



The Food and Life has published all type articles such as research articles, review articles, survey articles, research note, short communication or editorial since 2020. It covers the all scientific and technological aspects of food and life science.

<https://www.foodnlife.org>



염소와 양 골격근의 근섬유 특성

박준영^{1,2}, 송수민², 청혜린², 임조은², 김갑돈^{2,3,*}

¹엠제닉바이오

²서울대학교 국제농업기술대학원

³서울대학교 그린바이오과학기술연구원

Muscle fiber characteristics of caprine and ovine skeletal muscles

Jinyoung Park^{1,2}, Sumin Song², Huilin Cheng², Choeun Im², Gap-Don Kim^{2,3,*}

¹Mgenic Bio, Anseong 17529, Korea

²Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea

³Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea

Abstract

This study aimed to provide a fundamental summary of the caprine and ovine muscle fiber characteristics. The goat and sheep industries have been experiencing growth due to their adaptability to market changes and the diversity of their products. Muscle fibers, which represent the basic unit of muscle and an essential factor in assessing meat quality, can be classified into several types by their contractile and metabolic properties. Species, breeds, muscle type, age, and sex are the main factors affecting muscle fiber characteristics. While the effects of these factors on muscle fiber characteristics of major livestock species (cattle, pigs, and chickens) are widely studied, goats and sheep (the main meat sources among minor livestock species) have not fully studied. Understanding muscle fiber characteristics will help to development technologies for regulating goat and lamb meat quality. In the present study, the muscle fiber characteristics of the caprine and ovine skeletal muscles assessed in previous studies were summarized. In addition, the effects of breed, sex, age, and muscle type on the caprine and ovine muscle fiber characteristics were assessed using the results of previous studies. Specific in-depth studies on muscle fiber characteristics and their relationship to the quality characteristics of goat and lamb meat are required. These studies will help to extend shelf-life and retard deterioration in meat quality during storage or freeze-thawing of goat and lamb meat.

Keywords: goat, sheep, muscle fiber type, skeletal muscle

서론

전 세계적으로 육류 생산량은 꾸준히 증가하고 있는 추세이고, 1인당 육류 소비량 또한 지속적으로 증가할 것으로 전망된다(Stella et al., 2018). 돼지, 소, 그리고 가금과 함께 주요 식육을 생산하는 가축인 염소와 양은 높은 환경 적응성과 번식력으로 인해 전 세계적으로 사육되는 적색육 생산 종(species)의 하나다(Webb, 2014). 염소 및 양은 아프리카, 아시아, 중앙 및 남아메리카 등지가 주요 생산 및 소비 지역이고, 산업 규모가 지속적으로 증가한다고 보고되고 있다(Mazhangara et al., 2019). 그러나 산업의 규모와 성장속도 및 소비량에 비해 염소육과 양고기에 대한 연구는 다른 식육과 비교해 매우 적은 편이다. 선

행 연구에서 품종, 성별 및 근육 차이에 따른 근섬유 분포 특성에 대해 보고한 바가 있으나, 염소 및 양고기의 이화학적 특성과의 연관성이나 근섬유 특성을 고려한 품질 및 저장성 개선 등에 대한 연구는 전무한 실정이다(Hwang et al., 2019; Liu et al., 2022; Rivero et al, 2022; Sirin, 2018).

식육의 주요 품질 특성인 pH, 육색, 보수력 및 연도는 근육을 구성하고 있는 근섬유(muscle fiber)의 유형별 특성(크기, 조성 및 밀도)에 영향을 크게 받는 것으로 보고되었고(Joo et al., 2013), 근섬유 특성 대한 이해는 식육의 종류에 관계없이 식육의 품질을 예측하고, 품질을 개선하거나 저장 중 품질 저하를 예방하는 방법과 기술 개발을 용이하게 할 수 있다고 선행연구

*Corresponding author : Gap-Don Kim. Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea. Tel: +82-33-339-5778, Fax: +82-33-339-5779, E-mail: gapdonkim@snu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

에서 보고된 바가 있다(Joo et al., 2013). 특히, 돈육과 우육의 경우, 부위별(또는 근육별)로 구성하고 있는 근섬유 조성의 차이로 인해 냉장 및 냉동-해동 처리에 따른 품질 변화 정도가 상이함을 확인하고, 부위별로 적절한 저장 방법을 선행연구에서 제시한 바가 있다(Cheng et al., 2020; Cheng et al., 2021). 또한, 돈육에서 이상육(abnormal pork)으로 분류되는 PSE육의 주요 특징인 창백한 육색(pale), 흐물흐물한 조직감(soft) 그리고 육즙이 과도하게 빠져나오는 낮은 보수력(exudative)이 속근섬유의 수축 특성을 지니고 해당적 에너지 대사에 의존적인 근섬유 유형 IIX 및 IIB의 분포와 정의 상관관계를 나타낸다고 보고한 바가 있고(Joo et al., 2013; Kim et al., 2013; Solomon et al., 1998), 빠른 사후 대사 속도 및 사후 근육 강직으로 인한 보수력과 연도의 저하 또한 이들 근섬유 유형과 밀접한 연관이 있음을 선행연구에서 보고한 바가 있다(Joo et al., 2013; Solomon et al., 1998).

따라서 염소 및 양의 주요 부위(또는 근육)를 구성하고 있는 근섬유 특성에 대한 이해를 바탕으로 염소 및 양고기의 품질 개선과 저장 및 냉동-해동 처리에 따른 품질 저하 예방 기술 개발을 위해서는 현재까지 수행된 근섬유 특성에 관한 연구 결과를 살펴보는 것이 선행되어야 할 것이다. 또한 선행연구에서 고찰한 내용을 바탕으로 향후 연구방향을 제시함으로써 염소 및 양고기의 품질 개선 및 품질 관리 기술 개발, 나아가서는 소비확대를 기대할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서 현재까지 수행한 염소 및 양의 주요 근육을 구성하고 있는 근섬유의 유형별 특성(크기, 조성 및 밀도 등)에 관한 연구 결과를 요약 및 고찰하여 향후 연구방향을 제안하고자 한다.

