การเปรียบเทียบผลการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าที่มีต่อคุณภาพเนื้อ

The effect of electrical stimulation on meat quality

หัวหน้าโครงการ

นางสาวจันทร์พร เจ้าทรัพย์

ผู้ร่วมวิจัย

นางภัทราภรณ์ จางวนิชเลิศ

ที่ปรึกษาโครงการ

รศ. ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล

ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยประยุกต์ประจำปีงบประมาณ 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การทดลองใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นซากที่มีผลต่อค่า pH และ อุณหภูมิของกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตาย โดยทำการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าขนาดแรงดัน 400 โวทต์ ทำการกระตุ้น 3 นาที ภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงหลังสัตว์ตาย โดยทำการทดลองกับโคขุน 15 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 2 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 540.2 กิโลกรัม ทำการแบ่งซากเป็น 2 ซีกทำการกระตุ้นซากซีกหนึ่งส่วนอีกซีกไม่กระตุ้นแล้วทำการบ่มซากไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดค่า pH และค่าอุณหภูมิซากที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ผลปรากฏว่าการกระตุ้นซากมีผลต่อการลดลงของค่า pH อย่างรวดเร็วโดยจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น(P<0.01) การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าจะไม่มีผลการลดของอุณหภูมิซาก

Abstract

The experiment was conducted to study the effect of electrical stimulation (ES) on postmortem muscle pH and postmortem muscle temperature. Fifteen crossbreds steer (Brahman x Native) were used in this study. The animals were slaughtered and splitted longitudinally into two sides. Only one side was electrically stimulated (ES) within 1 h postmortem prior to chilling. Each carcass was stimulated with 400 volts(AC) for 3 minutes. After stimulation the *longissimus dorsi* muscle samples were observed for postmortem muscle pH and temperature at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 and 24 h postmortem. Electrical stimulation showed lower muscle pH than non ES (P<0.01) at 1 to 6 h postmortem and at 8 and 10 h postmortem showed lower significantly different (P<0.05) but at 24 h postmortem was not significantly different. Electrical stimulation had no influence on postmortem muscle temperature.

RCH
TX
556
.B4
จ269ก
เลขหมู่........
เลขทะเบียน 54625
วัน,เดือน,ปี 24 ส.ค. 2548
บ 1139?0?1
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	1
สารบัญตาราง	2
สารบัญภาพ	3
คำนำ	4
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผลการทดลองและวิจารณ์	15
สรุป	17
เอกสารอ้างอิง	18
ภาคผนวก	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การการกระตุ้นซากโคด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อค่า pH และอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพก(Semimembranosus)	12
2 ผลการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อค่า pH และอุณหภูมิของซาก	16
ตารางภาคผนวกที่	
1 น้ำหนักมีชีวิตและน้ำหนักซากของโคทดลอง	21
2 ผลของอายุและน้ำหนักมีชีวิตที่มีต่อค่า pH	22
3 ผลของอายุและน้ำหนักมีชีวิตที่มีต่ออุณหภูมิซาก	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การลดลงของค่า pH ของกล้ามเนื้อสันนอกของสุกร (30 ตัว)และโค (15 ตัว)	6
2 ความสัมพันธ์ระหว่าง (a) ปริมาณไกลโคเจนที่ถูกใช้ (b) ปริมาณแลกเตทที่เกิดขึ้น และ จุด ultimate pH ของกล้ามเนื้อสันนอกของโค	7
3 ผลการกระตุ้นซากที่มีต่ออัตราการลดของ pH ของซากโค	7
4 ผลการกระตุ้นซากที่มีต่ออัตราการลดของ pH ของซากโค	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบผลการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าที่มีต่อคุณภาพเนื้อ

The effect of electrical stimulation on meat quality

คำนำ

ปัจจุบันนี้ผู้บริโภคต้องการบริโภคเนื้อที่มีคุณภาพโดยนอกจากจะพิจารณาจาก สี กลิ่น เนื้อสัมผัส แล้ว อีกประการหนึ่งที่สำคัญคือเรื่องความนุ่มของเนื้อ เนื้อที่มีความนุ่มมากแม้จะมีราคาแพงแต่ผู้บริโภคก็ยอมเสียเงินเพิ่มเพื่อซื้อมาบริโภค เนื้อโคเป็นเนื้อที่มีปัญหาเรื่องความนุ่มเนื่องจากโคเป็นสัตว์ใหญ่ มีระยะเวลาในการเลี้ยงนาน ประกอบกับลักษณะของเส้นใยกล้ามเนื้อค่อนข้างหยาบจึงทำให้เหนียวมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น แม้ปัจจุบันนี้มีความพยายามนำโคอายุน้อยมาทำการขุนด้วยอาหารข้นเพื่อลดระยะเวลาในการเลี้ยงก่อนส่งโรงฆ่าเป็นการเพิ่มคุณภาพเนื้อแต่ก็ยังมีความเหนียวมากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ปัจจุบันนี้มีความพยายามที่จะนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มความนุ่มของเนื้อ วิธีการหนึ่งที่ทำได้สะดวก รวดเร็ว และนิยมใช้กันในต่างประเทศคือการใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นซากหลังจากสัตว์ตายไม่เกินหนึ่งชั่วโมง การทดลองครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่า pH และอุณหภูมิของซาก ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของเนื้อ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงผลของการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีต่อค่า pH และอุณหภูมิซาก

การตรวจเอกสาร

กล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อที่จะกลายเป็นเนื้อสัตว์ที่ผู้บริโภคทั่วไปรู้จักจะหมายถึงกล้ามเนื้อลาย (straited muscle)ลายที่ปรากฏเกิดจากการซ้อนทับกันของโปรตีนที่สำคัญ 2 ชนิดคือ actin กับ myosin ซึ่งโปรตีนทั้งสองชนิดนี้ จะเป็นตัวช่วยให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดจากการเลื่อนเข้าออกของ actin กับ myosin

การทำงานของกล้ามเนื้อแบ่งเป็น 2 ระยะคือ

1. ระยะหดตัว (contraction) เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นจากกระแสประสาท เส้นใยประสาท (motor nerve) จะถ่ายทอดสัญญาณ (action potential) ทำให้ Ca^{2+}จะจับกับ troponin ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tropomyosin เคลื่อนที่และในทีสุดจะกระตุ้นให้ ADP+Pi หลุดจากส่วนหัวของ myosin ทำให้ actin จับกับ myosin เกิดเป็น actomyosin หรือเรียกว่าเกิด crossbridge ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว

