ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์โดยอาศัยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น

Study on optimum factors for measurement sarcomere length

by laser diffraction method

จัดทำโดย

นางสาววารุณี ขัดสีใส รหัสนักศึกษา 44040155

นางสาวสุรางค์รัตน์ ถือทอง รหัสนักศึกษา 44040167

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

....23 / 10 / 48... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2402

ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์โดยอาศัยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น

Study on optimum factors for measurement sarcomere length by laser diffraction method

T096787

โดย

นางสาววารุณี ขัดสีใส รหัสนักศึกษา 44040155

นางสาวสุรางค์รัตน์ ถือทอง รหัสนักศึกษา 44040167

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศาสตร์บัณฑิต

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

ปพ.
วA86ศ
25A4

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 96787
วัน.เดือน.ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาววารุณี ขัดสีใส, นางสาวสุรางค์รัตน์ ถือทอง. 2547: ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์โดยอาศัยวิธีการLaser diffraction (Study on optimum factors for measurement sarcomere length by laser diffraction method)
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 43 หน้า

บทคัดย่อ

ช่วงหน่วยหดตัวพื้นฐานซาร์โคเมียร์ (sarcomere) เป็นช่วงของความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยนับจากเส้นแซ็สหนึ่งไปอีกเส้นแซ็สหนึ่ง ซึ่งมีบทบาทสำคัญมากต่อการหดตัว (contraction) และการคลายตัวหรือการยืดตัว (relaxation) ของกล้ามเนื้อมีผลทำให้ร่างกายของสัตว์สามารถเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวได้

ในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น (Laser Diffraction) จะอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของลำแสงเลเซอร์ที่เกิดจากการตกกระทบลงบนชิ้นเนื้อ ซึ่งอาศัยความสามารถในการส่องผ่านของแสงเลเซอร์และหลักการเลี้ยวเบนที่ไปทำให้เกิดดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นขึ้น ทำให้สามารถวัดระยะซาร์โคเมียร์ในเซลล์เส้นใยกล้ามเนื้อได้ง่าย โดยทำการศึกษาศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อวัว หมูและไก่ ส่วนต่างๆ พบว่า การตรึงตัวอย่างในสารเคมีมีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ โดยสามารถรักษาสภาพของเซลล์ให้ใกล้เคียงกับลักษณะเดิม จึงเหมาะสมที่จะใช้ตัวอย่างที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมีมากกว่าตัวอย่างเนื้อสด ระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากจะมีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อหมูและเนื้อไก่ แต่ไม่มีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อวัว เนื่องจากการจัดเรียงตัวของเซลล์ที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ส่วนต่างๆจะมีค่าที่แตกต่างกัน รวมทั้งวิธีที่ใช้ในการวัดก็มีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ด้วย ปัจจัยต่างๆ เช่น อายุ พันธุ์ การเก็บรักษาชิ้นเนื้อหลังการฆ่า ความนุ่ม จำนวนตัวอย่างที่จะทำการศึกษาซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ทั้งสิ้น จึงควรควบคุมปัจจัยต่างๆเหล่านี้ในระหว่างทำการทดลอง เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

วารุณี ขัดสีใส สุรางค์รัตน์ ถือทอง	.....	28 มิ.ย 48
ลายมือนักศึกษา	**ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา**	**วัน/เดือน/ปี**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์โดยอาศัยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ และความคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยแก้ไขรายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้เพื่อให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ดร.บุญเทียม พันธุ์เพ็ง และอาจารย์สุรชาติ กมลดิลก ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำปัญหาพิเศษ ขอขอบพระคุณ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม ซึ่งเป็นอาจารย์คณะกรรมการปัญหาพิเศษ ที่ช่วยแนะนำ ให้คำปรึกษา และแก้ไขข้อผิดพลาดในการทดลองให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ในการจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้คำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆและเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

นางสาววารุณี ขัดสีใส
นางสาวสุรางค์รัตน์ ถือทอง
19 มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
2. วารสารปริทรรศน์	3
2.1 เนื้อสัตว์และส่วนประกอบของกล้ามเนื้อ	3
2.1.1. ที่มาของเนื้อสัตว์	2
2.1.2. เนื้อสัตว์และส่วนประกอบ	3
- เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน	3
- โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน	4
- เนื้อเยื่อไขมัน	4
- เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ	5
2.2 เลเซอร์	16
2.2.1. คุณสมบัติของเลเซอร์	16
2.2.2. องค์ประกอบของเลเซอร์	17
2.2.3. ชนิดของเลเซอร์	19
2.3 การเลี้ยวเบนของแสงที่ผ่านช่องแคบเดี่ยว	23
2.4 กล้องจุลทรรศน์	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. วัตถุดิบ อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง	28
3.1 วัตถุดิบ	28
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี	28
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	28
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	33
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ที่มีความยาวของตัวกล้อง(body tube) 160 มิลลิเมตร	24
4.1 ค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยของเนื้อวัว หมูและไก่ ส่วนสะโพกที่ผ่านการตรึงและไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	34
4.2 ค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยของเนื้อวัว หมูและไก่ ส่วนสะโพกที่ใช้ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากที่ระยะต่างๆกัน	35
4.3 เปรียบเทียบค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยของเนื้อสัตว์ส่วนต่างๆ จากสัตว์ต่างชนิดกัน	36
4.4 เปรียบเทียบค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยที่ได้จากการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์	38
4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงกล้ามเนื้อโครงร่างในระดับต่างๆ	5
2.2	แสดงเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber cell)	7
2.3	ภาพถ่ายหน้าตัดของเส้นใยกล้ามเนื้อโครงร่างของสุกรแสดงรูปร่างหลายเหลี่ยมและนิวเคลียสที่อยู่บริเวณผิวของเส้นใย	8
2.4	แสดงซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมและท่อทีใน 1 ซาร์โคเมียร์	10
2.5	แสดงเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยฝอย	10
2.6	แสดงภาพถ่ายกำลังขยาย 940 เท่าของเส้นใยกล้ามเนื้อสันในกระต่ายโดยกล้องจุลทรรศน์ phase contrast	11
2.7	แสดงภาพถ่ายกำลังขยาย 150 เท่าของเส้นใยกล้ามเนื้อสันในกระต่ายแสดงลายโดยตลอดเส้นใยย่อยและมองเห็นเส้นใยย่อยเป็นเส้นใยละเอียด	11
2.8	แสดงเส้นใยย่อย (myofibril) และซาร์โคเมียร์ (sarcomere)	12
2.9	แสดงอิเล็คตรอนไมโครกราฟของกล้ามเนื้อกระต่าย	12
2.10	แสดงโครงสร้างของเส้นใยฝอยชนิดหนาและบางในซาร์โคเมียร์ โดยตัดตัวอย่างกล้ามเนื้อตามยาวและตามขวางตรงตำแหน่งเอชโซน แถบเอและแถบไอ	13
2.11	แสดงเส้นใยฝอยไมโอซิน	14
2.12	แสดงเส้นใยฝอยชนิดบางหรือแอคติน	15
2.13	แสดงเลเซอร์ก๊าซแบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์	20
2.14	ลักษณะการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer diffraction)	23
3.1	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	30
4.1	แสดงดิฟเฟรคชั่นแพทเทิ่นที่เกิดขึ้นจากการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ของเนื้อวัว หมูและไกตามลำดับ	33
4.2	แสดงโครงร่างเส้นใยกล้ามเนื้อย่อยที่กำลังขยาย 400 เท่าในเนื้อที่ผ่านและไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) เป็นช่วงของความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยซึ่งมีบทบาทสำคัญมากต่อการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อสัตว์ มีผลทำให้ร่างกายของสัตว์สามารถเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ได้ วิธีการวัดความยาวซาร์โคเมียร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์เชียริดอนไซส์อนาไลเซอร์ (shearicon size analyzer method) และวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น (laser diffraction)เนื่องจากเลเซอร์มีคุณสมบัติในการให้แสงเลเซอร์ช่วงคลื่นเดี่ยวซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความบริสุทธิ์ของแสงมาก เป็นลำแสงขนาน ส่องได้ในระยะทางไกลโดยไม่มีการสูญเสียความเข้มแสงเนื่องจาก โครงสร้างของกล้ามเนื้อสัตว์ประกอบด้วยเซลล์เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยที่มีขนาดเล็กและวางตัวขนานกันตามแนวยาว ระยะห่างระหว่างเส้นแซ็สภายในเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแต่ละช่วงจะมีลักษณะคล้ายกับช่องเดี่ยว(single slit) ในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์จะอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของลำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบลงบนชิ้นเนื้อ ซึ่งความสามารถในการส่องผ่านของแสงเลเซอร์และหลักการเลี้ยวเบนจะทำให้เกิดดิฟแฟรคชั่นแพทเทิน (diffraction pattern) จึงสามารถวัดความยาวซาร์โคเมียร์ในเซลล์เส้นใยกล้ามเนื้อฝอยได้สะดวก รวดเร็วและง่ายต่อการศึกษา

ดังนั้น จึงควรทำการศึกษาถึง ปัจจัยที่มีผลต่อการวัดค่าความยาวของซาร์โคเมียร์ โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น โดยผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษานี้คือ ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการวัดความยาวของซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น เช่น ผลของการตรึงตัวอย่างในสารเคมี ระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากรับภาพเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการเตรียมตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดและแนวทางในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ของเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น สุกร ไก่ เปรียบเทียบกับเนื้อวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการตรึงตัวอย่างในสารเคมีต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์
2. เพื่อศึกษาผลของกำลังของเลเซอร์ที่มีต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์
3. เพื่อศึกษาผลของระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากที่มีต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์
4. เพื่อเปรียบเทียบความยาวของซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ชนิดและส่วนต่างๆ
5. เพื่อเปรียบเทียบค่าซาร์โคเมียร์ที่ได้จากการวัดด้วยเลเซอร์กับการใช้วิธีการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (light microscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 เนื้อสัตว์และส่วนประกอบของกล้ามเนื้อ (Meat and muscle companents)

2.1.1. ที่มาของเนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์(meat) หมายถึงกล้ามเนื้อ(muscle) โดยเฉพาะจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยเป็นส่วนของกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีเกิดขึ้นภายหลังจากสัตว์ตายแล้ว เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อของสัตว์บางชนิดไม่รวมถึงคำว่า เนื้อสัตว์ด้วย เช่น เนื้อปลาประเภทต่างๆ คำว่ากล้ามเนื้อและเนื้อสัตว์สามารถใช้แทนที่ซึ่งกันและกันได้ โดยกรณีที่กล่าวถึงกล้ามเนื้อจะเป็นช่วงที่เนื้อสัตว์ยังมีชีวิตและมีบทบาทในการทำงานที่อยู่ในตัวสัตว์ แต่ถ้ากล่าวถึงเนื้อสัตว์จะหมายถึงกล้ามเนื้อที่ได้จากสัตว์ภายหลังจากที่สัตว์ตายแล้ว เช่น เนื้อจากโค กระบือ สุกร แพะ แกะ ไก่ และอื่นๆ

2.1.2. เนื้อสัตว์และส่วนประกอบ สัตว์โดยทั่วไปมีกล้ามเนื้อที่ห่อหุ้มโครงกระดูกสัตว์ หรือกล้ามเนื้อโครงร่างอยู่ประมาณร้อยละ 35-65 ของน้ำหนักซากสด กล้ามเนื้อโครงร่างส่วนใหญ่อยู่ติดกระดูกโดยตรงแต่มีบทบาทบางส่วนติดอยู่กับเส้นเอ็น (tendon) กระดูกอ่อน(cartilage) และหนัง ส่วนที่มองเห็นเป็นอวัยวะส่วนต่างๆของสัตว์ เช่น ขา สะโพก ไหล่ จะประกอบด้วยกลุ่มของกล้ามเนื้อโครงร่างหลายกลุ่มรวมกันโดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน(connective tissue) เป็นตัวห่อหุ้มและยึดประสาททำให้กล้ามเนื้อโครงร่างคงรูปร่างเป็นอวัยวะส่วนต่างๆ อยู่ได้

2.1.2.1 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีกระจายอยู่ทั่วไปในทุกส่วนของกล้ามเนื้อสัตว์ ทำหน้าที่ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อ(muscle fiber bundle) และเส้นใยกล้ามเนื้อ(muscle fiber) ให้อยู่รวมกันและเชื่อมกล้ามเนื้อให้ติดอยู่กับกระดูก ลักษณะของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบทั่วๆไปจะมีเซลล์จำนวน 2-3 เซล และมีสารประกอบภายในเซลอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งส่วนที่เป็นสารประกอบภายในเซลนี้จะมีลักษณะตั้งแต่นิ่มหยุ่น ๆ เหมือนเจลลี่ไปจนถึงแข็งเป็นก้อนเส้นใยแข็ง(fibrous mass)

ก. เอนโดไมเซียม (endomysium) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบและห่อหุ้มเส้นใยกล้ามเนื้อ ในชั้นของเอนโดไมเซียมจะมีเส้นเลือดฝอยอยู่เพื่อทำหน้าที่ส่งออกออกซิเจนสู่เซลของกล้ามเนื้อ โดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบางส่วนทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของหลอดเลือดและมีเส้นใยเรติคิวลิน(reticular fiber) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสารตัวกันเป็นร่างแหอยู่รอบๆ เซลระบบประสาททำให้เอนโดไมเซียมเชื่อมติดอยู่กับชั้นของซาร์โคลมมาของเส้นใยกล้ามเนื้อ

ข. เพอริไมเซียม (perimysium) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบๆมัดกล้ามเนื้อและห่อหุ้มใยกล้ามเนื้อหลายๆเส้นให้รวมเป็นมัดกล้ามเนื้อขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. อีพิไมเซียม (epimysium) หรือพังผืด (muscle sheath) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบๆ กล้ามเนื้อโครงร่างและห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อหลายๆ มัด ให้อยู่รวมกันเป็นกล้ามเนื้อโครงร่างขึ้นมา

2.1.2.2 โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue protein) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นสารประกอบพวกโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

ก. คอลลาเจน (collagen หรือ white connective tissue) เป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในตัวสัตว์ปริมาณมากที่สุด พบมากในเอ็น หนัง กระดูกอ่อน มีลักษณะเป็นเส้นยาว มีขนาดเล็กและหยิก (wavy) อยู่เป็นเส้นเดี่ยวหรืออยู่รวมกันหลายเส้นเป็นมัด เช่น เอ็น(tendon) ทำหน้าที่เชื่อมกล้ามเนื้อเข้าด้วยกันกับกระดูก คอลลาเจนเป็นไกลโคโปรตีน(glycoprotein) ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลกาแลคโตสและกลูโคสปนอยู่ด้วยเล็กน้อย และมีปริมาณกรดอะมิโนพวกไกลซิน(glycine) อยู่สูงเกือบเป็นหนึ่งในสามส่วนของกรดอะมิโนทั้งหมดที่มีอยู่ คอลลาเจนมีสีขาวเนื่องจากมีปริมาณกรดอะมิโนพวกไฮดรอกซิโพลีน(hydroxyproline) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อนำคอลลาเจนไปต้มน้ำที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จะหดตัวเหลือประมาณหนึ่งในสามส่วน แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส คอลลาเจนจะถูกไฮโดรไลส์ (hydrolyze) เป็นเจลลาติน(gellatin) ซึ่งละลายน้ำได้

ข. อิลัสติน(elastin หรือ yellow connective tissue) เป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าคอลลาเจน และถูกแยกออกจากคอลลาเจนได้ง่าย เพราะมีลักษณะคล้ายยาง (rubbery) มีสีเหลือง ยืดหยุ่นได้ พบมากในเอ็น ผนังของเส้นเลือดแดงและกล้ามเนื้อ อิลัสตินมีความทนทานต่อปฏิกิริยาของด่างร้อนและเอนไซม์เปปซิน (pepsin) อิลัสตินไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่เมื่อถูกทำลาย และไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนสภาพเป็นเจลลาติน

ค. เรติคิวลิน(reticulin) เป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆ อยู่ระหว่างเอนโดไมเซียมกับซาร์โคเลมมา

2.1.2.3 เนื้อเยื่อไขมัน(adipose tissue) เนื้อเยื่อไขมันหรือไขมันพบกระจายอยู่ทั่วไปในร่างกายสัตว์ ในลักษณะต่างๆ กันดังนี้

ก. ไขมันภายในมัดกล้ามเนื้อ (intramuscular fat หรือ marbling fat) อยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นเพอริไมเซียม ทำให้มองเห็นชั้นของไขมันกระจายหรือไขมันแทรก (marbling)

