

江达牦牛遗传资源特性与评价利用

姜 辉^{1,2,3} 陈晓英^{1,2,3} 张成福^{1,2,3} 孙光明^{1,2,3} 信金伟^{1,2,3*}

(1. 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室; 2. 农业农村部青藏高原畜禽遗传育种重点实验室; 3. 西藏自治区农牧科学院畜牧兽医研究所, 西藏拉萨, 850000)

摘要 本文系统调查并分析了江达牦牛的生境、起源与形成历史、外貌特征、生长发育性能、生产性能以及分子遗传背景。结果表明, 江达牦牛遗传资源具有较强的耐粗饲、抗病和役用性能, 产肉性能优良; 其肉色红亮, 蛋白质含量高、脂肪含量低, 富含硒、铁、维生素E、牛磺酸及不饱和脂肪酸, 属优质动物蛋白资源, 并具有良好的加工适用性。遗传分析显示, 江达牦牛群体遗传多样性较为丰富, 在系统进化中独立成支, 未出现遗传混杂, 表明其具有独特的遗传背景。因此, 江达牦牛是未来培育高产、优质、高抗逆性牦牛新品种的重要遗传资源, 可作为牦牛种业中的关键“基因宝库”。

关键词 江达牦牛; 遗传资源; 生产性能; 遗传多样性; 保护利用

中图分类号: S823.8+5

文献标志码: A

文章编号: 2096-4781 (2026) 04-0508-08

DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2026.04.011

Characteristics and Evaluation of Genetic Resources of Jiangda Yak

JIANG Hui^{1, 2, 3}, CHEN Xiaoying^{1, 2, 3}, ZHANG Chengfu^{1, 2, 3}, SUN Guangming^{1, 2, 3}, XIN Jinwei^{1, 2, 3*}

(1. State Key Laboratory of Hulless Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement; 2. Key Laboratory of Animal Genetics and Breeding on Xizang Plateau, Ministry of Agricultural and Rural Affairs; 3. Institute of Animal Science and Veterinary, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lasa, Xizang, 850000, China)

Abstract: This paper systematically investigates and analyzes the habitat, origin, formation history, morphological characteristics, growth performance, production traits, and molecular genetic background of the Jiangda yak. The results indicate that the Jiangda yak genetic resource exhibits strong tolerance to coarse forage, disease resistance, and draft capability, along with excellent meat production performance. The meat is bright red in color, high in protein, low in fat, and rich in functional components such as selenium, iron, vitamin E, taurine, and unsaturated fatty acids, making it a high-quality animal protein resource with good processing suitability. Genetic analysis reveals that the Jiangda yak population possesses relatively high genetic diversity, forms a distinct branch in phylogenetic evolution, and shows no signs of genetic introgression, demonstrating its unique genetic background. Therefore, the Jiangda yak represents an important genetic resource for future breeding of new yak varieties with high productivity, superior quality, and strong stress resistance, and can serve as a key "gene bank" in yak breeding programs.

Key words: Jiangda yak; Genetic resources; Production performance; Genetic diversity; Conservation and utilization