근섬유 유형 구분

근섬유 유형은 일반적으로 근섬유가 지니고 있는 수축 및 대사 특성 그리고 myosin 아형 분포 특성에 따라 구분되는데, 현재까지 myosin ATPase 활성도 차이(Brooke and Kaiser, 1970; Guth and Samaha, 1969)에 따른 분류 방법이 주로 사용되었다. 근섬유가 수축할 때 필요한 에너지인 ATP를 가수분해하는 효소(ATPase) 역할을 담당하면서 액틴과 결합하는 장소(actin-binding site)이기도 한 myosin heavy chain(MHC)은 몇 가지 아형(isoform)을 가지고 있으며, MHC 아형에 따라 ATPase의 활성이 상이하고, pH 범위에 따라 다른 활성도를 나타낸다(Kim et al., 2014). 선행연구에서 각 근섬유를 myosin ATPase의 적정 pH 차이에 따라 I, IIA, IIX 또는 IIB로 유형을 구분하였다(Brooke and Kaiser, 1970; Guth and Samaha, 1969).

최근에는 MHC 아형(1, 2, 4 및 7)의 분포에 따라 근섬유 유형을 I(MHC 7), IIA(MHC 2), IIX(MHC 1) 및 IIB(MHC 4) 등으로 구분하기도 한다(Kim et al., 2014; Song et al., 2020). 각 MHC 아형에 대한 항체(antibody)를 이용하여 면역조직학적 방

법으로 근섬유 유형을 분류할 수 있다. MHC 항체 및 면역조직학적 방법을 이용할 경우, 2종 이상의 MHC 아형이 분포하는 중간(hybrid) 근섬유인 I/IIA, IIA/IIX 및 IIX/IIB를 구분하여 근섬유 유형을 더욱 세분화할 수 있는 장점이 있다(Kim et al., 2014; Song et al., 2020).

근섬유 유형을 구분하는 다른 방법은 근섬유가 수축-이완 시 사용하는 에너지(ATP)의 의존성에 따른 것이다. 즉, 근육 내 주요 에너지 대사 형태인 산화적 대사 및 해당적 대사에 관여하는 다양한 효소 중 succinate dehydrogenase(SDH)와 glycerol-3-phosphate dehydrogenase(GPDH)의 활성도를 분석하여 산화적(oxidative) 또는 해당적(glycolytic) 근섬유 유형으로 각각 구분한다(Blanco et al., 1988; Martin et al., 1985). 또한 Nachlas 등(1958)이 nicotinamide adenine dinucleotide-tetrazolium reductase(NADH-TR)의 활성도 차이에 따라 근섬유를 구분하기도 했다. 대사적 특성에 따른 근섬유 유형의 구분과 각 유형별 조성 차이는 사후 대사 속도 및 ultimate pH를 결정하고, 나아가서 식육의 주요 육질 특성(보수력, 육색, 연도 등)을 결정 짓는다(Joo et al., 2013). 따라서 각 근섬유의 SDH 및 GPDH 활성도를 분석하여 근섬유 유형을 구분하는 방법은 myosin ATPase 활성도 차이 및 MHC 아형 분포 차이를 활용한 유형 분류법과 함께 축산학(livestock science) 및 식육학(meat science) 분야에서 현재까지 많이 활용되고 있다.

염소 근육에 분포하는 근섬유 유형을 구분하기 위해 선행연구에서 활용한 방법은 MHC 항체를 이용한 면역조직학적 방법(Argüello et al., 2001; Rivero et al., 2022)과 myosin ATPase 활성도 차이법(Hwang et al., 2019; Sirin, 2018)이다(Table 1). Argüello 등(2001)의 보고에서는 MHC 아형 분포에 따라 근섬유를 4가지 유형(I, I+IIA, IIA, IIAX 및 IIX)으로 구분하였고, Rivero 등(2022)은 유형 I과 II로 구분하였다. 반면, myosin ATPase 활성도 차이법으로 근섬유 유형을 구분한 선행연구(Hwang et al., 2019; Sirin, 2018)에서는 I, IIA 및 IIB 등 3종으로 구분하였다. Hwang 등(2019)은 소의 등심, 안심 및 우둔 근육에서 근섬유를 myosin ATPase 활성도 차이법으로 구분한 선행연구(Hwang 등, 2010)와 동일한 방법으로 염소 골격근의 근섬유를 I, IIA 및 IIB로 구분한 바가 있다.

Myosin ATPase 활성도 차이법은 염소, 소 및 돼지 근육뿐만 아니라 양의 근육에서도 동일한 유형으로 근섬유를 구분하게 한다. 즉, Fantová 등(2015)과 Liu 등(2022)의 보고에서 양의 주요 근육(*M. longissimus thoracis*, *M. longissimus thoracis et lumborum* 및 *M. quadriceps femoris*)에서 근섬유를 유형 I, IIA 및 IIB로 구분하였다(Table 2). 또한, Peña-Torres 등(2022)도 myosin ATPase 활성도 차이법을 이용하여 양의 *M. longissimus thoracis*에 분포하는 근섬유를 I, IIA 및 IIB로 구분한 바가 있는데, 이때 근섬유의 대사적 특성(NADH-TR 활성도) 차이에

