมประมาณ 19.5% ประกอบด้วยส่วนที่เป็นโปรตีน 18.0% และ non protein nitrogen (NPN) 1.5% มีไขมัน เท่ากับ 3.0% ความชื้น เท่ากับ 75.0% ไกลโคเจน เท่ากับ 1.0% และเถ้า เท่ากับ 1.5% (Ockerman, 1977) ส่วน ชัยณรงค์ (2529) ได้

รายงานเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อโคดิบเท่ากับ 69.5 ซึ่ง The Nutritive Value of Meat and Other Protective Food อ้างโดย สัญชัย (2534) รายงานค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อโคเท่ากับ 18.6 เปอร์เซ็นต์ไขมันเท่ากับ 1.5 – 4.2 และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 78.0 สำหรับ Boleman *et al.* (1996) รายงานองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อโค มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 69.9 เปอร์เซ็นต์ไขมันเท่ากับ 10.2 และเปอร์เซ็นต์โปรตีน เท่ากับ 17.8

ระดับของแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อนั้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมี แต่จะเป็นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความชื้นให้กับกล้ามเนื้อเท่านั้น ซึ่งเกิดขึ้นจากการดูดซึมความชื้นของเนื้อ (Young and Lyon, 1997) ส่วน Kerth *et al.* (1995) ได้ศึกษาถึงการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 200 และ 250 mM และบ่มที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน พบว่าเนื้อมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อน้ำหนักเนื้อที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดซึมความชื้นในเนื้อเอง และเมื่อนำเนื้อมาประกอบอาหารค่าการสูญเสียจะเพิ่มมากขึ้น และระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นการเพิ่มค่าการดูดซึมความชื้น และค่าการสูญเสียขณะประกอบอาหารก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย (Young and Lyon, 1997)

ระยะเวลาในการบ่มและระดับของแคลเซียมคลอไรด์ ต่อค่าสีของเนื้อ

สีของเนื้อเป็นลักษณะภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และผู้บริโภคสามารถให้คะแนนตามความพอใจ สีของเนื้อสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพ และลักษณะทางกายภาพของเนื้อได้อย่างเด่นชัด โดยการตรวจสอบสีทางการประเมินด้วยสายตา ลักษณะสีของเนื้อสดนั้นมีผลต่อสีของเนื้อเมื่อผ่านการประกอบอาหารแล้ว ซึ่งอายุของโคนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีของเนื้อมีความแตกต่างกัน (Ledward, 1992; Cornforth, 1999)

โดยส่วนมากแล้วเนื้อโคมีสีแดงสด (cherry red) โคที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณของ myoglobin และ haemoglobin ที่เป็นองค์ประกอบของ haem ต่ำกว่าโคที่มีอายุมาก ทั้งนี้อาจจะรวมถึงการสะสมเม็ดสีในกล้ามเนื้อมีสูงกว่าโคขุน หรือโคที่มีอายุน้อยกว่า ประกอบกับการทำงานหนักของกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อมีการสะสมปริมาณของออกซิเจน พบว่ากล้ามเนื้อส่วนใดที่มีการทำงานหนักมาก ๆ จะทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนสูงด้วย (สัญชัย, 2534)

การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงค่าสีของเนื้อให้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลในการทำให้เม็ดสีในกล้ามเนื้อมีสีจางลง ทั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Kerth *et al.* (1995) ได้ศึกษาค่า L, a* และ b* ที่ระดับแคลเซียมคลอไรด์ 200 mM เท่ากับ 41.3, 14.8 และ 6.3 ตามลำดับ และที่ระดับแคลเซียมคลอไรด์ 250 mM