收稿日期: 2025-09-17

作者简介: 姜 辉 (1991-), 男, 汉族, 甘肃渭源人, 硕士, 副研究员。研究方向: 主要从事牦牛遗传资源与繁殖方面的研究。

通信作者: 信金伟 (1980-), 男, 汉族, 河南许昌人, 硕士, 研究员。研究方向: 主要从事牦牛种质资源与遗传育种方面的研究。

基金项目: 第二次青藏高原科学考察 (NO.2019QZKK0501); 西藏自治区牦牛产业技术体系生产与养殖环境控制岗位。

牦牛是青藏高原特有的珍贵家畜遗传资源，具有卓越的极端高寒缺氧环境适应能力，被誉为“高原之舟”。作为高寒生态系统中不可替代的多功能家畜，牦牛在全年放牧条件下，为当地居民持续提供肉、奶、毛、皮及役力等关键生产生活资料^[1-4]。江达牦牛是在西藏自治区昌都市江达县及周边海拔3 800~4 800 m的高山草甸地带发现的一个优良遗传资源类群。该类群经过长期自然选择和生态适应，形成了对高山峡谷复合生态系统的特殊适应机制，表现出耐粗饲、抗逆性强、役用性能良好和产肉性能突出等优良特性。江达牦牛肉质色泽鲜红、肌肉脂肪含量低、蛋白质含量高，富含硒、铁等微量元素以及维生素E和牛磺酸等功能性成分，其脂肪酸组成优良，不饱和脂肪酸比例较高，属优质动物蛋白来源，并具有良好的加工适应性。2025年，江达牦牛通过国家畜禽遗传资源委员会鉴定，被正式认定为国家遗传资源。系统开展江达牦牛遗传资源特性研究，对于深入解析其遗传背景、推动资源保护与可持续利用、指导良种选育及促进区域产业化开发具有重要的科学价值和实践意义。

1 江达牦牛的生境条件

江达牦牛主要分布于青藏高原东南缘的怒江、澜沧江与金沙江三江并流区域东段，地处横断山脉北段高山峡谷地带。该区域地理单元相对封闭，属青南—藏东—川西高山山原区组成部分，地貌特征以典型的高山峡谷为主。产区属高原温带半湿润山地气候，具有显著的年平均温差和强烈的太阳辐射，年日照时数介于1 500~2 700 h之间。气候数据显示，极端最高气温约28℃，极端最低气温可达-15℃，年平均气温维持在5℃~10℃范围内。其中，最冷月（1月）平均气温约-5℃，最热月（7月）平均气温约13℃，无霜期平均约140 d，年降水量约549 mm，且降水主要集中在夏秋两季，约占全年降水量的90%左右。江达牦牛栖息于多种天然草地生境类型，包括高山草甸、高寒灌丛草甸、湖盆河滩沼泽化草甸以及亚高山草甸等。草场植被以禾本科和莎草科为主，菊科、蓼科等为辅。牧草资源具有粗纤维含量较低，粗蛋白、粗脂肪及无氮浸出物含量较高的营养特点，有效弥补了当地豆科牧草资源的不足。草群结构复杂、层次分明、密度较高，天然草场年平均干草产量约78.95万t，构成江达牦牛的主要饲草基础^[5]。

2 江达牦牛起源与形成历史

据《昌都地区志》^[6]记载，早在约4 600 a前，昌都地区已存在家畜驯养活动，当地牦牛品种系通过野生牦牛的长期驯化与人工选育的肉乳兼用型地方良种。《江达县志》^[5]历史文献进一步佐证，至秦汉时期，江达区域的牦牛养殖业已形成初具规模，充分彰显其悠久的驯化历史。除正史文献记载外，江达牦牛的起源在地方口述传统中同样蕴藏着丰富的文化叙事。根据昌都市非物质文化遗产项目——江达县洛堆村勉撒派唐卡代表性传承人西绕秋久口述史料记载，公元1038年当地爆发大范围疫病，波及龙宫僧俗社群，龙王遂恭请莲花生大师赴此抗疫。疫情平息后，龙王为表感恩馈赠珍宝及一批“神牦牛”。莲花生大师后将此神牦牛赐予缘法深厚的加洛家族，经其系统繁育与种群扩增，逐步形成江达牦牛的原始类群。该传说叙事与多位当地耆老的口述资料相互印证，共同建构了江达牦牛作为神圣起源畜种的文化遗传地位。在此文化叙事语境下，江达牦牛通过长期的自然选择、人工选育与生态适应性进化，最终形成遗传结构稳定、表型特征一致的现代地方类群。这些口述传统不仅为该品种提供了重要非物质文化遗产价值，更从民族动物学研究维度确证了其形成过程的历时性特征与地域独特性，进而显著提升了江达牦牛作为