2. ระยะคลายตัว (relaxation) เมื่อ action potential ลดลง Ca^{2+} ใน sarcoplasm จะถูกดึงกลับเข้าสู่ sarcoplasmic reticulum เมื่อระดับ Ca^{2+} ใน sarcoplasm ลดลง troponin จะปล่อย Ca^{2+} ที่จับไว้ แล้วกลับไปทำงานร่วมกับ tropomyosin เพื่อป้องกัน actin จับกับ myosin ส่วน actin ที่จับอยู่กับ myosin ในขณะหดตัวนั้นก็จะถูกแยกออกจากกันโดยอาศัยการสลายพลังงาน 1 ATP ทำให้ได้ ADP + Pi เมื่อ actin แยกออกจาก myosin จากนั้น ส่วนหัวของ myosin จะถูกเกาะด้วย ADP + Pi

ขบวนการเปลี่ยนแปลงหลังสัตว์ตาย

1. ค่า pH

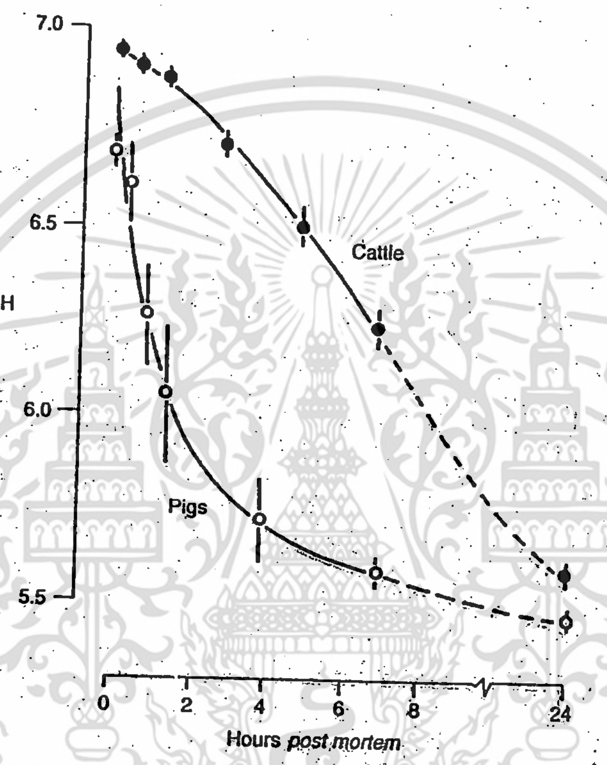
หลังจากการตายของสัตว์กล้ามเนื้อจะเปลี่ยนเป็นเนื้อสัตว์ การตายของสัตว์จะเริ่มหลังสัตว์ผ่านการแทงคอเอาเลือดออกจากนั้นร่างกายสัตว์จะพยายามรักษาสภาวะต่างๆให้เหมือนขณะมีชีวิตมากที่สุด คือจะยังคงมีการทำงานของกล้ามเนื้อโดยอาศัยการสลายพลังงานที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อในรูปของไกลโคเจน เนื่องจากหลังสัตว์ตายแล้วปริมาณออกซิเจนจะหมดไป ขบวนการสลายพลังงานจะเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anerobic metabolism) จะได้พลังงาน 2 ATP และจะเกิดกรดแลกติคขึ้นดังสมการ

$$\underset{\text{Glycogen}}{n(C_6H_{10}O_5) + nH_2O} \longrightarrow \underset{\text{Lactic acid}}{2n\,(C_3H_6O_3)}$$

เมื่อกล้ามเนื้อหดตัว พลังงานที่ได้จะใช้ในการคลายตัวของกล้ามเนื้อ แต่เมื่อพลังงานที่สะสมไว้ถูกใช้จนหมดกล้ามเนื้อจะเกิดการหดเกร็งตัว (rigor mortis) ซึ่งในสภาวะปกติการหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ในสภาวะ rigor mortis การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อขณะมีชีวิตมี 12-15 มก./ก. หลังจากสัตว์ตายจะลดลงเหลือประมาณ 1.1 มก./ก. และปริมาณกรดแลคติคจะเพิ่มขึ้นจากประมาณ 15 μmol/g. เป็น 60-70 μmol/g. หลังจากสัตว์ตาย 1ชั่วโมง และระดับ ATP จะลดลงจาก 3 มก./ก. ในขณะมีชีวิตเป็น 1.1 มก./ก. ที่ประมาณ 1 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย และที่ 24 ชั่วโมงจะเหลือเพียง 0.01 มก./ก. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะลดจาก pH 7 เป็น pH 5.4-5.6 หลังจากสัตว์ตาย 6-24 ชั่วโมง กรดแลกติคที่เกิดจากขบวนการ anerobic metabolism จะทำให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดลง โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดสุดท้ายที่พลังงานสะสมในกล้ามเนื้อถูกใช้จนหมด ค่า pH นี้จะเรียกว่า ultimate pH ซึ่งจะประมาณ 5.3-5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

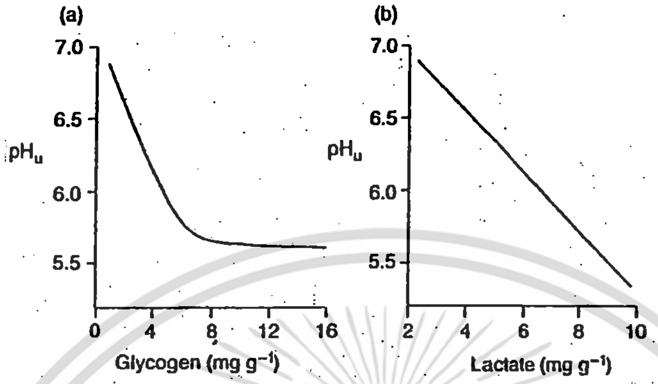
ขบวนการสร้างกรดแลกติคในสุกรจะสิ้นสุดหลังสัตว์ตาย 4-8 ชั่วโมง ในโค 15- 36 ชั่วโมง (Dranfield,1994) การลดลงของ pH ของโคจะลดจาก pH 7.2 จนถึง ประมาณ 5.5 โดยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ในขณะที่ การลดลงของ ค่า pH ของสุกรจะลดลงได้เร็วกว่าโคโดยจะเข้าใกล้ pH 5.5 ที่ประมาณ 7 ชั่วโมงหลังจากตาย(Warriss, 2000) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การลดลงของค่า pH ของกล้ามเนื้อสันนอกของสุกร (30 ตัว)และโค (15 ตัว)
ที่มา : Warriss, 2000