Table 1. Summary of caprine muscle fiber characteristics

Breed	Sex	Age	Weight (kg)	Muscle name	Muscle fiber characteristics						References
					Typing method	Type	Fiber size (CSA, μm^2)	Relative fiber area (%)	Relative fiber number (%)	Fiber density (number/ mm^2)	
Murciano-G ranadina (Spanish)	Female	2-3.5 years	-	M. <i>Semimembra nosus</i>	Myosin heavy chain isoforms distribution	I	2,000-2,500	-	40	-	Argüello et al. (2001)
						I+IIA	2,500-3,000	-	2	-	
						IIA	2,500-3,000	-	23	-	
						IIAX	2,500-3,000	-	21	-	
Korean native black goat	Castrated	18 months	30.93±0.5 (body weight)	M. <i>Longissimus dorsi</i>	Myosin ATPase reactivity	I	-	20.14	24.24	-	Hwang et al. (2019)
						IIA	-	31.08	30.80	-	
						IIB	-	48.78	44.96	-	
						I	-	46.12	44.42	-	
						IIA	-	27.76	28.18	-	
						IIB	-	26.12	27.40	-	
		9 months	14.33±0.5 (body weight)	M. <i>Semimembr anosus</i>	Myosin ATPase reactivity	I	-	28.68	31.28	-	
						IIA	-	18.50	19.00	-	
						IIB	-	52.82	49.72	-	
						I	-	26.14	27.94	-	
						IIA	-	27.98	28.42	-	
						IIB	-	45.88	43.64	-	
9 months	14.33±0.5 (body weight)	M. <i>Longissimus dorsi</i>	Myosin ATPase reactivity	I	-	19.08	21.74	-			
				IIA	-	41.46	40.24	-			
				IIB	-	39.46	38.02	-			
				I	-	44.36	45.86	-			
				IIA	-	25.66	26.22	-			
				IIB	-	29.98	27.92	-			
Kilis (Turkish)	-	-	-	M. <i>Longissimus dorsi</i>	Myosin ATPase reactivity	I	59.38	-	-	214.3	Sirin (2018)
						IIA	14.1	-	-	713.1	
						IIB	14.6	-	-	754.1	
						I	47.7	-	-	270.2	
						IIA	16.9	-	-	634.8	
						IIB	15.2	-	-	676.0	
Honamli (Turkish)	-	-	-	M. <i>Semimembr anosus</i>	Myosin ATPase reactivity	I	69.21	-	-	178.3	
						IIA	8.9	-	-	1,449.0	
						IIB	12.4	-	-	825.2	
						I	68.8	-	-	232.2	
						IIA	15.9	-	-	865.0	
						IIB	26.3	-	-	780.0	

Table 1. Continued

Breed	Sex	Age	Weight (kg)	Muscle name	Muscle fiber characteristics						References
					Typing method	Type	Fiber size (CSA, μm^2)	Relative fiber area (%)	Relative fiber number (%)	Fiber density (number/ mm^2)	
Hair (Turkish)	-	-	-	<i>M. Longissimus dorsi</i>	-	I	60.0	-	-	305.6	Sirin (2018)
						IIA	9.5	-	-	1,637.0	
						IIB	16.2	-	-	720.0	
						I	38.9	-	-	271.1	
						IIA	7.9	-	-	1,464.0	
						IIB	15.8	-	-	652.1	
Angora (Turkish)	-	-	-	<i>M. Longissimus dorsi</i>	Myosin ATPase reactivity	I	50.95	-	-	219.4	-
						IIA	38.3	-	-	391.4	
						IIB	18.3	-	-	581.9	
						I	51.0	-	-	206.3	
						IIA	25.8	-	-	523.1	
						IIB	15.3	-	-	671.6	
Spanish-Florida						I	155.80	24.8	-	-	
						II	215.2	75.2	-	-	
Spanish-Guadarrama						I	184.20	27	-	-	
						II	226.5	73	-	-	
Spanish-Majorera						I	178.20	17.9	-	-	
						II	207.5	82.1	-	-	
Spanish-Palmera	Male	30 days	8.47±0.08 (body weight)	<i>M. Semimembranosus</i>	Myosin heavy chain isoforms distribution	I	179.10	20.1	-	-	Rivero et al. (2022)
						II	231.2	79.9	-	-	
Spanish-Payoya						I	213.40	29.5	-	-	
						II	257.8	70.5	-	-	
Spanish-Retinta						I	187.90	31.9	-	-	
						II	228.2	68.1	-	-	
Spanish-Tinerfeña						I	173.90	21.8	-	-	
						II	199.8	78.2	-	-	
Spanish-Verata						I	199.90	36.7	-	-	
						II	237.7	63.3	-	-	

따라 산화적(oxidative) 근섬유 및 해당적(glycolytic) 근섬유로도 구분하였다. López-Baca 등(2021)은 NADH-TR 활성도 차이에 따라 양의 *M. longissimus thoracis*에서 근섬유를 유형 I, IIA 및 IIB로 구분하였다.

염소와 양 근육의 근섬유 특성

품종별 차이

Stella 등(2018)에 따르면 염소와 양의 품종은 전 세계적으로 약 600여 종이 알려져 있고, 계통은 대부분 중동 아시아 지역의 야생염소(benzoar goat)종에 기반을 둔다고 보고되고 있다. 품

종이 다르면 근섬유 특성 또한 상이할 것으로 예상되는데, 다른 축종(소, 돼지, 닭 및 오리)의 경우 선행연구에서 품종 간 근섬유 특성 차이를 보고한 바가 있다(Branciari et al., 2009; Huo et al., 2021; Lebedová et al., 2021; Lee et al., 2012).

스페인의 주요 염소 품종 간 비교 결과를 보고한 Rivero 등(2022)의 연구에 의하면 *M. semimembranosus*에는 근섬유 유형 I이 17.9%~36.7%의 범위로 분포하고, 유형 II는 63.3%~82.1% 수준으로 분포하는데, 품종 간 근섬유 조성이 유의적으로 차이가 있음을 확인하였다(Table 1). Sirin(2018)의 연구에서는 터키 염소의 품종 간 근섬유 특성을 비교하였는데, *M. longissimus dorsi*에서는 Kilis와 Angora가 Honamli 및 Hair 품종에 비해 IIA 근섬유 밀도가 현저히 낮은 값을 나타내었다. 또한 Honamli