ข. ไขมันอยู่ระหว่างมัดกล้ามเนื้อ(intramuscular fat หรือ seam fat) อยู่รอบๆนอกของมัดกล้ามเนื้อ ในส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นอีพิไมเซียมสามารถมองเห็นได้ชัดเจน และสามารถแยกออกได้

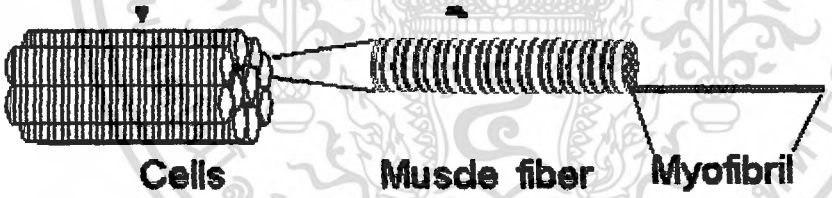
ค. ไขมันใต้ผิวหนัง(subcutaneous fat) หรือบางครั้งพบอยู่เหนือชั้นของอีพิไมเซียมของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อ ทำให้ช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากร่างกายสัตว์ได้แก่ส่วนมัดแข็งของสุกร(black fat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ(muscle tissue) เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อจำแนกตามลักษณะ และตำแหน่งได้ 3 ประเภทคือ กล้ามเนื้อโครงร่าง กล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อแต่ละประเภทมีส่วนประกอบดังนี้

ก. กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) โดยทั่ว ๆ ไปกล้ามเนื้อโครงร่างจะมีอยู่ในซากสัตว์ประมาณ 35-65 เปอร์เซ็นต์ซาก ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงเนื้อสัตว์จะหมายถึงกล้ามเนื้อโครงร่างเสียเป็นส่วนใหญ่ กล้ามเนื้อโครงร่างส่วนมากจะติดอยู่กับกระดูกโดยตรง แต่ก็มีบางส่วนที่ติดอยู่กับเส้นเอ็น (ligament) กระดูกอ่อนและหนัง ซึ่งก็เหมือนกับว่า กล้ามเนื้อโครงร่างเหล่านี้ติดอยู่กับกระดูกโดยทางอ้อมนั่นเอง กล้ามเนื้อทั้งก้อนเมื่อมองดูด้วยตาเปล่าจะเห็นว่า ถูกห่อหุ้มอยู่โดยตลอดด้วยแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า อีพิไมเซียม มีขนาดและความหนาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้ามเนื้อนั้นๆและปริมาณมัดกล้ามเนื้อที่ประกอบอยู่

เมื่อส่องดูภายในเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscope) ซึ่งมีกำลังขยายได้มากกว่ากล้องจุลทรรศน์ตามปกติอย่างมากมาย (รูปที่ 2.1) ก็พบว่า มีเส้นใยยาวเล็กไปอีกเป็นจำนวนมากกล่าวคือ ถ้าเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 ไมครอน ก็จะมีจำนวนมากถึง 2000 เส้น เส้นใยเล็กๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกว่า เส้นใยย่อย(myofibril) จะเรียกตัวอัดกันอยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยมีซาร์โคเลมมาห่อหุ้มไว้ให้อยู่ด้วยกันภายในของเหลวซาร์โคพลาสซึมและเมื่อสังเกตเฉพาะเส้นใยย่อยเส้นใดเส้นหนึ่ง



รูปที่ 2.1 แสดงกล้ามเนื้อโครงร่างในระดับต่างๆ

ที่มา : http ://muscle.ucsd.edu/musintro/diffraction.shtml

1) มัดกล้ามเนื้อ (muscle fiber bundle) มีอยู่ในร่างกายสัตว์โดยทั่วไปกว่า 600 มัดภายในมัดกล้ามเนื้อประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อมากมาย ทุกมัดกล้ามเนื้อจะมีขนาด รูปร่าง และหน้าที่แตกต่างกันออกไป ส่วนชื่อของกล้ามเนื้อจะตั้งขึ้นมาตามลักษณะหลาย ๆ ลักษณะที่ต่างกัน เช่น การอยู่ติดกับกระดูกหรืออวัยวะส่วนไหนของร่างกายก็จะตั้งชื่อโดยใช้อวัยวะนั้นๆ เป็นหลัก ได้แก่ กล้ามเนื้อสเตอโนมาสทอยด์ (Sternomastoid) ซึ่งอยู่ติดกับกระดูกสเตอนัม (Sternum) หรือไบเซบ เฟมอริส (Biceps femoris) ซึ่งก็คือกล้ามเนื้อที่อยู่ติดและเชื่อมตัวเข้ากับกระดูกฟีเมอร์ (femur) เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังมีลักษณะอื่นๆ อีก เช่น ทิศทางคือเรคตัส (rectus) ตำแหน่งที่ตั้งคือกลูเตียส (gluteus) โครงสร้าง คือไบเซบ (biceps) หรือ ไตรเซบ (triceps) ขนาด คือกลูเตียส (gluteus) และรูปร่าง คือ ทรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

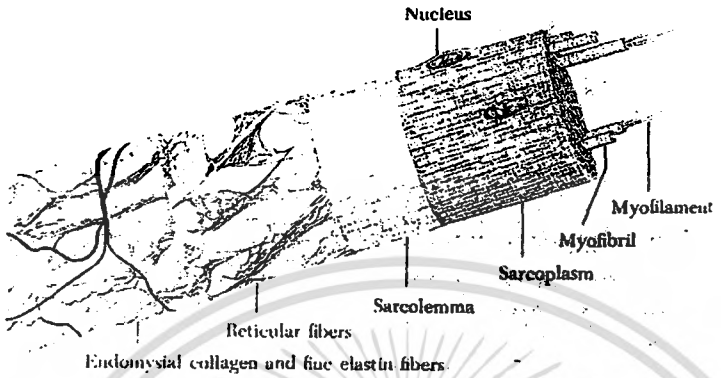
เพเซียส (trapezius) ในขณะเดียวกันก็มีหลายชื่อที่เป็นแบบผสมกันระหว่างลักษณะ 2-3 อย่างเข้าด้วยกัน กลุ่มของมัดกล้ามเนื้อหลายกลุ่มจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอีพิไมเซียม ทำหน้าที่เป็นแผ่นกล้ามเนื้อ(muscle sheath) หรือพังผืด ที่ยึดมัดกล้ามเนื้อให้อยู่รวมกันเป็นก้อนเนื้อขึ้นมา ส่วนความหนาบางของพังผืดจะขึ้นอยู่กับส่วนของมัดกล้ามเนื้อส่วนนั้นๆ ในการตรวจสอบความหยาบหรือความละเอียดของเนื้อสัตว์ทำได้โดยดูจากขนาดของมัดกล้ามเนื้อที่ตัดตามขวาง เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวน้อย เช่น เนื้อสันมักมีขนาดของมัดกล้ามเนื้อเล็ก ทำให้เนื้อละเอียด ไม่เหนียวเพราะมีพังผืดบาง ส่วนกล้ามเนื้อที่ต้องใช้กำลังมากในการเคลื่อนไหว เช่น กล้ามเนื้อส่วนขาจะมีมัดกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ ทำให้เนื้อหยาบและเหนียวมาก เนื่องจากพังผืดมีความหนากว่า ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อมากมาย ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นมีความยาวตั้งแต่ 2-3 เซนติเมตร จนถึงหลายๆ เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-100 ไมครอน(micrometer) มีรูปร่างกลม ยาวและปลายทั้งสองข้างสอบคล้ายกระสวย มีนิวเคลียสจำนวนมาก เรียงอยู่ตามผิวหน้าเส้นใยกล้ามเนื้อ

2) เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber cell) เป็นหน่วยทำงานทางสรีระวิทยาของกล้ามเนื้อ เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างเป็นประเภททวินิวเคลียสคือเป็นเซลยาวที่มีนิวเคลียสมากกว่าหนึ่ง(long multinucleated cell) มีรูปร่างเป็นเส้นกลมยาวคล้ายเส้นด้ายปลายทั้งสองข้างสอบคล้ายกระสวย มีนิวเคลียสจำนวนมาก เรียงอยู่ตามผิวหน้าเส้นใยกล้ามเนื้อ และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 10-100 ไมครอน (0.001-0.0001 เซนติเมตร) มีความยาวที่ปรวนแปรสูง แต่ส่วนใหญ่จะยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร และยาวไม่เท่ากับความยาวของกล้ามเนื้อทั้งมัดซึ่งขึ้นกับหน้าที่และลักษณะทางสัณฐานวิทยา เซลภายนอกห่อหุ้มด้วยเส้นใยเอนโดไมเซียม ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนพวกคอลลาเจนและโปรตีนเรติคิวลินในชั้นของเส้นใยเรติคิวลา (reticular fiber) ถัดเข้ามาเป็นเยื่อหุ้มเซลที่ยืดหยุ่นได้เรียกว่า ซาร์โคเลมมา(sarcolemma) เพื่อช่วยให้เส้นใยกล้ามเนื้อผ่อยอยู่รวมกัน เนื้อเยื่อนี้จะหนาขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อถูกใช้งานหรือเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น ภายในเซลเส้นใยกล้ามเนื้อมีสารที่มีลักษณะหนืด(semifluid) เรียกว่า ซาร์โคพลาสซึม(sacroplasm) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ลักษณะเฉพาะตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อโครงร่างก็คือ มีลายปรากฏอยู่โดยตลอด ลายดังกล่าวเป็นผลมาจากลายภายในเส้นใยย่อย (myofibril) โดยภายในแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีเส้นใยย่อยเรียงตัวตามยาวอัดแน่นกันอยู่อย่างเป็นระเบียบ เส้นใยย่อยเหล่านี้อาจมีจำนวนมากถึง 1,000 เส้นต่อหนึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อ และหล่อเลี้ยงอยู่ด้วยไซโตปลาสซึม (cytoplasm) ของเซลล์ ส่วนนิวเคลียสของเส้นใยกล้ามเนื้อจะพบตามบริเวณผิวนอกและมีจำนวนมาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นลักษณะเฉพาะตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างอย่างหนึ่ง ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) นั้นจะพบอยู่ในระหว่างเส้นใยย่อย ตรงบริเวณส่วนปลายขั้วของนิวเคลียสใต้ซาร์โคเลมมา โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานภายในเซลล์ ส่วนซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (sarcoplasmic reticulum) กับทรานสเวอสทิวบิวลา (transverse tubular system) จะพบอยู่เป็นระยะๆ ไปกับลายของเส้นใยย่อยโดยทำหน้าที่ควบคุม และควบคุมกลไก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดเอกซ์ไซต์เตชั่น คอนแทรคชั่น (excitation-contraction) และกอลจิคอมเพลกซ์ (golgi complexes) จะพบอยู่ที่บริเวณยอดของนิวเคลียส นอกจากนั้นจะพบไกลโคเจน (glycogen) และหยดของไขมัน (lipid droplets) กับไลโซโซม สามารถอธิบายส่วนประกอบภายในเส้นใยกล้ามเนื้อได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber cell)
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

2.1) ซาร์โคเลมมา (Sarcolemma) เยื่อหุ้มเส้นใยหรือซาร์โคเลมมา หมายถึง เยื่อบาง ๆ ที่ห่อหุ้มโดยรอบเส้นใยกล้ามเนื้อจนสามารถแยกเส้นใยแต่ละเส้นออกจากกันได้อย่างเด่นชัด โดยเยื่อหุ้มเส้นใยประกอบไปด้วยชั้นบางๆ 4 ชั้นอยู่ด้วยกัน แต่ละชั้นจะหนาประมาณ 100-500 อังสตรอม และที่ห่อหุ้มถัดออกมาจากเยื่อหุ้มเส้นใยก็คือเอนโดไมเซียม ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเส้นใยพบว่า ประกอบไปด้วยคอเลสเตอรอลและฟอสฟอลิปิดในประมาณเท่า ๆ กัน นอกจากนั้นก็มีสารโพลีแซคคาไรด์และโปรตีน เยื่อหุ้มเส้นใยมีคุณสมบัติและหน้าที่เหมือนเยื่อหุ้มเซลล์อื่น ๆ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี และมีเส้นใยประสาทมาเชื่อมเข้ายังเส้นใยกล้ามเนื้อตรงเยื่อหุ้มเส้นใยเพื่อส่งสัญญาณจากสมองมายังเส้นใยกล้ามเนื้อ

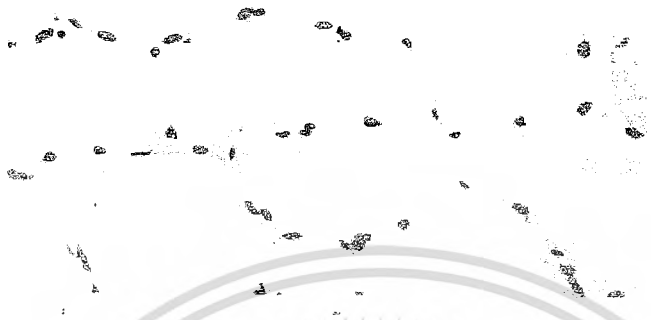
2.2) นิวเคลียส (Nucleus) เส้นในกล้ามเนื้อเป็นประเภทพหินิวเคลียส (นิวเคลียสหลายอัน) โดยจะพบอยู่ใกล้ผิวนอกของเส้นใยติดกับเยื่อหุ้มเส้นใย แต่ละนิวเคลียสยาวระหว่าง 8-10 ไมครอน ดังรูปที่ 2.3 และมีรูปร่างเป็นเม็ดรูปวงรี เรียงตัวไปตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ

2.3) กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi complex) เป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นถุงท่อบาง ๆ ส่วนมากมักพบอยู่ภายในซาร์โคปลาสซึมใกล้นิวเคลียสหน้าที่ของมันคือ รวบรวมผลิตผลจากเมตาบอลิซึมของเส้นใยกล้ามเนื้อให้เป็นกลุ่มก้อนเพื่อเก็บรักษาเอาไว้ใช้ประโยชน์ต่อไป

2.4) ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) หมายถึงโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นแท่งรูปวงรี พบในที่ว่างระหว่างเส้นใยย่อยใต้เยื่อหุ้มเส้นใยและมักอยู่ตามบริเวณใกล้เส้นเซ็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโตคอนเดรียทำหน้าที่การเก็บรักษาพลังงานจากอาหารโดยผ่านทางเครบ ไซเคิล (Krebs cycle) แล้วจึงแปรสภาพไปเป็นพลังงานรูปเอทีพี โดยกระบวนการฟอสโฟรีเลชั่น (Phosphorylation) ภายในไมโตคอนเดรียจะมีสารย่อย (enzyme) ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในขบวนการย่อยสลายหลายชนิดด้วยกัน



รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายหน้าตัดของเส้นใยกล้ามเนื้อโครงร่างของสุกรแสดงรูปร่างหลายเหลี่ยมและนิวเคลียสที่อยู่บริเวณผิวของเส้นใย

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

2..5) ซาร์โคปลาสซึม (Sarcoplasm) ซาร์โคปลาสซึมคือสารกึ่งเหลวอยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อและหล่อเลี้ยงโครงสร้างย่อยต่างๆ ภายในนั้น เช่น สารย่อยไกลโคเจน (glycolytic enzyme) ไมโอโกลบิน (myogolbin) ไลโซโซม ไกลโคเจน และเม็ดไขมันต่าง ๆ เป็นต้น

2..6) ไลโซโซม (Lysosome) มีรูปร่างเหมือนถุงเล็ก ๆ ที่มีสารย่อยหลายชนิดอยู่ภายในนั้น รวมทั้งกลุ่มสารย่อยคาเทปซิน (cathepsins) ซึ่งมีความสามารถในการย่อยโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกรณีที่เก็บเนื้อหรือแช่ซากไว้ในห้องเย็นเป็นเวลานานนั้น เนื้อจะนุ่มได้เพราะสารย่อยกลุ่มนี้ได้ย่อยโปรตีนบางอย่างในเส้นใยกล้ามเนื้อ จนเป็นผลให้เนื้อนุ่มขึ้น

2.7) ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัม(Sacoplasmic reticulum) และท่อที (T-tubules) ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมก็คือเอนโดพลาสมิกเรติคิวลัมในเซลล์อื่นทั่วๆ ไป และอาจกล่าวได้ว่า หมายถึงระบบท่อผนังหุ้มและซิสเตอนี (cisternae ทำหน้าที่สะสม Ca^{2+}) ซึ่งสานรูปร่างเป็นโครงข่ายหุ้มโดยรอบเส้นใยย่อย(myofibril) แต่ละเส้นอยู่ ถึงแม้ว่าทั้งสองอย่างคือ ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมกับท่อทีจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่เมื่อกล่าวถึงหน้าที่แล้ว ท่อทีจะเกี่ยวข้องกับซาร์โคเลมมามากกว่า ในขณะที่ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมเป็นที่สะสม Ca^{2+} เมื่อเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่ในสภาวะพักตัว

