บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

ค่าความเป็นกรดด่างในเนื้อ (pH – value)

จากการศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง (pH_1, pH_2, pH_3 และ pH_4) หลังจากทำการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 200, 300 และ 400 mM พบว่าค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันในทุกระดับ ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของ pH หลังการตาย ซึ่งจัดว่าเป็นการลดลงตามปกติ ซึ่ง pH ของกล้ามเนื้อปกติอยู่ที่ระหว่าง 7 และจะลดลงเป็น 5.5 หลังจาก 4 ชั่วโมงหลังการฆ่า และจะคงที่จนถึง 24 ชั่วโมงหลังฆ่า ส่วนอุณหภูมิในกล้ามเนื้อก็มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างด้วยเช่นกัน โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิในกล้ามเนื้อลดลงค่าความเป็นกรดด่างจะลดลงด้วย (สัญชัย, 2543) สอดคล้องกับการศึกษาของ McFarlane and Unruh (1996) ซึ่งได้รายงานค่าความเป็นกรดด่างหลังจากฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 M 10% wt/wt ที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่า ผลที่ได้คือมีค่าการลดลงปกติ

ส่วนการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ตามการศึกษาไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่าง ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อ เป็นผลมาจากการสลายตัวของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ แบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อเวลาผ่านไป การสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจนกระทั่ง ATP หมด จากนั้นจะเข้าสู่สภาวะการแข็งตัวของซาก ซึ่งในโคจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้ากล้ามเนื้อจะมีผลต่อการเร่งกระบวนการไกลโคไลซีส และทำให้เนื้อเข้าสู่สภาวะการแข็งตัวเร็วขึ้น และ Ca^{++} จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ calpain ในการย่อยกล้ามเนื้อ ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น และพบว่าค่าความเป็นกรดด่างที่ระหว่าง 6.2 – 6.4 จะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ calpain

ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity – value)

จากการศึกษาค่าการนำไฟฟ้า (EC_1, EC_2, EC_3 และ EC_4) หลังจากทำการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่าง ๆ พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า โดยพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้น แต่จะลดลงตามระยะเวลาในการฉีด ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) สอดคล้องกับการรายงานของ Wheeler *et al.* (1992) ซึ่งได้รายงานว่าประจุ Ca^{++} จากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้ความเข้มข้นของประจุบวกของแคลเซียมคลอไรด์ในกล้ามเนื้อสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของระดับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อ มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของกล้ามเนื้อให้เพิ่ม

มากขึ้น และความสัมพันธ์กับน้ำอิสระที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อ หากมีน้ำอิสระในกล้ามเนื้อสูง การนำกระแสไฟฟ้าในกล้ามเนื้อจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Page *et al.*, 2001)

ค่าสี (meat color)

จากการศึกษาพบว่ามีค่า L ต่ำกว่าการรายงานอื่น ๆ ทั้งนี้รวมถึงค่า a* ด้วย เนื่องจากกล้ามเนื้อที่ใช้สำหรับการศึกษานั้นมีปริมาณความเข้มของสีในกล้ามเนื้อสูงกว่า เพราะโคที่ทำการศึกษาเป็นโคที่มีอายุมาก มีการสะสมเม็ดสีในกล้ามเนื้อสูงกว่าโคขุน หรือโคที่มีอายุน้อย ประกอบกับการทำงานหนักของกล้ามเนื้อ แต่ค่า b* ที่ได้ไม่แตกต่างกันทั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Ledward (1992); Cornforth (1999) ความแตกต่างของสีเนื้อที่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอายุทำให้การสะสมเม็ดสีในกล้ามเนื้อแตกต่างกัน ความเข้มข้นของเม็ดสีไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อที่มี haemoprotein สูงจะพบมากในเนื้อโคทำให้เนื้อมีสีเข้ม ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิด hemeprotein ในกล้ามเนื้อ คือความแปรผันขององค์ประกอบของ ไมโอโกลบิน (Meyer, 1960)

