

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ค่าความเป็นกรดต่างในเนื้อ (pH – value)

จากการศึกษาค่าความเป็นกรดต่างเวลา 45 นาที (pH₁) ก่อนการฉีดสารละลาย ที่ระดับความเข้มข้น 0, 200, 300 และ 400 mM มีค่าเท่ากับ 6.75, 6.73, 6.74 และ 6.79 ตามลำดับ และ 24 ชั่วโมง (pH₂) มีค่าเท่ากับ 5.81, 5.79, 5.78 และ 5.79 ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรดต่างหลังจากฉีดสารละลายแล้วที่เวลา 24 ชั่วโมง (pH₃) มีค่าเท่ากับ 5.78, 5.75, 5.75 และ 5.74 ตามลำดับ และเวลา 48 ชั่วโมง (pH₄) ค่าที่ได้เท่ากับ 5.70, 5.64, 5.57 และ 5.59 ตามลำดับ ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) (ตารางที่ 11)

ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity – value)

ค่าการนำไฟฟ้าเวลา 45 นาที (EC₁) ก่อนการฉีดสารละลาย ที่ระดับความเข้มข้น 0, 200, 300 และ 400 mM มีค่าเท่ากับ 1.57, 1.54, 1.54 และ 1.51 ตามลำดับ และ 24 ชั่วโมง (EC₂) มีค่าเท่ากับ 1.34, 1.22, 1.97 และ 1.44 ตามลำดับ ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าหลังจากฉีดสารละลายแล้วที่เวลา 24 ชั่วโมง (EC₃) มีค่าเท่ากับ 1.25, 3.67, 5.07 และ 5.66 ตามลำดับ และเวลา 48 ชั่วโมง (EC₄) ค่าที่ได้เท่ากับ 1.43, 3.30, 2.74 และ 3.57 ตามลำดับ ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01)

การประเมินค่าสีของเนื้อ (meat color)

จากการศึกษาพบว่า ค่า L ของแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 200, 300 และ 400 ที่เวลาการฉีด 45 นาทีหลังฆ่า มีค่าเท่ากับ 35.11, 34.62, 33.89 และ 33.49 ตามลำดับ และที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 37.38, 36.92, 35.48 และ 35.72 ตามลำดับ ค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) เมื่อทดสอบปฏิกริยาร่วม พบว่า เวลา มีผลต่อค่าความสว่างของเนื้อ (p<0.05) ส่วนค่า a* ที่เวลาการฉีด 45 นาทีหลังฆ่า เท่ากับ 21.56, 19.53, 19.39 และ 19.99 ตามลำดับ และที่เวลา 24 ชั่วโมง หลังฆ่า เท่ากับ 21.19, 22.04, 21.00 และ 21.01 ตามลำดับ ค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) และเมื่อทดสอบปฏิกริยาร่วม พบว่า เวลา มีผลต่อ a* (p<0.05) สำหรับค่า b* ที่เวลาการฉีด 45 นาทีหลังฆ่า มีค่าเท่ากับ 6.76, 3.68, 3.19 และ 5.22 ตามลำดับ และที่เวลา

24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 6.50, 7.05, 6.09 และ 6.14 ตามลำดับค่าที่ได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่า เวลา มีผลต่อ b^* ($p<0.01$) (ตารางที่ 12)

Table 11 Effect of calcium chloride injection on conductivity and pH – value of *longissimus dorsi*

Criteria	CaCl ₂ level (mM)			
	0	200	300	400
pH – value				
pH ₁	6.75	6.73	6.74	6.79
pH ₂	5.81	5.79	5.78	5.79
pH ₃	5.78	5.75	5.75	5.74
pH ₄	5.70	5.64	5.57	5.59
Conductivity – value				
EC ₁	1.57	1.54	1.54	1.51
EC ₂	1.34	1.22	1.97	1.44
EC ₃	1.25 ^z	3.67 ^y	5.07 ^x	5.66 ^x
EC ₄	1.43 ^y	3.30 ^x	2.74 ^{xy}	3.57 ^x

^{x,y,z} = Different superscript indicate mean with in the rows that are highly significantly different ($p<0.01$)

pH₁ = 45 min without calcium chloride

EC₁ = 45 min without calcium chloride

pH₂ = 24 hrs without calcium chloride

EC₂ = 24 hrs without calcium chloride

pH₃ = 24 hrs with calcium chloride

EC₃ = 24 hrs with calcium chloride

pH₄ = 48 hrs with calcium chloride

EC₄ = 48 hrs with calcium chloride

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition)

ระดับของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ 0, 200, 300 และ 400 mM ที่ฉีดในเวลา 45 นาทีหลังฆ่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 19.99, 20.32, 20.53 และ 20.29 ตามลำดับ ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 19.88, 19.34, 19.45 และ 19.48 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่า

เท่ากับ 1.99, 1.27, 1.29 และ 1.43 ตามลำดับ เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 1.75, 1.14, 1.37 และ 1.47 ตามลำดับ เมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และ เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่าเท่ากับ 74.79, 74.66, 74.60 และ 74.67 ตามลำดับ เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 75.24, 76.52, 75.97 และ 76.37 ตามลำดับ ค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าเวลามีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ($p<0.05$) โดยระดับของแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อนั้นไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี แต่จะเป็นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความชื้นให้กล้ามเนื้อเท่านั้น

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity, WHC)

ค่าการสูญเสียน้ำ (drip loss)

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ 0, 200, 300 และ 400 mM เวลา 45 นาทีหลังฆ่ามีค่าการสูญเสียน้ำเท่ากับ 2.36, 5.85, 4.27 และ 5.37% ตามลำดับ ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า พบว่าการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ฉีด โดยมีค่าเท่ากับ 2.68, 4.65, 4.13 และ 3.69% ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ค่าการสูญเสียน้ำจากการทำละลาย (thawing loss)

ค่าการสูญเสียน้ำจากการทำละลายเวลา 45 นาทีหลังฆ่า เท่ากับ 8.18, 14.06, 10.62 และ 11.99% ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่าเท่ากับ 9.52, 12.99, 12.35 และ 10.21% ตามระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ 0, 200, 300 และ 400 mM ตามลำดับ ค่าที่ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วมพบว่าระดับของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อค่าการสูญเสียขณะทำการละลาย ($p<0.01$)

ค่าการสูญเสียน้ำจากการต้ม (cooking loss)

ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ 0, 200, 300 และ 400 mM ที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่ามีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการประกอบอาหารเท่ากับ 32.13, 29.29, 27.68 และ 26.54% ตามลำดับ เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 31.49, 34.24, 31.34 และ 31.48% ตามลำดับ ค่าที่

ได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อทดสอบปฏิกริยาร่วมพบว่า เวลาที่มีผลต่อค่าการสูญเสียขณะประกอบอาหาร ($p<0.01$) แต่ระดับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ไม่มีผลต่อค่านี้ ($p>0.05$)

ค่าการสูญเสียน้ำหนักอย่าง (grilling loss)

ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ฉีด คือ 0, 200, 300 และ 400 mM เวลา 45 นาที หลังฆ่า มีค่าเท่ากับ 31.13, 31.29, 36.37 และ 32.71% ตามลำดับ ส่วนเวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า มีค่าเท่ากับ 32.81, 38.22, 37.98 และ 34.84% ตามลำดับ ค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และเมื่อทดสอบปฏิกริยาร่วม พบว่า ทั้งเวลาในการฉีด และระดับความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักอย่าง แต่มีแนวโน้มของการสูญเสียเพิ่ม เมื่อระดับและเวลาในการฉีดเพิ่มขึ้น

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value)

การศึกษาค่าแรงตัดผ่านสูงสุด (maximum force) หน่วยที่ได้เป็นนิวตัน (N) ตามระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ 0, 200, 300 และ 400 mM เวลา 45 นาที หลังฆ่าเท่ากับ 102.66, 64.69, 54.09 และ 50.33 N ตามลำดับ ส่วนเวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 99.07, 83.59, 70.8 และ 66.07 N ตามลำดับ ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาและระดับแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า ทั้งระยะเวลาและระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนค่าพลังงานรวม (total energy, J) ที่เวลา 45 นาที หลังฆ่า เท่ากับ 0.33, 0.31, 0.30 และ 0.28 J ตามลำดับ ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 0.34, 0.37, 0.31 และ 0.33 J ตามลำดับ เมื่อทดสอบค่าความแตกต่างระหว่างเวลาและระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ค่าที่ได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกับค่าระยะทาง (extension, mm) ที่เวลา 45 นาที หลังฆ่า เท่ากับ 18.19, 19.14, 19.17 และ 19.87 mm ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 18.12, 18.73, 18.81 และ 19.46 mm ตามลำดับ (ตาราง 13)