ค่าที่ได้เท่ากับ 42.1, 14.5 และ 6.4 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) และจากการศึกษาของ Lansdel *et al.* (1995) ถึงการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ในกล้ามเนื้อส่วน *longissimus* ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM 5% wt/wt 30 ชั่วโมงหลังฆ่า พบว่าในกลุ่มควบคุมมีค่า L, a* และ b* มีค่าเท่ากับ 41.0, 11.6 และ 7.0 ตามลำดับ และกลุ่มที่ฉีดแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 200 mM มีค่า L, a* และ b* เท่ากับ 41.9, 12.1 และ 6.6 ตามลำดับ และผลของสีที่ผิดปกติจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันในการเก็บ ซึ่งมีความผิดปกติที่ระดับ 1 – 10% ดังแสดงในตารางที่ 5 แต่ Wheeler *et al.* (1993) รายงานการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 7 mM (10% wt/wt) ที่เวลา 30 นาที และ 24 ชั่วโมง หลังฆ่า พบว่าเวลาในการฉีดที่ 24 ชั่วโมง จะทำให้เนื้อมีสีสว่างมากกว่าเนื้อฉีดที่เวลา 30 นาที และเมื่อเก็บเนื้อไว้ 3 วัน พบว่าเนื้อมีสีผิดปกติเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Wheeler *et al.* (1996) รายงานว่า การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้เนื้อผิดปกติเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อที่ไม่ได้ทำการฉีด ซึ่ง Angelo *et al.* (1991) รายงานว่าการเกิดสีเนื้อที่ผิดปกติ เนื่องจากกระบวนการออกซิเดชั่นมีค่าเพิ่มขึ้น และเป็นไปในทิศทางที่รวดเร็วกว่าเนื้อที่ไม่ทำการฉีด

Table 4 Least squares means and standard deviations for effect of $CaCl_2$, aging interaction on Hunter L, a* and b* value (Adapted from Kerth *et al.*, 1995)

Item	No. of observation	L	a*	b*
Aging day,	**0 mM $CaCl_2$**			
7	60	41.3 ± 3.51	14.8 ± 2.57	6.3 ± 1.70
14	60	41.6 ± 3.72	12.6 ± 3.89	5.7 ± 2.14
	200 mM $CaCl_2$			
7	60	42.1 ± 3.53	14.5 ± 2.21	6.4 ± 1.38
14	60	42.6 ± 3.03	13.0 ± 3.50	6.1 ± 1.34
	250 mM $CaCl_2$			
7	60	41.7 ± 3.82	14.9 ± 2.06	6.3 ± 1.54
14	60	41.7 ± 3.21	11.8 ± 4.21	5.9 ± 1.52

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในเนื้อ

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเนื้อ มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยการลดลงของค่า pH เกิดจากการสะสมกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ความเครียดก่อนการฆ่านั้นมีผลต่อค่า pH ของกล้ามเนื้อ ค่า pH ที่ต่ำจะทำให้กล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นกรด ส่งผลต่อค่าสี ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ และยังกระทบต่อค่าการสูญเสียต่าง ๆ ด้วย เช่นค่าการสูญเสียน้ำ ค่าการสูญเสียน้ำขณะทำการละลาย และค่าการสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร (สัญชัย, 2543)

การทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อ ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับค่าความเป็นกรดด่าง และอุณหภูมิในกล้ามเนื้อ เพราะการทำงานของเอนไซม์ calpain แต่ทั้งนี้จะมีผลดีต่อกล้ามเนื้อชนิด fast glycolytic muscle (Ouali, 1990, 1992; cited by O'Halloran *et al.*, 1997) ซึ่งการลดลงของ pH หลังการตายมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีน กลไกในการเกิดความนุ่ม และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดนั้น ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษาได้ แต่หลังจากที่ฉีดสารละลายแคลเซียมที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่า แล้ว Ca^{++} สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ calpain ได้ดีกว่าที่ฉีดที่ 24 ชั่วโมง (Boleman *et al.*, 1995) จากการศึกษาของ McFarlane and Unruh (1996) ได้รายงานค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อหลังจากฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 M 10% wt/wt ผลที่ได้พบว่ามีค่าลดลงตามปกติ ที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่า โดยมีค่าเท่ากับ 6.1 และลดลงหลังจาก 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 5.4 ซึ่งค่าที่ได้พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างในกล้ามเนื้อ ส่วน Geesink and Koohmaraie (2000) รายงานว่าหากค่าความเป็นกรดด่างอยู่ที่ระหว่าง 6.2 – 6.4 จะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ calpain ได้ดีกว่าที่ระดับ 7

