

高原型藏羊和小尾寒羊睾丸小叶及附睾微动脉的解剖学特征

杨雅楠 王彪 刘成泽 王欣荣*

甘肃农业大学动物科学技术学院 兰州 730070

摘要: 分别从青海和甘肃采集高原型藏羊 (*Ovis aries*) 和小尾寒羊睾丸各 20 枚, 用血管铸型技术和扫描电镜方法, 研究两品种绵羊睾丸小叶及附睾微动脉的超微形态特征。结果显示, 两品种绵羊的睾丸小叶及附睾微动脉走行呈一定程度的弯曲, 其中睾丸小叶内离心动脉、离心小动脉及向心小动脉均呈“树枝”状分布。研究发现, 与低海拔地区的小尾寒羊相比, 高原型藏羊睾丸的绳结状动脉具有更密集的螺旋状排布, 小动脉分支也较多, 并且向心动脉、绳结状动脉、离心动脉、附睾头微动脉的管径也较粗。此外, 高原型藏羊睾丸小叶和附睾头微动脉表面的“梭形”压痕较浅, 而小尾寒羊的则较深; 高原型藏羊睾丸小叶毛细血管前微动脉的表面缢痕较多且密集, 而小尾寒羊的则相对少而稀疏。研究认为, 高原型藏羊睾丸小叶及附睾微动脉的超微形态特征, 有利于血管的收缩、睾丸供血及高原环境下精子的成熟, 是睾丸对高原环境的适应性特征。

关键词: 高原型藏羊; 小尾寒羊; 睾丸微动脉

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2019) 03-375-07

Anatomical Characteristics of Testicular Lobule and Epididymal Arterioles in Tibetan Sheep and Small-Tailed Han Sheep

YANG Ya-Nan WANG Biao LIU Cheng-Ze WANG Xin-Rong*

College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Tibetan sheep live in high altitude areas and possess good adaptability to high-altitude hypoxia. As the critical organs of spermatogenesis and sperm transportation, testicles are extremely sensitive to environment. The testicular and epididymal arterioles are regulated by the autonomic nervous system and control the blood flow in the entire microcirculation duct. Here, twenty testes of Tibetan sheep and Small-Tailed Han sheep were collected from their living areas including Qinghai and Gansu, respectively. The morphological characteristics of arterioles in testicular lobule and epididymides were investigated by using the blood perfusion technology and scanning electron microscopic method. The results demonstrated that

基金项目 甘肃省自然科学基金项目 (No. 18JR3RA164), 国家自然科学基金项目 (No. 31560634);

* 通讯作者, E-mail: wangxr@gsau.edu.cn;

第一作者介绍 杨雅楠, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物遗传育种与繁殖; E-mail: yangyanan404@163.com。

收稿日期: 2018-09-27, 修回日期: 2019-02-07 DOI: 10.13859/j.cjz.201903007

arterioles of testicular lobule and epididymis exhibited a degree of curvature, and small arteries from the centripetal and centrifugal parts showed “dendritic” distribution (Fig. 1). It was found that spiral of knot-like artery in Tibetan sheep showed tighter and more branches of small arteries than that in Small-Tailed Han sheep. The diameters of centripetal, Knot-like, centrifugal arteries and caput epididymal artery in Tibetan sheep were larger than those of Small-Tailed Han sheep (Table 1). Moreover, there were shallow imprints of the smooth muscles on the surface of testicular lobule and caput epididymis casts, but those in Small-Tailed Han sheep were deeper. Meanwhile there were more and intense precapillary constrictions in testicular lobule than those in Small-Tailed Han sheep (Fig. 2). The study suggested that the arteriole of testicular lobule and epididymis in Tibetan sheep contribute to vasoconstriction and sperm maturation, which became important anatomical characteristics for their adaptation to the plateau environment.