ปริมาณคอลลาเจน (collagen content)

จากการศึกษาปริมาณคอลลาเจนละลายได้ ที่เวลา 45 นาทีหลังฆ่า และฉีดแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 200, 300 และ 400 mM มีค่าเท่ากับ 0.34, 0.24, 0.25 และ 0.25 mg/g ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า เท่ากับ 0.25, 0.18, 0.19 และ 0.18 mg/g ตามลำดับ ด้านคอลลาเจนไม่ละลายที่เวลา 45 นาที พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.27, 5.01, 4.99 และ 5.56 mg/g ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.29, 4.39, 4.54 และ 4.09 mg/g ตามลำดับ และเมื่อศึกษาปริมาณคอลลาเจน

ทั้งหมด พบว่าที่เวลา 45 นาที มีค่าเท่ากับ 5.61, 5.25, 5.24 และ 5.82 mg/g ตามลำดับ ส่วนเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 4.55, 4.57, 4.73 และ 4.27 mg/g ตามลำดับ ค่าที่ได้ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าทั้งระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และเวลาในการบ่ม ไม่มีผลต่อค่าคอแลสเตอรอลที่ได้ทั้งหมด ($p>0.05$)

ค่าการตรวจชิม (sensory evaluation)

ค่าประเมินการตรวจชิม พบว่าการฉีดแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 200, 300 และ 400 mM ในเวลา 45 นาทีหลังฆ่า มีคะแนนความนุ่มเท่ากับ 2.22, 3.16, 3.25 และ 3.39 ตามลำดับ กลุ่มที่ไม่ฉีดมีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนคะแนนความชุ่มฉ่ำ เท่ากับ 2.31, 2.70, 2.68 และ 2.79 ตามลำดับ และคะแนนรสชาติเท่ากับ 2.56, 2.81, 2.70 และ 2.66 ตามระดับค่าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ตามลำดับ ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และคะแนนความพอใจโดยรวมของทุกระดับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 2.31, 2.91, 2.79 และ 2.87 ตามลำดับ โดยในกลุ่มที่ไม่ฉีดมีคะแนนความพอใจต่ำกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ส่วนผลในการตรวจชิมที่ระดับแคลเซียมคลอไรด์ 0, 200, 300 และ 400 mM 24 ชั่วโมง หลังฆ่า มีคะแนนความนุ่ม เท่ากับ 2.61, 2.50, 2.55 และ 3.08 ตามลำดับ คะแนนความชุ่มฉ่ำ เท่ากับ 2.93, 2.66, 2.64 และ 2.85 ตามลำดับ คะแนนรสชาติเท่ากับ 2.66, 2.77, 2.68 และ 2.70 ตามลำดับ และคะแนนความพอใจโดยรวม เท่ากับ 2.68, 2.65, 2.68 และ 2.68 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อทดสอบค่าความแตกต่างระหว่างเวลาที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมง ในระดับแคลเซียมคลอไรด์ 0, 200, 300 และ 400 mM พบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อค่าคะแนนความนุ่มของเนื้อ ($p<0.05$) ส่วนคะแนนในด้านความชุ่มฉ่ำ รสชาติ และคะแนนด้านความพอใจโดยรวม ตามระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาในการบ่มไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$)

ปริมาณเอนไซม์ calpain และ calpastatin

จากการศึกษาปริมาณของเอนไซม์ calpain และ calpastatin ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0, 200, 300 และ 400 mM พบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทั้งเวลา 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า แต่ค่าที่ได้ของเอนไซม์ calpastatin มีแนวโน้มลดลง ส่วน

m - calpain และ μ - calpain มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบปฏิกิริยาร่วม พบว่าทั้งเวลาในการบ่มเนื้อ และระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อเอนไซม์ที่ทำการวิเคราะห์

Table 12 Effect of calcium chloride injection on color, nutritive value and water holding capacity of *longissimus dorsi*