Table 5 Least squares means for lean color scores and percentage of discoloration of *longissimus lumborum* with and without calcium chloride injection during a 5 – day retail display (Adapted from Lansdell *et al.*, 1995)

Treatment	Control, d					$CaCl_2$, d				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Color [a]	6.0	5.9	6.0	5.9	5.9	5.9	5.8	5.9	5.7	5.8
Discoloration [b]	1.1	1.0	1.2	1.6	1.9	1.3	1.2	1.2	2.2	2.9

[a] 8 = very dark red, 7 = dark red, 6 = moderately dark red, 5 = slightly dark red, 4 = bright cherry red, 1 = very bleached red

[b] 7 = 100%, 4 = 20 – 59%, 3 = 11 – 19%, 2 = 1 – 10%, 1 = 0%

ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวชี้ว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเพิ่มประจุบวกในเส้นใยกล้ามเนื้อ และแตกตัวเป็น Ca^{++} และ Cl^{-} ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น โดยประจุของแคลเซียมคลอไรด์จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ calpain ในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น และมีผลการย่อยเส้นใยกล้ามเนื้อ อาจเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้กล้ามเนื้อที่ได้นุ่มขึ้น ทั้งนี้อาจมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของเนื้อ เพื่อปรับปรุงความนุ่ม ประจุ Ca^{++} จากการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้ความเข้มข้นของประจุบวกของแคลเซียมคลอไรด์ในกล้ามเนื้อสูงขึ้น ในกล้ามเนื้อปกติความเข้มข้น Ca^{++} ประมาณ 100 μM ซึ่งประจุของ Ca^{++} เพียงพอที่จะกระตุ้นการทำงานของ μ – calpain เพียงอย่างเดียว แต่ m – calpain ยังไม่ถูกกระตุ้น เพื่อย่อยสลายกล้ามเนื้อ ดังนั้นการฉีดสารละลายที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นการทำงานของ μ – calpain และ m – calpain เพื่อจากการเพิ่มความเข้มข้นของระดับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อ เป็นผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของกล้ามเนื้อให้เพิ่มมากขึ้น (Wheeler *et al.*, 1992)

ค่าการต้านทานไฟฟ้าของกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดด่าง และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ซึ่งการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผ่านกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับน้ำอิสระในกล้ามเนื้อ (free water) หากมีน้ำอิสระในเนื้อมากจะมีการนำกระแสไฟฟ้าได้ดี (Page *et al.*, 2001)

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

โดยปกติกล้ามเนื้อสัตว์ประกอบด้วยน้ำ 75% การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ อาจเกิดจากหลายกระบวนการ เช่นการบ่ม การบด การประกอบอาหารด้านต่าง ๆ การแช่แข็ง การทำละลาย หรือการทำให้แห้งเป็นต้น ซึ่งการแช่แข็ง และการทำละลายเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับการจับน้ำในกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ นับเป็นตัววัดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างกล้ามเนื้อโปรตีน (Hamm, 1960; 1963; 1972; cited by Hamm, 1975) นอกจากนี้ยังได้รายงานว่าเนื้อที่เกิดจากกระบวนการเกร็งตัวของซาก (rigor mortis) ทำให้เกิดการแตกตัวของ adenosin triphosphate (ATP) หลังการตาย เนื่องจากเกิดการจับและการเคลื่อนตัวเข้าหากันระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ actin และ myosin ซึ่งการลดลงค่อนข้างมากของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะเกิดขึ้นระหว่างชั่วโมงแรกหลังการฆ่า และระหว่างการบ่มจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการคลายตัวกันของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดจากการย่อยของเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) ที่เกิดบริเวณ Z – line และหากมี Ca^{++} ในกล้ามเนื้อสูงจะทำให้เกิดการใช้