Table 2. Summary of ovine muscle fiber characteristics

Breed	Sex	Age	Weight (kg)	Muscle name	Muscle fiber characteristics						Reference
					Typing method	Type	Fiber size (CSA, μm^2)	Relative fiber area (%)	Relative fiber number (%)	Fiber density (number/ mm^2)	
Dorper× Pelibuey	Male	5 months	15.02 (Carcass weight)	M. <i>Longissimus thoracis</i>	NADH-TR technique	Oxidative	1,077.3	-	43.41	-	Peña-Torres et al. (2022)
						Glycolytic	1,619.2	-	56.58	-	
					Myosin ATPase reactivity	I	2,349	-	12.34	462.8	
						IIB	1,760.8	-	51.11		
Dorper× Pelibuey	Male	6.5 months	-	M. <i>Longissimus thoracis</i>	NADH-TR technique	I	2,155	-	23.35	-	López-Baca et al. (2021)
						IIB	3,065	-	43.64	-	
					Myosin ATPase reactivity	I	1,124.70	6.86	8.74	740.63	
						IIB	1,503.48	37.21	32.33		
Sunit (Chinese)	Male	3 months	13.56 (Carcass weight)	M. <i>Longissimus thoracis</i>	Myosin ATPase reactivity	I	1,318.90	55.86	59.16	Liu et al. (2022)	
						IIB	1,147.73	6.41	8.03		
	Female				I	1,452.06	34.87	30.78	780.97		
					IIB	1,258.49	56.30	63.24			
German Heath Lamb	Male	5 months	-	M. <i>longissimus thoracis et lumborum & M. Quadriceps femoris</i>	Myosin ATPase reactivity	I	978.12	18.99	-	-	Fantová et al. (2015)
						IIB	578.38	21.27	-	-	
						IIB	680.82	59.74	-	-	
	Female			I	1,264.31	8.12	-	-			
				IIB	839.89	24.02	-	-			
				IIB	1,065.61	67.86	-	-			
	Male & Female			M. <i>longissimus thoracis et lumborum</i>	I	1,035.63	8.12	-	-		
					IIB	647.90	24.02	-	-		
					IIB	805.11	67.86	-	-		
					I	1,206.80	27.48	-	-		
M. <i>Quadriceps femoris</i>	IIB	770.36	16.48	-	-						
	IIB	941.33	55.65	-	-						

NADH-TR, nicotinamide adenine dinucleotide-tetrazolium reductase.

와 Hair 간 *M. longissimus dorsi*에서의 근섬유 밀도는 근섬유 유형에 관계없이 유사한 경향을 나타내었다. 위 연구에서 보고한 *M. semimembranosus*의 근섬유 특성은 Honamli(26.3%)이 다른 품종(15.2%-15.8%)에 비해 IIB 근섬유 조성이 상대적으로 높은 결과를 보여주었다.

한편, 양의 경우 품종 간 직접 비교 결과는 없지만 비슷한 연령(5개월)의 Dorper×Pelibuey와 German Heath Lamb를 비교하면, *M. longissimus thoracis* 또는 *M. longissimus thotacis et lumborum*에서 근섬유 크기는 매우 상이한 것으로 확인된다 (Table 2). 즉, Dorper×Pelibuey의 근섬유 유형별 크기는 2,349 μm^2 (I), 1,447 μm^2 (IIA) 및 1,760.8 μm^2 (IIB)인 반면, German Heath Lamb는 1,035.63 μm^2 (I), 647.90 μm^2 (IIA) 및 805.11

μm^2 (IIB)를 나타내었다. 연령이 6.5개월인 Dorper×Pelibuey에 대한 또 다른 연구 결과(López-Baca et al., 2021)에서도 비슷한 경향을 보여주었는데, 근섬유 유형에 관계없이 근섬유의 크기가 German Heath Lamb보다 높은 값을 나타내었다.

다른 축종의 경우에도 품종 간 차이를 나타내는 것으로 보고되고 있다. 예를 들면, 소의 경우 Lebedová 등(2021)이 Angus, Gascon, Holstein 및 Fleckvieh 등의 주요 근육(*M. longissimus lumborum*, *M. semitendinosus*, *M. biceps femoris*, *M. semimembranosus* 및 *M. psoas major*)에서 근섬유 특성을 비교하였는데, 그 결과 *M. psoas major*를 제외한 나머지 주요 근육에서 근섬유 조성 또는 근섬유 크기가 상이함을 확인하였다(Table 3). 돼지의 경우, Ruusunen and Puolanne(2004)의 연구에서 야

생(wild)과 상용(domestic) 돼지 근섬유 유형 분석 결과, 상용 돼지의 *M. semimembranosus*는 약 6%의 I 유형을 함유하고 있지만, 야생 돼지는 I 유형이 16%를 차지한다고 보고된 바 있다 (Table 3).

따라서, 염소 및 양을 포함한 주요 가축의 경우 축종에 관계 없이 품종에 따라 근섬유 특성이 상이함을 확인하였다. 그러나, 근육의 종류에 따라 품종 간 차이가 없을 수도 있으나, 대부분의 근육에서는 품종 간 차이를 나타내었다.

부위별 차이

근육 유형에 따라 근섬유 특성의 상이함은 다수의 선행연구에서 보고된 바(Bee et al., 2004; Cheng et al., 2020; Kim et al., 2016)와 같이, 염소의 주요 근육에 분포하는 근섬유 특성을 보고한 Hwang 등(2019)의 결과에서도 유사한 경향이 확인되었다(Table 1). 즉, *M. longissimus dorsi*의 경우 IIB 유형(38.02%~48.78%)의 근섬유가 다른 유형의 근섬유(I : 19.08%~24.24%, IIA : 30.80%~41.46%)보다 더 많은 분포를 나타냈지만, *M. psoas major*의 경우 I 유형의 근섬유가 가장 높은 분포(44.36%~46.12%)를 나타냈다. 같은 연구에서 *M. semimembranosus*와 *M. gluteus medius*의 경우 다른 근섬유 유형보다 IIB 유형이 더 높은 조성(40.32%~52.82% 및 37.60%~45.88%)을 나타내었다. Sirin(2018)의 연구결과에 의하면 품종에 관계없이 *M. longissimus dorsi*와 *M. semimembranosus*의 근섬유 밀도는 상이한 반면, 근섬유 크기는 대부분 비슷한 것으로 확인된다.