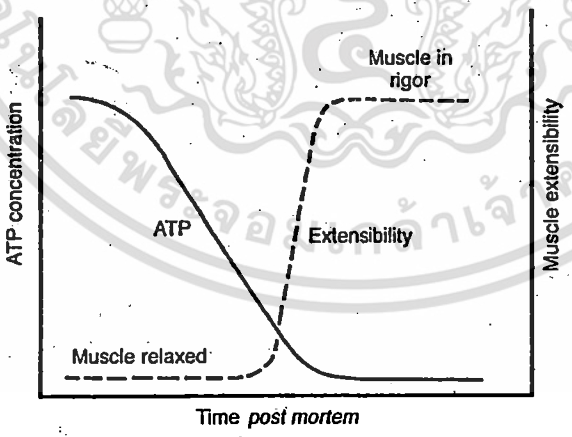
ปริมาณการเกิดกรดแลกติคจะสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ไกลโคเจน ดังภาพที่ 2 โดยเมื่อไกลโคเจนถูกใช้จนหมด ปริมาณกรดแลกติคจะสูงที่สุด ค่า pH ที่จุดนี้จะเป็นค่า pH ที่ต่ำที่สุด การเกิด rigor mortis จะเริ่มเมื่อระดับ ATP เหลืออยู่ต่ำประมาณ 5 mmol/kg. ซึ่งเป็นปริมาณของไกลโคเจนที่ต้องใช้ในการคลายตัวของกล้ามเนื้อ ดังภาพที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>ภาพที่ 2</u> ความสัมพันธ์ระหว่าง (a) ปริมาณไกลโคเจนที่ถูกใช้ (b) ปริมาณแลกเตทที่เกิดขึ้น และจุด ultimate pH ของกล้ามเนื้อสันนอกของโค

ที่มา : Warriss และคณะ (1984)



<u>ภาพที่ 3</u> ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของ ATP และจุดเริ่มต้นของการเกิด rigor mortis

ที่มา : Warriss, 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการเกิด rigor mortis ต่อความนุ่มของเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงหลังการเกิด rigor mortis เนื้อสัตว์ในสภาวะหดเกร็งตัวจะเหนียวมาก แต่เมื่อผ่านสภาวะหดเกร็งตัวอย่างสมบูรณ์แล้วเนื้อจะนุ่มขึ้น เนื่องจาก เส้นใยกล้ามเนื้อจะแตกสลายได้ง่าย

อัตราความนุ่ม

อัตราความนุ่มที่เกิดขึ้นจะมีความผันแปรในสัตว์แต่ละชนิด แต่จะเกิดได้เร็วในอุณหภูมิสูงประมาณ 10 °C ไก่ความนุ่มจะถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของความนุ่มสูงสุดเมื่อบ่มซากไว้ที่อุณหภูมิ 10 °C เพียง 8 ชั่วโมง ในขณะที่โค ใช้เวลา 10 วัน สุกรใช้เวลา 4.2 วัน

2. เอ็นไซม์

ความนุ่มที่เกิดขึ้นเกิดจากขบวนการตามธรรมชาติเมื่อเก็บเนื้อไว้ในห้องเย็น ความนุ่มที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอ็นไซม์ที่อยู่ในเนื้อนั่นเอง ซึ่งเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อมีดังนี้

1. Calpain

Calpains จะทำงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วย Ca^{2+} และ ทำปฏิกิริยาได้ดีในสภาพเป็นกลาง เอ็นไซม์ calpains จะมีอยู่ 2 รูป คือ m-calpain จะถูกกระตุ้นด้วย Ca^{2+} ปริมาณสูง (1.2 mM) และ u-calpain จะถูกกระตุ้นด้วย Ca^{2+} ปริมาณต่ำ (50-100 uM) เอ็นไซม์นี้จะอยู่ใน Z lines การทำงานของ calpain จะทำให้เกิดการแตกหักของ tropomyosin และ titin (connectin)

หลังจากสัตว์ตายแล้ว ATP ถูกใช้จนหมด ขบวนการ rigor mortis เกิดขึ้น ผนังของ sarcoplasmic reticulum และไมโตคอนเดรีย จะไม่สามารถเก็บ Ca^{2+} ไว้ได้ทำให้ ถูกปล่อยออกมาสู่ sarcoplasm และ ไหลไปยังส่วนของ myofibril (Jeacocke, 1993) การเพิ่มของ จะไปกระตุ้นการทำงานของ u-calpains ทำให้เกิดขบวนการ proteolysis ขึ้น ในระหว่าง pH 6.5-5.7 u-calpain จะถูกกระตุ้นให้ทำปฏิกิริยาเพิ่มจากประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์เป็น 97 เปอร์เซ็นต์ของปฏิกิริยาเริ่มต้น แต่เมื่อค่า pH เป็น 5.7u-calpain จะเสียความสามารถในการทำปฏิกิริยาถึง 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ pH 5.7 นี้ m-calpain จะสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนต่อไปได้

2. cathepsins

cathepsins จะพบใน lysosome ใน sarcoplasm จะถูกหลั่งออกมาหลังจากสัตว์ตายแล้วโดยจะสามารถย่อยสลาย troponin-T และ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันได้ แต่ว่าสภาวะที่เอ็นไซม์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำงานได้ดีนั้นต้องมี pH 5 ซึ่งจะไม่ปรากฏในสภาพปกติของเนื้อ ดังนั้นเอ็นไซม์ตัวนี้จึงไม่ค่อยมีผลต่อความนุ่มของเนื้อ

3. อุณหภูมิ

หลังจากสัตว์ตายระบบหมุนเวียนโลหิตจะหยุดลงทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกทำให้อุณหภูมิซากสูงขึ้นดังนั้นการลดอุณหภูมิซากมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเนื่องจากว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิซากในระหว่างการหดเกร็งตัวของกล้ามเนื้อจะมีอิทธิพลต่อความนุ่มของเนื้อด้วย ดังนั้นควรมีการบ่มซากไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะทำการบ่มซากไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 1 °c (Warriss, 2000) การลดอุณหภูมิซากเร็วเกินไปจะก่อให้เกิด cold shortening ซึ่งจะทำให้เนื้อเหนียว

การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้า

การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถเร่งขบวนการเกิด rigor mortis ทำให้การเก็บบ่มซากเพื่อเพิ่มความนุ่มของเนื้อใช้เวลาน้อยลง (Cause, 1973) การกระตุ้นซากอย่างรวดเร็วหลังสัตว์ตายของสัตว์จะช่วยเพิ่มการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยจะเร่งการสลายไกลโคเจนและ creatin phosphate ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะสมในกล้ามเนื้ออย่างมากทำให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็วเข้าสู่ rigor mortis เร็วขึ้น (Bendall, 1976) เนื่องจากว่าอุณหภูมิของซากยังสูงอยู่หลังจากถูกกระตุ้นจึงทำให้ sarcoplasmic reticulum นำ Ca^{2+} ที่ถูกปล่อยออกไปกลับเข้าไปเก็บไว้ได้กล้ามเนื้อจึงเข้าสู่ rigor mortis ในสภาพคลายตัว (relaxed state) จึงทำให้หลังจากเกิด rigor mortis แล้วกล้ามเนื้อจะไม่เกิด cold shorthening เนื่องจากได้รับความเย็นจากการบ่มซากซึ่งถ้าเนื้อเกิด cold shorthening จะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวเป็นเหตุให้มีความเหนียวมากขึ้น

การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าจะช่วยเพิ่มคุณภาพเนื้อโดยจะเพิ่มความนุ่มของเนื้อและทำให้สีและรสชาติของเนื้อดีขึ้นด้วย โดยความนุ่มที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการหดตัวอย่างรุนแรงของกล้ามเนื้อทำให้โครงสร้างของกล้ามเนื้อเกิดการแตกหักและอ่อนแอลง (Savell และคณะ, 1978) จากนั้นแคลเซี่ยมจะถูกหลั่งออกมาแล้วไปกระตุ้นการทำงานของ calpains โดยจะเกิดในช่วง pH และอุณหภูมิสูงซึ่งจะทำให้ขบวนการ proteolytic breakdown เกิดได้ดี ส่วนสีของเนื้อนั้นเนื้อที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจะมีความเข้มของแสง(lightness) มากขึ้นทำให้เนื้อมีสีสดใสเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การที่เนื้อสีสดใสขึ้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความเป็นกรดที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพเป็นสาเหตุให้ผิวของเนื้อสะท้อนแสงได้ดีขึ้น (Smith, 1985) จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองของ Janz และคณะ(2001) ใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากโคไบซันพบว่าค่าความเข้มของแสง (Lightness)สูงกว่าที่ไม่ถูกกระตุ้น ($P<0.01$) และยังมีผลต่อสีของเนื้อโดยมีผลต่อค่า Hue และ Chroma สูงกว่าด้วย ($P < 0.05$) ซึ่งค่าทั้งสองนี้แสดงความเข้มของสีแดง(cherry red) มากขึ้นเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

การกระตุ้นซากมีทำให้รสชาติของเนื้อดีขึ้นด้วย ดังผลการทดลองของ Mikami และคณะ (1993) พบว่าการกระตุ้นซากโคจะทำให้ เปปไทด์(peptides) และ กรดกลูตามิค เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้รสชาติของเนื้อดีขึ้น

รูปแบบการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้า

การกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้ามีการใช้หลายรูปแบบโดยแบ่งตามค่าแรงดันไฟฟ้า แบ่งได้ดังนี้

1. Low voltage

ระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะอยู่ในช่วง 20-100 โวทต์ กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 1 แอมแปร์ การกระตุ้นซากใช้เวลาไม่เกิน 20 วินาที โดยการกระตุ้นต้องทำทันทีหลังเอาเลือดออก เนื่องจากการกระตุ้นด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำนี้จะต้องอาศัยการกระตุ้นกล้ามเนื้อผ่านระบบประสาทที่ยังทำงานอยู่

2. High voltage

ระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตั้ง 500-1000 โวทต์ กระแสไฟฟ้า มากกว่า 5 แอมแปร์ ระยะเวลาการกระตุ้นใช้เวลาไม่เกิน 90 วินาที การกระตุ้นซากจะต้องทำภายในเวลา 60 นาทีหลังจากแทงคอเอาเลือดออก การกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงนี้เป็นการกระตุ้นกล้ามเนื้อโดยตรง

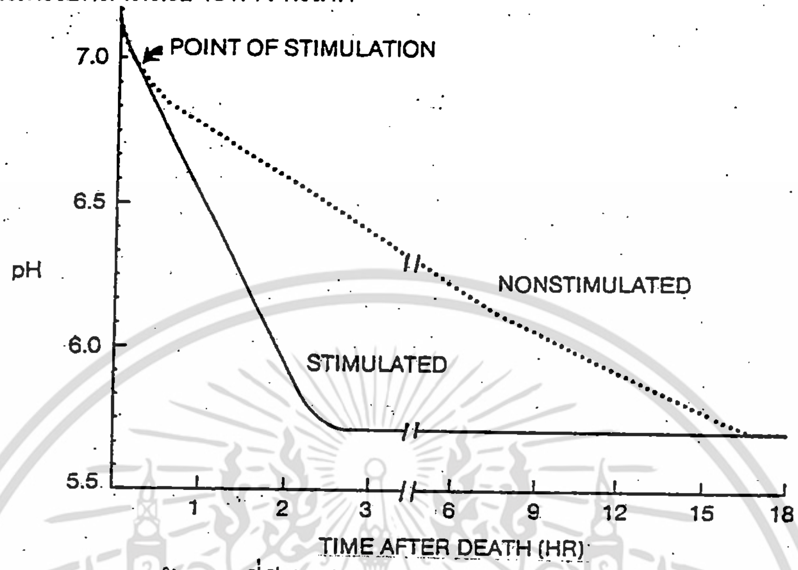
ผลการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีต่อค่า pH และอุณหภูมิซาก

