

DOI:10.11686/cyxb2025191

http://cyxb.magtech.com.cn

占今舜, 江浩筠, 贾浩滨, 等. 不同杂交组合绵羊生长性能、血液生化指标和瘤胃发酵的比较研究. 草业学报, 2026, 35(4): 197-210.

ZHAN Jin-shun, JIANG Hao-yun, JIA Hao-bin, *et al.* A comparative study of the growth rate, blood biochemical indexes and rumen fermentation of hybrid sheep from different breed combinations. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(4): 197-210.

不同杂交组合绵羊生长性能、血液生化指标和瘤胃发酵的比较研究

占今舜¹, 江浩筠¹, 贾浩滨¹, 王海波^{1,2}, 谷志勇^{1,3}, 潘月^{1,3}, 钟小军¹, 霍俊宏^{1*}

(1. 江西省农业科学院畜牧兽医研究所, 畜禽绿色健康养殖江西省重点实验室, 江西南昌 330200; 2. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃兰州 730070; 3. 天津农学院动物科学与动物医学学院, 天津 300384)

摘要:本研究旨在开展不同杂交组合绵羊生长性能、血液生化指标和瘤胃发酵的比较研究, 挑选健康且出生日期相近的湖羊×湖羊后代(HH)、杜泊羊×湖羊杂交F₁代(DH)、澳洲白×湖羊杂交F₁代(AH)和夏洛莱羊×湖羊杂交F₁代(XH)公母羔羊各10只, 测定不同品种绵羊的生长性能、血液生化指标和瘤胃发酵参数。结果表明: 1) HH组母羊的产羔率高于杂交组母羊, 而杂交羊羔羊断奶成活率则高于HH羔羊。2) 品种主效应分析发现, AH、DH和XH羔羊的1、30、90、180和360日龄体重以及30~90日龄、1~90日龄、1~180日龄和1~360日龄平均日增重均显著高于HH羊($P < 0.01$)。性别主效应分析发现, 公羊90、180和360日龄体重以及除180~360日龄外的平均日增重均显著高于母羊($P < 0.01$)。品种与性别互作分析发现, AH羊1日龄体重显著高于其他品种羊($P < 0.05$), 180日龄DH和AH公母羊的体重均显著高于HH公母羊($P < 0.05$)。3) 品种主效应分析发现, AH和DH羊30~360日龄的体高以及90、180日龄的体长均显著高于HH和XH羊($P < 0.01$), 而30日龄的体长则相反; HH羊1~360日龄胸围和管围显著低于杂交羊($P < 0.01$)。性别主效应分析发现, 公羊180日龄体长、体高、胸围和管围均显著高于母羊($P < 0.01$)。4) 性别主效应分析发现, 公羊的血清总胆固醇(TC)含量显著高于母羊($P < 0.05$); 品种和性别互作分析发现, HH公羊和AH母羊的血清谷丙转氨酶(ALT)含量显著高于其他羊($P < 0.01$)。品种主效应分析发现, HH羊白蛋白(ALB)、总蛋白(TP)和肌酐(CRE)含量显著低于其他品种羊($P < 0.01$), 其中XH羊血清中含量最高。XH羊血清的尿素氮(BUN)和高密度脂蛋白(HDL)含量显著高于HH羊, 而谷草转氨酶(AST)含量则显著低于DH羊($P < 0.05$)。XH和HH羊血清血糖(GLU)含量显著高于AH和DH羊($P < 0.01$), 其他指标各品种羊之间无显著差异($P > 0.05$)。5) 品种为主效应时分析发现, DH和XH羊乙酸、丁酸、戊酸、总挥发性脂肪酸和氨态氮含量均显著高于HH羊($P < 0.05$); XH羊异戊酸含量显著高于DH和AH羊, 而戊酸含量则相反($P < 0.01$)。品种与性别互作分析发现, XH母羊异丁酸和异戊酸含量显著高于AH和DH母羊($P < 0.05$)。综上所述, 在本试验中湖羊与澳洲白、杜泊羊和夏洛莱羊杂交后母羊的产羔率有所下降, 但杂交羊羔羊成活率有所提高; 杂交羊的生长发育优于纯种湖羊, 这可能与其瘤胃发酵提升有关。

关键词: 绵羊; 繁殖性能; 生长性能; 瘤胃发酵; 血液生化指标

A comparative study of the growth rate, blood biochemical indexes and rumen fermentation of hybrid sheep from different breed combinations

收稿日期: 2025-05-12; 改回日期: 2025-08-07

基金项目: 江西省重点研发计划—乡村振兴项目(20244BDH84010), 江西省现代农业产业技术体系建设专项(JXARS-13-肉羊良种繁育岗)和江西省农业科学院基础研究与人才培养专项(JXSNKYJCRC202407, JXSNKYJCRC202445)资助。

作者简介: 占今舜(1985—), 男, 江西玉山人, 博士。E-mail: zhanjinshun1985@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: hjh_0222@126.com

ZHAN Jin-shun¹, JIANG Hao-yun¹, JIA Hao-bin¹, WANG Hai-bo^{1,2}, GU Zhi-yong^{1,3}, PAN Yue^{1,3},
ZHONG Xiao-jun¹, HUO Jun-hong^{1*}

1. Jiangxi Province Key Laboratory of Animal Green and Healthy Breeding, Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. College of Animal Science and Animal Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China