ในแต่ละซาร์โคเมียร์นั้นซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมจะประกอบไปด้วยท่อบางขนานไปกับแนวยาวของเส้นใยย่อยเรียกว่า ลองจิตูนิดอล ทิวบูล (longitudinal tubules) โดยในบริเวณเอชโซนจะมีช่องเปิดเป็นช่วงๆ เรียกว่า เฟเนสเตรท คอลลา (fenestrated collar) ดังแสดงในรูป

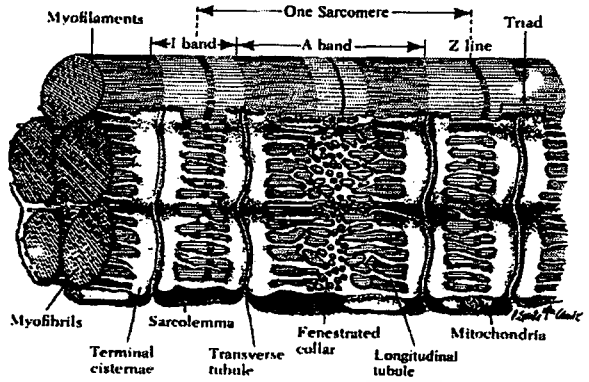
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 2.4 และตรงจุดเชื่อมระหว่างแถบเอกับแถบไอก็จะมีโครงสร้างท่อห่อหุ้มอยู่เรียกชื่อว่า เทอมินอล ซิสเตอนี (terminal cisternae) ทำหน้าที่เก็บกัก Ca^{2+} ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมมีอยู่ในทุกๆ ซาร์โคเมียร์ ดังนั้นในแต่ละเส้นใยฝอยและเส้นใยย่อยจึงมีซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมจำนวนมาก และถ้าหากจะพิจารณาทั้งเส้นใยกล้ามเนื้อแล้วก็จะมีจำนวนมหาศาล แต่อย่างไรก็ตามประมาณการไว้ว่า มีประมาณ 13% ของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยปริมาตร ส่วนท่อทีมีเพียง 0.3% ของเส้นใยโดยปริมาตร

3) เส้นใยย่อย (Myofibril) หมายถึงโครงสร้างที่ทำหน้าที่ยืดหดตัวภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ มีรูปร่างเป็นเส้นยาวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) และภายในเส้นใยย่อยจะปรากฏลายให้เห็นเมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เส้นใยย่อยเหล่านี้จะอยู่เรียงตัวกันไปตามทางยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยมีซาร์โคปลาสซึมหล่อเลี้ยงอยู่โดยตลอด เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน อาจจะมีจำนวนเส้นใยย่อยระหว่าง 1000 – 2000 เส้น หรือมากกว่านี้ก็ได้ ภาพวาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เส้นใยย่อย แสดงดังรูปที่ 2.5

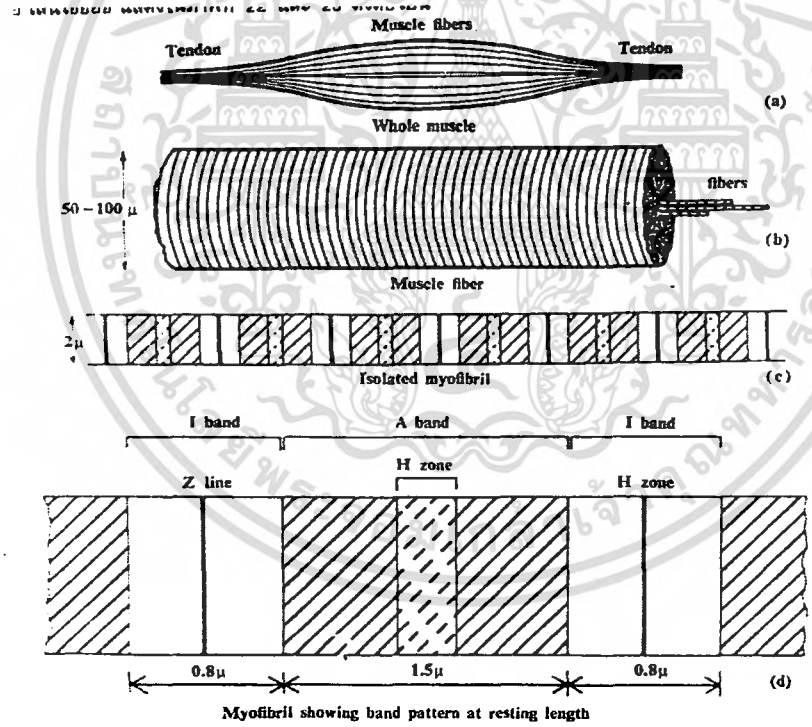
จากรูปที่ 2.5 แสดงมัดกล้ามเนื้อ ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมากเรียงตัวอยู่ด้วยกัน และเมื่อตัดแยกเอาเส้นใยกล้ามเนื้อออกมาดู (รูปที่ 2.6 และ 2.7) ก็จะประกอบไปด้วยเส้นใยย่อยจำนวนมาก ในแต่ละเส้นใยย่อยจะเห็นว่า มีแถบพื้นที่ทึบแสงอยู่สลับกันไปกับแถบโปร่งแสง การที่สลับกันไปโดยตลอดนี้ทำให้เกิดหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อขึ้นเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ หน่วยซาร์โคเมียร์นี้จะมีความยาวในสภาวะปรกติ (resting) ประมาณ 2.3 -2.8 ไมครอน แต่บางกล้ามเนื้อก็อาจจะยาวได้ถึง 7-8 ไมครอน เส้นเขตพื้นที่ของแต่ละซาร์โคเมียร์จะเป็นเส้นบางแต่ชัดเจน เรียกชื่อว่าเส้นแซ็ท (Z line) อยู่ 2 เส้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 ภายในแต่ละซาร์โคเมียร์จะพบว่า มีแถบทึบแสงอยู่ในบริเวณส่วนกลางมีชื่อเรียกว่า แถบเอ (A band) ซึ่งมาจากคำว่า แอนไอโซโทรปิค (Anisotropic) ส่วนแถบโปร่งแสงมีพื้นที่อยู่ข้างละครึ่งของเส้นแซ็ทซึ่งผ่ากลางอยู่นั้นเรียกชื่อว่า แถบไอ (I band) มาจากคำว่า ไอโซโทรปิค (Isotropic) ในกล้ามเนื้อของกบภายใต้สภาวะปรกติมีรายงานว่า แถบเอกว้างประมาณ 1.55 ไมครอน ส่วนแถบไอกว้างประมาณ 0.75 ไมครอน ภายในพื้นที่ของแถบเอจะพบว่า มีพื้นที่สีจางอยู่ตรงใจกลางปรากฏอยู่ พื้นที่นี้เรียกชื่อว่าเอชโซน (H zone) ซึ่งกว้างประมาณ 0.35 ไมครอน และจะมีเส้นทึบเล็กๆ ผ่ากลางโซนเอชอยู่เรียกว่า เส้นเอ็ม (M line) โดยสองข้างของเส้นเอ็มก็จะเป็นแถบทึบแสงเล็กมากเรียกว่า ซูโดเอชโซน (pseudo H zone) ซึ่งมีความกว้างประมาณ 1500 อังสตรอม (1 A° = 10^{-8} เซนติเมตร) เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัมและท่อทีใน 1 ซาร์โคเมียร์

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยย่อย

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 แสดงภาพถ่ายกำลังขยาย 940 เท่าของเส้นใยกล้ามเนื้อสันในกระต่ายโดยกล้องจุลทรรศน์ phase contrast

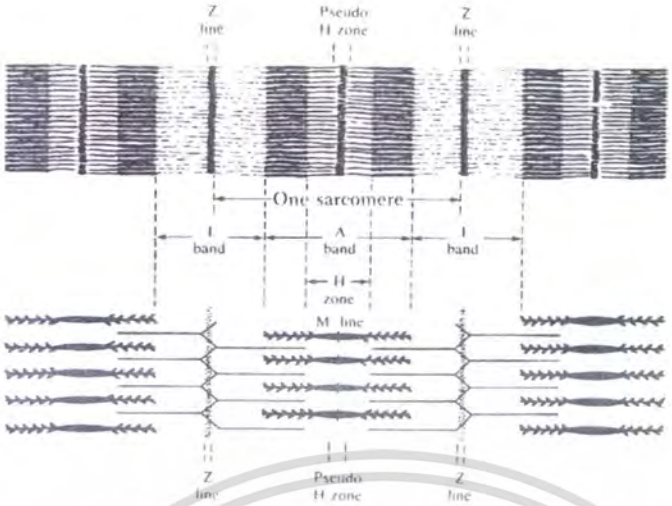
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

รูปที่ 2.7 แสดงภาพถ่ายกำลังขยาย 15000 เท่าของเส้นใยกล้ามเนื้อสันในกระต่าย แสดงลายโดยตลอดเส้นใยย่อยและมองเห็นเส้นใยย่อยเป็นเส้นละเอียด

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

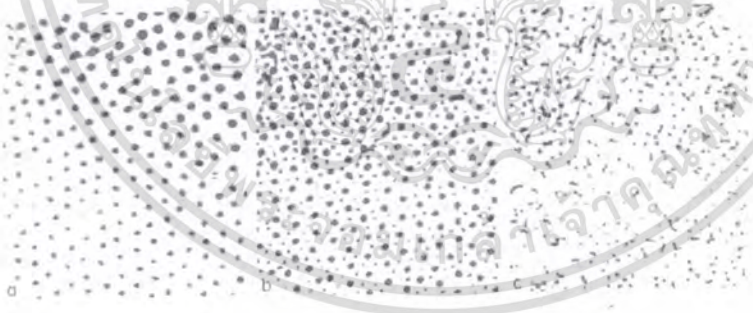
3.1) การเรียงตัวของเส้นใยฝอย (Myofilaments) ลายที่ปรากฏนั้นเกิดขึ้นจากการเรียงตัวอยู่ด้วยกันและเกยทับกันเอง (overlap) ของเส้นใยฝอย เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงมากในบริเวณของแถบไอ จะเห็นเส้นใยฝอยเส้นเล็กบางมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50-70 อังสตรอมอยู่ แต่เมื่อมองที่แถบเอ ก็จะพบทั้งเส้นใยฝอยชนิดบางกับชนิดหนาอยู่เกยกัน โดยเส้นใยฝอยชนิดหนาจะเป็นเส้นเดียวต่อเนื่องกัน จากของด้านหนึ่งไปจนสุดอีกขอบหนึ่งของแถบเอ ส่วนเส้นใยฝอยชนิดบางนั้นจะไม่ยาวต่อเนื่องกันไปจนถึงใจกลางของแถบเอเลย แต่จะสิ้นสุดความยาวตรงขอบนอกของเอชโซน เส้นใยฝอยทั้ง 2 ชนิดจะอยู่เรียงตัวกันเช่นนี้ในทุกซาร์โคเมียร์ จึงทำให้มีแสงผ่านได้แตกต่างกัน ดังนั้นจึงปรากฏเป็นลายของเส้นใยย่อยขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงเส้นใยย่อย (myofibril) และซาร์โคเมียร์ (sarcomere)
ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

แต่ถ้าตัดเส้นใยย่อยตามขวาง ภาพที่มองเห็นจะขึ้นอยู่กับส่วนใดที่ถูกตัดผ่าน ถ้าตัดผ่านบริเวณแถบเอก็จะเห็นเส้นใยฝอยชนิดหนา ดังแสดงในรูปที่ 2.9A และรูปที่ 2.9B ซึ่งแสดงเส้นใยฝอยทั้งสองชนิดอยู่ด้วยกัน แต่ตัดบริเวณแถบไอก็จะเห็นเส้นใยฝอยชนิดบางที่ถูกตัดขวางอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.9C และเมื่อวาดภาพเพื่อแสดงให้ชัดเจนแล้วจะปรากฏดังในรูปที่ 2.10



(A) (B) (C)

รูปที่ 2.9 แสดงอิเล็คตรอน ไมโครกราฟของกล้ามเนื้อกระต่าย

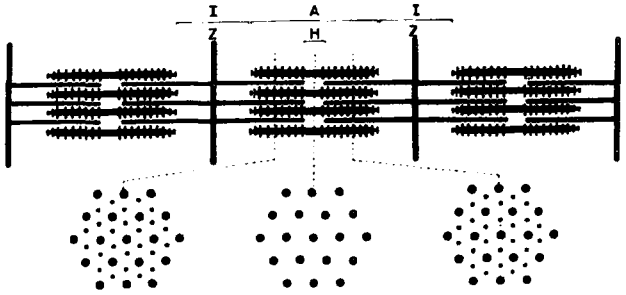
(A) ตัดตรงแถบเอเอชโซน

(B) ตัดตรงแถบเอ

(C) ตัดตรงแถบไอ

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของเส้นใยฝอยชนิดหนาและบางในซาร์โคเมียร์ โดยตัดตัวอย่างกล้ามเนื้อตามยาวและตามขวางตรงตำแหน่งเอชโซน แถบเอและแถบไอ

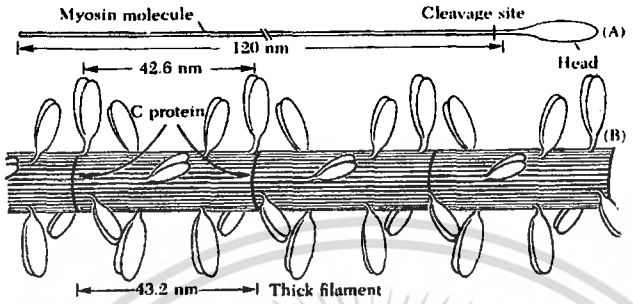
ที่มา : ชัยฌรงค์ (2529)

3.2) เส้นใยฝอยชนิดหนา หรือไมโอซิน (Myosin) ดังได้กล่าวแล้ว ว่าเส้นใยฝอยมี 2 ชนิด คือ ชนิดหนาและชนิดบาง ทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่เพียงแต่จะแตกต่างกันในเรื่องของขนาดเท่านั้น ยังแตกต่างกันในอีกหลาย ๆ ด้าน เช่น องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติและที่ตั้งภายในซาร์โคเมียร์ด้วย เส้นใยฝอยชนิดหนาของกล้ามเนื้อจากสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 14-16 นาโนเมตร และยาวประมาณ 1.5 ไมครอน ในแถบเอจะประกอบด้วยเส้นใยฝอยชนิดหนาเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เนื่องจากเส้นใยนี้ประกอบไปด้วยโปรตีนไมโอซินเกือบจะทั้งหมด ดังนั้นจึงเรียกชื่อกันโดยทั่วไปว่า เส้นใยฝอยไมโอซิน (Myosin filament) โปรตีนไมโอซินนี้จะมีอยู่ประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย (myofibrillar protein) โดยมีลักษณะเฉพาะคือมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่เป็นกรด (acidic) และเป็นด่าง (basic) ในปริมาณสูง จึงทำให้เป็นโมเลกุลที่มีขั้วสูง (high charged molecule)

รูปร่างของโมเลกุลไมโอซินจะมีลักษณะเป็นรูปกลนยาวโดยที่ปลายหนึ่งเป็นส่วนที่มีลักษณะเป็นก้อนหนากว่าที่อื่น ๆ บริเวณนี้จึงเป็นส่วนหัว (head region) และส่วนที่เป็นแท่งกลมยาวออกมานั้นเรียกว่า ส่วนหาง (tail region) โดยมีส่วนเชื่อมระหว่างหัวกับหางเรียกว่าส่วนคอ (neck) ส่วนหัวดังกล่าวจะเป็นคู่และยื่นกางออกมาจากแนวยาวของเส้นใยฝอย และเมื่อไมโอซินถูกสารย่อยทริบซิน (trysin) ซึ่งมีคุณสมบัติย่อยโปรตีนนั้นมันจะขาดออกจากกันเป็น 2 ส่วน ณ บริเวณคอ โดยสองส่วนนี้เรียกว่า ไลท์เมอโรไมโอซิน (light meromyosin)และ เฮฟวี่เมอโรไมโอซิน (heavy meromyosin) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ที่กึ่งกลางของแถบไอนั้นจะเป็นส่วนหางของเส้นใยฝอยไมโอซินล้วน ๆ โดยไม่มีส่วนหัวของไมโอซินโมเลกุลอยู่เลย และบริเวณนี้ที่อยู่ภายในขอบเขตของโซนเอชจะเรียกว่า ซูโดเอชโซน ส่วนหัวที่ยื่นกางออกของไมโอซินโมเลกุล จะเป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการเกิดการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยจะไปจับกันกับเส้นใยฝอยแอคติน สร้างครอสบริดจ์ (crossbridge) ขึ้นมาก่อนที่จะปล่อยไปอีกตามจังหวะของการเกิดยืดหดตัว การเกิดขึ้นของครอสบริดจ์นี่เองที่ทำให้เกิดส่วนผสมทางเคมีที่เรียกกันว่า แอคโตไมโอซิน (actomyosin) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอาการเกร็งและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งตัวของกล้ามเนื้อ แอคโตไมโอซินนี้จะพบในปริมาณสูงในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตาย โดยทั่วๆ ไป และก็เป็นสาเหตุของอาการแข็งที่อของซากสัตว์นั่นเอง แต่ในขณะที่สัตว์ยังมีชีวิตอยู่นั้น สภาวะของครอสบริดจ์จะเปลี่ยนแปลงคือ หมดสภาพเมื่อเกิดการคลายตัว (relaxation) ขึ้นในวงจรของการยืดหดตัว