1. ผลที่มีต่อค่า pH

ในสภาวะปกติ ค่า pH ของเนื้อจะเกิด rigor mortis จะใช้เวลา 16-18 ชั่วโมงในการแช่เย็นซากไว้ที่อุณหภูมิ 0-4°C ค่า pH จะประมาณ 5.7 ดังภาพที่ 4 ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงจะกระตุ้นการเกิด glycolysis และทำให้ pH ลดลงเร็วขึ้นทำให้เกิด rigor mortis ได้เร็วขึ้น Bendal และคณะ (1976) ทดลองใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากโคพบว่า ATP 50 เปอร์เซ็นต์จะถูกใช้หมดไปเมื่อค่า pH เป็น 6.0 และ 90 เปอร์เซ็นต์เมื่อค่า pH เข้าใกล้ 5.7 ภายใน 1 ชั่วโมงหลังกระตุ้นซากค่า pH จะลดลงเป็น 6.0 และเมื่อผ่านไป 2 ชั่วโมงครึ่ง ค่า pHจะเข้าใกล้ 5.7 และค่าอุณหภูมิซากที่ถูกกระตุ้นจะสูงกว่าที่ไม่ถูกกระตุ้น เป็น 36 °C และ 27 °C ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้เกิดจากขบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

glycolysis ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเร่งการบ่มซากให้เร็วขึ้น เนื่องจากเอ็นไซม์ที่จะทำการย่อยสลายเส้นใยกล้ามเนื้อจะทำงานได้ดี



ภาพที่ 4 ผลการกระตุ้นซากที่มีต่ออัตราการลดของ pH ของซากโค

ที่มา : Bendall, 1976

การกระตุ้นซากจะเร่งให้เกิด postmortem glcolysis (Den Hertog-Meischke และคณะ ,1997) โดยการสังเกตจากการลดลงของค่า pH ของกล้ามเนื้อ Semimembranosus(SM) ที่เวลา 45 นาทีและที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายโดยค่า pH ของซากที่ถูกกระตุ้นจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น($P<0.05$) ดังตารางที่ 1 ส่วนกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi (LD) นั้นค่า pH ของซากที่ถูกกระตุ้นเมื่อวัดที่ 45 นาทีหลังสัตว์ตายเท่านั้นที่ต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น ($P<0.05$) ซึ่งการที่ผลของค่า pH ระหว่างกล้ามเนื้อ SM และ LD ที่แตกต่างกันนั้น Devine และคณะ(1984) อธิบายว่าเส้นใยกล้ามเนื้อของ LD จะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด slow-twitch-oxidative-glycolytic มากกว่ากล้ามเนื้อ SM ในขณะที่กล้ามเนื้อ SM จะมีเส้นใยชนิด fast-twitch-oxidative-glycolytic มากกว่า LD

Rhee และ Kim (2001) ทดลองกระตุ้นซากโคพื้นเมืองเกาหลีด้วยไฟฟ้าแรงดันต่ำ (50 โวทย์) ร่วมกับการเก็บเนื้อไว้ในอุณหภูมิต่างกันคือ 2, 16, 30 °c เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 2 °c จนครบ 48 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าการกระตุ้นซากและอุณหภูมิ 30 °c จะกระตุ้นอัตราการสลายไกลโคเจนและกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ *u*-calpain ซึ่งสอดคล้องกับ Whipple และคณะ (1990) ซึ่งรายงานว่าอุณหภูมิของเนื้อที่สูงในขณะที่ค่า pH ต่ำจะช่วยให้ Ca^{2+} ถูกปล่อยจาก sarcoplasmic reticulum ได้ดีขึ้นและการทำปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ calpain จะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสื่อมสภาพ(Denaturation) ของ myosin จะเกิดเมื่อซากอยู่ในสภาวะ pH ต่ำ อุณหภูมิสูง ดังการทดลองของ Den Hertog-Meischke และคณะ (1997) พบว่าการกระตุ้นซากโคด้วยกระแสไฟฟ้าค่า pH จะลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ myosin เสื่อมสภาพโดยดูจากค่า $Mg^{2+}Ca^{2+}$-enhanced myofibrillar ATPase activity ของซากที่ถูกกระตุ้นจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น ($P<0.05$) ซึ่งค่านี้ถ้าต่ำแสดงถึงการเสื่อมสลายของ myofibrillar protein สูง

ค่าเฉลี่ยของ pH ที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายของซากที่ถูกกระตุ้นจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น คือ pH 6.01 กับ 6.37 ตามลำดับ (Ho และคณะ, 1997) โดยค่า pH ที่ 3 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายของซากที่ถูกกระตุ้นจะอยู่ในช่วง pH 5.9-6.3 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนได้สูงสุด (Smulders และคณะ, 1990)

ตารางที่ 1 การกระตุ้นซากโคด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อค่า pH และอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพก(Semimembranosus)

ลักษณะที่สังเกต	กล้ามเนื้อสันนอก		กล้ามเนื้อสะโพก	
	ES (n=8)	NS (n=8)	ES (n=8)	NS (n=8)
PH				
45 นาที	6.66 [a]	6.82 [b]	6.33 [a]	6.67 [b]
3 ชั่วโมง	6.25	6.29	5.67 [a]	6.41 [b]
1 วัน	5.61	5.61	5.48	5.49
อุณภูมิ				
45 นาที	39.3	39.7	38.5	38.2
3 ชั่วโมง	29.7	30.0	32.4	32.9
1 วัน	2.7	2.8	9.8	9.7

[a,b] ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา : Den Hertog-Meischke และคณะ (1997)

2. อุณหภูมิของซาก

Bowles และคณะ(1983) พบว่าการกระตุ้นซากไม่มีผลต่อการลดของอุณหภูมิซาก สอดคล้องกับผลการทดลองของ Den Hertog-Meischke และคณะ (1997) การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของซาก ดังตารางที่ 1 ซึ่งทั้งค่าอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสันนอกและกล้ามเนื้อสะโพกของซากที่ถูกกระตุ้นและซากที่ไม่ถูกกระตุ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบียบวิธีวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เนื้อจากสัตว์ทดลอง