Abstract: This research compared the growth rate, blood biochemical indexes and rumen fermentation of hybrid sheep from different breed combinations. Ten healthy male and ten healthy female lambs with similar birth dates from offspring of Hu×Hu sheep (HH), Dorper×Hu sheep F₁ generation (DH), Australian White×Hu sheep F₁ generation (AH), and Charolais×Hu sheep F₁ generation (XH) were selected, and their growth rate, blood biochemical indexes and rumen fermentation parameters measured. It was found that: 1) The lambing rate of ewes in the HH group was higher than that of ewes in other groups, while the weaning survival rate of hybrid lambs was higher than that of HH lambs. 2) Analysis of breed data revealed that the body weights of AH, DH and XH sheep at the age of 1, 30, 90, 180, and 360 days, as well as the average daily weight gains for the period 30 to 90 d, 1 to 9 days, 1 to 180 days and 1 to 360 days were significantly higher than those of HH sheep ($P < 0.01$) while the body weight of AH sheep at the age of 1 day was significantly higher than that of other breeds ($P < 0.05$). Analysis by gender showed that the body weight of male lambs at the age of 90, 180 and 360 days, as well as the average daily gain except for the period from 180 to 360 days were significantly higher than those of female lambs ($P < 0.01$), and the body weights of DH and AH rams and ewes at the age of 180 days were significantly higher than that of HH rams and ewes ($P < 0.05$). 3) Body height of AH and DH sheep from the age of 30 to 360 days and the body length at the age of 90 and 180 days were significantly higher than those of HH and XH sheep ($P < 0.01$), while the body length at the age of 30 days was the opposite. Meanwhile, the chest circumference and tube circumference of HH sheep from the age of 1 to 360 days were significantly lower than those of hybrid sheep ($P < 0.01$). With respect to gender differences in these traits, the body length, body height, chest circumference and tube circumference of rams at the age of 180 days were significantly higher than those of ewes ($P < 0.01$). 4) With respect to gender differences in blood biochemistry, the total cholesterol (TC) content of serum in rams was significantly higher than that in ewes ($P < 0.05$). Analysis of the interaction between breed and gender revealed that the alanine aminotransferase (ALT) content of serum in HH rams and AH ewes was significantly higher than that in other hybrid sheep ($P < 0.01$). Analysis of breed effects on blood biochemistry indicated that the contents of serum albumin (ALB), total protein (TP) and creatinine (CRE) in HH sheep were significantly lower than those in other sheep breeds ($P < 0.01$), and their contents in XH sheep were the highest. The contents of serum urea nitrogen (BUN) and high-density lipoprotein (HDL) in XH sheep were significantly higher than those in HH sheep, while the content of aspartate aminotransferase (AST) in XH sheep was significantly lower than that in DH sheep ($P < 0.05$). The serum blood glucose (GLU) content of XH and HH sheep was significantly higher than that of AH and DH sheep ($P < 0.01$), while there were no significant differences in other indicators among different breeds of sheep ($P > 0.05$). 5) Analysis of breed effects on rumen fermentation parameters revealed that the contents of acetic acid, butyric acid, valeric acid, total volatile fatty acids and ammonia nitrogen in DH and XH sheep were significantly higher than those in HH sheep ($P < 0.05$). The rumen isovaleric acid content in XH sheep was significantly higher than that in DH and AH sheep, while the result for valeric acid content was the opposite ($P < 0.01$). With respect to the interaction between breed and gender, the contents of isobutyric acid and isovaleric acid in XH ewes were significantly higher than those in AH and DH ewes ($P < 0.05$). In conclusion, the lambing rate of ewes was decreased after Hu sheep

were crossbred with Australian White, Dorper and Charolais sheep, while the survival rate of hybrid lambs was increased in this experiment. The growth and development of hybrid sheep was superior to purebred Hu sheep, which may be related to promotion of rumen fermentation.

Key words: sheep; reproductive performance; growth performance; rumen fermentation; blood biochemical indexes

近年来,江西省大力发展肉羊产业,肉羊的规模化养殖和养殖数量在逐渐扩大。湖羊因其具有繁殖率高、多胎、性成熟早、生长发育快,适于高温潮湿地区饲养等优点,是目前江西省养殖数量最多的肉羊品种^[1]。然而,湖羊存在出肉率和饲料转化率低、肉质一般等缺点,常作为一个优秀的母本,通过引入优秀肉羊品种与其杂交,生产出适宜当地生产且经济效益高的杂交后代^[2]。

杜泊羊和澳洲白羊都具有适应性强、胴体瘦肉率高和肉质好的特点^[3-4]。研究发现,以杜泊羊和澳洲白羊与小尾寒羊进行杂交,其后代都表现出繁殖性能好、生长速度快、肉用体形特征明显等特点^[5];与青海高原型藏系羊进行杂交,杂种优势明显,其杂交一代羔羊在当地具有良好的适应性^[6]。杜泊羊和澳洲白羊在南方地区有较好的适应性。孔令旋等^[7]在广东云浮市引进杜泊羊和澳洲白绵羊种公羊,在当地舍饲条件下,与湖羊母羊进行杂交,通过后裔的生产性能测定和对比分析发现,杂交后代均表现出生长速度快、肉用体形特征明显、屠宰性能和肉质好等特点。夏洛莱羊原产于法国,是一种培育形成的肉用型绵羊品种,其具有采食能力强、早熟、耐粗饲、育肥性能和肉质好等优点,对寒冷潮湿或干热气候表现出较好的适应性^[8]。研究发现,以夏洛莱羊为父本,小尾寒羊为母本进行杂交,其后代羔羊生长速度、饲料转化率和产肉性能均有所提高^[9]。以上结果表明,夏洛莱羊、杜泊羊和澳洲白羊可以作为一种很好的肉用父本品种来成功改良我国本地的绵羊品种。

在河北唐山地区,通过澳洲白羊、杜泊羊和夏洛莱羊公羊与小尾寒羊母羊进行二元杂交发现,夏寒杂一代生长性能优于杜寒、澳寒杂一代^[10]。夏洛莱羊引入我国后,先后在辽宁、新疆、青海、河北、内蒙古等北方地区进行饲养和杂交利用,但在南方地区的饲养及杂交利用效果鲜见报道。同时有关夏洛莱羊、杜泊羊和澳洲白羊与湖羊杂交效果的比较研究未见报道。因此,本研究在江西本地舍饲饲养条件下,通过测定夏湖、澳湖和杜湖杂一代初生至周岁的体重和体尺指标以及周岁血清生化指标和瘤胃发酵参数,探讨不同杂交组合羊的生长发育情况,为选育出适合江西本地饲养的生长快、肉质优的肉用绵羊杂交配套系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲养管理