한편, 양의 경우, Fantová 등(2015)이 보고한 결과에서는 *M. longissimus thotacis et lumborum*이 *M. quadriceps femoris*보다 유형 IIA(24.02% : 16.48%)와 IIB(67.86% : 55.65%)의 조성이 높은 반면, 유형 I의 조성(8.12% : 27.48%)은 낮은 특성을 나타내었다(Table 2). 이러한 경향은 돼지와 소에서도 관찰할 수 있는데, 근육은 유형에 따라 운동 생리적 특성이 다를 뿐만 아니라 에너지 대사가 다르기 때문에 근육을 구성하고 있는 근섬유 특성 또한 달라진다(Farup et al., 2014; Park et al., 2022; Song et al., 2020). Totland and Kryvi(1991)의 연구에서 소의 앞다리에 분포하는 여러 근육은 위치에 따라 근섬유 조성이 다르다고 하였다(Table 3). 즉, 뼈와 가까운 근육일수록 I 유형의 근섬유가 많이 분포하는 반면, 뼈와 거리가 멀수록 IIB 유형의 근섬유가 상대적으로 더 많이 분포한다. Park 등(2022)의 연구에서는 근육의 형태적 특성에 따라 상이한 근섬유 특성을 확인한 바가 있다. 한편, 근육 유형에 따라 근섬유 조성의 차이(intermuscular variation)가 있을 뿐 아니라, 단일 근육 내에서도 차이(intra-muscular variation)가 나는 것으로 보고되었다. Kim 등(2018, 2019)의 연구에서 돼지 *M. longissimus thoracis et lumborum*, *M. semimembranosus* 및 *M. semitendinosus*에서 각각 근육 내 위치에 따라 근섬유 조성 및 크기가 상이함을 확인한 바가 있

다(Table 3).

연령별 차이

Hwang 등(2019)의 연구에서 한국 재래 흑염소의 근섬유 특성을 분석하였는데, 9개월령과 18개월령을 서로 비교하였다(Table 1). 개월령이 더 높은 염소의 *M. longissimus thoracis et lumborum*, *M. semimembranosus* 및 *M. gluteus medius*에서 IIB 유형의 근섬유 조성이 높은 반면, IIA의 조성이 낮은 특성을 나타내었다. 그러나 *M. psoas major*에서는 근섬유 유형에 관계없이 개월령에 따른 조성 차이를 나타내지 않았다. 한편, 양에 대한 연구에서는 연령별 비교에 대한 결과를 확인할 수 없었다(Table 2).

다른 축종의 경우, 소와 돼지에서 연령별 차이를 연구한 사례가 있다. 염소에서 연령의 증가로 인해 IIB 유형의 근섬유 조성이 증가하고, IIA 조성이 감소한 결과와 같이 소와 돼지에서 각각 생후 0-5개월 및 생후 2-3개월 사이에 이러한 근섬유 조성 변화가 일어나는 것으로 보고되었다(Dai et al., 2009; Wegner et al., 2000). 즉, Wegner 등(2000)은 소의 품종에 관계없이 생후 0-2개월에 근섬유 유형 IIB가 증가하고 IIA가 감소하는 경향을 보이다가, 그 정도가 점차 감소하여 생후 6개월 이후에는 이러한 근섬유 조성 변화가 거의 나타나지 않았다고 보고하였다(Table 3). 돼지의 경우, 생후 약 3개월까지 위와 같은 경향을 나타내지만, 그 이후에는 근섬유 조성의 변화가 없었고 보고하였다(Dai et al., 2009).

성별 차이

염소의 경우, 성별 차이를 연구한 사례는 확인되지 않았으나, 양의 경우 Sunit와 German Heath Lamb 품종에서 성별 근섬유 특성을 비교한 바가 있다(Fantová et al., 2015; Liu et al., 2022). Liu 등(2022)이 수행한 Sunit의 *M. longissimus thoracis*에 대한 연구에 따르면 암컷이 수컷보다 근섬유 IIB의 조성(number composition)이 유의적으로 더 높았지만, 다른 유형(I 및 IIA)의 근섬유 조성은 유의적인 차이가 없는 것으로 확인되었다. Fantová 등(2015)의 연구에서는 성별에 따라 근섬유 크기는 유의적 차이가 있으나, 근섬유 조성은 차이가 없다고 보고하였다. 다른 축종의 경우, 소와 돼지에서 성별 차이를 보고한 바가 있다(Chriki et al., 2012; Jeong et al., 2017). Chriki 등(2012)은 소의 성별 비교에서 근육의 종류에 관계없이 거세우가 높은 IIA 함량을 보이는 반면 IIB 유형의 함량은 낮다고 보고하였다(Table 3). 또한, Jeong 등(2017)의 돼지에 관한 연구에서도 IIA 유형의 근섬유가 암돼지에 비해 거세돼지에서 더 높은 값을 나타내었고, IIB는 비율이 낮았다고 보고하였다(Table 3). 또한, Brandstetter 등(1998)의 연구에서 거세 여부와 개월령에 따라 근섬유 유형 간 변화를 지연시킬 수 있다고 보고하였다. 성별에 따른 근섬유 특성 차이는 가축의 성 성숙 중 분비되

Table 3. Summary of bovine and porcine muscle fiber characteristics

Species	Breed	Sex	Age	Muscle name	Muscle fiber characteristics					Reference		
					Typing method	Type	Fiber size (CSA, μm^2)	Relative fiber area (%)	Relative fiber number (%)		Fiber density (number/ mm^2)	
Bovine	Angus					I	2,560.4	28.8	22.3	-		
						IIA	3,293.2	12.7	8.0	-		
						IIB	3,294.1	58.5	69.7	-		
	Gascon	Bull	17 months	M. <i>Longissimus lumborum</i>	Myosin ATPase reactivity	I	2,601.6	26.7	22.6	-	Lebedová et al. (2021)	
						IIA	2,929.9	12.4	11.3	-		
						IIB	3,351.5	60.9	66.1	-		
		Holstein					I	2,301.3	28.6	22.3	-	
							IIA	2,578.0	9.0	8.0	-	
							IIB	3,204.1	62.4	69.7	-	
		Norwegian Red cattle	Bull	22-24 months	M. <i>Cutaneus</i>	Myosin ATPase	I	-	5.0	-	-	Totland and Kryvi (1991)
							IIA	-	20.0	-	-	
							IIB	-	75.0	-	-	
					M. <i>Longissimus thoracis</i>		I	-	30.0	-	-	
							IIA	-	37.0	-	-	
							IIB	-	33.0	-	-	
		German Angus		0 month			I	700-800	18.0	-	-	
							IIA	700-800	42.0	-	-	
							IIB	700-800	18.0	-	-	
			2 months			I	900-1,100	15.0	-	-		
		Bull		M. <i>Semitendinosus</i>	Myosin ATPase	IIA	900-1,100	20.0	-	-	Wegner et al. (2000)	
						IIB	1,200-1,400	65.0	-	-		
						I	600-700	20.0	-	-		
			0 month			IIA	600-700	30.0	-	-		
	Galloway					IIB	650-750	50.0	-	-		
			2 months			I	700-800	20.0	-	-		
						IIA	700-800	15.0	-	-		
						IIB	1,200-1,300	65.0	-	-		
	Charolais, Limousin, Blond d'aquitaine, Aubrac, Salers, Montbéliard, Holstein	Heifer and cull cow	4-120 months	M. <i>Longissimus thoracis</i>	Myosin ATPase	I		30.0	-	-	Chriki et al. (2012)	
						IIA		15.0	-	-		
						IIB		55.0	-	-		
		Steer				I		29.0	-	-		
						IIA		24.0	-	-		
						IIB		47.0	-	-		
Porcine	Domestic pig					I	3,050	6.6	-	-	Ruusunen and Puolanne (2004)	
						IIA	3,480	3.6	-	-		
			5.5 months	M. <i>Semimembranosus</i>	Myosin ATPase activity	IIB	6,210	89.8	-	-		
		Wild pig				I	3,890	16.6	-	-		
						IIA	3,230	16.1	-	-		
						IIB	3,760	67.3	-	-		