รูปที่ 2.11 แสดงเส้นใยฝอยไมโอซิน

(A) ไมโอซินโมเลกุล แสดงส่วนหัว หางและคอ กับบริเวณที่ถูกตัดขาด

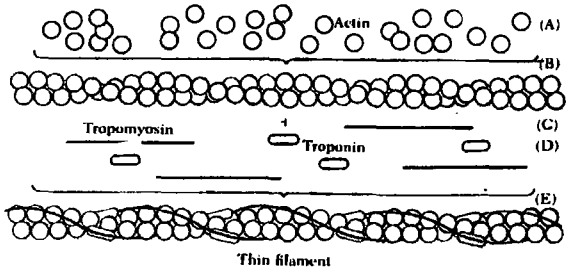
(B) เส้นใยฝอยไมโอซินแสดงส่วนหัวที่ยื่นกางออกมา ทั้งนี้โดยมีซีโปรตีนผูกรอบทุกๆ 42.6 นาโนเมตร

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

โปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่พบในเส้นใยฝอยชนิดหนาคือ โปรตีนซี (C protein) ซึ่งมีประมาณ 2-2.5 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยฝอย โปรตีนชนิดนี้มีรูปร่างเหมือนเส้นด้ายเล็กๆ ที่มัดรอบเส้นใยฝอยไมโอซิน โดยผูกไมโอซินโมเลกุลให้อยู่ด้วยกันเป็นเส้นใยฝอยชนิดหนา ดังแสดงในรูปที่ 2.11

3.3) เส้นใยฝอยชนิดบางหรือแอคติน (Actin) โปรตีนแอคตินมีอยู่ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย โมเลกุลของแอคตินจะมีกรดอะมิโนโพรลีน (prolein) ในระดับสูง ซึ่งกรดตัวนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษ จึงทำให้สายโพลีเพปไทด์ของโมเลกุลแอคตินต้องม้วนตัวเข้าหากันและเกาะกลุ่มกันเป็นรูปก้อนกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.5 นาโนเมตร เรียกว่า จีแอคติน (G-actin, globular actin) ซึ่งก็คือโมเลกุลอันหนึ่งของโปรตีนแอคติน โมเลกุลของแอคตินนี้จะอยู่เรียงตัวกันเป็นเส้นยาว โดยขบวนการโพลีเมอไรเซชั่น (polymerization) และเราเรียกเส้นยาวนี้ว่าเอฟแอคติน (F-actin, fibrous actin) โดยเอฟแอคตินจำนวน 2 เส้นก็จะม้วนตัวเข้าหากันเป็นเกลียวเชือกสร้างลักษณะซุปเปอร์เฮลิค (super helix) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของเส้นใยฝอยแอคติน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ทั้งนี้โดยจุดไอโซอิเล็คทริค (isoelectric) pH เท่ากับ. 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงเส้นใยฝอยชนิดบางหรือแอคติน

(A) โมเลกุล G-actin

(B) เส้นยาวของ F-actin 2 เส้นม้วนตัวเข้าหากันเป็นเกลียวเชือก

(C) โมเลกุลยาวบางของ tropomyosin

(D) Troponnin โมเลกุลรูปร่างเป็นแท่ง

(E) เส้นใยฝอยแอคตินแสดง F-actin 2 เส้นม้วนเป็นเกลียวเชือกโดยมีเส้นยาวบางของ tropomyosin พันไปตามเกลียวและมีโมเลกุล troponin 1 โมเลกุลในทุกๆ G-actin โมเลกุล 7 อัน

ที่มา : ชัยณรงค์ (2529)

โปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่พบในเส้นใยชนิดบางคือ โทรโปไมโอซิน (tropomyosin) ซึ่งมีจำนวนประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย เป็นโปรตีนที่มีประจุไฟฟ้าสูงเหมือนไมโอซินคือ มีกรดอะมิโนที่เป็นกรดและเป็นด่างในปริมาณที่ค่อนข้างสูง จุดไอโซอิเล็คทริค พีเอช เท่ากับ 5.1 และเนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนโพรลีน (proline) ต่ำ ดังนั้นจึงมีลักษณะเป็นเส้น (fibrous) โปรตีนชนิดนี้จะพันอยู่โดยรอบเส้นใยฝอยแอคติน โดยวางตัวไปตามลักษณะเกลียวเชือก และอยู่ในร่องของเส้นใยฝอยแอคติน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยแต่ละโมเลกุลของโทรโปไมโอซินจะยาวประมาณ 7 โมเลกุลจีแอคติน ในเส้นใยชนิดบางจะมีโปรตีนอีกชนิดหนึ่งชื่อว่า ทรโพนิน (troponin) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งกลมสั้น ๆ ซึ่งสร้างตัวขึ้นมาจากโกลบูลาโปรตีน (globular protein) และโปรตีนชนิดนี้มีอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย โปรตีนนี้จะอยู่ใต้เส้นโทรโปไมโอซิน โดยจะพบว่า มีโมเลกุลโทรโพนิน 1 โมเลกุลในทุกๆ 7-8 โมเลกุลจีแอคติน ของเส้นใยย่อยชนิดบาง โปรตีนโทรโพนินทำหน้าที่เกี่ยวกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ในการเกิดแอคโตไมโอซินโทรโปไมโอซินคอมเพล็กซ์ (actomyosin - tropomyosin complex)

โปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่พบคือบีแอคทีนิน (β-actinin) ซึ่งเป็นโกลบูลาโปรตีนและอยู่ที่ปลายของเส้นใยฝอยแอคติน ส่วนแอลฟ้าแอคทินิน (α - actinin) เป็นโปรตีนที่พบบริเวณเส้นแซ็ส มีลักษณะของโปรตีนที่มีกรดอะมิโนโพรลีนสูงคือเป็นโกลบูลาโมเลกุล (globular molecule) โปรตีนชนิดนี้มีอยู่ประมาณ 2-2.5 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย

ข. กล้ามเนื้อเรียบ(smooth muscle หรือ involumtary muscle) พบบริเวณผนังของเส้นเลือด ผนังลำไส้ ทางเดินอาหาร(gastro intestinal tracts) ช่องอวัยวะสืบพันธุ์(reproductive) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นจะพบกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อโครงร่างอยู่ด้วยกัน ในอวัยวะบางชนิด เช่น ลิ้น เป็นต้น การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบอยู่นอกเหนือการควบคุมของสมอง

ค. กล้ามเนื้อหัวใจ(straited cardiac muscle) พบเฉพาะในอวัยวะส่วนหัวใจ มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากกล้ามเนื้ออื่นๆ คือการทำงานเต้นเป็นจังหวะตลอดเวลาไม่หยุดยั้ง กล้ามเนื้อหัวใจมีส่วนคล้ายกล้ามเนื้อโครงร่างและกล้ามเนื้อเรียบคือมีนิวเคลียสอยู่ในเซล ทำงานนอกเหนือการควบคุมของสมองเช่นเดียวกับกล้ามเนื้อเรียบ และมีส่วนคล้ายคลึงกล้ามเนื้อโครงร่างคือมีสายโปรตีนแอคตินและสายโปรตีนไมโอซินที่เรียงตัวอยู่ด้วยกัน และทำให้กล้ามเนื้อมีความลาย เช่นเดียวกับเส้นในกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อโครงร่าง

2.2 เลเซอร์

เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงพลังงานสูงและมีคุณสมบัติพิเศษที่มีประโยชน์สามารถนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ผู้ที่คิดค้นเลเซอร์คือ ซี. เอช.ทาวน์ส (C.H. Townes) ในปี ค.ศ. 1954 โดยได้เสนอเป็นหลักการหรือทฤษฎีเลเซอร์ไว้ ต่อมาแมแมน (Maiman) สามารถพิสูจน์ทฤษฎีเลเซอร์ของซี. เอช. ทาวน์สได้สำเร็จ โดยการประดิษฐ์เลเซอร์ตัวแรกของโลกขึ้นในปี ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นเลเซอร์ของแข็งที่ทำด้วยทับทิม (Ruby Laser) ในปีเดียวกันนั้น จาแวน (Javan) ได้ประดิษฐ์เลเซอร์ที่ทำจากก๊าซฮีเลียม-นีออนได้เป็นผลสำเร็จ จากนั้นจึงมีการพัฒนาเลเซอร์ ชนิดต่าง ๆ อีกมากมาย ทั้งที่ทำจากของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และสารกึ่งตัวนำ

2.2.1 คุณสมบัติของเลเซอร์ เลเซอร์เป็นคำทับศัพท์ มาจากภาษาอังกฤษ คือ LASER ซึ่งเป็นคำย่อของ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation หมายถึง การแผ่รังสีของการเปล่งแสงแบบถูกเร้าด้วยการขยายสัญญาณแสง ดังนั้นกลไกพื้นฐานของเลเซอร์จึงได้แก่ การเปล่งแสงแบบถูกเร้า และ การขยายสัญญาณแสง กลไกทั้งสองนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เลเซอร์มีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น เป็นลำแสงขนานที่มีความเข้มสูง และมีคลื่นแสงที่เป็นระเบียบด้วยค่าความยาวคลื่นที่แน่นอน สามารถอธิบายคุณสมบัติของเลเซอร์ได้ดังนี้

2.2.1.1 การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (stimulated emission) ระบบอะตอมหรือโมเลกุลที่ใช้ทำเลเซอร์จะมีชั้นพลังงานต่าง ๆ อยู่ โดยที่ชั้นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแสงเลเซอร์อยู่ 2 ชั้นพลังงาน โดยปกติอะตอมหรือโมเลกุลจะอยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ (E1) เสมอ เพราะมีเสถียรภาพกว่า เมื่อมีการป้อนพลังงานให้แก่ระบบอะตอมหรือโมเลกุล เช่น การฉายแสงที่มีพลังงานที่พอดีกับผลต่างระหว่างชั้นพลังงานทั้งสอง (E2 - E1) อะตอมและโมเลกุลจะถูกกระตุ้น ให้ขึ้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานที่สูงกว่า (E2) ปรากฏการณ์เช่นนี้คือการ ดูดกลืนแสง (absorption) เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลมีพลังงานสูงขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนแสงแล้ว จะคงสภาพเช่นนั้นได้ด้วยระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เพราะสถานะที่พลังงานสูง (E2) นี้ไม่เสถียร เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อะตอมและโมเลกุลเหล่านั้น ก็จะตกกลับมาอยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(E1) ตามเดิม โดยคายพลังงานออกมาเท่ากับผลต่างระหว่างชั้นพลังงานทั้งสอง (E2 - E1) หรือเปล่งแสงกลับออกมานั่นเอง การเปล่งแสงเช่นนี้เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติของอะตอมและโมเลกุลนั้น ๆ จึงเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous emission)

แต่การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (stimulated Emission) ซึ่งเป็นกลไกหลักของเลเซอร์นั้น เริ่มต้นจากการดูดกลืนแสง เพื่อให้อะตอมหรือโมเลกุลขึ้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานสูงเช่นกัน แทนที่จะให้อะตอมหรือโมเลกุลตกลงมาเอง เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการฉายแสงเข้าไปในระบบอะตอมหรือโมเลกุลที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของชั้นพลังงานทั้งสอง (E2 - E1) แต่แสงที่ฉายเข้าไปนี้ไม่ถูกดูดกลืนโดยระบบ แสงนี้เร่งเร้าให้อะตอมหรือโมเลกุลคายพลังงานก่อนเวลา แสงที่เปล่งออกมากับแสงที่เร้าจึงออกมาจากระบบพร้อมกันมีพลังงานเท่ากัน และมีความพร้อมเพรียงกันทั้งทิศทางการเคลื่อนที่และเฟสของคลื่นแสง

2.2.1.2. การขยายสัญญาณแสง (light amplification) เมื่อเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าในเนื้อวัสดุที่ใช้ทำเลเซอร์ โดยที่อะตอมหรือโมเลกุลของเนื้อวัสดุนั้นอยู่ในสภาพถูกกระตุ้น (excited states) แสงที่เคลื่อนที่ผ่านเนื้อวัสดุนั้น จะเร้าให้เกิดการคายแสงมากขึ้นตามลำดับ ความเข้มของแสงจึงเพิ่มขึ้น ในทางควอนตัมฟิสิกส์ (quantum physics) ได้มีการนิยามว่า แสงคือก้อนพลังงานเรียกว่า โฟตอน (photon) เมื่อโฟตอนเคลื่อนที่ผ่านเนื้อวัสดุที่อยู่ในสภาพถูกกระตุ้น จำนวนโฟตอนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ

จำนวนโฟตอนที่เกิดขึ้นจากการเปล่งแสงแบบถูกเร้านี้จะต้องมีมากพอ จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณแสง โดยให้แสงวิ่ง กลับไปกลับมาผ่านเนื้อวัสดุเลเซอร์หลาย ๆ ครั้ง โดยใช้กระจก 2 ชิ้น ที่วางขนานกันที่ปลายทั้งสองเพื่อสะท้อนแสงกลับไปมา กระจก 2 ชิ้นที่ขนานกันนี้เรียกว่าแคว๊ตี้แสง (optical cavity) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณแสงเพื่อให้มีความเข้มสูงจนเกิดเกน (gain) และลดความสูญเสีย (loss) ของระบบและได้ลำแสงเลเซอร์พุ่งออกทางด้านกระจกที่มีการสะท้อนแสงได้ไม่เต็มที่

2.2.2. องค์ประกอบของเลเซอร์ เพื่อให้ได้เลเซอร์ที่มีความเข้มและมีประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ประกอบช่วยด้วยเสมอ เลเซอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 7 ส่วน ได้แก่

2.2.2.1. เนื้อวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน(population Inversion) ขึ้นภายในเนื้อสารและสามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลแบบสติมูลเลตเต็ดอิมิสชั่นได้ ตัวอย่างสารเลเซอร์ได้แก่ แท่งผลึกทับทิม(ruby crystal) , ก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียม(He)และก๊าซนีออน(Ne) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม , สารละลายสีย้อมผ้า(dye solution)

2.2.2.2. ตู้เลเซอร์หรือแคว๊ตี้แสงเพื่อขยายสัญญาณแสง (laser cavity) เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเลเซอร์ที่ต้องใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดระดับพลังงานตื่นตัวคือ จะต้องให้แสงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
96787

เปล่งออกมาเข้าไปในแท่งเลเซอร์ให้มากที่สุด อุเลเซอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือแท่งเลเซอร์ (laser code) ตัวสะท้อนแสง(reflector) และตัวกำเนิดแสง(light source) ตัวกำเนิดแสงที่ใช้กันมี 2 แบบ คือ แบบแท่งยาวขนานกับแท่งเลเซอร์และแบบเกลียวพันรอบแท่งเลเซอร์ แบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแบบแท่งยาว ตัวสะท้อนแสงที่นิยมใช้กันมากที่สุดจะเป็นแบบท่อยาว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบท่อทรงกระบอกเป็นตัวสะท้อนแสงแบบง่ายที่สุด โดยจัดให้แท่งเลเซอร์ตัวกำเนิดแสงวางเรียงชนิดติดกันในแนวแกนท่อทรงกระบอก เพื่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ก็สามารถทำได้โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 แท่งวางขนาบแท่งเลเซอร์ที่วางในแนวแกนท่อทรงกระบอก และแบบท่อวงรี(elliptical tube) เป็นตัวสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบท่อทรงกระบอก โดยจัดให้แท่งเลเซอร์และแท่งกำเนิดแสงวางในตำแหน่งจุดโฟกัสทั้งสองของท่อวงรีขนานกับแนวแกนท่อ สำหรับแท่งเลเซอร์ขนาดสั้นๆ จะนิยมวางแท่งเลเซอร์และแท่งกำเนิดแสงในแนวแกนหลัก(major axis) ของวงรี โดยให้ปลายชี้เข้าหากัน