本试验于 2022 年 1 月至 2023 年 6 月在赣州绿林湾农牧有限公司湖羊养殖基地进行。选择健康、体况良好且处于空怀期的湖羊种母羊(经产)120 只,分为 4 组,每组 30 只。母羊在相同的饲喂环境下统一管理,每日按时饲喂全混合日粮(total mixed ration, TMR),饲喂 2 次。采用同期发情技术对母羊做发情处理,通过试情公羊确定母羊发情后集中放在同一栏舍中,然后采集纯种湖羊、澳洲白羊、杜泊羊和夏洛莱羊种公羊精液进行人工授精,50 d 后 B 超检查受胎率,150 d 左右产羊羔,其中湖羊×湖羊后代为湖羊组(HH)、杜泊羊×湖羊杂交 F₁ 代为杜湖组(DH)、澳洲白羊×湖羊杂交 F₁ 代为澳湖组(AH)和夏洛莱羊×湖羊杂交 F₁ 代为夏湖组(XH)。根据母羊预产期,做好羔羊护理和记录工作,保证新出生羔羊要尽早吃到初乳。羔羊出生后 24 h 内用电子秤(大红鹰 HY601B,浙江金华)称量初生重和体尺指标,并标注耳号。到 7 日龄时,开始在羊圈内放置羔羊专用料槽,加入开口料,训练其采食,添加量逐渐增加,保证自由采食。开口料原料组成:玉米(*Zea mays*)、豆粕、棉籽粕、菜籽粕、玉米干酒糟、玉米皮、石粉、磷酸氢钙、食盐和预混料分别为 63.50%、16.50%、6.00%、5.00%、1.20%、4.32%、1.18%、1.00%、0.30% 和 1.00%,营养水平为消化能 12.29 MJ·kg⁻¹、粗蛋白 18.85%、中性洗涤纤维 28.24%、酸性洗涤纤维 12.54% 以及钙 1.49%、磷 0.73%。羔羊 60 日龄断奶,在各组羔羊中挑选体况良好、健康且出生日期相近的公母羔羊各 10 只,按照不同品种及性别分栏饲养。断奶羔羊从开口料逐渐过渡到 TMR 日粮饲喂,TMR 日粮组成为花生(*Arachis hypogaea*)秧 19.50%、羊茅(*Festuca ovina*)草 17.50%、大蒜(*Allium sativum*)皮 3.00%、玉米

25.33%、麦麸12.77%、豆粕15.00%、玉米蛋白粉3.00%、食盐0.30%、碳酸钙0.60%和预混料3.00%，营养水平为消化能10.82 MJ·kg⁻¹、粗蛋白16.95%、中性洗涤纤维27.68%、酸性洗涤纤维17.31%以及钙0.65%、磷0.35%。180日龄后调整日粮配方，其组成为花生秧40.80%、玉米47.20%、豆粕7.60%、玉米蛋白粉3.50%、食盐0.30%、磷酸氢钙0.60%和预混料3.00%，营养水平为消化能12.88 MJ·kg⁻¹、粗蛋白13.81%、中性洗涤纤维30.98%、酸性洗涤纤维19.76%以及钙0.62%、磷0.36%。种羊和羔羊不同阶段TMR日粮按照行业标准NY/T 816—2021《肉羊营养需要量》^[11]进行配制。

1.2 相关指标的测定

1.2.1 繁殖性能测定 统计各组母羊的发情数、受胎数、产羔数、断奶羔羊数，计算发情率、受胎率、产羔率和断奶成活率。

1.2.2 体重和体尺指标测定 羔羊1、30、60(断奶)、90、180和360日龄时早晨空腹用电子秤称量体重，并参照高林青等^[12]的测定方法测定羔羊的体高、体斜长、胸围和管围。

1.2.3 血液生化指标测定 在羊360日龄晨饲前采集血液，分离血清后在-20℃条件下保存备测。用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定血清中总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、甘油三酯(triglycerides, TG)、葡萄糖(glucose, GLU)、尿素氮(serum urea nitrogen, BUN)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、肌酐(creatinine, CRE)、低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)、高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)等的含量，测定方法和步骤按试剂盒说明书要求进行。

1.2.4 瘤胃发酵参数测定 晨饲前采集血液后用瘤胃口腔采集器(MDW16, 中国成都)抽取瘤胃液，经4层纱布过滤后，测定pH。然后将瘤胃液置于15 mL离心管中保存，用于测定总挥发性脂肪酸和氨态氮含量，参照占今舜等^[13]的方法进行测定。

1.3 数据处理与分析

采用Excel 2021初步整理数据后，利用SPSS 26.0统计软件的一般线性模型(general linear model, GLM)进行方差分析，以品种、性别及两者互用为主效应，采用Duncan氏法进行多重比较。结果以“平均值±标准差”表示， $P < 0.05$ 表示差异显著， $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 不同杂交组合母羊繁殖性能的比较

HH组母羊产羔数、产羔率和断奶羔羊数高于其他各组，而羔羊断奶成活率则低于其他各组。AH组母羊受胎率低于其他各组(表1)。

2.2 不同杂交组合绵羊不同阶段生长性能的比较

2.2.1 不同杂交组合绵羊不同阶段体重的比较

以品种为主效应分析时，1和60日龄XH羊体重显著高于其他各组($P < 0.01$ ，表2)，其中HH羊体重最低；90、180和360日龄HH羊体重显著低于其他各组($P < 0.01$)，其中DH羊体重最高；30日龄HH羊体重显著低于AH和XH羊($P < 0.01$)。以性别为主效应分析时，90、180和360日龄的公羊体重均显著高于母羊($P < 0.01$)，而1、30和60日龄的公母羊无显著差异($P > 0.05$)。品种与性别互作时，1日龄XH公母羊体重显著高于其他品种羊($P < 0.05$)，180日龄HH公母羊的体重均显著低于DH和AH公母羊($P < 0.05$)。30日龄XH公羔体重显著高于HH公母羔($P < 0.01$)，90日龄DH公羔体重显著高于HH公母羔($P < 0.01$)，而60和360日龄各组间无显著差异($P > 0.05$)。

表1 不同杂交组合母羊的繁殖性能

Table 1 Reproductive performance of ewes in different cross combinations

项目 Item	HH	AH	DH	XH
配种母羊数 Number of mating ewes	30	30	30	30
发情率 Estrus rate (%)	100	100	100	100
受胎率 Pregnancy rate (%)	96.67	93.33	96.67	96.67
产羔数 Number of newborn lambs	64	52	54	57
产羔率 Lambing rate (%)	220.69	185.71	186.21	196.55
断奶羔羊数 Number of weaned lambs	58	50	53	57
断奶成活率 Weaning survival rate of lamb (%)	90.63	96.15	98.15	100.00

表 2 不同杂交组合绵羊不同阶段体重的比较

Table 2 Comparison of body weight of sheep at different stages in different hybrid combinations (kg)