Criteria	CaCl ₂ level, 45 min (mM)				CaCl ₂ level, 24 hr (mM)				Interaction		
	0	200	300	400	0	200	300	400	Time	CaCl ₂	A*B
No. of animals	8	8	8	8	8	8	8	8			
Color value											
L	35.11	34.62	33.89	33.49	37.38	36.92	35.48	35.72	0.02*	0.46	0.99
a*	21.56	19.53	19.39	19.99	21.99	22.04	21.00	21.01	0.02*	0.27	0.38
b*	6.76	3.68	3.19	5.22	6.50	7.05	6.09	6.14	0.01*	0.20	0.17
Nutritive Value, %											
- Protein	19.99	20.32	20.53	20.29	19.88	19.34	19.45	19.48	0.07	0.99	0.84
- Fat	1.99	1.27	1.29	1.43	1.75	1.14	1.37	1.47	0.85	0.62	0.98
- Moisture	74.79	74.66	74.60	74.67	75.24	76.52	75.97	76.37	0.02*	0.89	0.83
WHC, %											
Drip loss	2.36 ^y	5.85 ^z	4.27 ^{xy}	5.37 ^x	2.68 ^b	4.65 ^a	4.13 ^u	3.69 ^{ab}	0.10	0.0002**	0.29
Thawing loss	8.18 ^b	14.06 ^a	10.62 ^{ab}	11.99 ^{ab}	9.52	12.99	12.35	10.21	0.94	0.007**	0.43
Cooking loss	32.13	29.29	27.68	26.54	31.49	34.24	31.34	31.48	0.005**	0.16	0.24
Grilling loss	31.13	31.29	36.37	32.71	32.81	38.22	37.98	34.84	0.15	0.37	0.77

^{a, b} = Different superscript indicate mean within the rows that are significantly different (p<0.05)

^{x, y, z} = Different superscript indicate mean within the rows that are highly significantly different (p<0.01)

* Different superscript indicate mean within the rows that are significantly different (p<0.05)

** Different superscript indicate mean within the rows that are highly significantly different (p<0.01)

L = lightness; 100 = white, 0 = black

a* = redness; green = -80, red = 100

b* = yellowness; blue = -50, yellow = 70

WHC = water holding capacity

Table 13 Effect of calcium chloride injection on shear force value collagen content panel score and calpain protease of *longissimus dorsi*

Criteria	CaCl ₂ level, 45 min (mM)				CaCl ₂ level, 24 hr (mM)				Interaction		
	0	200	300	400	0	200	300	400	Time	CaCl ₂	A*B
No. of animals	8	8	8	8	8	8	8	8			
Shear force value											
maximum force (N)	102.66 ^x	64.69 ^y	54.09 ^y	50.33 ^z	99.07 ^x	83.59 ^y	70.80 ^z	66.07 ^z	0.004**	0.0001**	0.18
total energy (J)	0.33	0.31	0.30	0.28	0.34	0.37	0.31	0.33	0.15	0.58	0.82
extension (mm)	18.19	19.14	19.71	19.87	18.12	18.73	18.81	19.46	0.65	0.74	0.99
Collagen content, mg/g											
Solubility collagen	0.34	0.24	0.25	0.25	0.25	0.18	0.19	0.18	0.06	0.32	0.99
Insolubility collagen	5.27	5.01	4.99	5.56	4.29	4.39	4.54	4.09	0.07	0.99	0.88
Total collagen	5.61	5.25	5.24	5.82	4.55	4.57	4.73	4.27	0.06	0.99	0.88
Panel score											
Tenderness ^d	2.22 ^b	3.16 ^a	3.25 ^a	3.39 ^a	2.61	2.50	2.55	3.08	0.10	0.04*	0.19
Juiciness ^e	2.31	2.70	2.68	2.79	2.93	2.66	2.64	2.85	0.24	0.71	0.20
Flavor ^f	2.56	2.81	2.70	2.66	2.66	2.77	2.68	2.70	0.92	0.72	0.91
Acceptability ^g	2.31 ^b	2.91 ^a	2.79 ^a	2.87 ^a	2.68	2.65	2.68	2.68	0.62	0.28	0.35
Calpain protease, unit/g											
Calpastatin	4.44	4.40	4.38	4.34	4.33	4.30	4.32	4.31	0.70	0.99	0.99
m-calpain	2.15	2.20	2.21	2.19	2.08	2.18	2.18	2.13	0.92	0.99	0.96
μ-calpain	5.76	5.82	5.81	5.76	5.65	5.75	5.80	5.68	0.74	0.97	0.99