ATP ในกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว (Sumida *et al.*, 1988) แต่ปริมาณความเข้มข้นของ Ca^{++} อิสระในกล้ามเนื้อหลังการตายไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่น่าจะมี 100 μM หรือ น้อยกว่านั้นจนกระทั่ง ATP หมด (Jeacocke, 1993; cited by Delgado *et al.*, 2001) และ Ca^{++} จะถูกปล่อยออกจาก sarcoplasmic reticulum อาจมีค่าตั้งแต่ 639 – 970 μM หลังการตาย 10 – 14 วัน (Parrish *et al.*, 1981; cited by Delgado *et al.*, 2001)

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เริ่มจากการจัดการก่อนฆ่ามีผลต่อความเครียดสัตว์ก่อนการฆ่า ซึ่งเกิดจากการขนส่งสัตว์จากฟาร์มมาโรงฆ่า ระยะทางในการขนส่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความเครียด (สัญชัย, 2543) มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย และคุณภาพเนื้อในด้านต่าง ๆ ทำให้เกิด dark, firm และ dry หรือ DFD ในเนื้อโค (Kannan *et al.*, 1997) สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เช่น ค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บ (drip loss) ค่าการสูญเสียน้ำขณะทำละลาย (thawing loss) และค่าการสูญเสียขณะประกอบอาหาร (cooking loss) ของเนื้อด้วยซึ่งการสูญเสียขณะทำละลายมีความสัมพันธ์กับความชื้นในเนื้อ ส่วนการสูญเสียเนื่องจากการเก็บมีความสัมพันธ์กับไขมันในซาก (Buss, 1990) เพราะจะทำให้ไขมันในกล้ามเนื้อเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย ทั้งนี้กล้ามเนื้อที่มีความแตกต่างกันจะมีความสูญเสียไขมัน และน้ำ ขณะประกอบอาหารต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Bouton *et al.* (1958); cited by Lawrie (1979) ได้รายงานค่าการสูญเสียไขมันจากการประกอบอาหารโดยการย่างเปรียบเทียบกันระหว่างกล้ามเนื้อสันสะโพก (sir loin) และกล้ามเนื้อส่วนของขาหลัง (top side) ค่าที่ได้พบว่าการสูญเสียไขมันของกล้ามเนื้อสันสะโพกสูงกว่ากล้ามเนื้อส่วนขาหลัง (17.8 vs 1.4%) แต่กล้ามเนื้อส่วนขาหลังจะมีค่าการสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหารสูงกว่า (36.9 vs 9.4%) จากข้อมูลที่ได้ชี้ให้เห็นการสูญเสียขณะประกอบอาหารส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไขมันในกล้ามเนื้อ

การใช้สารละลายเกลือทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นที่ค่าความเป็นกรดด่างมากกว่า iso – electric point เนื่องจาก เกิด ionic strength เพิ่มขึ้นระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น หลักการของการใช้สารละลายเกลือ sodium chloride ดังภาพที่ 2 และจะลดลงเมื่อความเป็นกรดด่างต่ำกว่า iso – electric point

ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในเนื้อ จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายที่ฉีด โดยพบว่าที่ระดับ 250 mM จะมีความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่าที่ระดับ 200 mM และการฉีดที่ระดับ 10% wt/wt จะมีความเข้มข้นของสารละลายในเนื้อสูงกว่าที่ระดับ 5% wt/wt ซึ่งจะไปมีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อด้วย (Wheeler *et al.*, 1993) ดังแสดงในตารางที่ 6