2.2.2.3. ตัวไกวเลเซอร์ (laser oscillator) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอันหนึ่งใช้ในการทำให้รังสีที่เปล่งออกมามีเฟสเดียวกับรังสีที่ไปกระตุ้นการเปล่งรังสี ซึ่งทำได้โดยการใช้ตัวสะท้อนป้อนกลับรังสีเข้าไปกระตุ้นในแท่งเลเซอร์ ตัวไกวที่นิยมใช้กับแท่งเลเซอร์ คือ กระจกเงาหรือฉาบสารสะท้อนไว้ที่ปลายทั้งสองข้างของแท่งเลเซอร์ โดยปลายด้านหนึ่งจะเป็นการสะท้อนกลับหมดและปลายอีกด้านหนึ่งจะเป็นการสะท้อนเพียงบางส่วน ซึ่งจะปล่อยให้บางส่วนทะลุผ่านออกไปได้ การที่ให้มีการสะท้อนกลับบางส่วนและบางส่วนปล่อยให้ทะลุผ่านออกไปนั้น ก็เพื่อที่จะให้ส่วนที่สะท้อนกลับไปทำหน้าที่กระตุ้นหรือเหนี่ยวนำให้เกิดการเปล่งรังสีออกมาใหม่ กรณีที่รังสีที่เกิดใหม่เท่ากับรังสีที่ทะลุผ่านออกไป ในสภาวะเช่นนี้จะเรียกว่า เงื่อนไขการไกวขีดเริ่ม(oscillation threshold condition)

2.2.2.4. ตัวขยายเลเซอร์ (laser amplifier) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้เลเซอร์มีความเข้มสูงขึ้น ตัวขยายเลเซอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวไกวเลเซอร์และตัวขยาย (amplifier) สำหรับกรณีที่ต้องการกำลังขยายสูงๆ ก็สามารถทำได้โดยเพิ่มตัวขยายให้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการขยายซ้ำซ้อน(multistage amplification)

2.2.2.5. ออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) ทำหน้าที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือโฟตอน) ที่เกิดจากกระบวนการสติมูลเลดเต็ดอิมิสชั่นสะท้อนกลับไปมาผ่านสารเลเซอร์ โดยที่สารเลเซอร์จะได้ขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นให้มีความเข้มสูงมากขึ้น จนในที่สุดก็จะเป็นแสงเลเซอร์ออกมาจากระบบ ออฟติคัลเรโซเนเตอร์ประกอบด้วยกระจกเคลือบไดอิเล็คตริกหลาย ๆ ชั้น ปิดหัวและปิดท้ายสารเลเซอร์ กระจกเหล่านี้จะมีค่าสะท้อนกลับ(reflectivity, R) ที่ช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์เป็น R_1 เท่ากับ 100% และ R_2 เท่ากับ 65- 98%

2.2.2.6. ตัวปิดกั้นทัศนะ (Optical isolator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปิดกั้นไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับของเลเซอร์ และจะให้ผ่านไปได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น วัสดุที่ใช้ทำตัวปิดกั้น จะต้องเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถหมุนระนาบโพลาไรซ์ (polarizing plane) ของแสงที่ผ่านออกไปเป็นมุม 45 องศาจากเดิมในทิศตามเข็มนาฬิกา เช่น แก้วที่มีตะกั่วผสมอยู่ในปริมาณสูงๆ

2.2.2.7. ระบบจ่ายกำลัง (Energy pumping, Power supply) ระบบจ่ายกำลังนี้จะเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ศักดาสูง(high voltage electronics circuit) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าที่ศักดาสูง เพื่อไปทำการกระตุ้นสารเลเซอร์นั้นทำได้หลายรูป ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมที่ต้องใช้กับสารเลเซอร์นั้น โดยทั่วไปแล้วการกระตุ้นมักจะทำในรูปแบบของออฟติคัลปั๊มพิ้ง(optical pumping) โดยการจ่ายกระแสไฟตรงจำนวนมากที่ศักดาสูงผ่านหลอดแฟลชแลมพ์ หรือการดิชชาร์ทกระแสไฟตรง เป็นต้น

2.2.3. ชนิดของเลเซอร์

2.2.3.1. เลเซอร์ของแข็ง ได้แก่ เลเซอร์ที่ใช้ตัวกลางเป็นของแข็ง เช่น เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์ทำจากเพชรเทียมที่สังเคราะห์ขึ้นเรียกว่า แย็ค(YAG) เลเซอร์แก้ว ฯลฯ ทับทิมและแย็ดเป็นผลึกส่วนแก้วเป็นอัญรูป(amorphus) ตัวกลางเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นเนื้อวัสดุ (Host Materials) เท่านั้น เพราะตัวที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงนั้นกำหนดจากสารเจือปนที่เติมในเนื้อสารเหล่านี้ เช่น ทับทิมจะใช้โครเมียมเป็นสารเจือปนจึงให้สีแดงที่มีความยาวคลื่น 6493 อังสตรอม (A° 12O3 : Cr^{3+}) แย็คและแก้วจะใช้นีโอดีเนียม(neodinium, Nd^{3+}) เป็นสารเจือปน จึงให้แสงอินฟาเรดที่มีความยาวคลื่น 1.06 ไมครอน (YAG : Nd^{3+} Glass : Nd^{3+})

ในการปั๊มพลังงานแก่ของแข็งเหล่านี้ต้องใช้วิธีการทางแสงคือ ใช้หลอดไฟซีนอนหรือหลอดไฟทังสเตนฉาย โดยมีตัวสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการปั๊มพลังงาน ตัวสะท้อนแสงนี้มีลักษณะเป็นกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรี และมีการวางหลอดไฟและตัวกลางเลเซอร์ไว้ที่ตำแหน่งของจุดโฟกัสของวงรี

2.2.3.2. เลเซอร์ก๊าซ เมื่อใช้ก๊าซเป็นตัวกลางเลเซอร์ การปั๊มพลังงานก็จะใช้วิธีการปล่อยประจุในก๊าซด้วยไฟฟ้าแรงสูง กล่าวคือนำก๊าซเหล่านั้นบรรจุในหลอดเลเซอร์ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง เมื่อป้อนไฟฟ้าแรงสูงให้แก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง อิเล็กตรอนจะวิ่งจากขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ไปยังขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ด้วยพลังงานสูง อิเล็กตรอนจะวิ่งชนอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซเหล่านั้น จนแตกตัวเป็นอิออนมีประจุไฟฟ้าขึ้นเรียกว่า พลาสมา (Plasma) ก๊าซที่เป็นพลาสมาเหล่านี้จะพร้อมปล่อยโฟตอน หากมีโฟตอนที่มีลักษณะเหมือนกันมาเร้า จึงเกิดเป็นแสงเลเซอร์ขึ้นเมื่อมีการขยายสัญญาณแสงด้วยแคว๊ดี้แสง ที่ทำจากกระจกสะท้อนที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดเลเซอร์

ก๊าซที่ใช้ทำเลเซอร์มีหลายชนิดเช่น ก๊าซผสมฮีเลียม - นีออน (He-Ne) ก๊าซผสมคาร์บอนไดออกไซด์ - ไนโตรเจน - ฮีเลียม (CO_2-N_2-He) ก๊าซผสมฮีเลียม - แคดเมียม (He - Cd) ก๊าซอาร์กอน (Ar^+) ซึ่งจะให้สีต่าง ๆ ตามชนิดของก๊าซ เลเซอร์ฮีเลียม - นีออนเป็นเลเซอร์กำลังแสงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1-10 mW) เลเซอร์ฮีเลียม - แคดเมียมและเลเซอร์อาร์กอนเป็นเลเซอร์กำลังแสงปานกลาง(10-100 mW) ส่วนเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์เป็นเลเซอร์กำลังแสงสูง (1~100 W) จึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันไป แต่เลเซอร์ทุกชนิดมีอันตรายเพราะแสงเลเซอร์ที่มีกำลังแสงเพียง 1 mW จะมีความเข้มแสงสูงกว่าแสงจากพระอาทิตย์จึงสามารถทำให้ตาบอดได้หากแสงเลเซอร์พุ่งเข้าหานัยน์ตาโดยตรง

ก. ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์(Helium-Neon Laser System) ระบบเลเซอร์นี้มีสารเลเซอร์หรือที่เรียกว่า เลเซอร์มีเดียม เป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนในอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะของฮีเลียม:นีออน ตั้งแต่ 20:1 จนถึง 2:1 พบว่า เงื่อนไขของการทำงานของระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ที่จะให้ความเข้มของแสงและพลังงานของแสงเลเซอร์ออกมาดีที่สุดก็ต่อเมื่อ ผลคูณของความดันรวม(total pressure, P) ของก๊าซผสมฮีเลียมนีออน และความกว้างของหลอดเลเซอร์(D) มีค่าประมาณ 3.6 - 4.0 ทอร์มิลลิเมตร (torr-mm) อัตราส่วนผสมของก๊าซฮีเลียมต่อก๊าซนีออน เป็นอัตราส่วนHe : Ne = 5 : 1 หลอดฮีเลียมนีออนเลเซอร์ควรเป็นหลอดรูแคบ(Capillary tube) ในกรณีที่กำลังของฮีเลียมนีออนเลเซอร์อยู่ระหว่าง 0 - 50 mW เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์ D จะมีค่าระหว่าง 1 - 6 มิลลิเมตร(mm) ทั้งนี้ถ้าหาก D มีขนาดใหญ่มากจะทำให้มีการเกิดประชากรผกผัน (population inversion) ลดลงซึ่งทำให้ประสิทธิภาพและกำลังของเลเซอร์ลดลงตามไปด้วย ลักษณะของเลเซอร์ก๊าซแบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 แสดงเลเซอร์ก๊าซแบบฮีเลียม นีออนเลเซอร์

ที่มา : http://www.mellesgriot.com/heliumneonlaser. htm

ก๊าซผสมฮีเลียมนีออนภายในหลอดเลเซอร์ มีค่าระดับพลังงานที่ปลายหลอดเลเซอร์จะมีอิเล็กโตรด(Electrode) ซึ่งเป็นขั้วบวก(Anode) และขั้วลบ(Cathode) ซึ่งอยู่คนละปลายหลอด ขั้วบวกทำด้วยโลหะทังเสเตน ขั้วลบเป็นแบบฮอลโลแคทโธด ทำด้วยอะลูมิเนียม เมื่อทำการปล่อยกระแสไฟตรงที่ศักดาเริ่มแรกประมาณ 10 กิโลโวลต์(KV) จะทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออน จากนั้นศักดาของการปล่อยจะลดเหลืออยู่ระหว่าง 0-3 KV ที่กระแสไฟตรง 0-50 mA กระแสอิเล็กตรอนจะทำการปล่อยก๊าซผสมฮีเลียมนีออน โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งชนฮีเลียมอะตอมในระดับสถานะพื้นทำให้ฮีเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมมีระดับพลังงานสูงขึ้น และเปลี่ยนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงาน 2^3S และ 2^1S ตามลำดับ จากนั้น ฮีเลียมอะตอมที่ระดับ 2^3S และ 2^1S จะถ่ายพลังงานให้แก่นีออนอะตอม โดยการชนระหว่างอะตอมและอะตอม(atomic collision) ทำให้นีออนอะตอมมีค่าระดับพลังงานที่ระดับ 4S และ 5S ตามลำดับ เนื่องจากอายุ (ระยะเวลาของการอยู่) ของระดับ 4S และ 5S ของนีออนอะตอมยาวกว่าอายุของระดับ 4P และ 3P ดังนั้นจะเกิดประชากรผกผัน(population inversion) ขึ้นระหว่างระดับ 4S กับ 3P ระหว่างระดับ 5S กับ 4P และ 3P ตามลำดับ จากนั้นก็จะมีการเกิดสติมูลเลคเต็ดอิมิสชั่น ระว่างระดับ 5S ⟶ 4P ซึ่งยังผลให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่น(λ) 3390 นาโนเมตร (ย่านอินฟราเรด มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น) เกิดสติมูลเลคเต็ดอิมิสชั่นระหว่างระดับ 5S ⟶ 3P ซึ่งจะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่น 1150 nm (ย่านอินฟราเรด) เกิดสติมูลเลคเต็ดอิมิสชั่น ระหว่างระดับ 4S ⟶ 3P ซึ่งจะให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm (สีแดง) จากนั้นนีออนอะตอมที่ระดับ 4P , 3P จะลดระดับพลังงานอย่างรวดเร็วมาสู่ระดับ 3S และจากระดับ 3S ในสถานะพื้นโดยขบวนการวิ่งกระทบผนังหลอดเลเซอร์ ดังนั้นเราจะทราบว่า หลอดฮีเลียมนีออนเลเซอร์จึงมักจะทำจากหลอดรูแคบ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 8 มิลลิเมตร ทั้งนี้ก็เพราะต้องการให้เกิดการชนผนัง (Wall collision) อย่างรวดเร็ว จำนวนนีออนอะตอมในระดับ 3S จะได้มีน้อยมากซึ่งส่งผลให้จำนวนนีออนอะตอมในระดับ 3P , 4P ลดลงอย่างรวดเร็วไปในตัวด้วย และจะทำให้จำนวนประชากรผกผันระหว่าง 5S กับ 4P และ 3P,4S กับ 3P เกิดอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้เกิดแสงเลเซอร์แบบต่อเนื่อง (continuous wave, CW)

ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ให้แสงเลเซอร์ที่ช่วงคลื่นเดียว(monochromatic light) ที่มีช่วงความยาวคลื่น 3390 nm.1150 nm และ 632.8 nm ตามลำดับ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความบริสุทธิ์ทางแสงมาก เป็นลำขนานและส่องได้เป็นระยะทางไกลมาก โดยที่ไม่สูญเสียความเข้มของแสง คุณสมบัติต่างๆพอสรุปได้ดังนี้คือ

คุณสมบัติของฮีเลียมนีออนเลเซอร์

บีมไดเวอร์เจนซ์ (Beam divergence)	0.2-1.0 m rad.
ไลน์วิดซ์(line width)	1700 MHz
ความยาวคลื่น(λ)	632.8 , 1150 , 3390 nm
โคเฮียร์เรนท์เลงซ์(Coherent length)	20-100000 cm.
ความสว่าง (Brightness)	10^6 W/cm^2-Sr
กำลัง (Power)	0.1-100 Mw

การประยุกต์ของระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ ในปัจจุบันได้มีการใช้ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้จะเห็นได้จากการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้มีการนำระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ไปใช้ในการส่องเป้าชี้ตำแหน่งของเครื่องมือต่างๆ ใช้เลเซอร์ระบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ในการวัดความเร็ว(velocity meter) ของของเหลวในท่อ นอกจากนี้ยังใช้เลเซอร์ระบบนี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่บริสุทธิ์และศึกษาเกี่ยวกับการกระเจิง(scatterings) ของแสงและหาขนาด (size) ของอนุภาคขนาดเล็กๆได้ (particle sizing) ทางด้านอุตสาหกรรม เลเซอร์ระบบนี้ถูกนำไปใช้ศึกษาความเครียดและความเค้นของเครื่องจักรกลขณะทำงาน ใช้ศึกษาการเกิดโฮโลกราฟฟี (Holography) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบและชิ้นส่วนของระบบ ในวงการแพทย์ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ถูกนำไปใช้ผ่าตัดบริเวณแคบ ลบรอยสัก และใช้ในการบำบัดโรคมะเร็งผิวหนังร่วมกับสารเฮมมาโตพอร์ฟีริน (Hematoporphyrin; HPD) ใช้ร่วมกับเครื่องมือซายโตมิเตอร์(cytometer) เพื่อศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดเลือดแดงมนุษย์ เพื่อที่จะเป็นข้อมูลในการวินิจฉัยเกี่ยวกับโรคมะเร็งในเม็ดเลือดหรือโรคมาเลเรีย นอกจากนี้ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ยังใช้ในวงการค้าธุรกิจ โดยใช้ในการอ่านรหัสที่เป็นแถบที่ติดต่ออยู่กับแถบสินค้า เมื่อเลเซอร์อ่านแล้วจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์และพิมพ์ราคา และจัดทำระบบคลังสินค้า ขณะนี้เครื่องอ่านรหัสสินค้าโดยใช้เลเซอร์นั้นได้มีใช้ในห้างสรรพสินค้าภายในประเทศแล้ว