Key words: Tibetan sheep; Small-Tailed Han sheep; Testicular arterioles

研究显示,高原动物如藏羊 (*Ovis aries*)、牦牛 (*Bos grunniens*)、高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 等,世居于高海拔地区,经长期自然选择,其外貌特征、皮肤、生理和生化指标等已对高原低氧具有良好的适应性和稳定遗传学特性 (魏青 2007, 董传豪等 2015, 李梦真 2017, Shi et al. 2018),然而各种动物对低氧的适应特点不尽相同 (俞红贤 2000)。高原型藏羊世居于海拔 2 500 ~ 5 000 m 的青藏高原及毗邻省份,对高原低氧具有良好的适应性 (国家畜禽遗传资源委员会组 2011)。许多学者就高原低氧对高原型藏羊的影响及机体对低氧适应机制做了大量研究 (贾荣莉 1997, 王欣荣等 2013),结果表明,高原环境对动物的繁殖性能会产生一定影响。有研究表明,藏羊卵巢动脉卵巢支螺旋圈数较多,可为卵巢供应充足的血液 (王欣荣等 2018)。充足的血液为动物体器官发挥正常作用所必需 (Huling et al. 2016),藏羊睾丸内各级微动脉具有主动的血流调节功能,在低氧环境下,器官缺氧可引起毛细血管括约肌收缩,调节局部血流,从而加强藏羊生殖器官对低氧的适应性 (孙英等 2011)。睾丸作为精子生成和运输的场所,血流量的丰富程度决定精液的质量,并影响动物受胎率 (孙英等 2011)。睾丸动脉运输血液至睾丸,为精子生成、发育、成熟提供营养。睾丸对环境因素十分敏感,即使短暂、小部位的缺血也可能导

致功能紊乱 (Shevantaeva et al. 2006)。目前,关于绵羊睾丸小叶及附睾微动脉的比较解剖学研究报道较少,本研究制作绵羊两个品种高原型藏羊和小尾寒羊睾丸微动脉铸型标本,结合扫描电镜 (scanning electron microscope, SEM) 方法,比较不同海拔环境的绵羊睾丸动脉及微动脉的解剖学特征、微动脉表面超微形态的差异,探讨藏羊的睾丸微动脉对高原低氧环境的适应性特征,为深入研究高原哺乳动物对高海拔环境的适应性机理提供形态学参考。

1 材料与方法

1.1 材料

完整分离并收集 2 ~ 3 岁成年高原型藏羊和小尾寒羊屠宰后的新鲜睾丸各 20 枚,高原型藏羊睾丸采自青海省西宁市乐家湾屠宰场、小尾寒羊睾丸采自甘肃省兰州市小西湖牛羊屠宰场。

1.2 方法

1.2.1 铸型剂配制 将丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (acrylonitrile-butadiene-styrene resin, ABS 塑化剂, 韩国锦湖 HFA450) 溶解于丙酮、丁酮混合液 (体积比 1 : 1) (博联化工),待其溶解后添加苏丹 III 染料 (天津光复精细化工) 充分混匀,分别配制 5%、8%、13% 浓度的红色铸型剂。

1.2.2 铸型标本制作 将采集到的睾丸样本

用温水浸泡并剪去外周固有鞘膜,使其白膜表面动脉血管走行清晰可见,自附睾尾至睾丸精索动脉方向反复挤压,排出淤血。在睾丸精索动脉近心端直线部插入针头并固定,依次注入5%、8%、13%浓度的铸型剂,完成灌注后,静置于凉水中1 h,并多次补灌;同时,在附睾尾分离出其动脉并插管灌注。7 d后,待灌注剂充分凝固,将样本置于30%的盐酸中腐蚀,并冲洗残余物,晾干后得到整体铸型标本。