การวิจัยใช้โคลูกผสมพันธุ์อเมริกันบราห์มันอายุประมาณ 2 ปี โดยผ่านการขุนด้วยอาหารข้นน้ำหนักเฉลี่ยเข้าฆ่าประมาณ 500 กิโลกรัม จำนวน 15 ตัว โดยก่อนเข้าฆ่ามีการอดอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กินน้ำตามปกติ) จากนั้นต้อนเข้าซองฆ่าตามแบบมาตรฐานสากล โดยมีการยิงสลบก่อนด้วยปืนยิงสลบแล้วจึงแทงคอเอาเลือดออก ตัดหัว ลอกหนัง ตัดแข้ง คว้านรอบทวารหนัก ผ่ากระดูกอก และกระดูกเชิงกราน เอาอวัยวะภายในออก ผ่าซากออกเป็นสองซีก แล้วซีกหนึ่งทำการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้า ส่วนซากอีกซีกไม่มีการกระตุ้นซาก แช่เย็นซากทั้งสองซีกไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสทำการวัด pH และอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

   2.1 pH meter

   2.2 Temperature meter

วิธีการ

1. วัดค่า pH ของเนื้อ

โดยใช้ pH meter เริ่มทำการวัดที่ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 24 หลังสัตว์ตาย วิธีการวัดนั้นทำการแทง probe ของ pH meter (เป็น probe สำหรับวัดเนื้อโดยเฉพาะ)

เข้าไปบริเวณตรงกลางของกล้ามเนื้อสันนอกที่บริเวณกระดูกซี่โครงซี่ที่ 13 เมื่อวัดครั้งต่อไปก็แทงบริเวณใหม่แต่ให้ใกล้บริเวณเดิมจนครบทุกช่วงเวลา

2. วัดอุณหภูมิของเนื้อ

ทำเช่นดียวกับการวัด pH เพียงแต่ใช้ probe ของ Temperature meter สำหรับวัดอุณหภูมิของเนื้อโดยเฉพาะ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 5.0
2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 5.0 และ SAS version 6.04 ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและค่าความแปรปรวนของข้อมูลวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะที่ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ข้อมูลให้อยู่ในรูปของ Least sqaure means โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS version 6.04, Procedure General Linear Model ของแต่ละลักษณะ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ด้วยการใช้ PDIFF สำหรับโมเดลทางสถิติที่ใช้คือ

$$Y_{ij} = \mu + A_i + E_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} คือค่าสังเกตใดๆของลักษณะที่ทำการวิเคราะห์

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมที่เกิดขึ้นกับทุกๆค่าสังเกต

A_i คือ อิทธิพลของการกระตุ้นซากที่ i (i = 1, 2)

E_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนที่วัดไม่ได้

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือนตุลาคม 2543–มีนาคม 2544					
	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.
1.เตรียมการทดลอง	←→					
2.ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล		←→	←→	←→		
3.วิเคราะห์ข้อมูล					←→	
4.จัดทำรายงานผลการทดลอง						←→

สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

1.สถาบันวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. ภาควิชาภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้า 400 โวทต์ นาน 3 นาที โดยทำหลังจากสัตว์ตายภายในเวลา 60 นาที ผลการทดลองเป็นดังนี้

1. ผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

การกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้ามีผลต่อทำให้ค่า pH ของซากที่ถูกกระตุ้นลดต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น($P<0.01$) เมื่อทำการวัดที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมงหลังสัตว์โดย pH เป็น (6.29,6.82),(5.69,6.41),(5.62,6.31),(5.60,6.23),(5.68,6.13) และ (5.46,5.86) ตามลำดับ และชั่วโมงที่ 8 และ 10 ค่า pH ของซากที่ถูกกระตุ้นจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้นเช่นกัน($P<0.05$) โดย pH เป็น (5.63,5.82), (5.55, 5.66) ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย pH เป็น 5.56 และ 5.52 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ho และคณะ (1997) ซึ่งพบว่าค่า pH ของซากที่ถูกกระตุ้นจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้นเมื่อวัด pH หลังสัตว์ตาย 3 ชั่วโมงโดยจะมีค่า pH เป็น 6.01 และ 6.37 ตามลำดับ ค่า pH ของซากที่ถูกกระตุ้นเมื่อวัดที่เวลา 3 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายที่อยู่ในช่วง 5.9-6.3 ถือว่าเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนได้สูงสุด (Smulders และคณะ, 1990)

ในสภาวะปกติ ค่า pH ของเนื้อจะเกิด rigor mortis จะใช้เวลา 16-18 ชั่วโมงในการบ่มซากในห้องเย็นอุณหภูมิ 0-4 °C ค่า pH ประมาณ 5.7 ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงจะกระตุ้นการเกิดไกลโคไลซีส และทำให้ pH ลดลงเร็วขึ้นทำให้เกิด rigor mortis ได้เร็วขึ้น Bendall และคณะ (1976) พบว่าการกระตุ้นซากทำให้ ATP 50 เปอร์เซ็นต์ถูกใช้ไปเมื่อค่า pH ลดลงถึง 6.0 ภายใน 1 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย และถูกใช้หมดไป 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่า pH เข้าใกล้ 5.7 ภายใน 2 ชั่วโมงครึ่ง และค่าอุณหภูมิซากยังสูงอยู่คือ 36 °C และ 27 °C ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิที่ยังคงสูงอยู่ในขณะที่ pH ต่ำจะช่วยทำให้เนื้อนุ่มเร็วขึ้นโดยลดระยะเวลาในการบ่มซาก

Dransfield (1994) แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นซากแล้วบ่มซากไว้ในห้องเย็นจะช่วยเร่งขบวนการไกลโคไลซีสโดยจะเกิดมากกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้นถึง 6 เท่า ทำให้ pH ลดลงถึง 5.5 ภายในเวลา 2 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ในขณะที่ปกติจะใช้เวลา 20 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่ pH ต่ำแต่อุณหภูมิซากยังสูงอยู่นี้จะไปกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ calpains ทำให้เกิดขบวนการ proteolysis ได้ดีขึ้นจะช่วยเร่งให้เนื้อนุ่มได้เร็วขึ้น ภายในเวลา 24-48 ชั่วโมง โดยไม่ต้องเสียเวลาในการบ่มซากต่อไปอีกเพราะว่าการบ่มซากต่อไปก็มีผลทำให้ความนุ่มของเนื้อเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Furguson และคณะ (2000) พบว่าการกระตุ้นซากแล้วบ่มซากไว้ 1 วันเปรียบเทียบกับที่บ่มซากไว้ 30 วัน ผลการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงไม่มากนัก

ตารางที่ 2 ผลการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อค่า pH และอุณหภูมิของซาก