品种 Breed	性别 Sex		1 d	30 d	60 d	90 d	180 d	360 d
HH	公 Male		3.32±0.14d	9.87±1.06bcd	14.78±2.49	17.07±2.97b	30.79±1.80e	44.75±3.49
	母 Female		3.53±0.44cd	9.26±1.40d	13.63±1.52	14.78±2.15b	27.32±1.51f	41.70±4.33
AH	公 Male		3.55±0.55cd	10.75±1.34abcd	15.00±2.67	27.70±2.85ab	49.48±3.34b	53.30±3.14
	母 Female		4.23±0.42b	11.21±1.67ab	15.51±2.92	25.91±2.02ab	42.21±2.48c	47.99±6.18
DH	公 Male		4.02±0.63bc	11.30±1.79ab	15.09±3.00	31.89±3.65a	52.73±2.49a	59.30±4.61
	母 Female		3.81±0.40bcd	9.48±0.92cd	14.91±2.20	26.16±2.95ab	43.18±3.11c	49.39±4.15
XH	公 Male		5.12±0.97a	11.69±2.70a	18.03±1.77	28.22±5.31ab	38.62±6.26d	54.22±6.41
	母 Female		4.86±0.63a	10.96±1.56abc	17.15±1.77	25.22±2.04b	33.09±2.84e	46.11±3.29
主效应 Main effect	品种 Breed	HH	3.43±0.34c	9.56±1.25b	14.20±2.09b	15.92±2.89c	29.05±2.40d	43.22±4.14c
		AH	3.89±0.59b	10.98±1.49a	15.26±2.74b	26.81±2.57b	45.84±4.70b	50.65±5.49b
		DH	3.91±0.52b	10.39±1.67ab	15.00±2.57b	29.03±4.37a	47.95±5.61a	54.35±6.64a
		XH	4.99±0.81a	11.32±2.18a	17.59±1.78a	26.72±4.21b	35.85±5.52c	50.16±6.48b
	性别 Sex	公 Male	4.00±0.94	10.90±1.89	15.73±2.78	26.22±6.69a	42.90±9.59a	52.89±6.89a
	母 Female	4.11±0.69	10.23±1.62	15.30±2.45	23.02±5.35b	36.45±7.10b	46.30±5.31b	
P 值	品种 Breed		<0.001	0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
P value	性别 Sex		0.415	0.069	0.420	<0.001	<0.001	<0.001
	品种×性别 Breed×sex		0.038	0.007	0.678	<0.001	0.032	0.100

注：不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，下同。

Note: Different lowercase letters mean significant differences ($P<0.05$), the same below.

2.2.2 不同杂交组合绵羊不同阶段平均日增重的比较 以品种为主效应分析时,30~90日龄、1~90日龄、1~180日龄和1~360日龄HH羊的平均日增重均显著低于杂交羊($P<0.01$,表3),而DH羊则显著高于AH和XH羊($P<0.01$);相比于HH羊,90~180日龄AH和DH羊的平均日增重显著升高($P<0.01$),而180~360日龄的平均日增重则显著降低($P<0.01$)。以性别为主效应分析时,除180~360日龄外的公羊平均日增重均显著高于母羊($P<0.01$)。品种与性别互作时,各个阶段的不同品种间公母羊平均日增重无显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同杂交组合绵羊不同阶段体尺指标的比较

2.3.1 不同杂交组合绵羊不同阶段体高的比较 通过对品种主效应分析发现(表4),1日龄XH羊的体高显著高于HH和AH羊($P<0.01$),30~360日龄HH和XH羊的体高显著低于DH和AH羊($P<0.01$)。通过对性别主效应分析发现,180和360日龄公羊体高显著高于母羊($P<0.05$),而30~90日龄公母羊的体高无显著差异($P>0.05$)。通过品种和性别互作分析发现,1日龄XH母羊体高显著高于HH公羊、AH公母羊和DH母羊($P<0.05$),而其他阶段各品种间公母羊的体高无显著差异($P>0.05$)。

2.3.2 不同杂交组合绵羊不同阶段体长的比较 通过品种与性别的互作分析(表5),发现其对1日龄羔羊体长有显著影响,其中XH公羔体长显著高于HH母羔和AH、DH公母羔($P<0.01$),但对30~360日龄公母羊的体长无显著影响($P>0.05$)。品种主效应分析发现,HH和XH羊1日龄体长显著高于DH羊($P<0.01$),HH和XH羊30日龄体长显著高于AH和DH羊($P<0.01$),而HH羊90和180日龄体长显著低于杂交羊($P<0.01$),AH和DH羊180日龄体长显著高于XH羊($P<0.01$),而60和360日龄不同品种羊的体长无显著差异。性别效应分析发现,60、180和360日龄公羊体长显著高于母羊($P<0.01$),而其他阶段的公母羊间无显著差异($P>0.05$)。

表3 不同杂交组合绵羊不同阶段平均日增重的比较

Table 3 Comparison of average daily gain of sheep at different stages in different hybrid combinations (kg)