Table 3. Continued

Species	Breed	Sex	Age	Muscle name	Muscle fiber characteristics					Reference	
					Typing method	Type	Fiber size (CSA, μm^2)	Relative fiber area (%)	Relative fiber number (%)		Fiber density (number/ mm^2)
LYD	Gilts and barrow			M. <i>Longissimus thoracis Anterior</i>	Myosin heavy chain isoforms distribution	I	4,000-4,150	7.5	-	-	Kim et al. (2019)
						IIA	3,800-3,900	5.0	-	-	
						IIX	5,250-5,350	31.0	-	-	
						IIB	5,100-5,200	56.5	-	-	
				M. <i>Longissimus thoracis Posterior</i>		I	5,100-5,200	9.0	-	-	
						IIA	4,450-4,550	4.5	-	-	
						IIX	7,500-7,600	28.0	-	-	
						IIB	7,350-7,450	58.5	-	-	
Landrace	-		2.5 months	M. <i>Longissimus thoracis</i>	Myosin ATPase activity	I	1,737	-	56.93	-	Dai et al. (2009)
						IIA	717	-	14.71	-	
						IIB	1,104	-	28.37	-	
						I	2,414	-	73.50	-	
						IIA	1,252	-	12.59	-	
						IIB	1,675	-	13.91	-	
LYD	Castrated males	6 months		M. <i>Longissimus thoracis</i>	Myosin ATPase activity	I	4,169.07	10.56	11.36	26.05	Jeong et al. (2017)
						IIA	4,212.11	7.59	8.23	18.50	
						IIB	4,784.55	81.88	80.41	183.79	
						I	4,539.10	14.81	13.81	33.18	
						IIA	4,894.67	10.65	9.88	24.72	
						IIB	4,237.55	74.55	76.29	188.32	
LYD	Females					I					
						IIA					

는 호르몬(androgen과 testosterone 등)에 의해 대사 차이, 즉 해당적 대사 감소 및 산화적 대사 증가에 기인하는 것으로 보고 되고 있다(Jurie et al., 1999; Picard and Gagaoua, 2020).

근섬유 특성과 육질의 관계

근섬유 조성과 육질 또는 식육의 이화학적 특성과의 상관관계는 여러 선행 연구에서 보고되었다(Choi and Kim, 2009; Joo et al., 2013; Karlsson et al., 1993; Kim et al., 2010; Kim et al., 2018). 근섬유의 조성에 따라 도축 후 에너지 대사 속도가 달라지고 이로 인해 최종 산물인 젖산 및 수소이온(H^+)이 축적 되어 식육의 산도, 육색, 보수력 및 연도가 결정된다고 알려져 있다(Joo et al., 2013). 그러나 이러한 결과는 대부분 소나 돼지의 근육(우육 및 돈육)에서 연구가 수행된 것으로 염소나 양의 근육에 관한 연구는 Hwang 등(2019)의 보고 외에는 전무한 실정이다. Hwang 등(2019)의 연구에서 염소의 M. *longissimus dorsi*, M. *psoas major*, M. *semimembranosus* 및 M. *gluteus medius*를 대상으로 근섬유 조성과 육질과의 관계를 분석하여 보고하였다. 위 연구에서 I 유형은 명도, 수분 손실 및 전단가와 부의 상관관계를 나타내는 반면, 근섬유 유형 IIB는 수분 손실 및 전단가와 정의 상관관계를 나타내는 것으로 보고하였다. 이

러한 결과는 소 및 돼지 근육에서 근섬유 특성과 육질 특성의 상관관계를 규명한 선행연구(Hwang et al., 2010; Joo et al., 2013; Kim et al., 2010; Kim et al., 2014)와 유사한 경향을 나타내는 것이다. 소 및 돼지 근육에 관한 연구는 근섬유 특성과 신선육의 품질 특성과의 상관성에 관한 것뿐만 아니라 저장 품질 및 냉동-해동육 품질 등과의 관계도 규명한 바가 있다(Cheng et al., 2020; Cheng et al., 2021). 이러한 연구 결과는 우육 및 돈육의 저장 및 냉동-해동 처리 시 품질 개선 또는 품질 저하를 예방하기 위해 유용한 자료로 활용될 수 있다. 그러나, 염소 및 양고기의 품질 관리를 위한 근섬유 특성에 관한 기초연구는 매우 미진한 실정이다.