1.2.3 铸型标本观察及管径测量 选择高原型藏羊和小尾寒羊睾丸相同部位的睾丸小叶内动脉和附睾头微动脉并拍照,用数显游标卡尺测量其动脉管径,每条动脉及其分支管径测定分支根部、中间部及末梢三部位,结果以三部位平均值计。选取微血管铸型好的标本,在相同部位的睾丸小叶和附睾头内微动脉取样,经超声波清洗、干燥,离子镀膜机(JMB-3500VA)喷镀金,扫描电镜(日立 S-3400N)观察,选择不同部位拍照、储存,用Image J图像分析软件测量各级微血管铸型的管径,分析并比较扫描电镜下高原型藏羊和小尾寒羊睾丸动脉铸型的形态学差异。使用SPSS Statistics 17.0统计软件分析数据,组间比较采用单因素方差分析,多重比较采用Duncan's法, $P < 0.05$ 具有显著性差异,分析小尾寒羊和藏羊睾丸向心动脉、绳结状动脉、离心动脉及附睾头微动脉的管径差异。

2 结果

2.1 睾丸小叶及附睾动脉的解剖学特征

通过观察高原型藏羊和小尾寒羊的睾丸动脉铸型标本,发现二者睾丸动脉的分布特征相同,表现为由腹主动脉发出后经精索部螺旋进入睾丸内,在白膜下沿实质行走,形成睾丸直段动脉后进一步分支、弯曲为睾丸迂曲动脉,并在其分支上朝向睾丸网发出“放射”状的向心动脉(图1)。向心动脉进入睾丸内,在睾丸纵隔行进,并在睾丸网附近形成1~6个螺旋环不等的绳结状动脉,同时在螺旋的末端、

朝向睾丸外周发出1~5支离心动脉,但不接触睾丸表面。在睾丸表面至睾丸纵隔之间,离心动脉又发出若干小动脉,在睾丸小叶内继续朝向睾丸网行走形成有较多迂曲的向心小动脉,并反向发出离心小动脉。观察发现,高原型藏羊和小尾寒羊睾丸小叶内向心动脉都呈“直线”形。绳结状动脉呈“蛇”形盘曲,具有不同程度的螺旋和弯曲;离心动脉、向心小动脉、离心小动脉及管间微动脉逐级分支,共同形成“树枝”状;小动脉间相互交叉、弯曲。比较研究发现,高原型藏羊睾丸绳结状动脉的螺旋分布更密集,离心动脉的弯曲程度更高;高原型藏羊离心动脉的分支平均比小尾寒羊多1~2支。

在睾丸动脉的走行过程中,向阴囊内发出分支,形成附睾的上、下动脉并盘曲折叠到达附睾头和附睾体,并呈“弓”形紧贴于睾丸体表面。当附睾上动脉行至附睾头部时,其分支增多并在附睾主动脉两侧发出多级分支,每一级分支又发出若干小分支,呈“树叶脉络”状分布于附睾头,将附睾头完全包裹,然后向其内部发出相互交叉的若干条微动脉,使附睾头微动脉包裹成“椭球”形,其血管分布比附睾体、附睾尾的更密集。

2.2 睾丸小叶及附睾头动脉和微动脉的管径比较

经测定,高原型藏羊和小尾寒羊的睾丸小叶内动脉的平均管径大小顺序相同:绳结状动脉 > 向心动脉 > 离心动脉。高原型藏羊睾丸及附睾的向心动脉、绳结状动脉及离心动脉的平均管径均显著大于小尾寒羊($P < 0.05$),但附睾头微动脉管径二者无差异(表1)。

2.3 睾丸小叶和附睾头微动脉表面的超微结构特征

通过扫描电镜观察,发现高原型藏羊和小尾寒羊睾丸小叶内向心动脉和绳结状动脉表面光滑(图2)。绳结状动脉在螺旋过程中分出1~3个分支。离心动脉主干弯曲并逐级分级,其动脉管径在分支的过程中不断变细,每一主