品种 Breed	性别 Sex	1~30 d	30~90 d	90~180 d	180~360 d	1~90 d	1~180 d	1~360 d	
HH	公 Male	0.22±0.03	0.12±0.04	0.15±0.02	0.08±0.02	0.15±0.03	0.15±0.01	0.12±0.01	
	母 Female	0.19±0.04	0.09±0.04	0.14±0.03	0.08±0.03	0.12±0.03	0.13±0.01	0.11±0.01	
AH	公 Male	0.24±0.04	0.28±0.05	0.24±0.05	0.02±0.02	0.27±0.03	0.26±0.02	0.12±0.02	
	母 Female	0.23±0.05	0.25±0.04	0.18±0.03	0.03±0.03	0.24±0.02	0.21±0.01	0.14±0.01	
DH	公 Male	0.24±0.07	0.34±0.07	0.23±0.05	0.04±0.03	0.31±0.04	0.27±0.01	0.15±0.01	
	母 Female	0.19±0.04	0.28±0.05	0.19±0.04	0.03±0.02	0.25±0.03	0.22±0.02	0.13±0.01	
XH	公 Male	0.22±0.07	0.28±0.06	0.12±0.02	0.09±0.04	0.26±0.06	0.19±0.04	0.14±0.02	
	母 Female	0.20±0.04	0.24±0.03	0.09±0.01	0.07±0.01	0.23±0.02	0.16±0.01	0.11±0.01	
主效应 Main effect	品种 Breed	HH	0.20±0.04	0.11±0.04c	0.15±0.03b	0.08±0.02a	0.14±0.03c	0.14±0.01d	0.11±0.01c
		AH	0.24±0.05	0.26±0.05b	0.21±0.05a	0.03±0.03b	0.25±0.03b	0.23±0.03b	0.13±0.02b
		DH	0.22±0.06	0.31±0.07a	0.21±0.05a	0.04±0.03b	0.28±0.05a	0.24±0.03a	0.14±0.02a
		XH	0.21±0.06	0.26±0.05b	0.10±0.02c	0.08±0.03a	0.24±0.05b	0.17±0.03c	0.13±0.02b
	性别 Sex	公 Male	0.23±0.06a	0.26±0.10a	0.19±0.07a	0.06±0.04	0.25±0.07a	0.22±0.05a	0.14±0.02a
	母 Female	0.20±0.05b	0.21±0.08b	0.15±0.05b	0.05±0.03	0.21±0.06b	0.18±0.04b	0.12±0.01b	
P 值 P value	品种 Breed	0.232	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	性别 Sex	0.026	<0.001	<0.001	0.892	<0.001	<0.001	<0.001	
	品种×性别 Breed×sex	0.493	0.655	0.164	0.503	0.356	0.117	0.156	

表4 不同杂交组合绵羊不同日龄体高的比较

Table 4 Comparison of body height of sheep at different stages in different hybrid combinations (cm)

品种 Breed	性别 Sex	1 d	30 d	60 d	90 d	180 d	360 d	
HH	公 Male	28.84±1.82c	42.97±3.31	47.81±2.91	55.14±3.94	61.14±4.11	69.70±4.59	
	母 Female	32.86±2.18ab	40.50±4.24	46.02±4.05	53.34±3.32	58.11±2.10	67.96±5.48	
AH	公 Male	30.52±2.13bc	44.63±3.93	50.10±3.53	59.47±2.88	70.83±3.51	74.24±3.69	
	母 Female	31.92±2.39b	44.70±3.26	50.60±3.58	61.42±3.17	64.92±2.68	73.46±3.78	
DH	公 Male	32.30±1.99ab	43.95±4.61	50.46±3.25	60.97±5.30	71.65±3.74	78.76±3.82	
	母 Female	31.85±2.43b	43.78±1.33	49.90±3.99	61.36±2.51	65.06±0.87	72.46±3.53	
XH	公 Male	32.92±3.68ab	40.80±2.24	47.65±2.70	53.55±5.17	63.07±5.96	66.10±4.94	
	母 Female	34.52±2.75a	40.78±2.78	47.15±1.12	56.04±3.81	61.16±2.55	65.53±1.75	
主效应 Main effect	品种 Breed	HH	30.85±2.84b	41.73±3.91b	46.92±3.55b	54.24±3.66b	59.63±3.54b	68.83±5.00b
		AH	31.22±2.32b	44.66±3.51a	50.35±3.47a	60.45±3.11a	67.88±4.29a	73.85±3.66a
		DH	32.08±2.17ab	43.87±3.31a	50.18±3.56a	61.17±4.04a	68.35±4.29a	75.61±4.82a
		XH	33.72±3.26a	40.79±2.46b	47.40±2.03b	54.80±4.60b	62.12±4.57b	65.82±3.62c
	性别 Sex	公 Male	31.15±2.91b	43.09±3.78	49.01±3.26	57.28±5.25	66.67±6.33a	72.20±6.34a
	母 Female	32.79±2.59a	42.44±3.50	48.42±3.79	58.04±4.70	62.31±3.59b	69.85±4.96b	
P 值 P value	品种 Breed	0.002	0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	性别 Sex	0.004	0.394	0.394	0.385	<0.001	0.012	
	品种×性别 Breed×sex	0.049	0.584	0.584	0.305	0.112	0.100	

表 5 不同杂交组合绵羊不同日龄体长的比较

Table 5 Comparison of body length of sheep at different stages in different hybrid combinations (cm)

品种 Breed	性别 Sex	1 d	30 d	60 d	90 d	180 d	360 d	
HH	公 Male	39.20±1.46ab	48.87±1.02	51.98±2.02	56.38±2.69	64.07±1.40	75.41±3.25	
	母 Female	38.46±2.11bc	45.75±2.22	48.96±2.60	53.58±3.06	58.96±2.31	73.09±3.29	
AH	公 Male	37.15±2.13bcd	45.21±3.29	51.48±2.32	58.66±2.10	68.74±2.29	77.00±2.54	
	母 Female	38.43±1.28bc	45.37±2.72	49.45±2.02	57.67±2.78	66.30±2.39	71.51±1.71	
DH	公 Male	35.95±2.71d	44.65±3.29	49.00±3.61	60.14±5.12	67.50±2.97	76.19±2.54	
	母 Female	36.95±2.31cd	44.50±2.91	51.30±2.59	57.31±4.19	66.10±3.47	72.01±3.20	
XH	公 Male	40.61±1.70a	47.94±2.37	53.00±2.15	58.40±5.87	64.13±3.54	75.00±3.02	
	母 Female	37.73±2.64bcd	47.97±2.76	50.83±1.86	59.58±3.23	62.97±1.80	72.58±1.37	
主效应 Main effect	品种 Breed	HH	38.83±1.81a	47.31±2.32a	50.47±2.75	54.98±3.15b	61.52±3.21c	74.25±3.40
		AH	37.79±1.84ab	45.29±2.94b	50.47±2.36	58.17±2.45a	67.52±2.60a	74.26±3.52
		DH	36.45±2.51b	44.57±3.02b	50.15±3.28	58.73±4.78a	66.80±3.23a	74.10±3.53
		XH	39.17±2.62a	47.96±2.50a	51.92±2.25	58.99±4.65a	63.55±2.80b	73.79±2.60
	性别 Sex	公 Male	38.23±2.69	46.67±3.13	51.37±2.91a	58.40±4.31	66.11±3.31a	75.90±2.85a
		母 Female	37.89±2.16	45.90±2.87	50.14±2.41b	57.04±3.90	63.58±3.90b	72.30±2.52b
P 值	品种 Breed	<0.001	<0.001	0.168	0.005	<0.001	0.942	
P value	性别 Sex	0.447	0.199	0.043	0.117	<0.001	<0.001	
	品种×性别 Breed×sex	0.009	0.165	0.111	0.306	0.077	0.201	