^{a, b, c} Different superscript indicate mean within the rows that are significantly different (p<0.05)

^d 1 = extremely tough, 5 = extremely tender

^e 1 = extremely dry, 5 = extremely juice

^f 1 = extremely bland, 5 = extremely intense

^g 1 = extremely unaccepted, 5 = extremely accepted

* = significantly different (p<0.05)

** = highly significantly different (p<0.01)

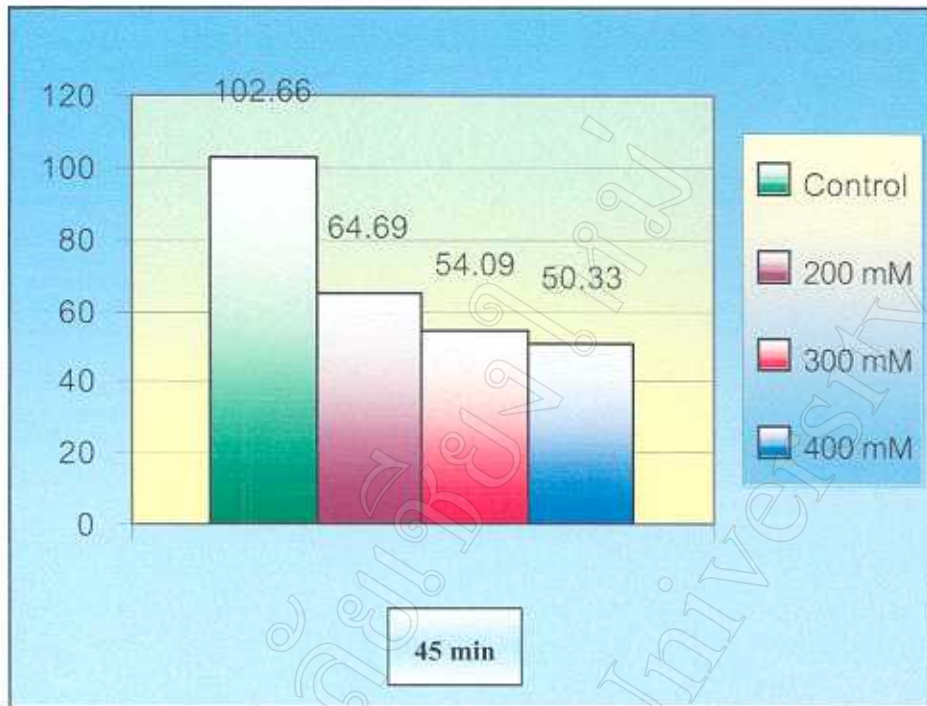


Figure 3 Shear force value of *Longissimus dorsi* with different level of calcium chloride injection