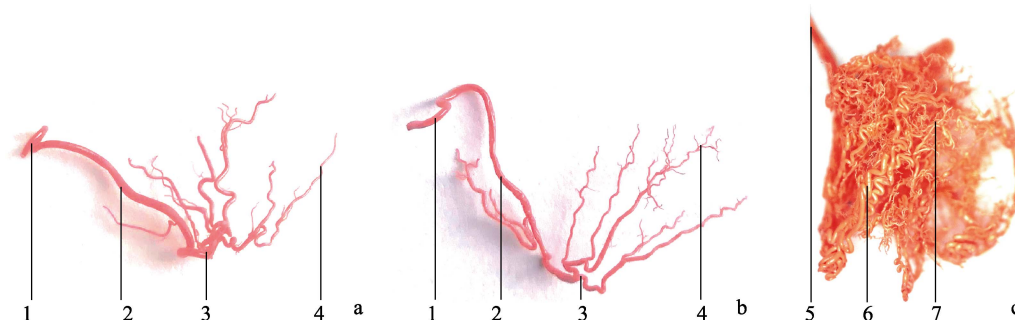


图 1 睾丸小叶及附睾头微动脉铸型

Fig. 1 Artery cast in testicular lobules and caput epididymis

a. 高原型藏羊睾丸小叶内动脉铸型；b. 小尾寒羊睾丸小叶内动脉铸型；c. 小尾寒羊附睾头动脉铸型。

a. Artery cast in testicular lobules of Tibetan sheep; b. Artery cast in testicular lobules of Small-Tailed Han sheep; c. Artery cast of caput epididymis.

1. 睾丸动脉；2. 向心动脉；3. 绳结状动脉；4. 离心动脉；5. 附睾头微动脉；6. 提睾肌动脉；7. 输精管动脉；8. 输精管小动脉

1. Testicular artery; 2. Centripetal artery; 3. Knot-like artery; 4. Centrifugal artery; 5. Arteriole of caput epididymis; 6. The cremasteric artery; 7. The deferens duct artery; 8. The deferens duct arteriole.

表 1 高原型藏羊和小尾寒羊睾丸小叶及附睾头动脉及微动脉的管径

Table 1 Diameters of arteries and arterioles in testicular lobe and caput epididymis in Tibetan sheep and Small-Tailed Han sheep.

绵羊品种 Breeds	睾丸动脉管径测定部位及平均值 (mm) Average diameters of different parts on testicular arteries (mm)			
	向心动脉 Centripetal artery	绳结状动脉 Knot-like artery	离心动脉 Centrifugal artery	附睾头微动脉 Arteriole of caput epididymidis
藏羊 Tibetan sheep (n = 20)	0.23 ± 0.01 ^a	0.25 ± 0.01 ^a	0.13 ± 0.01 ^a	0.06 ± 0.01 ^a
小尾寒羊 Small-Tailed Han sheep (n = 20)	0.19 ± 0.02 ^b	0.22 ± 0.02 ^b	0.11 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^a

同一列相同字母肩标为差异不显著 ($P > 0.05$)，不同字母肩标为差异显著 ($P < 0.05$)。

Values with same superscripts in the same list differ not significantly ($P > 0.05$), and values with different superscripts in the same list differ significantly ($P < 0.05$).

干在三维方向以不同角度发出 2 ~ 4 级分支，每一级分支有若干小分支，同级分支管径差异较小，各分支间距有差别。高原型藏羊管径为 105 ~ 130 μm 范围的睾丸微动脉标本，其睾丸小叶微动脉表面呈“树皮”样，表面有“梭形”凹痕，且分布不均匀，而管径 105 ~ 130 μm 范围的小尾寒羊睾丸小叶微动脉表面分布着内皮细胞核压痕，其内皮细胞核压痕长度约为 15.85 μm ，宽度约为 3.22 μm ，呈“月牙”、“圆盘”或“小船”状，其凹痕比高原型藏羊的深、

分布较均匀，在管径为 190 ~ 220 μm 的高原型藏羊和小尾寒羊附睾头微动脉表面也观察到相同特征。观察发现，与睾丸小叶内的微动脉相比，高原型藏羊附睾头微动脉的表面有比较多的“梭形”内皮细胞核压痕，而小尾寒羊的压痕数量则较少。高原型藏羊和小尾寒羊睾丸小叶内微动脉在血管起始部位常见环形缩窄，其小动脉、微动脉、管间微动脉在分支处明显变细，且表面均有血管平滑肌细胞形成的环形、线形缢痕。观察并比较高原型藏羊和小尾寒羊