결론

염소 및 양 근육에 분포하는 근섬유는 대사적 특성, 수축 특성 또는 MHC 아형 분포에 따라 2가지 또는 3가지 이상의 유형으로 구분된다. 다른 축종처럼 염소와 양의 근육에 분포하는 근섬유 특성은 품종, 성별, 연령 및 부위에 따른 차이를 나타내는 것으로 선행연구에서 확인되었다. 또한 근섬유 특성과 염소 고기의 육질 특성과의 상관관계에 대한 결과는 우육이나 돈육의 결과와 유사한 경향을 보여주었다. 그러나, 근섬유 특성에

영향을 미치는 보다 다양한 요인, 즉 사양 환경, 성장속도, 체중 등에 대한 연구가 전무한 실정이고, 근섬유 특성과 밀접한 연관이 있는 사후 근육 내 에너지 대사 특성에 관한 연구 또한 확인할 수 없었다. 뿐만 아니라 육질 특성과의 상관관계에 대한 연구도 거의 없는 실정이다. 따라서, 염소 및 양고기의 품질 관리, 부위별 최적의 저장 조건 확립 및 냉동-해동육의 품질 개선 등에 대한 기초 자료로 활용될 수 있는 근섬유 특성에 관한 연구가 보다 더 다양하게 수행될 필요가 있다.

Conflicts of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by Korea government (MSIT) (NRF-2022R1A2C4002360).

Ethics Approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants

Author Contributions

Conceptualization: Park J, Kim GD.

Data curation: Park J, Im C, Kim GD.

Formal analysis: Park J, Song S, Cheng H, Im C.

Methodology: Park J, Song S, Cheng H, Im C.

Writing – original draft: Park J, Kim GD.

Writing – review & editing: Park J, Song S, Cheng H, Im C, Kim GD.

Author Information

Junyoung Park (Researcher, Mgenic Bio)

<https://orcid.org/0000-0003-2569-6422>

Sumin Song (Ph. D. Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0001-7115-2253>

Huilin Cheng (Ph. D. Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0003-0628-3358>

Choeun Im (Master's Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0003-3564-7069>

Gap-Don Kim (Associate Professor, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0001-5870-8990>

References

- Argüello A, López-Fernández JL, Rivero JL. 2001. Limb myosin heavy chain isoproteins and muscle fiber types in the adult goat (*Capra hircus*). *Anat Rec* 264:284-293.
- Bee G, Guex G, Herzog W. 2004. Free-range rearing of pigs during the winter: Adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. *J Anim Sci* 82:1206-1218.
- Blanco CE, Sieck GC, Edgerton VR. 1988. Quantitative histochemical determination of succinic dehydrogenase activity in skeletal muscle fibres. *Histochem J* 20:230-243.
- Branciarri R, Mugnai C, Mammoli R, Miraglia D, Ranucci D, Dal Bosco A, Castellini C. 2009. Effect of genotype and rearing system on chicken behavior and muscle fiber characteristics. *J Anim Sci* 87:4109-4117.
- Brandstetter AM, Picard B, Geay Y. 1998. Muscle fibre characteristics in four muscles of growing male cattle: II. Effect of castration and feeding level. *Livest Prod Sci* 53:25-36.
- Brooke MH, Kaiser KK. 1970. Three “myosin adenosine triphosphatase” systems: The nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. *J Histochem Cytochem* 18: 670-672.
- Cheng H, Song S, Jung EY, Jeong JY, Joo ST, Kim GD. 2020. Comparison of beef quality influenced by freeze-thawing among different beef cuts having different muscle fiber characteristics. *Meat Sci* 169:108206.
- Cheng H, Song S, Kim GD. 2021. Frozen/thawed meat quality associated with muscle fiber characteristics of porcine *longissimus thoracis et lumborum*, *psaos major*, *semimembranosus*, and *semitendinosus* muscles. *Sci Rep* 11:13354.
- Chriki S, Picard B, Jurie C, Reichstadt M, Micol D, Brun JP, Journaux L, Hocquette JF. 2012. Meta-analysis of the comparison of the metabolic and contractile characteristics of two bovine muscles: *Longissimus thoracis* and *Semiten-dinosus*. *Meat Sci* 91:423-429.
- Choi YM, Kim BC. 2009. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livest Sci* 122: 105-118.
- Dai F, Feng D, Cao Q, Ye H, Zhang C, Xia W, Zuo J. 2009. Developmental differences in carcass, meat quality and muscle fibre characteristics between the Landrace and a Chinese native pig. *S Afr J Anim Sci* 39:267-273.
- Fantová M, Ptáček M, Michnová K, Nohejlová L, Ducháček J.