ค่าการสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้าไปไม่ได้เป็นสารละลายที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อตามธรรมชาติ สอดคล้องกับการรายงานของ Boleman *et al.* (1995) ว่าการสูญเสียน้ำของกลุ่มที่ควบคุมจะต่ำกว่ากลุ่มที่ทำการทดลองที่ฉีดแคลเซียมคลอไรด์เนื่องจากมีปริมาณของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ดังนั้นการสูญเสียน้ำย่อมสูงกว่า เมื่อเนื้อถูกแรงดึงดูดของโลก

ค่าการสูญเสียน้ำจากการทำละลาย

การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นในกล้ามเนื้อ และเมื่อร่วมกับระยะเวลาในการบ่มทำให้เกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย และเมื่อมีการเพิ่มระดับของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วย (Mandigo and Osburn, 1995)

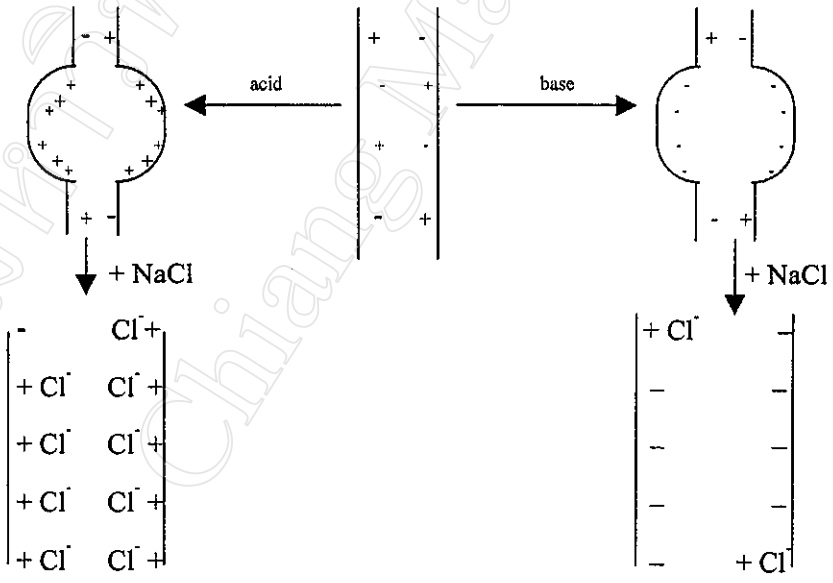

Figure 2 Scheme of the influence of NaCl on swelling or WHC of meat at pH value above and below the iso – electric point (Hamm, 1975)

ค่าการสูญเสียน้ำจากการต้ม

จากการรายงานของ Koohmaraie *et al.* (1990) ได้รายงานค่าการสูญเสียระหว่างขณะปรุงอาหาร พบว่าตัวอย่างที่ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะสูญเสียน้ำจากการปรุงอาหารมากกว่าและสำหรับ Wheeler *et al.* (1992) พบว่าค่าการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า ของกลุ่มควบคุมเท่ากับ 34.2 และกลุ่มที่ฉีดเท่ากับ 38.1% ส่วน Wheeler *et al.* (1997) พบว่ามีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงอาหารโดยมีกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เท่ากับ 27.4 และ 30.7% ตามลำดับ

ค่าการสูญเสียจากการย่าง

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ มีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาบอลิซึมของ ATP และค่าการดูดซึมความชื้น (moisture absorption) ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นการเพิ่มค่าการดูดซึมความชื้น และค่าการสูญเสียขณะประกอบอาหารก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Young and Lyon (1997) รายงานค่าการดูดซึมความชื้นเมื่อฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 50, 100, 150 และ 200 mM มีค่าการดูดซึมความชื้น เท่ากับ 4.64, 5.74, 6.12, 6.16 และ 6.01% ตามลำดับ และโดยปกติแล้ว เนื้อสัตว์มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 70 – 75% เมื่อร่วมกับการดูดซึมความชื้นของเนื้อแล้วทำให้ปริมาณน้ำในกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับเมื่อมีการแช่แข็ง ทำให้น้ำในกล้ามเนื้อรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อฉีกขาด เมื่อนำเนื้อนั้นมาประกอบอาหารจะเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น (Mandigo and Osburn, 1995) โดยเฉพาะการประกอบอาหารประเภทที่ให้ความร้อนแห้ง ความร้อนจะพาน้ำที่เก็บกักระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ ออกมาในรูปของไอน้ำ