特色遗传资源的多学科研究价值。

3 江达牦牛外貌特征

江达牦牛整体结构紧凑，属中等偏小型，体格健壮。被毛主色为黑色，部分个体呈黄褐色或带有白色斑块，少数个体为灰色；被毛浓密且较长，具发达的绒毛层。额部被毛相对较短，部分个体可见卷曲现象；前胸、体侧及尾部被毛显著延长。尾毛浓密呈帚状，尾长普遍超过飞节并延伸至后管部^[7]。

头部呈楔形，大小适中。多数个体具有角，角型呈细尖小圆环状；嘴筒略长，额部稍显突出，眼睛大而明亮。鼻镜多为黑褐色，少数呈粉红色。颈部短而厚实，公牦牛头部短宽，肩峰较小，前胸深宽，无颈垂、胸垂及脐垂结构；母牦牛头部相对狭长，颈部较薄，肩峰低平，背腰平直，后躯发育良好，尻部短而宽。四肢粗短，蹄质坚实，适应山地行走及攀爬。公牦牛前躯发达，体格粗壮；母牦牛后躯丰满，体形清秀，充分体现了其肉乳兼用型品种的典型形态特征^[7]。

表1 江达牦牛不同年龄阶段体重、体尺指标统计分析表

Tab.1 Ontogenetic changes in body weight and body conformation traits of Jiangda yaks

年龄	性别	样本数	体重/kg	体尺指标			
				体高/cm	体斜长/cm	胸围/cm	管围/cm
初生	♂	20	8.61±0.69 ^a	-	-	-	-
	♀	20	7.93±0.77 ^a	-	-	-	-
6月龄	♂	56	59.38±13.30 ^b	78.03±7.68 ^a	84.46±6.81 ^a	101.36±9.79 ^a	10.82±1.30 ^a
	♀	60	50.34±13.67 ^b	73.26±6.56 ^a	80.32±6.49 ^a	94.98±9.59 ^a	10.06±1.02 ^a
18月龄	♂	45	103.97±14.94 ^c	94.18±5.40 ^b	100.59±6.41 ^b	122.59±9.18 ^b	13.56±1.64 ^b
	♀	52	92.84±15.95 ^c	87.58±6.36 ^b	94.84±5.33 ^b	118.74±8.14 ^b	12.26±1.45 ^b
30月龄	♂	48	146.33±21.40 ^d	99.17±5.08 ^c	110.00±7.21 ^c	138.33±5.65 ^c	14.83±0.41 ^c
	♀	62	143.33±31.13 ^d	95.00±8.19 ^c	107.17±8.47 ^c	133.67±4.16 ^c	14.33±1.15 ^c
42月龄	♂	38	195.67±14.04 ^e	104.39±3.82 ^d	118.33±5.77 ^d	150.00±3.98 ^d	16.00±0.63 ^d
	♀	42	184.83±33.80 ^d	103.83±5.34 ^c	114.83±5.67 ^c	146.33±7.31 ^c	14.67±1.15 ^c
54月龄	♂	38	250.69±35.30 ^d	111.94±5.51 ^e	119.33±7.37 ^d	161.81±8.38 ^d	16.63±1.02 ^e
	♀	54	197.50±18.02 ^e	105.00±2.65 ^d	115.71±3.62 ^d	152.33±4.04 ^c	14.76±0.71 ^c
66月龄	♂	36	264.14±22.02 ^f	112.29±4.82 ^e	123.70±5.31 ^e	163.14±9.26 ^e	16.86±0.69 ^f
	♀	52	215.40±20.56 ^d	106.00±3.56 ^d	118.00±5.37 ^d	155.80±7.69 ^c	15.00±0.89 ^c
≥78月龄	♂	34	333.25±80.38 ^g	122.19±10.03 ^f	137.00±13.34 ^f	177.56±9.26 ^f	18.00±1.51 ^f
	♀	48	235.00±22.00 ^d	108.67±6.43 ^d	124.00±4.89 ^d	157.33±7.77 ^c	15.33±1.15 ^c