การศึกษาพบว่าสีของกลุ่มที่ฉีดแคลเซียมคลอไรด์มีค่าสีต่ำกว่ากลุ่มควบคุม เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้ผนังเซลล์ฉีกขาด เม็ดสีจึงไหลออกนอกเซลล์ (สัญชัย, 2543) อย่างไรก็ตาม อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดกระบวนการทางเคมีของ haemoprotein ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ง่ายระหว่างการเก็บและสภาวะการผลิต (Morita *et al.*, 1969; Barnard *et al.*, 1970; Ashmore and Doerr, 1971; cited by Cornforth, 1999) และเวลาในการบ่มมีผลต่อค่าสี ซึ่งที่เวลา 45 นาที เนื้อจะมีสีเข้มน้อยกว่าเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งกล้ามเนื้อที่เวลา 45 นาทีก่อนทำการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เนื้อยังไม่เริ่มเข้าสู่กระบวนการแข็งตัวของซาก (rigor mortis) แต่ที่เวลา 24 ชั่วโมงเนื้อได้ผ่านกระบวนการแข็งตัวของซากแล้ว ดังนั้นปริมาณการสูญเสียน้ำและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้มีการนำพาเม็ดสีออกมาด้วย ทำให้สีซีดลง แต่ทั้งนี้เนื้อที่ทำการวิเคราะห์เป็นเนื้อของโคที่มีอายุมากกว่า 5 ปี ซึ่งเนื้อที่ได้จะมีลักษณะสีเข้มเนื่องจากการการสะสมเม็ดสีในกล้ามเนื้อสูงกว่าโคที่อายุน้อย ซึ่งเกี่ยวข้องกับเม็ดสี และความเข้มข้นของ myoglobin (Morita *et al.*, 1969; Barnard *et al.*, 1970; Ashmore and Doerr, 1971; cited by Cornforth, 1999) นอกจากนี้ สัญชัย (2543) ยังได้รายงานว่าค่าความเป็นกรดด่างมีผลต่อค่าสี โดยพบว่าหากการลดลงของ pH จาก 6.8 และคงค่านี้จนถึง 24 ชั่วโมง เนื้อที่ได้จะเป็นลักษณะ dark firm and dry (DFD)

จากการรายงานของ Kerth *et al.* (1995) ได้รายงานค่า L, a* และ b* ที่ระดับแคลเซียมคลอไรด์ 200 mM เท่ากับ 41.3, 14.8 และ 6.3 ตามลำดับ และที่ระดับ 250 mM ค่าที่ได้เท่ากับ 42.1, 14.5 และ 6.4 ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Lansdel *et al.* (1995) ได้ศึกษาถึงการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ในกล้ามเนื้อสันนอก โดยในกลุ่มควบคุมมีค่า L, a* และ b* เท่ากับ 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

องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)

จากการศึกษาการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อค่าองค์ประกอบทางเคมี พบว่า เวลาในการบ่มเนื้อ ไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์ไขมัน แต่พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น และสารละลายไม่มีผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากผลทางด้านการดูดซึมความชื้นของเนื้อ ระดับของแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อนั้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมี แต่จะเป็นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความชื้นให้กับกล้ามเนื้อ ซึ่งเกิดขึ้นจากการดูดซึมความชื้นของเนื้อ และระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นการเพิ่มค่าการดูดซึมความชื้น (Young and Lyon, 1997) อายุของโคจัดเป็นตัวกำหนดคุณค่าทางโภชนะของเนื้อโค ทั้งนี้โคอายุมาก มีการทำงานของระบบกล้ามเนื้อสูงมีองค์ประกอบของกล้ามเนื้อที่แข็งแรง และมีการสะสมเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในอัตราสูง การแทรกตัวของไขมันจึงมีน้อย มีปริมาณของโปรตีนรวมประมาณ 19.5% ไขมัน 3.0% ความชื้น 75.0% ไกลโคเจน เท่ากับ 1.0% และเถ้า เท่ากับ 1.5% (Ockerman, 1977)

ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการศึกษาสูงกว่าการรายงานของ ชัยณรงค์ (2529) ได้รายงานความชื้นของเนื้อโคดิบเท่ากับ 69.5% แต่โปรตีนและไขมันที่ศึกษาได้ต่ำกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 21.5 และ 8.0% ตามลำดับ ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์ไขมันที่ต่ำกว่าเนื่องจากโคที่ทำการศึกษาเป็นโคแก่ และเป็นโคที่มีการทำงานของระบบกล้ามเนื้อสูง และมีความแข็งแรงมาก การแทรกตัวของไขมันจึงมีน้อย และจากการศึกษาของ Boleman *et al.* (1996) ได้รายงานเปอร์เซ็นต์ความชื้นไขมัน และโปรตีน เท่ากับ 69.9, 10.2 และ 17.8% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า ระหว่างโคเนื้อที่ขุนเพื่อขายและโคที่เลี้ยงเพื่อใช้เป็นแรงงาน ค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จึงแตกต่างกัน