2015. Histochemical muscle fibre characteristics of German heath lamb meat. *Acta Vet Brno* 84:297-303.
- Farup J, Sørensen H, Kjølhedede T. 2014. Similar changes in muscle fiber phenotype with differentiated consequences for rate of force development: Endurance versus resistance training. *Hum Mov Sci* 34:109-119.
- Guth L, Samaha FJ. 1969. Qualitative differences between actomyosin ATPase of slow and fast mammalian muscle. *Exp Neurol* 25:138-152.
- Huo W, Weng K, Gu T, Zhang Y, Zhang Y, Chen G, Xu Q. 2021. Effect of muscle fiber characteristics on meat quality in fast- and slow-growing ducks. *Poult Sci* 100: 101264.
- Hwang YH, Bakhsh A, Lee JG, Joo ST. 2019. Differences in muscle fiber characteristics and meat quality by muscle type and age of Korean native black goat. *Food Sci Anim Resour* 39:988-999.
- Hwang YH, Kim GD, Jeong JY, Hur SJ, Joo ST. 2010. The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers. *Meat Sci* 86:456-461.
- Jeong JY, Jeong TC, Yang HS, Kim GD. 2017. Multivariate analysis of muscle fiber characteristics, intramuscular fat content and fatty acid composition in porcine *longissimus thoracis* muscle. *Livest Sci* 202:13-20.
- Joo ST, Kim GD, Hwang YH, Ryu YC. 2013. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Sci* 95:828-836.
- Jurie C, Picard B, Geay Y. 1999. Changes in the metabolic and contractile characteristics of muscle in male cattle between 10 and 16 months of age. *Histochem J* 31:117-122.
- Karlsson A, Enfalt AC, Essén-Gustavsson B, Lundström K, Rydhmer L, Stern S. 1993. Muscle histochemical and biochemical properties in relation to meat quality during selection for increased lean tissue growth rate in pigs. *J Anim Sci* 71:930-938.
- Kim GD, Jeong JY, Hur SJ, Yang HS, Jeon JT, Joo ST. 2010. The relationship between meat color (CIE L* and a*), myoglobin content, and their influence on muscle fiber characteristics and pork quality. *Food Sci Anim Resour* 30:626-633.
- Kim GD, Jeong JY, Yang HS, Hur SJ. 2019. Differential abundance of proteome associated with intramuscular variation of meat quality in porcine *longissimus thoracis et lumborum* muscle. *Meat Sci* 149:85-95.
- Kim GD, Ryu YC, Jeong JY, Yang HS, Joo ST. 2013. Relationship between pork quality and characteristics of muscle fibers classified by the distribution of myosin heavy chain isoforms. *J Anim Sci* 91:5525-5534.
- Kim GD, Ryu YC, Jo C, Lee JG, Yang HS, Jeong JY, Joo ST. 2014. The characteristics of myosin heavy chain-based fiber types in porcine longissimus dorsi muscle. *Meat Sci* 96:712-718.
- Kim GD, Yang HS, Jeong JY. 2016. Comparison of characteristics of myosin heavy chain-based fiber and meat quality among four bovine skeletal muscles. *Food Sci Anim Resour* 36:819-828.
- Kim GD, Yang HS, Jeong JY. 2018. Intramuscular variations of proteome and muscle fiber type distribution in *Semimembranosus* and *Semitendinosus* muscles associated with pork quality. *Food Chem* 244:143-152.
- Lebedová N, Bureš D, Needhamd T, Čítek J, Dlubalová Z, Stupka R, Bartoň L. 2021. Histochemical characterisation of high-value beef muscles from different breeds, and its relation to tenderness. *Livest Sci* 247:104468.
- Lee SH, Choe JH, Choi YM, Jung KC, Rhee MS, Hong KC, Lee SK, Ryu YC, Kim BC. 2012. The influence of pork quality traits and muscle fiber characteristics on the eating quality of pork from various breeds. *Meat Sci* 90:284-291.
- Liu C, Hou Y, Su R, Luo Y, Dou L, Yang Z, Yao D, Wang B, Zhao L, Su L, Jin Y. 2022. Effect of dietary probiotics supplementation on meat quality, volatile flavor compounds, muscle fiber characteristics, and antioxidant capacity in lambs. *Food Sci Nutr* 10:2646-2658.
- López-Baca MA, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Muhlia-Almazán A, Valenzuela-Melendres M, Peña-Ramos EA, Islava-LAgarda TY., González-Rios H. 2021. Muscle fiber morphometry and physicochemical characteristics of the Longissimus thoracis muscle of hair male lambs fed zilpaterol hydrochloride and implanted with steroids. *Meat Sci* 177:108490.
- Martin TP, Vailas AC, Durivage JB, Edgerton VR, Castleman KR. 1985. Quantitative histochemical determination of muscle enzymes: Biochemical verification. *J Histochem Cytochem* 33:1053-1059.
- Mazhangara IR, Chivandi E, Mupangwa JF, Muchenje V. 2019. The potential of goat meat in the red meat industry. *Sustainability* 11:3671.

- Nachlas MM, Walker DG, Seligman AM. 1958. A histochemical method for the demonstration of diphosphopyridine nucleotide diaphorase. *J Biophys Biochem Cytol* 4:29-38.
- Park J, Song S, Cheng H, Im C, Jung EY, Moon SS, Choi J, Hur SJ, Joo ST, Kim GD. 2022. Comparison of meat quality and muscle fiber characteristics between porcine skeletal muscles with different architectures. *Food Sci Anim Resour* 42:874-888.
- Peña-Torres EF, Castillo-Salas C, Jiménez-Estrada I, Muhlia-Almazán A, Peña-Ramos E, Pinelli-Saavedra A, Avendaño-Reyes L, Hinojosa-Rodríguez C, Valenzuela-Melendres M, Macías-Cruz U, González-Ríos H. 2022. Growth performance, carcass traits, muscle fiber characteristics and skeletal muscle mRNA abundance in hair lambs supplemented with ferulic acid. *J Anim Sci Technol* 64: 52-69.
- Picard B, Gagaoua M. 2020. Muscle fiber properties in cattle and their relationships with meat qualities: An overview. *J Agric Food Chem* 68:6021-6039.
- Rivero MA, Hernández-Castellano LE, Cabrera MG, Camacho A, Ripoll G, Panea B, Alcalde MJ, Córdoba MG, Argüello A, Castroa N. 2020. Study of the influence of genotype and rearing method on muscle fibre characteristics in suckling goat kids. *J Appl Anim Res* 50: 146-151.
- Ruusunen M, Puolanne E. 2004. Histochemical properties of fibre types in muscles of wild and domestic pigs and the effect of growth rate on muscle fibre properties. *Meat Sci* 67:533-539.
- Sirin E. 2018. Relationship between muscle fiber characteristics and meat quality parameters in Turkish native goat breeds. *Indian J Anim Res* 52:1526-1530.
- Solomon MB, Van Laack RLJM, Eastridge JS. 1998. Biophysical basis of pale, soft, exudative (PSE) pork and poultry muscle: A review. *J Muscle Foods* 9:1-11.
- Song S, Cheng H, Jung EY, Joo ST, Kim GD. 2020. Muscle fiber characteristics on chop surface of pork loin (*M. longissimus thoracis et lumborum*) associated with muscle fiber pennation angle and their relationships with pork loin quality. *Food Sci Anim Resour* 40:957-968.
- Stella A, Nicolazzi EL, Van Tassell CP, Rothschild MF, Colli L, Rosen BD, Sonstegard TS, Crepaldi P, Tosser-Klopp G, Joost S. 2018. AdaptMap: Exploring goat diversity and adaptation. *Genet Sel Evol* 50:61.
- Totland GK, Kryvi H. 1991. Distribution patterns of muscle fibre types in major muscles of the bull (*Bos taurus*). *Anat Embryol* 184:441-450.
- Webb EC. 2014. Goat meat production, composition, and quality. *Anim Front* 4:33-37.
- Wegner J, Albrecht E, Fiedler I, Teuscher F, Papstein HJ, Ender K. 2000. Growth- and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *J Anim Sci* 78: 1485-1496.

© Copyright. Korean Society for Food Science of Animal Resources.

Date Received Oct. 19, 2022

Date Revised Nov. 14, 2022

Date Accepted Nov. 15, 2022