注：在同一性别和同一指标下，不同字母的年龄段之间存在显著差异（ $p < 0.05$ ）。

4 江达牦牛生长发育情况

在自然放牧条件下，2021年10月在江达县农业科技示范园区，对江达牦牛不同年龄阶段共705头的体重与体尺指标进行了系统测定，结果见表1。从初生至成年阶段，江达牦牛公牦牛平均初生重为8.61 kg，母牦牛为7.93 kg。至42月龄时，公牦牛平均体重、体高、体斜长、胸围和管围分别为195.67 kg、104.39 cm、118.33 cm、150.00 cm和16.00 cm；母牦牛相应指标分别为184.83 kg、103.83 cm、114.83 cm、146.33 cm和14.67 cm。至78月龄时，公牦牛上述指标进一步增长至333.25 kg、122.19 cm、137.00 cm、177.56 cm和18.00 cm；母牦牛则为235.00 kg、108.67 cm、124.00 cm、157.33 cm和15.33 cm。

江达牦牛体重及体尺指标随年龄变化曲线见图1至图5。分析结果表明,江达牦牛在生长发育过程中,其体重与体尺指标随年龄增长呈现同步递增趋势,整体符合“前期快速增长、后期增速递减”的发育规律。在42月龄前,公母牦牛的体重增长速率保持相对一致;至42月龄时,其体重、胸围、体斜长及管围等关键生长指标均出现显著的生长发育拐点,此后各指标的增长速率均呈明显放缓趋势。当生长至78月龄时,其体重、体高、胸围及管围等主要体尺参数均趋于稳定,未表现出统计学意义上的显著变化,这一现象标志着江达牦牛的生长发育已进入相对稳定的成熟阶段。