2.2.3.3. เลเซอร์ของเหลว สามารถใช้ตัวกลางเลเซอร์ที่ทำจากของเหลวได้ เช่น ใช้สีย้อมผ้า (Dye) ผสมน้ำหรือแอลกอฮอล์ บรรจุใส่ภาชนะใส การปั๊มพลังงานแก่ของเหลวเหล่านี้ใช้วิธีทางแสงเช่นเดียวกับตัวกลางเลเซอร์ที่เป็นของแข็ง เช่น ใช้หลอดซีนอนหรือเลเซอร์ไนโตรเจน เลเซอร์ของเหลวเหล่านี้จะมีจุดเด่นที่สำคัญคือเป็นเลเซอร์ที่ให้สีที่ตามองเห็น ค่าความยาวคลื่นของแสงสามารถปรับได้จึงเป็น ทูเนเบิล เลเซอร์ (Tunable Laser) เพราะโมเลกุลของสีย้อมผ้ามีขนาดโต เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์เคมีระดับพลังงานที่ซ้อนหลายชั้น มิได้เป็นชั้นเดียว ๆ เหมือนกรณีของก๊าซหรือของแข็ง ตัวอย่างของสีย้อมผ้าที่นิยมใช้ได้แก่ โรดามีน 6 จี (Rhodamine 6 G) ซึ่งให้แสงเลเซอร์ ตั้งแต่สีเหลืองไปถึงสีส้ม (570-610 nm) โรดามีน บี (Rhodamine B) ให้แสงเลเซอร์ช่วงสีแดง (605-635 nm) และ ดีคลอโรฟลูออเรสเซียน (Dichloro fluore scein) ให้แสงเลเซอร์สีเขียว (530-560 nm)

2.2.3.4. เลเซอร์ไดโอด เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) InGaAsP (อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสฟายด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่าง ๆ กัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ เช่น GaAs ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 0.8 μm (อินฟาเรด) GaAlAs ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 0.7 μm (สีแดง) InGaAsP ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 1.3 และ 1.55 μm (อินฟาเรด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเลี้ยวเบนของแสงที่ผ่านช่องแคบเดี่ยว

เนื่องจากเนื้อมีการเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อตามแนวยาวและวางตัวขนานกัน ระยะห่างระหว่างเส้นแซ็สภายในเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยแต่ละช่วงจะมีลักษณะคล้ายกับช่องเดี่ยว เมื่อให้แสงส่องผ่านเส้นใยกล้ามเนื้อจะเกิดการเลี้ยวเบนของแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งของแสงเมื่อส่องผ่านช่องเดี่ยว สามารถอธิบายคุณสมบัติการเลี้ยวเบนของแสงได้ดังนี้

2.3.1 การเลี้ยวเบนของแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงผ่านสิ่งกีดขวาง อาจเป็นเส้นลวดเล็กๆหรือขอบกระดาษหรือผ่านช่องแคบเล็กๆ การเลี้ยวเบนของแสงเกิดขึ้นให้เห็นอย่างชัดเจน ถ้าสิ่งกีดขวางหรือช่องแคบมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสง

2.3.2 การเลี้ยวเบนของแสงแบ่งเป็น 2 แบบคือ การเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer diffraction) รังสีที่ตกกระทบผ่านสิ่งกีดขวางเป็นเส้นขนาน หรือเป็นคลื่นระบบและรังสีที่เลี้ยวเบนไปตกกระทบบนฉากเป็นรังสีขนานเช่นกันดังภาพที่ 2.14 การเลี้ยวเบนอีกแบบหนึ่งเรียกว่า การเลี้ยวเบนแบบเฟรสเนล (Fresnel diffraction) ซึ่งการเลี้ยวเบนชนิดนี้มีต้นกำเนิดแสง สิ่งกีดขวางและฉากที่อยู่ใกล้กันมาก แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงจะมีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม

2.3.3 ถ้าสิ่งกีดขวางเป็นช่องแคบเดี่ยวที่มีความยาวมากๆ จะไม่ต้องคำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างของดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นที่เกิดขึ้น เมื่อแสงขนานตกกระทบช่องแคบทุกๆจุดบนหน้าคลื่นจะเป็นแหล่งกำเนิดแสงทุติยภูมิ(secondary source) อีกครั้งหนึ่งเมื่อนำเลนส์นูนบางมากมาวางข้างหลังช่องแคบทั้งนี้เนื่องจากความบางของเลนส์ไม่มีผลต่อเฟสของคลื่นแสง

รูปที่ 2.14 ลักษณะการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer diffraction)
ที่มา สุรศักดิ์ (2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กล้องจุลทรรศน์

2.4.1 ชนิดของกล้องจุลทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์มีอยู่หลากหลายชนิด คือ

2.4.1.1. กล้องจุลทรรศน์พื้นหลังสว่าง (Bright field microscope หรือ Compound microscope) เป็นกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปที่ใช้ในการศึกษา เวลาส่องดูจะเห็นพื้นภาพใสสว่างในขณะที่วัตถุมีสีเข้มกว่า

2.4.1.2. กล้องจุลทรรศน์พื้นหลังมืด (Dark field microscope) กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้เวลาส่องดูเห็นภาพมีสีดำและเห็นวัตถุมีลักษณะใสสว่าง

2.4.1.3. กล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสท์ (Phase contrast microscope) กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้เวลาส่องดูจุลินทรีย์ที่ไม่ได้ย้อมสีจะเห็นชัดเจนกว่าส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พื้นหลังสว่าง

2.4.1.4. กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence microscope) กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้ใช้แสงอุลตราไวโอเลต ซึ่งเป็นแสงคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดแสงและมักเห็นพื้นภาพเป็นสีดำ

2.4.1.5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงมาก เนื่องจากใช้ลำแสงอิเล็กตรอนแทนลำแสงธรรมดาและใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแทนเลนส์แก้ว ดังนั้นเวลาส่องดูส่วนประกอบและโครงร่างต่างๆจะเห็นละเอียดกว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่น

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกล้องจุลทรรศน์ชนิดพื้นหลังสว่าง ซึ่งจัดเป็นกล้องจุลทรรศน์เชิงประกอบ ประกอบด้วยเลนส์ 2 ชุด คือเลนส์ใกล้วัตถุ(objective lens) ทำหน้าที่ขยายวัตถุให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ปรากฏเป็นภาพจริงหัวกลับที่ด้านหลังเลนส์ เลนส์ใกล้ตา(ocular lens หรือ eyepiece) จะทำการขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นภาพเสมือนหัวกลับสลับซ้าย-ขวา

กำลังขยายของภาพทั้งหมด(Total magnifying power) เ ท่ากับผลคูณของกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุกับกำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา มักใช้เครื่องหมาย x(คูณ) แทนจำนวนเท่าของขนาดจริง กำลังขยายของภาพทั้งหมดเมื่อใช้เลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตากำลังขยายต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ที่มีความยาวของตัวกล้อง(body tube) 160 มิลลิเมตร

เลนส์ใกล้วัตถุ				กำลังขยายของภาพ	
กำลังขยาย	ระยะทำงาน	N.A.	ทางยาวโฟกัส	กำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา	
				10X	20X
10X	5 มม.	0.25	16 มม.	100X	200X
40X	0.45 มม.	0.65	4 มม.	400X	800X
100X	0.13 มม.	1.30	1.8 มม.	1000X	2000X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของเลนส์ที่สามารถแยกจุดเล็กๆ สองจุดที่อยู่ชิดกันที่สุดบนวัตถุที่ส่องดูให้แยกห่างกันได้ชัดเจนเรียกว่า รีโซฟวิ่ง พาวเวอร์ (resolving power, resolution) ดังนั้นกล้องที่มีค่ารีโซฟวิ่ง พาวเวอร์ น้อยจะสามารถแยกจุดเล็กๆ สองจุดที่อยู่ชิดกันที่สุดออกจากกันมองเห็นได้อย่างชัดเจน ทำให้เห็นรายละเอียดของภาพได้รีโซฟวิ่ง พาวเวอร์ ขึ้นกับความยาวคลื่นของแสง (wavelength) และนิวเมอริคัล อเพอเจอร์ (numerical aperture, N.A.) ของเลนส์ใกล้วัตถุ

2.4.2 ส่วนประกอบต่างๆและหน้าที่ของกล้องจุลทรรศน์

2.4.2.1. ฐานกล้อง(base) เป็นส่วนล้างสุดของกล้องจุลทรรศน์ โดยปกติจะสร้างให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากเพื่อรับน้ำหนักทั้งหมดของกล้อง ทำให้กล้องตั้งได้อย่างมั่นคง ได้รับอิทธิพลจากแรงสั้นสะเทือนภายนอกน้อยลงซึ่งช่วยให้ภาพมีเสถียรภาพดีขึ้น

2.4.2.2. แขนกล้อง(arm หรือ limb) เป็นที่จับยึดส่วนประกอบต่างๆของกล้อง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการเคลื่อนย้ายกล้องจุลทรรศน์อีกด้วย

2.4.2.3. ตัวกล้อง(body tube) เป็นท่ออยู่ทางด้านบนของกล้อง ปลายสุดของตัวกล้องจะมีเลนส์ใกล้ตาสวมอยู่ ส่วนด้านล่างจะมีแผ่นจานกลมที่สามารถหมุนได้รอบตัว เรียกว่ารีโวฟวิ่ง โนสพีช (revolving nosepieces) ซึ่งบนแผ่นจานนี้จะมีเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่างๆติดอยู่

2.4.2.4. แท่นวางสไลด์(stage) เป็นแท่นรูปสี่เหลี่ยมสำหรับรองวัตถุที่ต้องการศึกษา ตรงกลางมีรูกลมสำหรับให้แสงผ่านได้

2.4.2.5. ที่จับสไลด์ (Slide holder) ทำหน้าที่จับสไลด์ให้อยู่กับที่และมีอุปกรณ์ช่วยเลื่อนสไลด์ในแนวซ้ายขวาหรือหน้าหลังเรียกว่าแมคคานิคัล สเตจ (Mechanical stage) ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกในการเลื่อนดูภาพ

2.4.2.6. แหล่งกำเนิดแสง (light source) กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้มีหลอดไฟฮาโลเจนเป็นตัวให้แสงสว่าง

2.4.2.7. เลนส์รวมแสง (condenser) วางอยู่ใต้แท่นวางสไลด์ ทำหน้าที่รวมแสงให้ตกกระทบวัตถุ โดยมีความเข้มข้นของแสงสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ส่องสว่าง (illuminating field) และควบคุมกรวยแสง (illuminating cone) ให้พอดีกับรูรับแสงของเลนส์ใกล้วัตถุ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้มีเลนส์รวมแสงชนิดอับเบ (Abbe condenser)

2.4.2.8. ม่านปรับแสง (Iris diaphragm) อยู่ใต้เลนส์รวมแสง ทำหน้าที่ปรับขนาดของช่องเพื่อให้แสงสว่างสามารถผ่านไปยังเลนส์รวมแสงได้มากหรือน้อยตามความต้องการ

2.4.2.9. เลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ประกอบด้วยกลุ่มเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพของวัตถุมีอยู่ 3 แบบคือ กำลังขยาย 10X (low power objective), กำลังขยาย 40X (high power high หรือdry objective) กำลังขยาย 100X (oil immersion objective) สำหรับเลนส์กำลังขยาย 100X ปลายเลนส์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กมากทำให้ปริมาณแสงที่ผ่านเข้าเลนส์น้อย การป้องกันไม่ให้แสงกระจายพ้นออกนอกเลนส์ทำได้โดยการหยดน้ำมัน (immersion oil) ที่มีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.52 (ดัชนีหักเหของแก้วที่ทำสไลด์) บนสไลด์ตรงบริเวณที่จะส่องดูทำให้เห็นภาพวัตถุชัดเจนขึ้น

2.4.2.10. เลนส์ใกล้ตา (ocular หรือeyepieces) โดยทั่วไปประกอบด้วยเลนส์ 2 อันคือเลนส์อันบน(top lens) และเลนส์อันล่าง (field lens) ทำหน้าที่ขยายภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุอีกครั้งหนึ่ง เลนส์ใกล้ตามีกำลังขยาย 10 ถึง 20 เท่า

2.4.2.11. ปุ่มปรับภาพหยาบ (coarse adjustment knob) ใช้หมุนเลื่อนแท่นวางสไลด์ขึ้นลงเพื่อหาตำแหน่งของภาพที่ต้องการดูในครั้งแรก

2.4.2.12. ปุ่มปรับภาพละเอียด (fine adjustment knob) ใช้ปรับภาพให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น

2.4.3 วิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์

2.4.3.1. วางกล้องจุลทรรศน์บนโต๊ะ เสียบปลั๊กไฟ เปิดไฟจากหลอดฮาโลเจน

2.4.3.2. นำสไลด์วางบนแท่นวางสไลด์ จับสไลด์ให้อยู่ติดกับที่ โดยใช้ที่จับสไลด์จากนั้นเลื่อนให้บริเวณที่จะส่องดูอยู่ตรงกลางช่องของแท่นวางสไลด์

2.4.3.3. เลื่อนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 10X มาอยู่ตรงช่องของแท่นวางสไลด์ มองผ่านเลนส์ใกล้ตาพร้อมกับหมุนปุ่มปรับภาพหยาบอย่างช้าๆ จนเห็นภาพ ปรับความคมชัดด้วยปุ่มปรับภาพละเอียด ถ้าภาพที่เห็นไม่ชัดหรือแสงสว่างไม่พอดีให้ปรับแสงสว่าง โดยหมุนปุ่มปรับม่านปรับแสง สังเกตภาพที่เห็นจากเลนส์กำลังขยาย 10X

2.4.3.4. หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้แผ่นสไลด์อยู่ห่างจากเลนส์ แล้วจึงเลื่อนเลนส์กำลังขยาย 40X เข้าแทนที่ หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้เลนส์เกือบแตะกับสไลด์ มองผ่านเลนส์ใกล้ตา ปรับจนเห็นภาพ ปรับภาพให้คมชัดด้วยปุ่มปรับภาพละเอียด สังเกตภาพที่เห็นจากเห็นจากเลนส์กำลังขยาย 40X เทียบกับเลนส์กำลังขยาย 10X

2.4.3.5. หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้สไลด์ห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุ หยดน้ำมันลงบนสไลด์ เลื่อนเลนส์กำลังขยาย 100X เข้าแทนที่จากนั้นหมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้เลนส์จุ่มลงในน้ำมัน ตามองในกล้อง หมุนปุ่มปรับภาพละเอียดจนเห็นภาพชัดเจน

2.4.3.6. หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้สไลด์ห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุ ดึงแผ่นสไลด์ออก ใช้กระดาษเช็ดเลนส์ เช็ดน้ำมันที่เลนส์ออกให้หมด

2.4.4 การปฏิบัติหลังจากเลิกใช้กล้องจุลทรรศน์

2.4.4.1. เลื่อนเลนส์ใกล้ตากำลังขยายต่ำมาอยู่ตรงช่องของแท่นวางสไลด์ หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้แท่นวางสไลด์ลงต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.2. ทำความสะอาดเลนส์ใกล้ตา เลนส์ใกล้วัตถุด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ ถ้าเลนส์สกปรกมากหรือมีน้ำมันแห้งกรัง ให้ใช้กระดาษเช็ดเลนส์ชุบไซลีนเล็กน้อยแล้วจึงใช้กระดาษเช็ดเลนส์ที่สะอาดเช็ดเลนส์ให้แห้งอีกครั้ง

2.4.4.3. ถ้ามีหยดน้ำหรือสิ่งอื่นติดอยู่บนส่วนต่างๆ ของกล้องต้องทำความสะอาดและเช็ดให้แห้ง

2.4.4.4. ปรับเลนส์รวมแสงให้ต่ำกว่าแท่นวางสไลด์เล็กน้อย ปิดม่านปรับแสง

2.4.4.5. ดับไฟที่ฐานกล้อง ถอดปลั๊กออก พันสายไฟให้เรียบร้อย

2.4.4.6. นำกล้องไปเก็บ โดยใช้มือหนึ่งจับที่แขนกล้อง อีกมือหนึ่งรองรับอยู่ที่ฐานกล้องให้ตัวกล้องอยู่ในลักษณะที่ตั้งตรง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cross และคณะ (1981) ทำการทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดความยาวของซาร์โคเมียร์ระหว่างวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น และ วิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ในกล้ามเนื้อวัว พบว่า การใช้วิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น สามารถวัดค่าซาร์โคเมียร์ได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ เมื่อนำค่าที่คำนวณได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ความยาวซาร์โคเมียร์ที่วัดได้จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ จะมีความยาวของซาร์โคเมียร์แตกต่างกัน