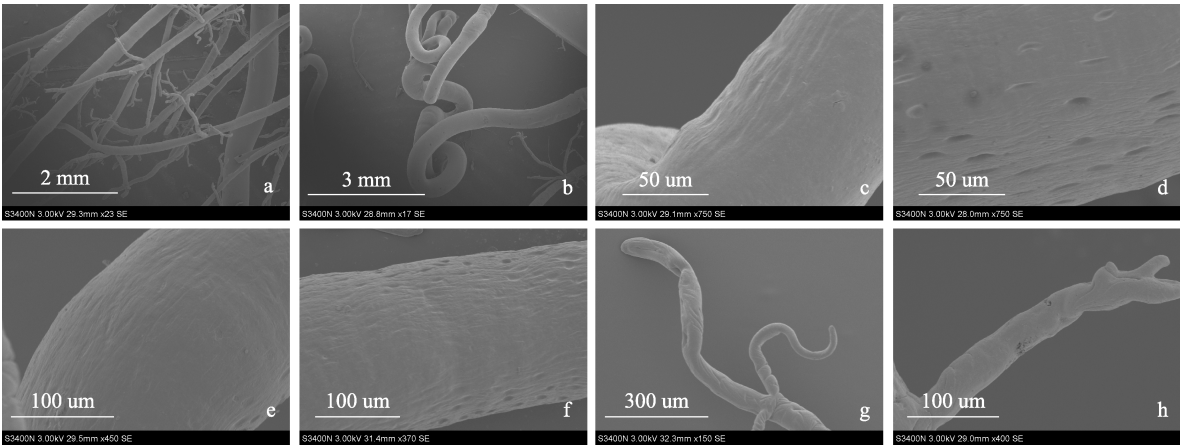


图 2 睾丸小叶及附睾头微动脉电镜观察

Fig. 2 Superficial features of the lobular arterioles and caput epididymis casts

a. 小叶内动脉分布；b. 小叶内绳结状动脉结构；c、d. 高原型藏羊和小尾寒羊小叶内微动脉铸型表面；e、f. 高原型藏羊和小尾寒羊附睾头微动脉铸型表面；g、h. 高原型藏羊和小尾寒羊睾丸小叶内微动脉

a. Distribution of arteries in lobules; b. Knot-like arterial cast in lobules; c, d. Superficial features of the lobular arterioles casts (105–130 μm microns) in Tibetan sheep and Small-Tailed Han sheep; e, f. Superficial features of the caput epididymis casts (190–220 μm microns) in Tibetan sheep and Small-Tailed Han sheep; g, h. Superficial features of the arterioles casts (18.42 – 63.16 μm microns) in Tibetan sheep and Small-Tailed Han sheep

管径为 18.42 ~ 63.16 μm 的睾丸小叶内向心、离心小动脉、毛细血管前微动脉表面发现，高原型藏羊的缢痕较多且密集，而小尾寒羊的相对少而稀疏。

3 讨论

高原型藏羊长期生活在高海拔、低氧、高辐射的高原地区（张海瑾 2018），小尾寒羊生活在低海拔的平原地区，二者生活环境的差异对其生理和器官结构均有较大影响。本研究发现，高原型藏羊和小尾寒羊睾丸及附睾动脉、微动脉包括精索部螺旋动脉、直段动脉、向心和离心小动脉等的基本构筑与其他哺乳动物的睾丸动脉分布特征基本相同（康友敏等 2002，Polguy et al. 2008，2015）。藏羊和小尾寒羊睾丸小叶内向心动脉呈直线，绳结状动脉呈“蛇”形盘曲，离心动脉及其微动脉均呈不同程度的弯曲。有研究表明，睾丸动脉的不同形态有利于保护精子的生成与移动，其盘曲结构利于血