ค่าการตรวจชิม

การตรวจชิมเป็นคุณภาพโดยรวมของ กลิ่น รสชาติ ความเหนียวความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และการยอมรับโดยรวม การตรวจชิมนั้นเป็นวิธีการที่ใช้คนตัดสินคุณภาพเนื้อ (determine of meat quality) และให้คะแนนตามลักษณะที่พิจารณาได้ (สัญชัย, 2543) ทั้งนี้กลิ่นและรสชาติที่เกิดขึ้นยังเกี่ยวข้องกับวิธีการปรุงอาหาร ซึ่งมีผลต่อสารประกอบพวก volatile compound ด้วยเช่นกัน นอกจากไขมันที่มีส่วนทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติ ยังพบว่ากรดอะมิโนมีส่วนเกี่ยวข้องโดยทำให้เกิดรสชาติของเนื้อที่มีความหวาน เช่นพวก Glutamic acid และ inosin หรือ $5'$ – monophosphate (Farmer, 1999) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีผลต่อคะแนนกลิ่น และรสชาติที่ได้ ซึ่งหากใช้ใน

ปริมาณมากเกินไป จะทำให้มีกลิ่นผิดปกติไป สอดคล้องกับการศึกษาของ Harris *et al.* (2001) รายงานว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้กลิ่นและรสชาติของเนื้อผิดปกติไป และสารละลายเกลือ จะเป็นการเพิ่ม รสเค็ม และขม เมื่อฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 300 mM และจากการศึกษาของ Wheeler *et al.* (1993) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติของเนื้อได้เช่นเดียวกัน (ตาราง 7)

Table 6 Least squares means for drip loss, cooking loss and calcium chloride concentration (Adapted from Wheeler *et al.*, 1993)

Item	*Longissimus* muscle		
	Calcium chloride μg/g	**Drip loss, %**	**Cooking loss, %**
Amount[a]			
5%	198.1	5.8	31.9
10%	249.3	5.9	32.9
Concentration			
Control	34.8[e]	2.0[e]	30.0[d]
200 mM $CaCl_2$[b]	282.3[d]	9.5[c]	33.2[c]
250 mM $CaCl_2$[b]	353.9[c]	6.0[d]	34.1[c]
Interaction			
5%[a]			
Control	34.3	1.8	30.0
200 mM $CaCl_2$[b]	267.7	9.9	31.4
250 mM $CaCl_2$[b]	292.4	5.8	34.4
10%[a]			
Control	35.3	2.2	30.1
200 mM $CaCl_2$[b]	297.0	9.2	34.9
250 mM $CaCl_2$[b]	415.5	6.2	33.7

[a] Percentage of injection (wt/wt)

[b] Injected at 24 h post – mortem

[c, d, e] Means in a column, within a main effect or interaction, lacking a common superscript letter differ ($p<0.05$)

Table 7 Least squares means for sensory traits of *Longissimus* muscle at 7 day post – mortem[a] (Adapted from Wheeler *et al.*, 1993)

Item	*Longissimus* muscle			
	Tenderness	**Juiciness**	**Flavor intensity**	**Off – flavor**[b]
Amount[c]				
5%	5.5	5.4	4.5[e]	3.0[e]
10%	5.6	5.4	4.2[f]	2.7[f]
Concentration				
Control	5.1[f]	5.2	4.6[e]	3.1[e]
200 mM $CaCl_2$[d]	5.6[e]	5.4	4.3[e]	2.8[f]
250 mM $CaCl_2$[d]	5.8[e]	5.5	4.0[f]	2.5[g]