สุรศักย์ (2543) ได้ทดลองใช้แหล่งกำเนิดจากแสงเลเซอร์พอยเตอร์แทนแลเซอร์แบบฮีเลียม นีออน โดยเปรียบเทียบลักษณะการเลี้ยวเบนจากร่องเดี่ยว 2 แบบ คือ แบบที่ทำเอง กับแบบที่มีใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการ โดยทั้งสองแบบมีขนาด 50 มิลลิเมตรเท่ากัน และได้ทดลองใช้แสงสีแดงของเลเซอร์พอยเตอร์เทียบกับการใช้แสงสีแดงจากฮีเลียมนีออนเลเซอร์ไปด้วย การบันทึกผลการทดลองใช้วิธีถ่ายรูปการเลี้ยวเบนด้วยกล้องถ่ายรูปแบบดิจิตอล พบว่า การใช้แสงสีแดงจากเลเซอร์พอยเตอร์ สามารถใช้แทนเลเซอร์แบบฮีเลียมนีออนได้ เนื่องจากให้การเลี้ยวเบนที่ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

1. เนื้อไก่ส่วนสะโพก อก(ส่วนติดกระดูกซี่โครง) สันในและน่อง
2. เนื้อหมูส่วนสะโพก อก(ส่วนติดกระดูกซี่โครง) สันในและน่อง
3. เนื้อวัวส่วนสะโพก อก(ส่วนติดกระดูกซี่โครง) สันในและน่อง

3.2. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

1. pH meter (Inolab , Germany)
2. ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ ความยาวคลื่น 632.80 nm กำลัง 1.0 mW (Melles Griot , USA) และขาตั้ง
3. กล้องจุลทรรศน์ (Nikon, Japan) และไมโครมิเตอร์ขนาด 0.01 มิลลิเมตร
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (Chaus/ARC 120)
5. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดวัดปริมาตร ช้อนตักสารพลาสติก
6. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น เขียงและมีด
7. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
8. Potassium chloride (KCl)
9. Boric acid
10. Ethylene diamine tetracetate (EDTA)
11. Glutadialdehyde 25%
12. Sodiumhydroxide 0.1 Namality
13. Buffer pH 4.0 และ 7.0
14. น้ำกลั่น

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการตรึงตัวอย่าง

3.4.1.1. การเตรียมสารละลาย A

ก. ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1.86 กรัม กรดบอริก(Boric acid) 2.49 กรัม และเอทิลีนไดเอมีนเตตระอซิเตท (EDTA) 1.86 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร

ข. เติมกลูตาไดอัลดีไฮด์ (Glutardialdehyde) 25 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ปรับ pH สารละลายให้เป็น 7.1 โดยใช้ 0.1 N NaOH

ง. ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร

3.4.1.2. การเตรียมสารละลาย B

ก. ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 7.46 กรัม กรดบอริก(Boric acid) 2.49 กรัม และเอทิลีนไดเอมีนเตตระอซิเตท (EDTA) 1.86 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร

ข. เติมกลูตาไดอัลดีไฮด์ (Glutardialdehyde) 25 เปอร์เซ็นต์

ค. ปรับ pH สารละลายให้เป็น 7.1 โดยใช้ 0.1 N NaOH

ง. ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร

3.4.1.3. วิธีการตรึงตัวอย่าง

ก. แบ่งตัวอย่างชิ้นเนื้อตามความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อมาประมาณ 0.5 กรัม โดยสุ่มชิ้นเนื้อมา 3 ตำแหน่ง

ข. นำชิ้นเนื้อที่ได้ไปแช่ลงในสารละลาย A ปริมาณ 25 มิลลิลิตร โดยใช้บีกเกอร์พลาสติกทำที่อุณหภูมิห้อง แช่ไว้นาน 2 ชั่วโมง

ค. เปลี่ยนถ่ายสารละลายที่ใช้เป็นสารละลาย B ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ทำที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน

ง. เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 3-5 $^{\circ}$ ซ เพื่อเตรียมไว้ใช้ในวันต่อมา

3.4.2 การวัดความยาวของซาร์โคเมียร์

3.4.2.1 การเตรียมสไลด์

ก. ใช้คีมคีบเศษเนื้อชิ้นเล็กๆที่คงตัวแล้ว ฉีกเส้นเนื้อออกมาเล็กน้อย แตะลงบนสไลด์

ข. ใช้ช้อนตักสารสเตนเลสปลายตัด 2 อัน ฉีกเส้นใยเนื้อออกตามความยาวให้ขาดออกจากกันให้มากที่สุด และทำให้ตัวอย่างเปียกตลอดเวลาด้วยสารละลาย B

3.4.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัด

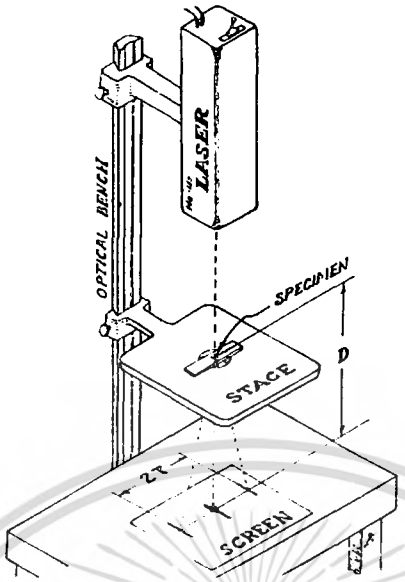
ก. ประกอบชุดทดลองซึ่งประกอบด้วย ขาตั้ง แท่นวางสไลด์ และฉาก โดยให้แท่นวางสไลด์และฉากวางในแนวตั้งฉากกับขาตั้ง แสดงดังภาพที่ 3.1

ข. ประกอบเลเซอร์เข้ากับชุดทดลอง โดยติดตั้งให้เลเซอร์วางในแนวขนานกับชุดทดลอง เพื่อให้เกิดลำแสงขนาน

ค. นำแผ่นสไลด์ไปวางบนแท่นวางสไลด์ เปิดแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์

ง. ปรับแท่นวางสไลด์ให้แสงตกกระทบลงบนตัวอย่าง สังเกตได้จากการเกิดดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
ที่มา : Cross และคณะ (1981)

จ. วัดระยะระหว่างเส้น 2 เส้นแรกที่เกิดจากเกิดดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่น (first order) ในหน่วยเซนติเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความยาวของซาร์โคเมียร์จากสูตร

$$\mu = \frac{\lambda \times D \times \sqrt{(T/D)^2 + 1}}{T}$$

กำหนดให้ D = ระยะทางระหว่างตัวอย่างบนสไลด์กับฉาก

2T = ระยะระหว่างแสงสว่าง 2 เส้น ที่เกิดจากเกิดดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่น

ความยาวคลื่น(λ) = 0.6328 μm

ฉ. วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิเคราะห์การทดลองปัจจัยเดียวแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD)

3.4.3. ศึกษาผลของการตรึงตัวอย่างในสารเคมีที่มีต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์

ก. แบ่งตัวอย่างเนื้อวัว หมู ไก่ส่วนสะโพกออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน

ข. ส่วนแรกนำไปตรึงด้วยสารเคมีประมาณ 20 ชั่วโมง ส่วนที่สองนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

ค. ในการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัด กำหนดระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากเท่ากับ 10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. วัดค่า 2T ที่เกิดจากดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นในตัวอย่างทั้งสองส่วน คำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์จากสูตรข้างต้นและวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ

3.4.4. ศึกษาผลของระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากที่มีต่อความยาวของซาร์โคเมียร์

ก. นำตัวอย่างเนื้อวัว หมูและไก่ส่วนสะโพกตรึงด้วยสารเคมี

ข. กำหนดระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากเท่ากับ 10 13และ16 เซนติเมตร

ค. วัดค่า 2T ในแต่ละระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉาก คำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์จากสูตรข้างต้นและวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ

3.4.5. ศึกษาเปรียบเทียบความยาวของซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ส่วนต่างๆ

ก. นำตัวอย่างเนื้อวัว หมูและไก่ ส่วนสะโพก อก สันในและน่องตรึงด้วยสารเคมี

ข. กำหนดระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากเท่ากับ 10 เซนติเมตร ทำการวัดค่า 2T คำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์จากสูตรข้างต้นและวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ

3.4.6. ศึกษาเปรียบเทียบความยาวของซาร์โคเมียร์ด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.4.6.1 การวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น ทำการทดลองดัง 3.4.2

3.4.6.2 การวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

ก. ใช้คีมคีบเศษเนื้อชิ้นเล็กๆ ฉีกเส้นเนื้อออกมาเล็กน้อย แตะลงบนสไลด์

ข. ใช้ช้อนตักสารสเตนเลสปลายตัด 2 อัน ฉีกเส้นใยเนื้อออกตามความยาวให้ขาดออกจากกันให้มากที่สุด

ค. นำแผ่นสไลด์ที่มีชิ้นส่วนเนื้อไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่สามารถส่งภาพออกจอโทรทัศน์ได้ ใช้กำลังขยาย 400X

ง. เลือกภาพที่มองเห็นเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยเป็นแถบโปรตีนแถบทึบแสงและแถบโปร่งแสงชัดเจน

จ. นำมานับจำนวนซ่องของซาร์โคเมียร์ โดยใช้ไม้บรรทัดวัดทาบลงไปบนหน้าจอโทรทัศน์และนับจำนวนซาร์โคเมียร์ในช่วงระยะ 10 เซนติเมตรทำการทดลอง 5 ซ้ำ

ฉ. ใช้ไมโครมิเตอร์(micrometer) ขนาด 0.01 มิลลิเมตร วัดที่กำลังขยาย 400X อ่าน ค่าความยาวบน ไมโครมิเตอร์ เป็นจำนวนซ่องสเกล

ช. คำนวณหาความยาวของซาร์โคเมียร์ จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = จำนวนช่องสเกล x ขนาด ไมโครมิเตอร์

$$SL = \frac{L \times 1}{N} \times 1000$$

L = ความยาวหน้าจอในระยะ 10 เซนติเมตร

SL = ความยาวซาร์โคเมียร์ใน 1 ช่อง (micrometer)

N = จำนวนช่องของซาร์โคเมียร์ในช่วงระยะ 10 เซนติเมตร

3.4.6.3 เปรียบเทียบความยาวของซาร์โคเมียร์ด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนำค่าที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธีไปวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติและวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเนื้อสัตว์และเคมีอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการจัดตั้งคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

ใช้เวลาในการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2547 ถึง 15 มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาผลของการตรึงตัวอย่างในสารเคมีที่มีต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์

จากการศึกษาผลของการตรึงตัวอย่างในสารเคมีต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์ในเนื้อวัว หมู และไก่ส่วนสะโพก โดยทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ส่วนแรกนำไปแช่ในสารเคมีที่เตรียมไว้ข้างต้นจนครบเวลาที่กำหนด ส่วนที่สองนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสเพื่อรักษาสภาพของเนื้อให้สดอยู่เสมอก่อนทำการวัดค่า จากนั้นทำการวัดตัวอย่างทั้งสองส่วนโดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 และคำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์ตามสูตรให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

A) เนื้อวัว

B) เนื้อหมู

C) เนื้อไก่

รูปที่ 4.1 แสดงดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นที่เกิดขึ้นจากการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ของเนื้อวัว หมูและไก่ตามลำดับ ซึ่งในเนื้อวัวสามารถมองเห็นเส้นขอบเขตได้ชัดเจนกว่าในเนื้อหมูและเนื้อไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยของเนื้อวัว หมูและไก่ส่วนสะโพก ที่ผ่านการตรึงและไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี

ชนิดของเนื้อ	ลักษณะของตัวอย่าง	ความยาวซาร์โคเมียร์(μm)
เนื้อวัว	ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	1.7869 ± 0.0078
	ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	1.4347 ± 0.0230
เนื้อหมู	ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	1.7019 ± 0.0240
	ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	1.5218 ± 0.0190
เนื้อไก่	ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	1.7391 ± 0.0090
	ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	1.6004 ± 0.0360

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าความยาวซาร์โคเมียร์ของตัวอย่างที่ผ่านการตรึงและไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมีในเนื้อวัว หมูและไก่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) ณรงค์ฤทธิ์ (2545) รายงานว่า การวัดความยาวซาร์โคเมียร์ควรทำภายใน 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ค่าความยาวซาร์โคเมียร์นั้นสามารถลดลงได้เนื่องจากการเกิดโคร็อดเทนนิ่ง (Cold shortening) โดยจะพบความยาวซาร์โคเมียร์ที่ลดลงผิดปกติเพราะการเกยซ้อนกันของเอ็มไลน์ (M-line) ไอแบนด์(I-band) และเส้นใยฝอยไมโอซิน(myosin) รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสัณฐานของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและร่างแหเรติคูลัม หรืออาจเกิดจากสารเคมีที่ใช้ตรึงตัวอย่างทำปฏิกิริยากับโครงสร้างภายในของเนื้อทำให้เนื้อเสียสภาพในระหว่างการแช่ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ค่าความยาวซาร์โคเมียร์ระหว่างลักษณะตัวอย่างทั้งสองแตกต่างกัน

แต่เนื่องจาก เนื้อที่ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมีไม่สามารถเก็บไว้ใช้ในการทดลองครั้งต่อไปได้ และไม่สามารถรักษาสภาพของเซลล์ให้ใกล้เคียงกับลักษณะเดิม จึงเหมาะสมที่จะใช้ตัวอย่างที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมีมากกว่า เนื่องจากการใช้สารเคมีในการตรึงตัวอย่าง สารกลูตาไดอัลดิไฮด์ (Glutadi aldehyde) จะมีผลในการทำให้เซลล์ของสัตว์คงสภาพเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถนำตัวอย่างไปใช้ในการทดลองครั้งต่อไปได้

4.2. ศึกษาผลของระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากที่มีต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์

จากการศึกษาผลของระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉาก ที่มีต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อวัว หมูและไก่ส่วนสะโพกที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี โดยให้ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากมีระยะต่างกันดังนี้ 10 , 13 และ 16 เซนติเมตร ใช้เลเซอร์กำลังขนาด 1 mW ทำการวัดตัวอย่างโดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นและคำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์ตามสูตร ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยของเนื้อวัว หมูและไก่ส่วนสะโพก ที่ใช้ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากที่ระยะต่างๆ กัน

ชนิดของเนื้อ	ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉาก (cm.)	ความยาวซาร์โคเมียร์(μm)
เนื้อวัว	10	1.7869 ± 0.0078
	13	1.7922 ± 0.0170
	16	1.7127 ± 0.0500
เนื้อหมู	10	1.7019 ± 0.0240
	13	1.6875 ± 0.0240
	16	1.8935 ± 0.0190
เนื้อไก่	10	1.7391 ± 0.0090
	13	1.7450 ± 0.0230
	16	1.8739 ± 0.0260

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.2 เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากมีระยะต่างกัน พบว่า ในเนื้อวัวระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากไม่มีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ เนื่องจากเมื่อให้แสงเลเซอร์ส่องผ่านชิ้นเนื้อ ดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นที่เกิดขึ้นสามารถมองเห็นเส้นขอบเขต (boundary) ได้ชัดเจน และเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากเป็นค่าต่างๆ แสงเลเซอร์จะตกกระทบยังตำแหน่งโฟกัสของทุกระยะ จึงสามารถมองเห็นเส้นขอบเขตได้ชัดเจนเช่นเดิม ส่วนในเนื้อหมูและเนื้อไก่พบว่า ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากจะมีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ อาจเกิดจากสีของโปรตีนแอคตินและไมโอซินใกล้เคียงกันจึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นเส้นขอบเขตได้ชัดเจน ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉาก จะมองเห็นเส้นขอบเขตที่เกิดขึ้นได้ยากกว่าในเนื้อวัว

Crossและคณะ(1981) ได้ทดลองวัดความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อวัว โดยใช้ระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับฉากเท่ากับ 10 เซนติเมตร(100 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นค่าคงที่ในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นในเนื้อวัว สำหรับเนื้อหมูและเนื้อไก่ไม่มีข้อมูลรายงานการวิจัยที่เพียงพอในการกำหนดเกี่ยวกับระยะระหว่างตัวอย่างกับฉากที่ใช้ในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น จึงไม่สามารถกำหนดระยะที่เหมาะสมในการวัดได้ ดังนั้นในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นอาจเลือกใช้ระยะระหว่างตัวอย่างกับฉากเท่ากับ 10 เซนติเมตร แม้ว่าในบางตัวอย่างสามารถที่จะทำการวัดได้ที่ระยะระหว่างตัวอย่างกับฉากที่ต่างกันก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ศึกษาเปรียบเทียบความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ชนิดและส่วนต่างๆ