2.3.3 不同杂交组合绵羊不同阶段胸围的比较 通过对主效应分析发现(表 6),品种能够显著影响不同阶段羊的胸围,性别仅对 180 日龄羊的胸围产生显著影响,而品种与性别的互作分析,各阶段各个品种间公母羊的胸围无显著差异($P>0.05$)。通过品种比较发现,AH、DH 和 XH 羊各个阶段的胸围均显著高于 HH 羊($P<0.01$);XH 羊 1、60 和 360 日龄的胸围显著高于 AH 和 DH 羊($P<0.01$),而 90 和 180 日龄的胸围则显著低于 DH 羊($P<0.01$)。通过性别比较发现,公羊 180 日龄的胸围显著高于母羊($P<0.01$),而其他阶段的公母羊间无显著差异($P>0.05$)。

2.3.4 不同杂交组合绵羊不同阶段管围的比较 通过主效应分析发现(表 7),品种对 1~360 日龄羊的管围产生显著影响,AH、DH 和 XH 羊的管围均显著高于 HH 羊($P<0.01$)。1 日龄 XH 羊的管围显著高于 AH 和 DH 羊($P<0.01$),而 60 日龄则相反;90 和 360 日龄 DH 羊的管围显著高于 AH 和 XH 羊($P<0.01$)。性别对 60~360 日龄羊的管围产生显著影响,公羊管围均显著高于母羊($P<0.01$),但 1 和 30 日龄公母羊管围无显著差异($P>0.05$)。品种与性别互作分析发现,各个阶段不同品种间公母羊的管围无显著差异($P>0.05$)。

2.4 不同杂交组合绵羊血清生化指标的比较

通过品种和性别互作分析发现(表 8),HH 公羊和 AH 母羊血清中 ALT 含量显著高于其他羊($P<0.01$),各品种公母羊间的其他指标无显著差异($P>0.05$)。通过性别主效应分析发现,公羊 TC 含量显著高于母羊($P<0.05$),其他指标公母羊间无显著差异($P>0.05$)。通过品种主效应分析发现,XH 羊血清 TP 和 CRE 含量显著高于其他品种羊($P<0.01$),其中 HH 羊最低;HH 羊 ALB 含量显著低于杂交羊($P<0.01$),杂交羊间无显著差异($P>0.05$);XH 羊 BUN 含量显著高于 HH 羊($P<0.05$),AST 含量则显著低于 DH 羊($P<0.05$),而其他品种间无显著差异($P>0.05$);XH 羊 HDL 含量显著高于 DH 和 HH 羊($P<0.05$),XH 和 HH 羊 GLU 含量显著高于 DH 和 AH 羊($P<0.01$)。

表6 不同杂交组合绵羊不同日龄胸围的比较

Table 6 Comparison of chest circumference of sheep at different stages in different hybrid combinations (cm)

品种 Breed	性别 Sex	1 d	30 d	60 d	90 d	180 d	360 d	
HH	公 Male	33.43±1.54	45.96±2.58	53.48±4.09	56.94±3.80	68.84±2.08	82.59±3.29	
	母 Female	34.18±2.39	45.68±2.73	52.38±2.60	52.94±3.93	66.51±2.22	81.72±3.48	
AH	公 Male	35.06±2.02	48.17±3.15	57.45±3.51	71.14±3.74	84.50±3.22	87.10±3.84	
	母 Female	37.23±2.09	51.37±5.06	58.81±3.70	70.29±4.44	80.11±3.21	84.53±2.23	
DH	公 Male	35.86±2.47	51.11±3.18	56.53±4.13	74.69±6.59	84.81±3.03	88.67±3.07	
	母 Female	36.28±1.70	49.76±2.29	57.85±3.53	71.69±5.03	80.87±2.42	84.72±2.03	
XH	公 Male	40.18±2.64	50.89±4.59	60.90±2.76	68.73±8.08	72.03±5.13	89.06±4.22	
	母 Female	38.72±2.51	50.08±3.92	60.18±3.19	69.23±3.73	71.63±1.57	89.84±2.55	
主效应 Main effect	品种 Breed	HH	33.81±1.99c	45.82±2.59b	52.93±3.38c	54.94±4.29c	67.68±2.41c	82.16±3.33c
		AH	36.14±2.29b	49.77±4.42a	58.13±3.58b	70.72±4.02ab	82.31±3.85a	85.82±3.33b
		DH	36.07±2.08b	50.43±2.79a	57.19±3.80b	73.19±5.91a	82.84±3.35a	86.70±3.24b
		XH	39.45±2.62a	50.48±4.17a	60.54±2.93a	68.98±6.13b	71.83±3.70b	89.45±3.42a
	性别 Sex	公 Male	36.13±3.30	49.03±3.96	57.09±4.42	67.88±8.78	77.55±8.05a	86.86±4.35
	母 Female	36.60±2.69	49.22±4.13	57.31±4.35	66.04±8.75	74.78±6.50b	85.20±3.90	
P 值 P value	品种 Breed	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	性别 Sex	0.342	0.812	0.783	0.114	<0.001	0.230	
	品种×性别 Breed×sex	0.084	0.183	0.550	0.506	0.160	0.109	

表7 不同杂交组合绵羊不同日龄管围的比较

Table 7 Comparison of tube circumference of sheep at different stages in different hybrid combinations (cm)