管伸长或收缩，并减小血管压力，调节血流（贺延玉 2007，Mostafa et al. 2008）。氧含量降低，血流增加，利于供氧至睾丸（Junior et al. 2018，Rizzoto et al. 2018）。此外，高原动物肺泡隔内的毛细血管含量较平原动物丰富，发达的血管可供给动物体组织器官充足的血液，并提供丰富的营养物质，供器官生长发育（贾荣莉 1996）。有研究表明，高原型藏羊睾丸动脉对高原环境的适应已形成独特的供血特征（王欣荣等 2018），其睾丸微血管丰富，可为生精小管供应更充足的血液和营养，利于生精功能的需要（魏青 2007）。研究发现，与小尾寒羊相比，高原型藏羊睾丸的小叶内动脉、向心小动脉及离心小动脉的分布更丰富，说明藏羊睾丸小叶内的血液供应更多，有利于其克服高原低氧环境对精子发生产生的不利影响。但比较发现，二者附睾头微动脉的解剖学特征未观察到明显差异。

有研究表明，由于受较强紫外线照射，高

原居民的血管扩张(孙英等 2011)。另外研究发现,相对于滩羊,高原型藏羊供应脑部血液的主要动脉管径更粗,其脑动脉系统比低海拔绵羊的发达(王欣荣等 2013)。高原型藏羊肺内多级肺动脉管径均大于平原小尾寒羊,有利于加速血氧运输(贾荣莉 1996)。本研究中,高原型藏羊睾丸小叶微血管管径均显著大于小尾寒羊($P < 0.05$),且附睾头微动脉也大于小尾寒羊($P > 0.05$)。由此推测,在高寒低氧环境下,高原型藏羊睾丸微动脉可能供应更多的血液至睾丸小叶和附睾头。

微动脉受自主神经的调控,控制着与其相连的整个微循环管道内的血流量(李继承等 2018)。微血管平滑肌细胞一般呈“梭形”,对调节血液流速,维持血管张力具有重要作用(温进坤等 1996)。血管内皮细胞广泛分布于机体各组织器官,是机体唯一与血液接触的细胞(李萍 2014),其在动脉等血流较快的地方呈椭圆形,在静脉等血流较慢处呈圆形,当受到剪切力作用后表现为外形拉长和长轴顺血流方向排列(狄柯坪 2004)。有学者研究发现,牦牛和藏羊脑动脉、牦牛心室壁微动脉表面呈“树皮”样,表面分布“梭形”凹痕(贺延玉 2007,王欣荣等 2013)。血管内皮细胞片状和瓣状突起利于从血浆中摄取液体并输送到组织,大型指状突起用于缓冲大血管内较快的血流,便于物质交换(李萍 2014)。本研究观察到,高原型藏羊睾丸微动脉表面细胞核压痕呈“梭形”,长度约为小尾寒羊的 2~3 倍,说明在高海拔、低氧环境中,藏羊睾丸血流较慢且受到剪切力作用更多,此变化利于保障血液流通、减少血管阻力及内皮细胞的损伤。研究表明,高原动物受低温影响,其机体的触觉迟钝,末梢血管常处于收缩状态,在慢性低氧环境中,家牛(*Bos primigenius taurus*)会产生低氧性肺血管收缩反应(魏青 2007)。高原型藏羊比小尾寒羊的睾丸小叶及附睾头微动脉末端有更多的环形压痕,利于血管在高寒低氧环境下的伸缩和血压的调节。本研究发现,高原型藏羊睾丸离心动

脉比小尾寒羊发达,睾丸小叶和附睾头微动脉管径均大于小尾寒羊,且微动脉表面有较多的环形压痕,这些解剖结构特征有利于睾丸内血液输送,促进高原环境中藏羊睾丸内雄激素与睾丸液的运输,有利于精子的发生及成熟。