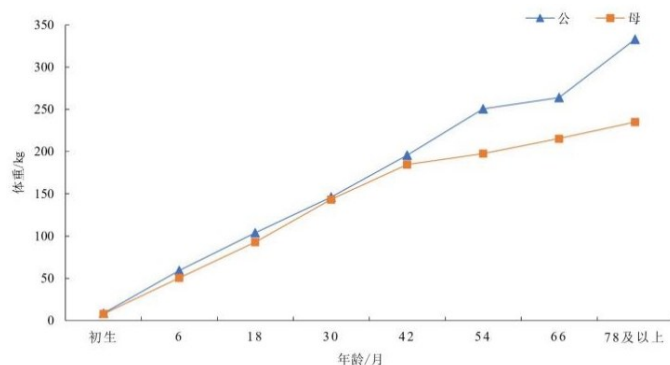


图1 江达牦牛体重变化曲线

Fig.1 Body weight change curve of Jiangda yaks

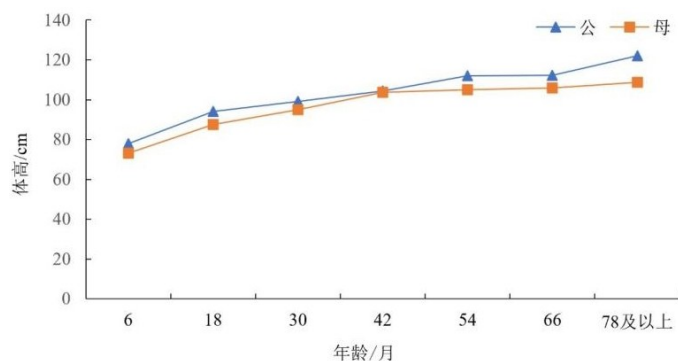


图2 江达牦牛体高变化曲线

Fig.2 Body height change curve of Jiangda yaks

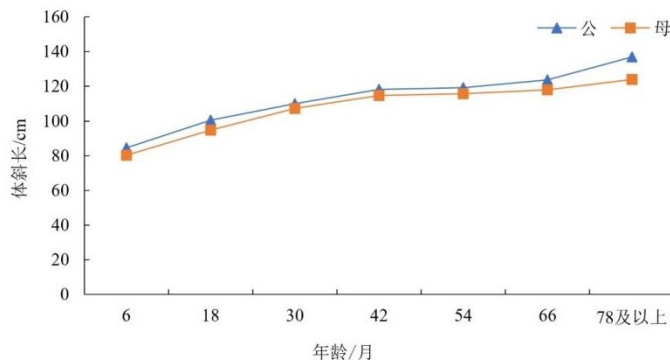


图3 江达牦牛体斜长变化曲线

Fig.3 Body length change curve of Jiangda yaks

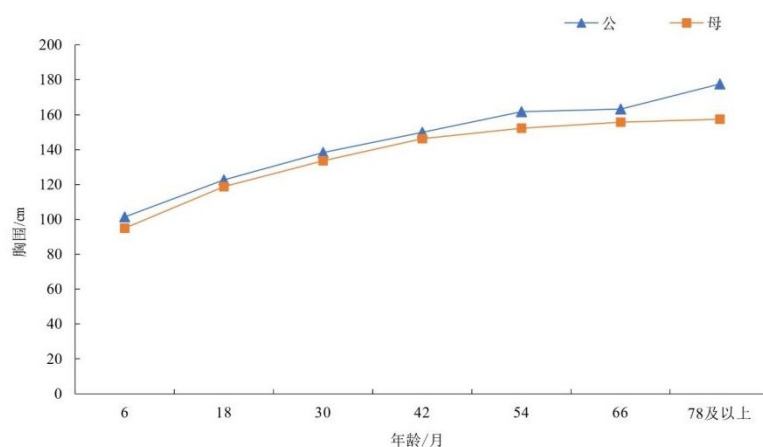


图4 江达牦牛胸围变化曲线

Fig.4 Heart girth change curve of Jiangda yaks

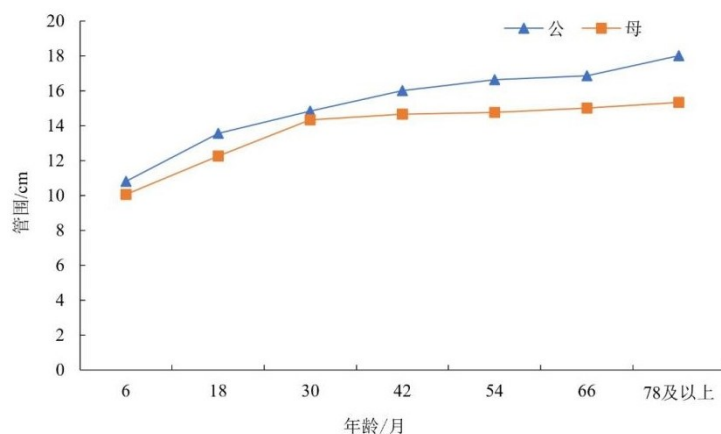


图5 江达牦牛管围变化曲线

Fig.5 Cannon circumference change curve of Jiangda yaks

5 江达牦牛生产性能

5.1 屠宰性能及肉品质特性

信金伟^[8]等对江达牦牛产肉性能及肉品质的研究结果表明：公牛平均屠宰率达51.00%，净肉率为44.14%，骨肉比为1:6.43，眼肌面积为40.90 cm²；母牛相应指标分别为49.02%、42.72%、1:6.77和31.62 cm²。研究显示，江达牦牛整体具有优良的屠宰性能特征。在肉品质方面，江达牦牛肉呈现显著的营养优势：蛋白质平均含量高达23.57%，而脂肪含量仅为3.01%，具有典型的高蛋白、低脂肪特性。肉色红亮，色度 a^* 值达19.10，表明其具有良好的感官色泽。氨基酸组成分析显示，总氨基酸含量为21.33 g/100g，其中必需氨基酸占比41.65%，且必需氨基酸与非必需氨基酸比值达71.38%，符合FAO/WHO推荐的理想蛋白质模式标准，证实其作为优质动物蛋白源的营养价值。此外，江达牦牛肉富含功能性营养成分，包括较高比例的不饱和脂肪酸、硒、铁、维生素E及牛磺酸等活性物质，这些成分的协同作用进一步提升了产品的营养保健功能。

5.2 产奶性能

2020年，在西藏昌都市江达县江达镇嘎通村选取18头经产母牛，于6月至10月期间系统开展了产奶

性能测定工作。测定采用间隔期为10 d的标准化采样方法，具体操作为每月固定于3日、13日及23日进行3次挤奶量测定。通过实际测定间隔天数（10 d）与单日挤奶量的乘积计算得出10 d周期挤奶量，将5个月度测定周期（共15次测定）的挤奶量累加获得153 d总挤奶量，最终依据标准换算系数1.96推算得出全期总产奶量（总产奶量=1.96×153 d挤奶量）^[9]。具体测定结果见表2。经产母牦牛在6月至10月期间平均挤奶量为129.48 kg，累积产奶量均值为253.79 kg。

表2 江达牦牛产奶量测定结果