品种 Breed	性别 Sex	1 d	30 d	60 d	90 d	180 d	360 d	
HH	公 Male	5.43±0.31	5.93±0.30	6.29±0.45	6.92±0.50	7.96±0.40	8.57±0.36	
	母 Female	5.15±0.38	5.64±0.41	5.90±0.48	6.56±0.25	7.68±0.41	8.12±0.28	
AH	公 Male	5.91±0.46	6.62±0.76	7.80±0.35	7.90±0.48	8.66±0.45	9.71±0.47	
	母 Female	6.10±0.52	6.87±0.68	7.56±0.32	7.85±0.29	8.31±0.17	9.00±0.43	
DH	公 Male	5.77±0.51	6.60±0.38	7.82±0.53	8.41±0.26	8.97±0.21	10.01±0.47	
	母 Female	5.89±0.40	6.76±0.50	7.69±0.40	8.06±0.19	8.44±0.24	9.44±0.34	
XH	公 Male	6.32±0.27	6.67±0.29	7.12±0.18	7.71±0.74	8.95±0.95	9.58±0.70	
	母 Female	6.39±0.39	6.69±0.43	6.81±0.38	7.23±0.42	8.06±0.61	9.06±0.38	
主效应 Main effect	品种 Breed	HH	5.29±0.37c	5.79±0.38b	6.10±0.50c	6.74±0.43d	7.82±0.42b	8.35±0.39c
		AH	6.00±0.49b	6.75±0.71a	7.68±0.35a	7.88±0.39b	8.49±0.37a	9.36±0.57b
		DH	5.83±0.45b	6.68±0.44a	7.76±0.46a	8.24±0.28a	8.71±0.35a	9.73±0.49a
		XH	6.36±0.33a	6.68±0.35a	6.97±0.33b	7.47±0.64c	8.51±0.90a	9.32±0.61b
	性别 Sex	公 Male	5.86±0.50	6.46±0.55	7.26±0.74a	7.73±0.74a	8.64±0.69a	9.47±0.74a
	母 Female	5.88±0.62	6.49±0.70	6.99±0.82b	7.41±0.66b	8.12±0.48b	8.91±0.60b	
P 值 P value	品种 Breed	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	性别 Sex	0.775	0.753	0.004	0.002	<0.001	<0.001	
	品种×性别 Breed×sex	0.282	0.329	0.767	0.434	0.212	0.882	

2.5 不同杂交组合绵羊瘤胃发酵参数的比较

品种与性别互作对瘤胃异丁酸、异戊酸有显著影响(表9),XH母羊异丁酸含量显著高于AH和DH母羊($P<0.05$),异戊酸含量则显著高于其他品种的公母羊($P<0.05$),而各品种公母羊间的其他指标无显著差异($P>0.05$)。性别对瘤胃发酵参数无显著影响($P>0.05$)。以品种为主效应分析发现,DH和XH羊乙酸和氨态氮含量显著高于HH羊($P<0.05$),AH、DH和XH羊丁酸、戊酸和总挥发性脂肪酸含量均显著高于HH羊($P<0.01$),XH羊异戊酸含量显著高于DH和AH羊($P<0.01$),而各品种间其他指标无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

研究发现,在饲养管理、配种方法等完全相同的条件下,相较于纯繁湖羊组母羊(产羔率220%),杜湖和澳湖F₁组母羊产羔率均有所下降,而杂交羊羔羊成活率均有所增加^[14-15],本试验结果与其一致。然而罗渝等^[16]在阿克苏地区开展杜泊羊与湖羊的杂交改良试验,发现杜湖F₁组母羊产羔率和羔羊成活率均高于纯繁湖羊组。孔令旋等^[7]在云浮市开展杜泊羊、澳洲白绵羊与湖羊杂交效果的比较研究发现,杜湖和澳湖F₁代羔羊成活率均比纯繁湖羊低,但杂交羊组母羊的产羔率均提高。本试验结果与他们不同,可能与不同地区饲养环境和饲养水平不一样有关。

在肉羊选育过程中,体重和体尺指标是反映生产性能的重要表型性状,体尺指标能够反映肉羊的体格大小、身躯结构和组织器官的发育情况

表 8 不同杂交组合绵羊血清生化指标的比较

品种	性别	TP (g·L ⁻¹)	ALB (g·L ⁻¹)	AST (U·L ⁻¹)	ALT (U·L ⁻¹)	BUN (mmol·L ⁻¹)	CRE (μmol·L ⁻¹)	TG (mmol·L ⁻¹)	TC (mmol·L ⁻¹)	HDL (mmol·L ⁻¹)	LDL (mmol·L ⁻¹)	GLU (mmol·L ⁻¹)
HH	公Male	25.94±1.83	20.12±4.83	12.86±10.37	26.74±20.85a	3.96±1.73	59.83±11.79	0.19±0.14	3.25±1.40	1.36±0.24	3.64±1.28	4.88±0.48
	母Female	26.89±3.58	20.24±6.11	11.91±6.84	10.79±10.25b	3.42±2.35	55.27±9.33	0.21±0.14	2.72±1.08	1.86±0.25	4.53±1.29	4.13±0.51
AH	公Male	29.25±2.93	25.69±6.05	14.03±6.43	7.53±4.69b	4.72±1.72	67.74±7.47	0.18±0.06	3.48±0.97	1.83±0.53	4.32±1.45	3.33±0.58
	母Female	28.77±4.99	24.22±4.83	13.08±2.92	25.31±23.47a	4.87±1.54	59.32±9.76	0.22±0.09	2.90±0.48	1.71±0.59	3.92±1.09	3.57±1.02
DH	公Male	27.56±3.47	28.44±7.16	12.44±5.72	12.18±7.31b	4.69±2.29	70.33±10.64	0.24±0.09	3.50±0.88	1.47±0.32	3.76±1.29	3.28±0.42
	母Female	30.24±2.02	25.24±6.32	23.07±17.52	10.66±7.04b	4.70±1.76	67.90±13.35	0.26±0.12	2.64±0.70	1.47±0.37	3.66±0.85	3.49±0.87
XH	公Male	30.99±2.53	31.04±10.97	9.66±3.45	9.39±8.81b	5.23±2.17	72.29±8.62	0.27±0.05	2.73±0.68	1.89±0.36	4.30±0.61	4.52±0.88
	母Female	33.98±3.36	27.21±5.28	8.60±5.59	11.99±10.13b	6.11±1.59	79.40±9.55	0.28±0.10	3.04±0.80	2.08±0.19	3.94±1.26	4.72±0.94
Main effect	品种 Breed	26.42±2.79c	20.18±5.32b	12.38±8.57ab	18.77±17.97	3.69±2.03b	57.55±10.61c	0.20±0.14	2.98±1.25	1.61±0.35bc	4.09±1.33	4.50±0.62a
	AH	29.01±3.96b	24.96±5.34a	13.55±4.89ab	16.42±18.83	4.79±1.59ab	63.53±9.50bc	0.20±0.08	3.19±0.80	1.77±0.55ab	4.12±1.27	3.45±0.82b
	DH	28.90±3.07b	26.84±6.73a	17.75±13.81a	11.42±7.03	4.69±1.99ab	69.11±11.82b	0.25±0.11	3.07±0.89	1.47±0.34c	3.71±1.07	3.38±0.68b
	XH	32.48±3.26a	29.12±8.55a	9.13±4.55b	10.69±9.34	5.67±1.91a	75.85±9.57a	0.28±0.08	2.89±0.74	1.99±0.30a	4.12±0.98	4.62±0.89a
性别 Sex	公Male	28.43±3.24	26.32±8.32	12.25±6.88	13.96±13.94	4.65±1.97	67.55±10.55	0.22±0.10	3.24±1.03a	1.64±0.43	4.01±1.20	4.00±0.93
	母Female	29.97±4.36	24.23±5.98	14.16±10.99	14.69±15.01	4.78±2.01	65.47±13.85	0.24±0.11	2.82±0.78b	1.78±0.43	4.01±1.14	3.98±0.96
P值	品种 Breed	<0.001	0.003	0.021	0.165	0.018	<0.001	0.066	0.753	0.001	0.632	<0.001
P value	性别 Sex	0.062	0.217	0.320	0.806	0.774	0.366	0.323	0.045	0.094	0.981	0.892
	品种×性别 Breed×sex	0.398	0.839	0.085	0.002	0.707	0.108	0.976	0.209	0.064	0.275	0.107