参 考 文 献

- Huling J, Ko I K, Atala A, et al. 2016. Fabrication of biomimetic vascular scaffolds for 3D tissue constructing vascular corrosion casts. *Acta Biomater.* 32: 190–197.
- Junior F A B, Junior C K, Favaro P D C, et al. 2018. Effect of breed on testicular blood flow dynamics in bulls. *Theriogenology*, 118: 16–21.
- Mostafa T, Labib I, El-Khayat Y, et al. 2008. Human testicular arterial supply: gross anatomy, corrosion cast, and radiologic study. *Fertility and Sterility*, 90(6): 2226–2230.
- Polguj M, Jedrzejewski K S, Bolanowski W. 2008. Comparison of the blood vessel complexes of the human and bovine male gonads. *Folia Morphologica*, 67(3): 179–185.
- Polguj M, Wysocki G, Podgorski M, et al. 2015. Morphological variations of intra-testicular arterial vasculature in bovine testis—a corrosion casting study. *BMC Veterinary Research*, 11(1): 263.
- Rizzoto G, Hall C, Tyberg J V, et al. 2018. Increased testicular blood flow maintains oxygen delivery and avoids testicular hypoxia in response to reduced oxygen content in inspired air. *Scientific Reports*, 8(1): 10905.
- Shevantaeva O N, Kosyuga Y I. 2006. Effect of acute hypobaric hypoxia on spermatogenesis and lactate concentration in testicular tissue of male albino rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 141(1): 20–22.
- Shi Y, Hu Y, Wang J, et al. 2018. Genetic diversities of MT-ND1 and MT-ND2 genes are associated with high-altitude adaptation in yak. *DNA Mapping, Sequencing, and Analysis*, 29(3): 485–494.
- 狄柯坪. 2004. 内皮细胞对微循环血流的影响. 白求恩医学院学报, (2): 94–96.
- 董传豪, 饶开晴, 徐亚欧, 等. 2015. 高原动物的低氧适应性研究进展. 黑龙江畜牧兽医, (17): 57–60.
- 国家畜禽遗传资源委员会组. 2011. 中国畜禽遗传资源志: 羊志. 北京: 中国农业出版社, 24–25.
- 贺延玉. 2007. 牦牛和成年牦牛心脏微血管构筑的研究. 甘肃:

- 甘肃农业大学硕士学位论文, 30–36.
- 贾荣莉. 1996. 不同海拔高度绵羊肺部血管的比较观察. 黑龙江畜牧兽医, (12): 16–18.
- 贾荣莉. 1997. 高原藏羊肺组织学结构及特点. 中国兽医科技, (2): 43–44.
- 康友敏, 李健, 张健, 等. 2002. 哺乳动物睾丸微血管构筑的研究进展. 解剖科学进展, 8(2): 179–182.
- 李继承, 曾园山. 2018. 组织学与胚胎学. 9 版. 北京: 人民卫生出版社.
- 李梦真. 2017. 青藏高原动物对环境的适应机制研究进展. 青海科技, 24(3): 56–59.
- 李萍. 2014. 血管内皮细胞病理生理作用的研究进展. 微循环学杂志, 24(4): 1–7.
- 孙英, 袁莉刚, 赵海涛. 2011. 成年高原藏羊睾丸小叶内微血管分布和形态特征. 解剖学报, 42(1): 114–118.
- 王欣荣, 吴建平. 2013. 藏羊脑动脉系统结构特征与高原适应性研究. 家畜生态学报, 34(8): 36–40.
- 王欣荣, 杨雅楠, 梁翕, 等. 2018. 成年与幼年高原型藏绵羊性腺动脉血管构筑比较. 动物学杂志, 53(1): 69–74.
- 魏青. 2007. 不同发育阶段高原牦牛和平原黄牛肺泡显微结构的研究. 青海: 青海大学硕士学位论文, 24–30.
- 温进坤, 石纓. 1996. 血管平滑肌细胞增殖调控机理的研究进展. 生理科学进展, (2): 149–152.
- 俞红贤. 2000. 高原低氧与家畜. 青海畜牧兽医杂志, (2): 41–42.
- 张海瑾. 2018. 青海欧拉型藏羊发展存在的问题与对策. 养殖与饲料, (7): 112–113. 11.