Tab.2 Determination of milk production in Jiangda yaks

序号	6月	7月	8月	9月	10月	挤奶量合计/kg	总产奶量合计/kg
1	23.33	31.70	30.17	24.96	20.73	130.90	256.56
2	24.18	32.86	33.13	28.09	23.40	141.66	277.66
3	22.57	30.67	28.01	23.42	19.71	124.38	243.78
4	24.17	32.84	32.86	27.85	22.51	140.24	274.87
5	20.78	28.23	27.48	22.43	18.31	117.22	229.75
6	23.48	31.91	32.59	25.21	20.52	133.72	262.09
7	23.79	32.33	28.44	24.79	20.39	129.74	254.28
8	24.21	32.90	31.94	28.00	21.66	138.71	271.87
9	23.06	31.34	26.40	23.27	19.24	123.31	241.69
10	24.44	33.21	31.62	27.55	21.24	138.05	270.58
11	22.26	30.25	25.27	22.18	17.71	117.67	230.64
12	23.86	32.43	30.06	24.86	20.26	131.48	257.70
13	23.75	32.27	27.42	26.13	16.52	126.09	247.14
14	24.21	32.90	29.58	27.75	17.75	132.18	259.08
15	23.06	31.34	25.64	23.17	19.11	122.33	239.78
16	24.36	33.10	30.49	27.35	21.07	136.37	267.29
17	22.95	31.19	24.56	21.88	17.54	118.12	231.52
18	23.79	32.33	27.80	24.57	20.05	128.53	251.92
平均	23.46	31.88	29.08	25.19	19.87	129.48	253.79

5.3 产毛绒性能

江达牦牛每年进行1次抓绒与剪毛，并保留尾毛。经测定，成年公牛年平均产毛绒量为1.40 kg/头，成年母牛为0.88 kg/头^[7]。

5.4 繁殖性能

江达牦牛的性成熟年龄一般在42月龄以上，母牛适宜初配年龄为38~42月龄，公母牛的最佳配种比例为1:13。发情配种期主要集中在每年8月至9月，其发情周期平均21 d，发情持续时间为24~36 h，妊娠期持续270~280 d。群体繁殖成活率约为45%^[7]。

6 江达牦牛分子遗传特性

为系统解析江达牦牛的遗传背景，从线粒体基因组与核基因组双重视角出发，综合运用遗传多样性、全基因组关联分析、代谢组及蛋白质组等多组学技术手段，并通过与西藏、四川、青海等周边地区的牦牛群体的比较遗传学分析，深入揭示江达牦牛独特的遗传结构及其特异性种质特征。