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity, WHC)

จากการศึกษาพบว่า เวลาไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำ (drip loss) ส่วนระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อการสูญเสียน้ำ โดยพบว่ากลุ่มที่ฉีดสารละลายมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำสูงกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนการสูญเสียขณะทำละลาย (thawing loss) พบว่าเวลาไม่มีผล แต่ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำขณะทำละลาย และการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำมากกว่ากลุ่มที่ไม่ฉีด ด้านค่าการสูญเสียน้ำจากการต้ม (cooking loss) พบว่า เวลาในการบ่มเนื้อมีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำจากการต้ม

ส่วนระดับความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อค่านี้ ค่าการสูญเสียน้ำที่ได้ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาบอลิซึม และค่าความเป็นกรดด่างในกล้ามเนื้อ ทั้งยังเกี่ยวข้องกับค่าการดูดซึมความชื้น สอดคล้องกับการรายงานของ Boleman *et al.* (1995) รายงานว่าการสูญเสียน้ำของกลุ่มที่ควบคุมจะต่ำกว่ากลุ่มที่ทำการทดลองที่ฉีดแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำอาจเกิดได้จากหลายกระบวนการ การแช่แข็ง การทำละลาย หรือการประกอบอาหาร ทำให้เนื้อสัมพันธ์กับการจับน้ำในกล้ามเนื้อ (Hamm, 1960; 1963; 1972; cited by Hamm, 1975) และระหว่างการบ่มเนื้อจะเป็นการเพิ่มค่าการสูญเสียน้ำเนื่องจากการคลายตัวกันของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดจากการย่อยของเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) ที่เกิดบริเวณ Z – line และหากมี Ca^{++} ในกล้ามเนื้อสูงจะทำให้เกิดการใช้ ATP ในกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว (Sumida *et al.*, 1988) เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อพบว่าเนื้อสัตว์มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 70 – 75% เมื่อร่วมกับการดูดซึมความชื้นเนื่องจากการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ปริมาณน้ำในกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้น และหากแช่แข็ง ทำให้น้ำในกล้ามเนื้อรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อฉีกขาด เมื่อนำมาประกอบอาหารจะเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น (Mandigo and Osburn, 1995) โดยเฉพาะการประกอบอาหารประเภทที่ให้ความร้อนแห้ง ความร้อนจะพาน้ำที่เก็บกักระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อออกมาในรูปของไอน้ำ การสูญเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้าไปไม่ได้เป็นสารละลายที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อตามธรรมชาติ ดังนั้นการสูญเสียน้ำย่อมสูงกว่า เมื่อเนื้อถูกแรงดึงดูดของโลก (Boleman *et al.*, 1995) แต่ทั้งนี้ การสูญเสียขณะประกอบอาหาร ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักส่วนหนึ่งเนื่องจากไขมันในกล้ามเนื้อ ซึ่ง Bouton *et al.* (1958); cited by Lawrie (1979) ได้รายงานค่าการสูญเสียไขมันจากการประกอบอาหารโดยการย่างเปรียบเทียบกันระหว่างกล้ามเนื้อสันสะโพก (sirloin) และกล้ามเนื้อส่วนของขาหลัง (top side) ค่าที่ได้พบว่าการสูญเสียไขมันของกล้ามเนื้อสันสะโพกสูงกว่ากล้ามเนื้อส่วนขาหลัง แต่กล้ามเนื้อส่วนขาหลังจะมีค่าการสูญเสียจากการประกอบอาหารสูงกว่าเนื่องจากการสูญเสียขณะประกอบอาหารส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไขมันในกล้ามเนื้อ

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value)

จากการศึกษาค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เวลา 45 นาที และ 24 ชั่วโมง พบว่า เวลา มีผลต่อค่าแรงตัดผ่าน ส่วนระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก็มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าที่ได้ พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าแรงตัดผ่านที่ได้จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ฉีดสารละลายอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และค่าแรงตัดผ่านที่ได้ลดลง 15 – 50% แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น สามารถลด