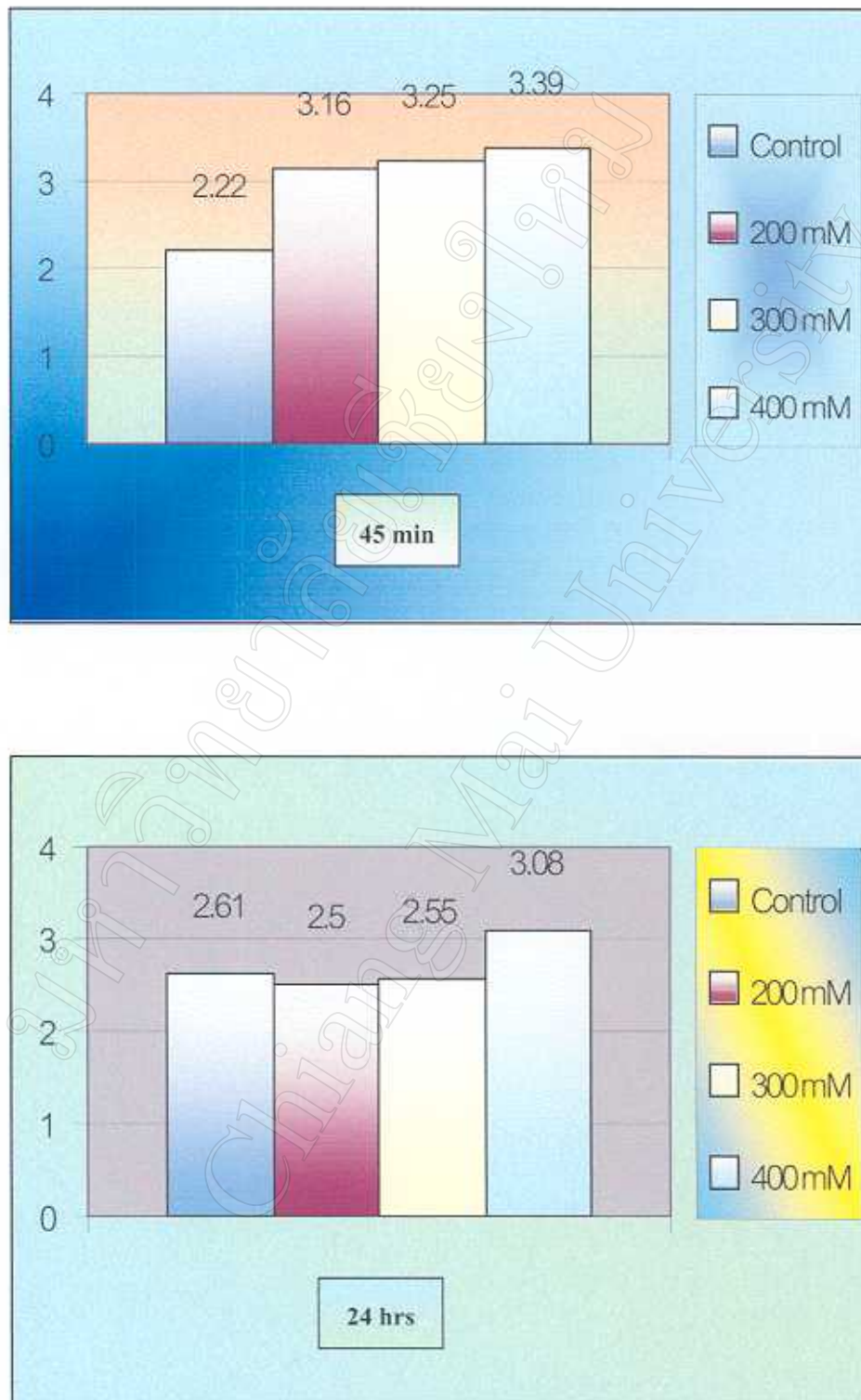


Figure 4 Tenderness score of *Longissimus dorsi* with different level of calcium chloride injection