ทำการศึกษาเปรียบเทียบความยาวของซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ 3 ชนิดโดยใช้เนื้อสัตว์ 4 ตำแหน่งของกล้ามเนื้อคือ เนื้อส่วนสะโพก อก สันในและน่อง ของวัว หมูและไก่ที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมีโดยใช้เลเซอร์ที่มีกำลัง 1 mW และระยะห่างระหว่างฉากและแท่นวางตัวอย่างเท่ากับ 10 เซนติเมตรทำการวัดตัวอย่างโดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นและคำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์ตามสูตร ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยของเนื้อสัตว์ส่วนต่างๆจากสัตว์ต่างชนิดกัน

ชนิดของเนื้อ	ส่วนต่างๆ	ความยาวซาร์โคเมียร์(μm)
เนื้อวัว	สะโพก	1.7869 ± 0.0078
	อก(เนื้อติดกระดูกซี่โครง)	1.6040 ± 0.0350
	สันใน	1.5519 ± 0.0180
	น่อง	1.3467 ± 0.0097
เนื้อหมู	สะโพก	1.7019 ± 0.0240
	อก(เนื้อติดกระดูกซี่โครง)	1.8995 ± 0.0045
	สันใน	1.4527 ± 0.0310
	น่อง	1.5394 ± 0.0170
เนื้อไก่	สะโพก	1.7391 ± 0.0090
	อก(เนื้อติดกระดูกซี่โครง)	1.4115 ± 0.0170
	สันใน	1.7392 ± 0.0140
	น่อง	1.4173 ± 0.0056

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ในเนื้อวัวส่วนสะโพกและในเนื้อหมูส่วนอกจะมีความยาวซาร์โคเมียร์มากที่สุด ส่วนในเนื้อไก่ส่วนสะโพกและสันในจะมีค่าความยาวซาร์โคเมียร์ใกล้เคียงกันและเป็นความยาวซาร์โคเมียร์ที่มากที่สุด มีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ ซึ่งทำให้ค่าความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ส่วนต่างๆมีค่าแตกต่างกัน เช่น พันธุ์ เพศ อายุของเนื้อ ระยะเวลาหลังการฆ่าและความนุ่ม ซึ่งความนุ่มจะเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ เนื้อสัตว์ที่มีความนุ่มมากจะทำให้ค่าซาร์โคเมียร์ที่วัดได้มีค่ามากขึ้นไปด้วย

สิ่งที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อคือ สัดส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในโครงสร้างของชิ้นเนื้อเป็นผลให้เนื้อมีความนุ่มแตกต่างกัน เช่น เนื้อที่ตัดมาจากส่วนขาซึ่งเป็นอวัยวะที่ต้องออกแรงมากจะมีสัดส่วนของอีพีไมเซียมผสมกับเส้นเอ็นจำนวนมาก ทำให้เนื้อในส่วนนี้มีความนุ่มน้อยกว่าเนื้อตำแหน่ง

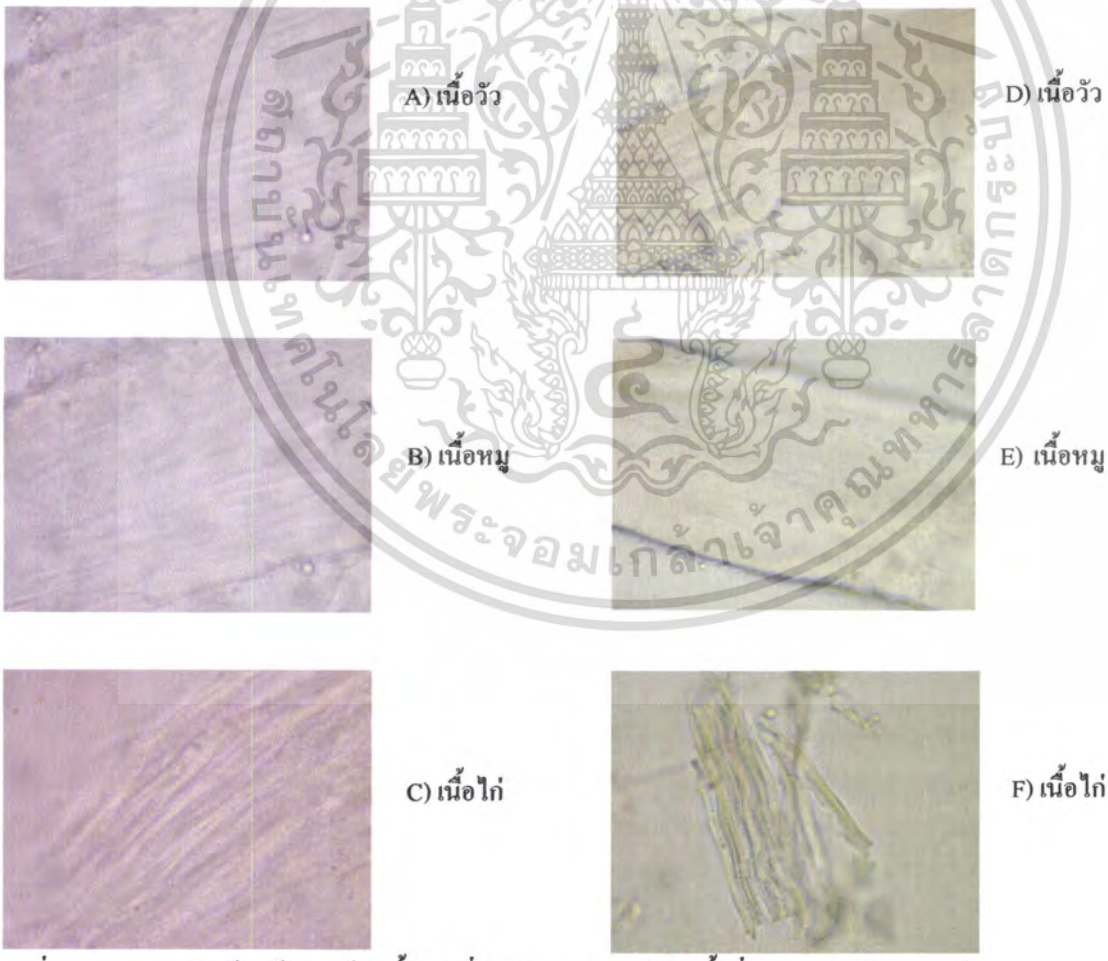
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ เช่น เนื้อสัน ปริมาณตัวเชื่อมระหว่างกันภายในโมเลกุล(Intermolecular crosslink) ของโปรตีนคอลลาเจน เนื้อจากสัตว์ที่มีอายุมากจะมีความเหนียวมากขึ้น เนื่องจากปริมาณตัวเชื่อมระหว่างกันภายในโมเลกุลของโปรตีนคอลลาเจนมีมากขึ้น กล่าวกันว่าการเลี้ยงสัตว์ โดยการทำการจัดการให้ดี

และให้อาหารสัตว์อย่างถูกต้องเหมาะสมกับชนิดของสัตว์สามารถควบคุมความนุ่มของเนื้อได้และความนุ่มของเนื้อสัตว์นี้อาจถ่ายทอดสู่ลูกหลานได้มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้สาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มลดลงคือการเกิดการหดเกร็งตัว(Rigor mortis) ของกล้ามเนื้อ (เยาวลักษณ์, 2536)

4.4. ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าซาร์โคเมียร์ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรกชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์

เมื่อทดลองวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ในตัวอย่างเนื้อที่ผ่านและไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อย่อยที่กำลังขยาย 400 เท่าในเนื้อที่ผ่านและไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี เมื่อ A - C คือเนื้อที่ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี

D – F คือเนื้อที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบความยาวซาร์โคเมียร์ที่ได้จากการวัดด้วยเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ในเนื้อวัว หมูและไก่ส่วนสะโพก โดยแบ่งเป็นตัวอย่างเนื้อสดและตัวอย่างเนื้อที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี ระยะห่างระหว่างตัวอย่างและฉากเท่ากับ 10 เซนติเมตร ใช้เลเซอร์กำลังขนาด 1 mW ทำการวัดตัวอย่างโดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นและคำนวณหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์ตามสูตร ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ยที่ได้จากการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์

ชนิดของเนื้อ	ลักษณะตัวอย่าง	วิธีการวัด	ค่าความยาวซาร์โคเมียร์เฉลี่ย(μm)
เนื้อวัว	ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	laser diffraction	1.7188 ± 0.0111
		light microscope	1.8364 ± 0.0358
	ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	laser diffraction	1.6581 ± 0.0832
		light microscope	1.7678 ± 0.0146
เนื้อหมู	ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	laser diffraction	1.7873 ± 0.0227
		light microscope	1.6406 ± 0.0073
	ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	laser diffraction	1.8079 ± 0.0111
		light microscope	1.6566 ± 0.0264
เนื้อไก่	ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	laser diffraction	1.6718 ± 0.0171
		light microscope	1.5746 ± 0.0165
	ไม่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมี	laser diffraction	1.9922 ± 0.0116
		light microscope	1.2872 ± 0.0165

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความยาวซาร์โคเมียร์ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่า ความยาวซาร์โคเมียร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าความยาวซาร์โคเมียร์ทั้งสองวิธีจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Cross และคณะ (1981) ทำการทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดความยาวของซาร์โคเมียร์ระหว่างวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ในกล้ามเนื้อวัว พบว่า การใช้วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นสามารถวัดค่าซาร์โคเมียร์ได้ง่ายกว่า เมื่อเทียบกับการใช้วิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์และให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน ในการทดลองถ้าต้องการความแม่นยำ 99% จะต้องทำการวัดตัวอย่างโดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น 34 ครั้ง และทำการวัดตัวอย่างโดยวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ 45-66 ครั้ง สาเหตุที่ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาข้างต้นอาจเนื่องมาจากจำนวนครั้งในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ไม่มากพอ และไม่สามารถควบคุมระยะหลังการฆ่าของสัตว์แต่ละชนิดให้เท่ากันได้ เนื่องจากซื้อตัวอย่างเนื้อมาจากตลาด เมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของวิธีทั้งสองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์

ชนิดของเนื้อ	ลักษณะของเนื้อ	ค่า R^2
เนื้อวัว	เนื้อสด	0.900
	ตรึงสารเคมี	0.824
เนื้อหมู	เนื้อสด	0.916
	ตรึงสารเคมี	0.885
เนื้อไก่	เนื้อสด	0.799
	ตรึงสารเคมี	0.875

หมายเหตุ ค่า R^2 ได้จากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการวัดด้วยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์มีค่าระหว่าง 0.799-0.900 ถ้าต้องการให้ข้อมูลที่ได้มีความสัมพันธ์กันมากยิ่งขึ้นคือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ 1 ในการทดลองจะต้องทำการทดลองหลายซ้ำ กำหนดระยะเวลาหลังการฆ่าให้สัมพันธ์กับชนิดของเนื้อสัตว์และการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นและโดยวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์จะต้องทำในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างซึ่งอาจทำให้ค่าความยาวซาร์โคเมียร์ที่วัดได้เกิดความผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวัดค่าความยาวซาร์โคเมียร์ โดยอาศัยวิธีการเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นในเนื้อวัว หมูและไก่ พบว่า การตรึงตัวอย่างในสารเคมีมีผลต่อค่าความยาวของซาร์โคเมียร์ เนื่องจากเนื้อสดอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของกายภาพ และโครงสร้างภายในของเนื้อเสื่อมสภาพไปบางส่วน แต่การตรึงด้วยสารเคมีจะมีผลในการทำให้เซลล์ของสัตว์คงสภาพเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถนำตัวอย่างไปใช้ในการทดลองครั้งต่อไปได้ ดังนั้นในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์จึงควรใช้ตัวอย่างที่ผ่านการตรึงด้วยสารเคมีมากกว่า เมื่อศึกษาผลของระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากที่มีต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์พบว่า ในเนื้อวัวระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากไม่มีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ เนื่องจากเมื่อให้แสงเลเซอร์ส่องผ่านชิ้นเนื้อ ดิฟแฟรคชั่นแพทเทิ่นที่เกิดขึ้นสามารถมองเห็นเส้นขอบเขต (boundary) ได้ชัดเจนในทุกระยะระหว่างตัวอย่างกับฉากที่เปลี่ยนไป ส่วนในเนื้อหมูและเนื้อไก่พบว่า ระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากจะมีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ อาจเกิดจากสีของโปรตีนแอคตินและไมโอซินใกล้เคียงกันจึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นเส้นขอบเขตได้ชัดเจน ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างตัวอย่างกับฉากจะมองเห็นเส้นขอบเขตที่เกิดขึ้นได้ยากกว่าในเนื้อวัว ในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่น อาจเลือกใช้ระยะระหว่างตัวอย่างกับฉากเท่ากับ 10 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบความยาวของซาร์โคเมียร์ในเนื้อส่วนสะโพก อก สันในและน่อง ของวัว หมู และไก่พบว่า ความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อสัตว์ส่วนต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความยาวซาร์โคเมียร์ เช่น พันธุ์ เพศ อายุและการออกกำลังของสัตว์ เมื่อเปรียบเทียบความยาวซาร์โคเมียร์ที่ได้จากการวัดด้วยเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นกับวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ความยาวซาร์โคเมียร์จะมีค่าใกล้เคียงกันและวิธีการวัดทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์สามารถวัดได้ทั้งวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นและวิธีการส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยไม่มีผลต่อค่าความยาวซาร์โคเมียร์ ซึ่งการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ให้มีความแม่นยำในการวัดมากขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ต่อไป

5.2. ข้อเสนอแนะ

1. การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัด ควรติดตั้งในห้องมืดเพื่อจะได้เห็นดิฟแฟรคชั่น แพทเทิ่นที่ชัดเจน และให้ลำแสงเลเซอร์ขนานกับขาตั้งสไลด์ ไม่ควรเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ในการวัดซึ่งอาจจะทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการเตรียมสไลด์ ต้องฉีกเส้นใยเนื้อออกตามความยาวให้ขาดออกจากกันและละเอียดมากที่สุด เพื่อง่ายต่อส่องผ่านของแสง

3. ตัวอย่างที่นำมาทดลองต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง เช่น เพศ อายุ ชนิดพันธุ์ และระยะเวลาหลังการฆ่าของสัตว์แต่ละชนิดให้ใกล้เคียงกัน เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

4. ในการวัดความยาวซาร์โคเมียร์โดยวิธีเลเซอร์ดิฟแฟรคชั่นควรเลือกใช้เนื้อวัวเป็นตัวอย่างที่จะทำการศึกษา เนื่องจากให้ผลการทดลองที่ชัดเจนและแม่นยำ อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อวัวมากกว่าในเนื้อหมูและเนื้อไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. 2536. หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ (3025). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภา: 51-64.

ชัยณรงค์ ดันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. 276 หน้า

ณรงค์ฤทธิ์ เชื่อมาก. 2545. การศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อในเนื้อไก่พื้นเมือง. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดำรงศักดิ์ มณีพงษ์สวัสดิ์. 2530. หลักการของเลเซอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 296 น.

ธวัชชัย ชัยสวัสดิ์. 2539. Theory of physics. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แม็ค: 422-430.

ธำรง เมธาศิริ. 2540. ฟิสิกส์แผนใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 212 - 216.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2536. เทคโนโลยีการผลิตเนื้อสัตว์. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ลินจง สุขลำภู. 2545. เอกสารประกอบการเรียนวิชาจุลชีววิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิ พันธุมนาวิน. 2532. เลเซอร์ฟิสิกส์. กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์: 158-164.

สมโภชน์ อิ่มเอิบ. 2534. เทคโนโลยีฟิสิกส์ใหม่. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์: 158-164.

สุรศักย์ ลำพึงกิจ. 2543. "การเลี้ยวเบนของแสง." [Online].Available:http://www.rb.ac.th/org/research /rajabhat /rink1/06101.htm

อาซัน ยูโซ๊ะ. 2545. การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ. ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Cavitt, L.C.; Youm, G.W.; Meullenet, J.F.; Owens, C.M. and Xiong, R. 2004 "Prediction of poultry meat tenderness using razor blade shear, allo-kramer shear, and sarcomere length." J.Food Science. 69: 11-15.

Cross, H.R.; West, R.L. and Dutson, T.R. 1981. "Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef *semitendinosus* muscle." Meat Science. 5: 261-266.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wheeler, T.L.; Shackelford, S.D. and Koohmaraie, M. 2002. " Sampling methodology for relating sarcomere length, collagen concentration, and the extent of postmortem proteolysis to beef and pork longissimus tenderness." J.Animal Science. 80: 982-987

"Lasers" [online]. Available: http://www.mellesgrit.com/heliumneonlaser.htm

"Lasers diffraction" [online]. Available: http://muscle.ucsd.edu/musintro/diffraction.shtml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาววารุณี ขัดสีใส เกิดเมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย ปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2547

นางสาวสุรางค์รัตน์ ถือทอง เกิดเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้