[a] 1 = Extremely tough, dry or bland 8 = Extremely tender, Juicy, or intense

[b] 1 = Intense, 2 = moderate, 3 = slight, 4 = none

[c] Percentage of injection (wt/wt)

[d] Injected at 24 h post – mortem

[e, f, g] = means in a column, within a main effect or interaction lacking a common superscript letter differ ($p<0.05$)

ทั้งนี้กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ อาจเกิดขึ้นได้ในเนื้อสัตว์โดยไขมันมีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่น ซึ่งไขมันในซากประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กลิ่นที่ผิดปกติในเนื้อเป็นผลมาจากไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและอุณหภูมิในอากาศ ทำให้เกิดกลิ่นที่เหม็นหืนในเนื้อ (ณรงค์, 2538) นอกจากนี้วิธีในการปรุง และขั้นตอนในการเตรียมประกอบอาหารจะมีผลต่อคะแนนความนุ่มของเนื้อ (Reineccius, 1999) พบว่าความนุ่มของเนื้อจะลดลงหากอุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบอาหารเพิ่มขึ้น (Milligan *et al.*, 1997) ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิใจกลางของเนื้อ และเป็นการเพิ่มการสูญเสียขณะประกอบอาหารด้วย (Cross *et al.*, 1976) จากการศึกษาของ Milligan *et al.* (1997) โดยการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้น 200 mM และนำมาประกอบอาหารโดยให้ความร้อนที่ 60, 70 และ 80°C ผลที่ได้จากการตรวจชิม ค่าสี และการสูญเสียขณะประกอบอาหาร ดังแสดงในตาราง 8 และจากการศึกษาของ Lawrie (1979) ซึ่งได้ศึกษาถึงอุณหภูมิใจกลางในการประกอบอาหารที่ 60, 70 และ 80°C ผลที่ได้พบว่ามีการสูญเสียจากการประกอบ

อาหาร เท่ากับ 10.5, 28.8 และ 40.5% ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียความชื้น เท่ากับ 5.6, 9.6 และ 14% ตามลำดับ

Table 8 Calcium chloride and end point temperature effects on the sensory attributes[a], warner – bratzler shear force value, color and loss of inside round roasts (Adapted from Milligan *et al.*, 1997)

	Internal temperature °C		
	60	**70**	**80**
Initial juiciness	5.7[b]	4.9[c]	4.1[d]
Sustained juiciness	5.6[b]	4.7[c]	4.0[d]
Initial tenderness	6.0[b]	5.6[c]	5.6[c]
Sustained tenderness	5.7[b]	5.1[c]	5.4[bc]
Beef flavor	5.9[b]	5.7[bc]	5.5[c]
Overall beef mouth feel	5.8[b]	5.1[c]	4.7[c]
WBS values, kg	3.5	3.2	3.1
L value	48.1	50.7	50.2
a* value	12.9	10.1	8.6
b* value	8.8	9.9	10.1
Cooking loss	26.1	34.7	42.2

[a]1 = extremely dry, extremely tough, bland beef flavor and uncharacteristic beef mouthfeel 8 = extremely juicy, extremely tender, intense beef flavor and characteristic beef mouthfeel.

L = 0 = black and 100 = white, a* = green to red, b* = blue to yellow

[b, c, d] = Means in a row within main effect with the same or no superscript do not differ ($p<0.05$)