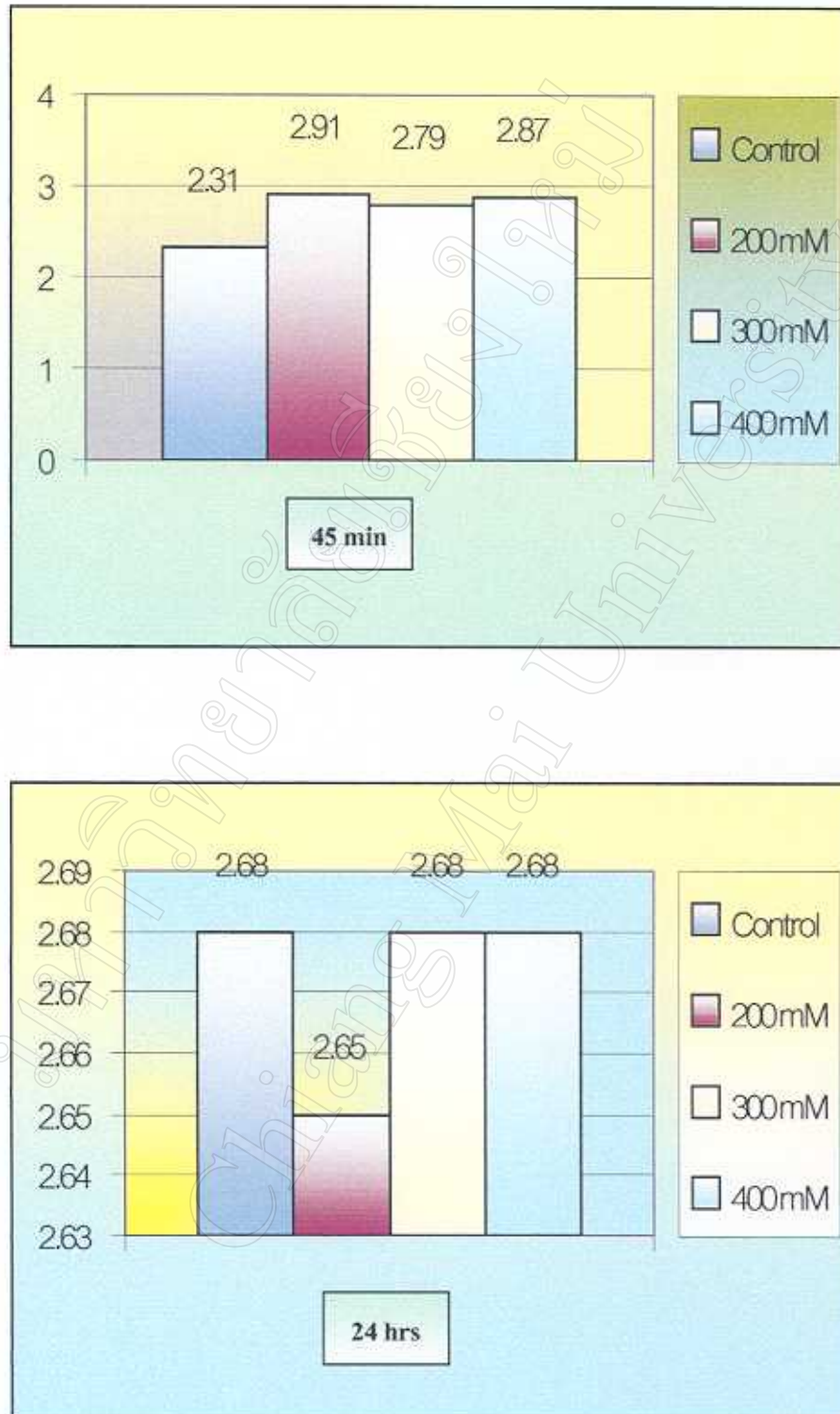


Figure 5 Acceptability score of *Longissimus dorsi* with different level of calcium chloride injection

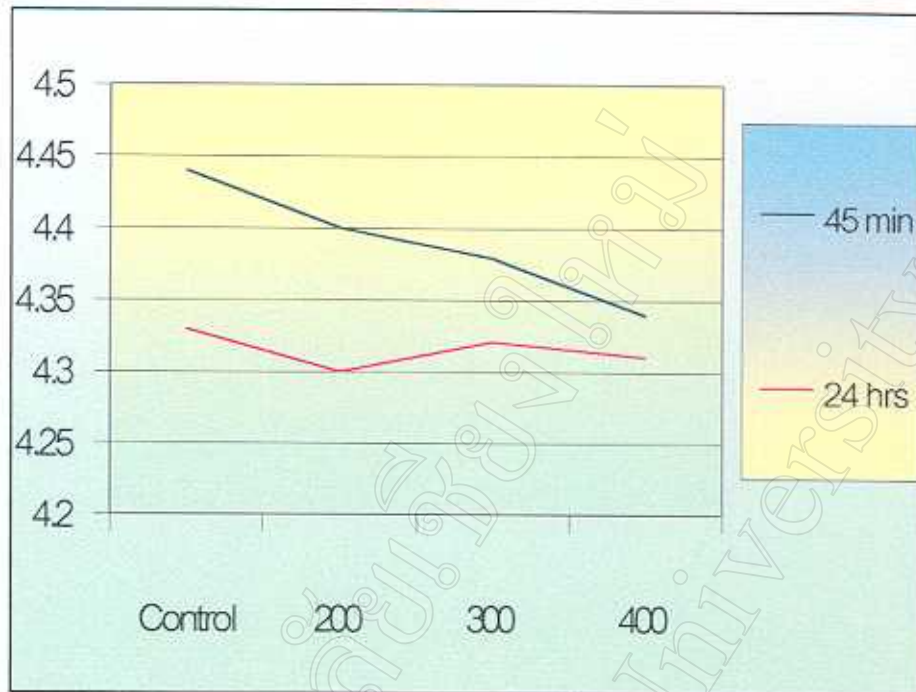


Figure 6 Tendency of calpastatin with different level of calcium chloride injection at 45 min and 24 hrs