6.1 江达牦牛遗传多样性

基于对西藏地区类乌齐牦牛、江达牦牛、斯布牦牛、帕里牦牛、丁青牦牛、桑日牦牛、工布江达牦牛、桑桑牦牛、康布牦牛、娘亚牦牛及巴青牦牛等11个主要牦牛群体线粒体DNA细胞色素b基因序列多态性及核基因组随机扩增多态性DNA标记的分析^[10-13],江达牦牛群体展现出显著的遗传多样性优势。其核苷酸多样性($\pi=0.005\ 088$)与单倍型多样性($H_d=0.933\ 3$)均处于较高水平,仅略低于类乌齐牦牛群体($\pi=0.006\ 082$, $H_d=1.000\ 0$)。在单倍型特征方面,江达牦牛不仅拥有数量众多的单倍型变体,且其单倍型组成多样性位居各群体第二位,这一发现进一步佐证了其遗传背景的丰富性。经综合遗传多样性指标评估,江达牦牛群体(0.353 6)仅次于工布江达牦牛(0.405 3),但显著优于斯布牦牛、康布牦牛、娘亚牦牛、桑日牦牛、巴青牦牛、桑桑牦牛、丁青牦牛和帕里牦牛等8个地理群体。尤为重要的是,在江达牦牛群体中鉴定出5个特异性单倍型标记(HAP-19至HAP-23),这些独特遗传标记为该群体的品种鉴定提供了明确的分子证据。通过分析mtDNA 12S rRNA^[14]和16S rRNA^[15]基因序列发现,西藏牦牛群体的12S rRNA核苷酸多样性介于0.018 90~0.087 74,其中江达牦牛(0.068 93)仅次于娘亚牦牛(0.087 74);而16S rRNA单倍型多样性则分布于0.000 38~0.010 41区间,江达牦牛(0.002 97)仅次于类乌齐牦牛,显著高于其余群体。上述多维度分子遗传学数据共同证实,江达牦牛具有突出的核苷酸多态性水平和丰富的遗传多样性特征。

6.2 分子系统发育与群体结构

为系统解析家牦牛群体的系统发育关系,以野牦牛为外群,选取全国30个家牦牛群体及1个野牦牛群体开展全基因组分析,并基于分析结果构建系统发育树。研究结果表明^[16,17],中国家牦牛群体可分为3大类群:第1类群包含江达牦牛、巴青牦牛、金川牦牛、昌台牦牛、中甸牦牛和丁青牦牛,主要分布于西藏昌都地区及青藏高原东南边缘,该区域人口密集,被认为是牦牛的起源中心;第2类群涵盖聂荣牦牛、工布江达牦牛、桑日牦牛、日多牦牛、隆子牦牛、错那牦牛、仲巴牦牛、申扎牦牛、桑桑牦牛、康布牦牛和帕里牦牛,集中分布于西藏中部、西部和南部核心区;第3类群则包括九龙牦牛、斯布牦牛、类乌齐牦牛、环湖牦牛、甘南牦牛、天祝牦牛、麦洼牦牛、大通牦牛、娘亚牦牛、高原牦牛和巴州牦牛,主要分布于青海、甘肃、四川、云南及新疆等青藏高原周边区域。聚类分析揭示,江达牦牛在第1大类中呈现独立分支特征;主成分分析进一步证实,尽管其与金川牦牛、祁连牦牛具有较近的遗传距离,但仍保持显著的进化独立性,未发生群体混杂现象,这一结果支持其作为独立遗传资源的科学地位。