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อได้ เนื่องสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเพิ่ม exogenous Ca^{++} แก่กล้ามเนื้อ ทำให้เพิ่มการฉีกขาดของโปรตีนที่บริเวณ Z – disk ที่เส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (Dayton *et al.*, 1976) ทั้งนี้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะกระตุ้นการทำงานของกระบวนการย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ (proteolysis) โดยเอนไซม์ calpain ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยกรดอะมิโนที่ต้องการแคลเซียม (Goll *et al.*, 1999. Cited by Harris *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ calpain ให้ทำงานได้ดีขึ้น โดยได้รับการกระตุ้นการทำงานจากความเข้มข้นของ Ca^{++} (Koohmaraie *et al.*, 1990) นอกจากนี้ Angero *et al.* (1991) รายงานว่า การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หลังการฆ่าจะทำให้เนื้อนุ่มขึ้นโดยผ่านการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยเนื้อที่ใช้ แคลเซียมอิสระและผลที่ได้จากแรงอัดระหว่างการฉีด จะเปลี่ยนแปลงความสมดุลของความเข้มข้น (Kask and Rawn, 1993) ค่าที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของ Wheeler *et al.* (1993); Dilles *et al.* (1994) ของกล้ามเนื้อสันนอกที่ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM และ 250 mM สามารถลดค่าแรงตัดผ่านเนื้อได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ฉีด และเมื่อร่วมกับระยะเวลาในการบ่มสามารถที่จะเพิ่มความนุ่มได้มากขึ้น

ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อ (collagen content)

ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) คอลลาเจนที่ไม่ละลาย (insoluble collagen) และปริมาณคอลลาเจนรวม (total collagen) ทั้งเวลา 45 นาที และ 24 ชั่วโมงของการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มของปริมาณคอลลาเจนลดลงที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย 200, 300 และ 400 mM และเมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าทั้งระดับสารละลายและเวลาไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ได้ ทั้งนี้ค่าที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Morgan *et al.* (1991) รายงานค่าคอลลาเจนในกล้ามเนื้อส่วน strip loin, top sirround และ top round ในกลุ่มควบคุม เท่ากับ 5.36, 5.24 และ 5.98 mg/g ซึ่งแบ่งเป็นคอลลาเจนที่ละลายได้ เท่ากับ 0.48, 0.40 และ 0.35 mg/g และคอลลาเจนที่ไม่ละลาย มีค่าเท่ากับ 4.88, 4.84 และ 5.63 mg/g ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มที่ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 5.39, 5.29 และ 6.02 mg/g ซึ่งแบ่งเป็นคอลลาเจนที่ละลายได้ เท่ากับ 0.53, 0.39 และ 0.39 mg/g และ คอลลาเจนที่ไม่ละลายได้เท่ากับ 4.86, 4.90 และ 5.63 mg/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจน ส่วนระยะเวลาในการบ่มเนื้อจากการศึกษาพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อโดยเอนไซม์ย่อยโปรตีนในไลโซโซมจะแตกตัวออกมาทำการย่อยผนังเซลล์ และเส้นใยกล้ามเนื้อ และ

เมื่อทำการฉีดสารละลายแล้ว แคลเซียมคลอไรด์จะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนให้ทำงานดีขึ้น โดยเฉพาะเอนไซม์ calpain ทำให้เอนไซม์ทำงานในการย่อยเส้นใยกล้ามเนื้อได้ดีขึ้น แต่ปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อยังเท่าเดิม

ปริมาณคอลลาเจนเกี่ยวข้องกับอายุของโคที่ทำการศึกษา โดยพบว่าโคที่มีอายุมากขึ้น ปริมาณการสะสมคอลลาเจนในกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Cross *et al.* (1973) ได้รายงานปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อของโคที่มีอายุ 3 ระยะ คือ ตั้งแต่ 0.8 – 1.7 ปี, 3.7 – 3.8 ปี และ 9.9 – 13.9 ปี ในกล้ามเนื้อสันนอก พบว่ามีปริมาณคอลลาเจนรวมเท่ากับ 5.50, 5.80 และ 6.60 mg/g ตามลำดับ และมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ เท่ากับ 19.90, 5.70 และ 2.80% ตามลำดับ

ค่าการตรวจชิม (sensory evaluation)

การฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระยะเวลาและความเข้มข้นต่างกัน เพื่อปรับปรุงความนุ่มของเนื้อ สามารถลดค่าแรงตัดผ่านเนื้อได้ 15 – 50% ตามระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่ม ทั้งนี้สอดคล้องกับคะแนนประเมินทางด้านการตรวจชิมของกลุ่มที่ฉีดสารละลายระดับความเข้มข้น 200 และ 300 mM มีคะแนนความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ รสชาติและความพอใจโดยรวมสูงกว่ากลุ่มควบคุม และไม่พบรสขมเฝื่อน และรสชาติที่ผิดปกติเลย แต่พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 400 mM จะมีรสชาติที่ผิดปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น แต่ในขณะเดียวกันก็มีคะแนนความนุ่มสูงกว่ากลุ่มอื่นด้วย จากการศึกษาของ Morgan *et al.* (1991) ถึงผลของการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.3 M และบ่มเนื้อที่ 1, 7 และ 14 วัน คะแนนที่ได้ในการตรวจชิม (1 – 8) มีค่าความชุ่มฉ่ำ ค่าความนุ่ม และรสชาติ เท่ากับ 5.73, 5.16 และ 6.51 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมเท่ากับ 5.59, 2.94 และ 5.70 ตามลำดับ ส่วน Kerth *et al.* (1995) พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 200 และ 250 mM 48 ชั่วโมงหลังฆ่าพบว่ามีการปรับปรุงความนุ่มเพิ่มขึ้นโดยการลดค่าแรงตัดผ่าน ได้ 19 และ 22% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และเพิ่มถึง 13% เมื่อเปรียบเทียบกับการบ่มซากในห้องเย็นที่ 7 ถึง 14 วัน หลังฆ่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าแรงตัดผ่านที่พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ลดลงจากกลุ่มที่ไม่ได้ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และจากการรายงานของ Harris *et al.* (2001) ว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้คะแนนของกลิ่นและรสชาติเพิ่มมากขึ้น

ในด้านกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 400 mM นั้นสอดคล้องกับการศึกษาของ Wheeler *et al.* (1993) โดยการฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 และ 250 mM พบว่ามีแนวโน้มของกลิ่นที่ผิดปกติมากกว่ากลุ่มควบคุม กลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติเนื่องจาก รสชาติเฉพาะตัวของสารละลาย และเมื่อเพิ่มระดับ

ความเข้มข้นก็จะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ได้ และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีผลต่อค่าการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในกล้ามเนื้อ โดยจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อร่วมกับระยะเวลาในการเก็บเนื้อเป็นไปได้ว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี (Angelo *et al.*, 1991) แต่ทั้งนี้อายุของโคที่ทำการทดลองก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในเรื่องการสะสมไขมัน และชนิดของไขมันประเภท polyunsaturated (Allen and Foegeding, 1981; cited by Gray *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติได้ง่าย (Gray and Crackel, 1992)

และผลคะแนนค่าการพอใจโดยรวมของผู้บริโภค พบว่าที่เวลา 45 นาทีหลังการฉีดสารละลาย ค่าความพอใจโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังการฉีด ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นค่าคะแนนด้านความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ กลิ่นและรสชาติ ทั้งหมดที่ผู้บริโภคได้ให้คะแนน

ปริมาณเอนไซม์ calpain และ calpaststin

จากการศึกษาพบว่าที่เวลาในการฉีด 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังฆ่าไม่มีความแตกต่างกันของเอนไซม์ calpastatin, m – clapain และ μ – calpain และเมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าทั้งระดับความเข้มข้นและระยะเวลาไม่มีผลต่อปริมาณของเอนไซม์ที่ได้ ค่าที่ได้สูงกว่าการศึกษาของ Wheeler *et al.* (1992) ซึ่งพบว่าระยะเวลาของการฉีดสารละลายมีผลต่อปริมาณของ calpastatin, m – clapain และ μ – calpain โดยพบว่ากลุ่มควบคุม มีปริมาณเท่ากับ 0.20, 0.86 และ 0.71 unit/g เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฉีดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หลังฆ่าที่เวลา 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 0.69, 0.45 และ 0.18 unit/g และเมื่อทำการแช่แข็งกล้ามเนื้อโดยไม่ฉีดสารละลายพบว่า มีค่าเท่ากับ 1.14, 0.67 และ 0.35 unit/g แต่เมื่อฉีดสารละลายร่วมกับการแช่แข็ง พบว่าค่าที่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่แช่แข็งอย่างเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 0.33, 0.30 และ 0.05 unit/g ค่าที่แตกต่างจากกศึกษาเนื่องจากอายุโคมีส่วนสำคัญต่อปริมาณของเอนไซม์ที่ได้ทั้งหมด ซึ่งระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ปริมาณของเอนไซม์ calpastatin ลดลง แต่เป็นการเพิ่มปริมาณของ m – clapain และ μ – calpain ซึ่ง 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)