ส่วนคะแนนด้านความนุ่มนั้น Kerth *et al.* (1995) ได้ศึกษาการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 200 และ 250 mM ที่ 48 ชั่วโมงหลังฆ่าผลที่ได้ของการตรวจชิมนั้น พบว่ามีการปรับปรุงความนุ่มเพิ่มขึ้น ถึง 13% หลังจากที่บ่มเนื้อที่ 7 ถึง 14 วัน หลังฆ่า สอดคล้องกับค่าแรงตัดผ่านพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ลดลงจากกลุ่มที่ไม่ได้ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ดังแสดงในตารางที่ 9 และจากการศึกษาค่าการตรวจชิมของ Morgan *et al.* (1991) ที่ได้ศึกษาถึงการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.3 M และบ่มเนื้อที่ 1, 7 และ 14 วัน (ตารางที่ 10)

Table 9 Least squares means and standard deviations for the effect of $CaCl_2$ concentration and aging time on sensory panel scores and Warner – Bratzler shear value (Adapted from Kerth *et al.*, 1995)

Sensory trait	$CaCl_2$ mM			Aging time, d	
	0	200	250	7	14
No. of observation	12	11	12	35	36
Initial juiciness[a]	5.4[e]	5.9[f]	5.7[ef]	5.8	5.6
Sustained juiciness[a]	5.2[e]	5.8[f]	5.6[ef]	5.6	5.4
Initial tenderness[b]	5.0[e]	5.6[ef]	5.8[f]	5.4	5.6
Sustained tenderness[b]	4.7[e]	5.4[ef]	5.6[f]	5.1	5.4
Flavor intensity[c]	5.9[e]	6.2[f]	6.3[f]	6.1	6.2
Beef flavor[d]	5.7[e]	5.9[ef]	6.0[f]	5.9	5.8
WBS, kg	5.6[f]	4.7[e]	4.4[e]	5.4[h]	4.5[g]

[a]5 = slightly juicy, 6 = moderately tender

[b]4 = slightly tough, 5 = slightly tender, 6 = moderately tender

[c]5 = slightly intense, 6 = moderately intense

[d]5 = slightly characteristic beef flavor, 6 moderately characteristic beef flavor

[e,f,g,h]Means in the same row with different superscripts differ ($p<0.05$)

Table 10 Effect of calcium chloride injection on sensory panel ratings and cooking traits of strip loin steaks at 1, 7 and 14 days postmortem (Morgan *et al.*, 1991)

Item	Juiciness[a]	Myofibrillar tenderness[b,c]	Connective tissue amount[d]	Overall Tenderness[b,c]	Flavor intensity[e]	Cooking Time, min	Cooking Loss, %
Treatment							
Calcium – injected	5.73	5.58	5.16	5.16	6.51	19.0	18.5
Control	5.59	3.16	3.58	2.94	5.70	18.9	18.3
SEM	0.14	0.13	0.21	0.15	0.12	1.2	1.6
Day postmortem							
1	5.92	4.03	4.10	3.67	6.03	20.1	18.9
7	5.79	4.28	4.41	4.03	6.04	17.9	17.2
14	5.27	4.82	4.60	4.45	6.25	18.7	20.0
SEM	0.23	0.14	0.19	0.16	0.09	1.0	1.7
Interaction							
Probability level	0.22	0.01	0.57	0.01	0.01	0.85	0.40
Calcium – injected, d 1	5.96	5.28	4.86	4.81	6.28	20.0	19.6
Calcium – injected, d 7	5.95	5.82	5.22	5.34	6.39	17.8	16.7
Calcium – injected, d 14	5.28	5.62	5.38	5.32	6.86	19.4	21.4
Control, d 1	5.87	2.77	3.33	2.52	5.77	20.3	18.2
Control, d 7	5.62	2.73	3.59	2.72	5.68	18.0	17.7
Control, d 14	5.25	4.01	3.82	3.58	5.64	18.0	19.9
SEM	0.19	0.20	0.28	0.18	0.14	1.2	1.7

[a] 8 = extremely juice, 1 = extremely dry

[b] 8 = extremely tender, 1 = extremely tough

[c] These variables were involved in a two – away interaction between treatment and day postmortem; thus, results of main effect separation test are not shown.

[d] 8 = none, 1 = abundant

[e] 8 = extremely intense, 1 = extremely bland.