7 评价与展望

7.1 评价

江达牦牛作为青藏高原特有的地方品种,经由长期自然选择与人工驯化协同作用,形成了对高山峡谷生态系统的独特适应性。该品种表现出显著的耐粗饲特性、强抗病能力、优良役用性能及卓越产肉性能。肉质分析结果显示,其肉色呈现鲜亮红色,蛋白质含量高而脂肪含量低,并富含硒、铁、维生素E、牛磺酸及不饱和脂肪酸等活性成分,具有优异的营养组成特征,展现出开发高附加值功能性肉制品的良好潜力。

7.2 展望

未来应围绕江达牦牛构建“资源保护-基因挖掘-品种培育”协同创新的“三位一体”发展体系。重点推进以下工作：一是强化种质资源保护力度，建立科学规范、标准化的选育与管理体系；二是系统开展多组学联合研究，通过基因组学、代谢组学及蛋白组学等前沿技术，深度挖掘抗逆性、高产性及优质性状相关功能基因；三是突破分子育种与遗传改良关键技术，着力解决牦牛种业发展的核心瓶颈问题；四是研发配套高效生产技术体系，全面提升养殖综合效益，驱动区域经济高质量发展，有效赋能乡村振兴战略实施。通过构建科研创新与产业应用深度融合的发展模式，江达牦牛将有望成为支撑青藏高原畜牧业可持续发展的战略性遗传资源与核心育种素材。

参考文献：

- [1] 陆仲璘.牦牛育种及高原肉牛业[M].兰州:甘肃民族出版社,1994.
- [2] 张容昶.中国的牦牛[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1989.
- [3] 钟金城.牦牛遗传与育种[M].成都:四川科学出版社,1996.
- [4] 中国牦牛学编写委员会.中国牦牛学[M].成都:四川科学出版社,1989.
- [5] 西藏自治区江达县地方志编纂委员会.«江达县志»[M].成都:四川出版集团巴蜀书社,2010.
- [6] 西藏昌都地区地方志编纂委员会.«昌都地区志»(上册)[M].北京:方志出版社,2005.
- [7] 西藏自治区市场监督管理局.DB54/T 0342—2024 江达牦牛[S].2024.
- [8] 信金伟,张成福,姬秋梅,等.江达牦牛产肉性能及肉品质分析研究[J].黑龙江畜牧兽医,2017,(19):228-232.
- [9] 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会.GB/T 43842—2024 牦牛生产性能测定技术规范[S].2024.
- [10] 姬秋梅,唐懿挺,张成福,等.西藏牦牛 mtDNA cytb 基因的序列多态性及其系统进化分析[J].畜牧兽医学报,2012,43(11): 1723-1732.
- [11] 柴志欣.西藏牦牛 RAPD 遗传多样性和麦洼牦牛几个功能基因的研究[D].成都:西南民族大学,2012.
- [12] 柴志欣,赵上娟,姬秋梅,等.西藏牦牛的 RAPD 遗传多样性及其分类研究[J].畜牧兽医学报,2011,42(10):1380-1386.
- [13] 赵上娟,钟金城,柴志欣,等.西藏牦牛 SRAP 遗传多样性及分类进化研究[J].生物技术通报,2012,(06):77-82.
- [14] 姜雪鸥,钟金城.西藏牦牛 12SrRNA 基因全序列测定及系统进化关系[J].家畜生态学报,2013,34(06):8-12.
- [15] 武志娟,姬秋梅,张成福,等.西藏牦牛 mtDNA 16S rRNA 基因的克隆及其遗传多样性分析[J].基因组学与应用生物学,2014, 33(03):511-518.
- [16] Ji Q M, Xin J W, Chai Z X, et al. A chromosome-scale reference genome and genome-wide genetic variations elucidate adaptation in yak[J]. *Molecular Ecology Resources*,2021,21(1):201-211.
- [17] Chai Z X, Xin J W, Zhang C F, et al. Whole-genome resequencing provides insights into the evolution and divergence of the native domestic yaks of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *BMC Evolutionary Biology*,2020,20(1):137.