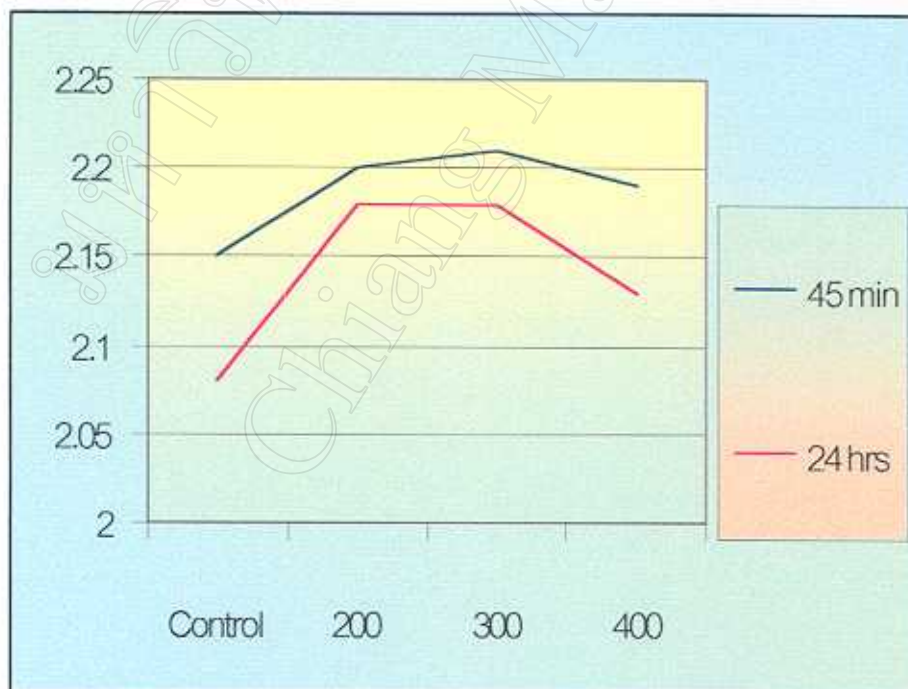


Figure 7 Tendency of m - calpain with different level of calcium chloride injection at 45 min and 24 hrs

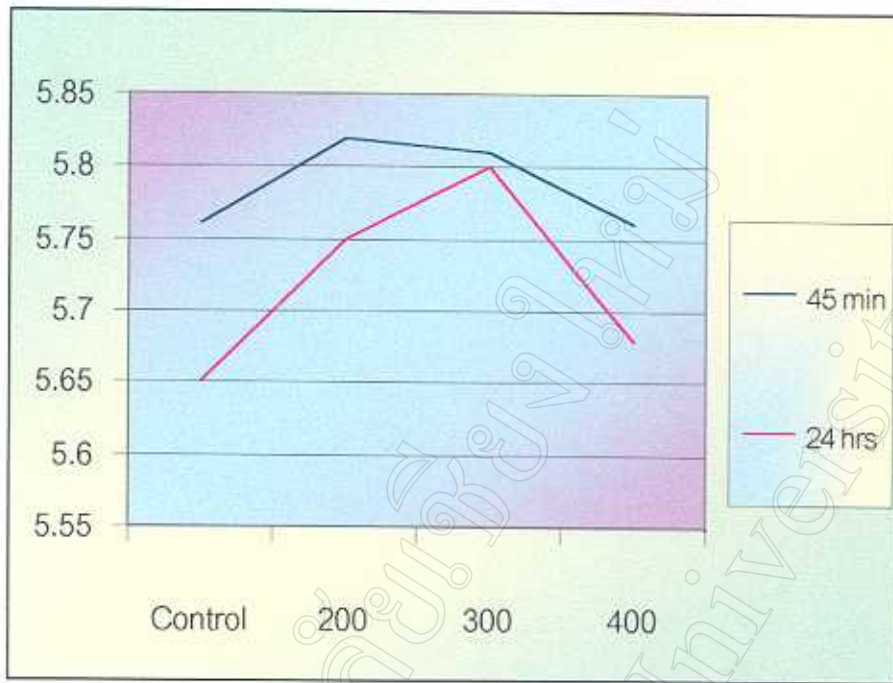


Figure 8 Tendency of μ -calpain with different level of calcium chloride injection at 45 min and 24 hrs