ชั่วโมงที่	ค่า pH		อุณหภูมิซาก	
	กระตุ้นซาก	ไม่กระตุ้นซาก	กระตุ้นซาก	ไม่กระตุ้นซาก
1	6.29±0.09 [a]	6.82±0.10 [b]	38.83±0.48	38.80±0.48
2	5.69±0.10 [a]	6.41±0.10 [b]	34.02±0.75	33.72±0.75
3	5.62±0.06 [a]	6.31±0.06 [b]	29.23±0.73	29.74±0.73
4	5.60±0.08 [a]	6.23±0.08 [b]	26.44±0.79	27.10±0.79
5	5.68±0.07 [a]	6.13±0.07 [b]	22.97±0.87	23.72±0.87
6	5.66±0.07 [a]	5.94±0.07 [b]	21.76±0.56	21.91±0.56
8	5.63±0.07 [c]	5.82±0.07 [d]	19.07±0.44	19.39±0.44
10	5.55±0.04 [c]	5.66±0.04 [c]	16.88±0.47	17.02±0.47
24	5.56±0.03	5.52±0.03	9.45±0.63	9.58±0.63

[a,b] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

[c,d] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การกระตุ้นซากช่วยเร่งการสลายตัวของโปรตีน (protein degradation) และลดระยะเวลาในการบ่มซากให้น้อยลง(Dransfield และคณะ, 1992 และ Ho และคณะ, 1996) ซึ่งอธิบายได้ว่าการกระตุ้นซากช่วยเร่งการเกิด rigor mortis ทำให้ calpain 1 สามารถเข้าย่อยสลาย cytoskeletal protein ได้ดีในขณะอุณหภูมิซากยังสูงอยู่

Furguson และคณะ (2000) พบว่าการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าจะลดปฏิกิริยาของ Calpastatin ลง(P<0.001) ทำให้ขบวนการย่อยสลายโปรตีนเกิดได้ดีขึ้นมีผลทำให้เนื้อนุ่มขึ้นโดยทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) ลดลง (P<0.001) และอิทธิพลร่วมระหว่างการกระตุ้นซากกับการบ่มซากมีค่า least square means ของค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่า(P<0.05) อิทธิพลร่วมระหว่างซากที่ไม่ถูกกระตุ้นกับการบ่มซาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2. **ผลต่ออุณหภูมิ**

ผลการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าไม่มีผลทำให้อุณหภูมิของซากลดลงกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น ดังผลการทดลองตารางที่ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของซากที่ถูกกระตุ้นและซากที่ไม่ถูกกระตุ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอุณหภูมิของซากที่ถูกกระตุ้นและไม่ถูกกระตุ้นเมื่อวัดที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย เป็นดังนี้ (38.83, 38.80), (34.02, 33.72), (29.23, 29.74), (26.44, 27.10), (22.97, 23.72), (21.76, 21.91), (19.07, 19.39), (16.88, 17.02) และ (9.45, 9.58) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 2) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Bowles และคณะ(1983) และ Den Hertog Meischke และคณะ (1997) ที่พบว่าการกระตุ้นซากไม่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของซาก

สรุปผลการทดลอง

การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้ามีผลทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็วทำให้เข้าใกล้จุด pH ต่ำสุด ภายในเวลาเพียง 2 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย โดยค่า pH เป็น 5.69 ในขณะที่ซากที่ไม่ถูกกระตุ้นค่า pH เป็น 6.41 ซึ่งยังสูงอยู่ และซากที่ไม่ถูกกระตุ้นจะใช้เวลาบ่มซากนานถึง 10 ชั่วโมงกว่าที่ pH จะเข้าใกล้จุดสุดท้าย โดยมี pH 5.66 แต่ยังสูงกว่าซากที่ถูกกระตุ้นที่มีค่า pH 5.55 ($P < 0.05$) ซึ่งที่ pH 5.5 นี้ถือว่าเป็นจุดสุดท้าย ในขณะที่ซากที่ไม่ถูกกระตุ้นค่า pH จุดสุดท้ายจะเกิดหลังสัตว์ตายแล้ว 24 ชั่วโมง ค่า pH เป็น 5.52 ส่วนการลดลงของอุณหภูมิซากนั้นการกระตุ้นซากไม่มีผลต่อการลดของอุณหภูมิซาก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54625

เอกสารอ้างอิง

Bendall, J. R. 1976 Electrical stimulation of rabbit and lamb carcasses. *Cited by* Warriss, P.D. 2000. Meat Science : an introductory text. CAB International. Wallingford. 309 p.

Bowles, Axe J. E.,C. L. Kesther, M. E. Dikemen, M.C. Hunt, D. H. Kropf. and G.A. Milliken. 1983. Effect of Beef Carcass Electrical Stimulation, Hot-Boning and Aging on Unfrozen and Frozen *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* steaks. J. food Sci. 48 : 332-336.

Carse, W. A. 1973. *Cited by* Waniss P.D. 2000. Meat Science : an introductory text. CAB International. Wallingford. 309 p.

Cottin, P., J. L. Azanza, P. Vidalenxe, A. Ducasting, C. Valin and A. Ouali. 1981. *Cited by* Dransfield E. 1993. Modeling Post-mortem Tenderisation in Conditioning. Meat Sci. 34:217-234.

Den Hertog-Meischke, M.J.A., F.J.M. Smulders, J.G. van Logtestijn, and F. van Knapen. 1997. The Effect of Electrical Stimulation on the Water – Holding Capacity and Protein Denaturation of two Bovine Muscles. J. Anim. Sci. 75:118-124.

Devine, C.E., S. Ellery. and S. Averill. 1984. Responses of different types of ox muscle to electrical stimulation. Meat Sci.10:35.

Dransfield, E., D.J. Etherington and M. A. J. Taylor. 1992. Modeling post-mortem tenderisation-II :Enzyme changes during storage of electrically stimulated and non – stimulated beef. Meat Sci.31:75.

Dransfield, E. 1993. Modeling Post-mortem Tenderisation-IV:Role of Calpains and Calpastatin in conditioning. Meat Sci. 34:217-234.

Ferguson D.M., J. Shaun-Tzong, H. Hearnshaw, R.R. Samantha, and J. M. Thompson. Effect of electrical stimulation on protease activity and tenderness of M.longissimus from cattle with different proportions of *Bos indicus* content.. Meat Sci. 55: 265-272.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ultrastructure changes in bovine Longissimus muscle. J. Anim. Sci.74:1563.

Ho, C.Y., M.H. Stromer, G. Rouse and R.M. Robos.1997. Effects of Electrical Stimulation and Postmortem storage on changes in Titin, Nebuhin, Desmin, Troponin-T and Mascle ultrastructure. In *Bos indicus* Crossbred cattle. J. Anim. Sci. 75:366-376.

Janz. J.A., J.L. Aalhus and M.A. Price. Blast chilling and low voltage electrical stimulation influences on bison (*Bison bison bison*) meat Quality. Meat Sci. 57:403-411

Jeacocke, R.E. 1993. The concentration of free magnesium and free calcium ions both increase in skeletal muscle. Fibres entering rigor mortis. Meat Sci.35:27-45.

Mikami., M., M. Sekikawa and H. Miura. 1993. Peptide and free amino acid content of electrically stimulated beef. *Cited by Cited by* Warriss, P.D. 2000. Meat Science : an introductory text. CAB International. Wallingford. 309 p.

Rhee, M.S. and B.C. Kim. 2001. Effect of low voltage electrical stimulation and temperature conditioning on postmortem changes in glycolysis and calpains activities of Korean native cattle (Hanwoo). Meat Sci.58:231-237.

Savell, J.W.,G.C. Smith and Z.L.Carpenter. 1978. Beef Quality and palatability as affected by electrical stimulation and cooler aging. J. Food Sci. 43:1666-1668.

Smulders, F.J. M., B.B. Marsh, D.R. Swartz, R.L. Russell, and M.E. Hoenecke. 1990 Beef tenderness and sarcomere length. Meat Sci.28:349.

Smith.G.C. 1985. Effects of electrical stimulation on meat quality, color, grade, heat ring and palatability. In A.M. Pearson G.T.R. Dutson, Advances in meat research (vol.1) cpp.121-158. Westport, CT:AVI Publishing Company,Inc.

Warriss, P.D., S.C. Kestin, S.N. Brown and L.J. Wilkins. 1984. The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting Meat Sci. 10:53-68.

Warriss, P.D. 2000. Meat Science: an introductory text. CAB International. Wallingford. 309 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักมีชีวิตและน้ำหนักซากของโคทดลอง

ตัวที่	อายุ	น้ำหนักมีชีวิต	น้ำหนักซาก
1	2	430	219
2	2	582	340
3	1.8	527	326
4	1.5	502	301
5	3	713	422
6	4	595	353
7	2	582	345
8	1.2	534	321
9	1.8	540	341
10	4	485	308
11	2	553	325
12	2	444	270
13	1.8	487	293
14	2	476	312
15	2	653	385

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 4</u> ผลของอายุและน้ำหนักมีชีวิตที่มีต่อค่า pH

ชั่วโมงที่	อายุ			น้ำหนักมีชีวิต		
	1*	2*	3*	1**	2**	3**
1	6.59±0.16	6.36±0.08	6.71±0.14	6.80±0.17	6.51±0.07	6.35±0.13
2	6.05±0.17	6.12±0.08	5.97±0.14	6.20±0.17	5.99±0.08	5.95±0.14
3	6.06±0.10	5.95±0.04	5.89±0.08	5.92±0.10	5.90±0.05	6.08±0.08
4	6.03±0.14	5.87±0.07	5.85±0.11	5.95±0.14	5.89±0.07	5.91±0.11
5	6.12±0.13	5.86±0.06	5.73±0.10	5.95±0.13	5.79±0.06	5.97±0.11
6	5.58±0.21	5.77±0.10	5.62±0.17	5.59±0.21	5.58±0.10	5.81±0.17
8	5.91±0.12	5.72±0.06	5.55±0.10	5.63±0.11	5.67±0.06	5.87±0.10
10	5.72±0.07	5.61±0.03	5.49±0.06	5.58±0.07	5.59±0.03	5.65±0.06
24	5.58±0.06	5.56±0.03	5.49±0.05	5.50±0.06	5.51±0.03	5.61±0.05

* อายุ 1 หมายถึง อายุ 1.2-1.8 ปี
2 หมายถึง อายุ 2 ปี
3 หมายถึง อายุ 3-4 ปี

** 1 หมายถึง น้ำหนัก 430-487 กก.
2 หมายถึง น้ำหนัก 502-553 กก.
3 หมายถึง น้ำหนัก 582-713 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลของอายุและน้ำหนักมีชีวิตที่มีต่ออุณหภูมิซาก

ชั่วโมงที่	อายุ			น้ำหนักมีชีวิต		
	1	2	3	1	2	3
1	38.80±0.83	38.90±0.40	38.74±0.69	37.38±0.83	39.74±0.39	39.32±0.69
2	33.80±1.29	34.91±0.62	32.89±1.07	31.31±1.29^{a}	35.84±0.62^{b}	34.47±1.07^{ab}
3	27.24±1.25	30.22±0.60	31.00±1.04	27.14±1.25^{a}	32.10±0.60^{b}	29.23±1.04^{a}
4	24.39±1.36	27.14±0.65	28.78±1.13	24.48±1.36^{c}	28.75±0.65^{d}	27.09±1.13^{cd}
5	21.63±1.51	23.32±0.72	25.10±1.25	20.33±1.51^{a}	25.39±0.72^{b}	24.33±1.25^{ab}
6	20.53±0.96	21.90±0.46	23.07±0.80	19.43±0.96^{a}	23.05±0.46^{b}	23.02±0.80^{b}
8	18.68±0.75	19.12±0.36	19.89±0.63	17.14±0.75^{a}	20.05±0.36^{b}	20.51±0.63^{b}
10	16.53±0.8	16.81±0.38	17.52±0.67	14.94±0.81^{a}	17.87±0.39^{b}	18.04±0.67^{b}
24	9.28±1.09^{cd}	8.30±0.52^{c}	10.96±0.91^{d}	7.96±1.09^{c}	10.86±0.52^{d}	9.72±0.91^{c}

^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

^{c,d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* อายุ 1 หมายถึง อายุ 1.2-1.8 ปี
2 หมายถึง อายุ 2 ปี
3 หมายถึง อายุ 3-4 ปี

** 1 หมายถึง น้ำหนัก 430-487 กก.
2 หมายถึง น้ำหนัก 502-553 กก.
3 หมายถึง น้ำหนัก 582-713 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้