TP: 总蛋白 Total protein; ALB: 白蛋白 Albumin; AST: 谷草转氨酶 Aspartate aminotransferase; ALT: 谷丙转氨酶 Alanine aminotransferase; BUN: 尿素氮 Serum urea nitrogen; CRE: 肌酐 Creatinine; TG: 甘油三酯 Triglycerides; TC: 总胆固醇 Total cholesterol; HDL: 高密度脂蛋白 High-density lipoprotein; LDL: 低密度脂蛋白 Low-density lipoprotein; GLU: 葡萄糖 Glucose.

等,通过体尺指标可以间接了解肉羊的体重状况^[17-18]。研究发现,杜湖杂一代羔羊初生、60、90、120和180日龄体重以及平均日增重均显著高于纯种湖羊;澳湖杂一代初生重、2月龄重、4月龄重和6月龄重以及0~2月龄日增重、平均日增重均显著高于纯种湖羊,澳湖组羔羊初生和6月龄的体长和胸围均显著高于纯种湖羊^[19-20]。此外,何茂昌等^[21]研究发现,3月龄杜湖、6和10月龄澳湖、杜湖的体重以及澳湖、杜湖平均日增重均显著高于纯种湖羊,但初生重无显著差异;3月龄杜湖、6和10月龄澳湖、杜湖的胸围均显著高于纯种湖羊,但体长和体高无显著差异。本试验得到相似的结果,杂种优势表现明显,表明通过杂交能够改善后代的体格,促进生长发育。然而,在本试验中相较于纯种湖羊,杂一代的体高和管围也显著提高,与他们有所不同,可能与饲养环境不同有关。在本试验中,夏湖的初生重和体尺指标高于澳湖、杜湖,杜湖90~360日龄的体重、体高和管围以及1~90日龄、1~180日龄和1~360日龄的平均日增重均显著高于澳湖、夏湖。结果表明,夏湖初生发育较好,90日龄后杜湖的生长发育较快。

血清生化指标在一定程度上能够反映动物机体的营养代谢情况。血清TP和ALB能够反映动物对于蛋白质的利用率,TP含量较高时能促进动物的健康生长,绵羊TP正常值为60~85 g·L⁻¹;BUN反映动物体内氮元素的利用能力,含量较高说明氮利用率较低,绵羊BUN正常值为1.8~6.7 mmol·L⁻¹^[22-23]。ALT和AST是一类能够反映机体蛋白质代

表9 不同杂交组合绵羊瘤胃发酵参数的比较

品种	性别	pH	AA (mmol·L ⁻¹)	PA (mmol·L ⁻¹)	IBA (mmol·L ⁻¹)	BA (mmol·L ⁻¹)	IVA (mmol·L ⁻¹)	VA (mmol·L ⁻¹)	TVFA (mmol·L ⁻¹)	AN (mg·dL ⁻¹)
HH	公Male	6.44±0.08	36.75±6.55	8.88±1.60	1.09±0.26ab	4.85±1.40	1.25±0.22c	0.47±0.14	53.29±7.12	19.32±0.30
	母Female	6.45±0.10	38.38±3.30	7.41±0.93	1.19±0.13a	4.44±0.77	1.22±0.14c	0.42±0.05	53.05±2.71	18.67±1.30
AH	公Male	6.41±0.09	42.47±8.13	7.84±2.27	1.08±0.22ab	6.01±0.98	1.29±0.27c	0.74±0.15	59.41±8.42	20.94±1.34
	母Female	6.50±0.03	40.51±5.47	7.71±0.71	0.94±0.08b	7.88±2.30	1.59±0.33ab	0.75±0.15	59.40±5.66	20.00±1.03
DH	公Male	6.42±0.09	42.13±7.32	9.02±2.66	1.15±0.14a	6.24±0.76	1.43±0.24bc	0.74±0.15	60.72±6.69	23.51±5.57
	母Female	6.48±0.08	45.51±3.01	8.72±1.40	0.89±0.12b	7.06±0.85	1.27±0.22c	0.69±0.18	64.14±4.78	21.22±1.22
XH	公Male	6.39±0.08	43.54±1.88	7.65±1.29	1.07±0.09ab	6.94±2.02	1.46±0.17abc	0.58±0.15	61.25±3.85	21.06±1.15
	母Female	6.36±0.05	42.39±4.41	8.58±1.69	1.24±0.12a	5.94±0.62	1.72±0.19a	0.53±0.06	60.41±5.54	22.29±1.27
主效应	品种 Breed	6.45±0.08	37.56±5.02b	8.14±1.46	1.14±0.20	4.64±1.10b	1.14±0.20ab	0.45±0.10c	53.17±5.14b	19.00±0.96b
	品种 Breed	6.45±0.08	41.49±6.68ab	7.78±1.60	1.01±0.18	6.95±1.95a	1.01±0.18b	0.75±0.14a	59.40±6.84a	20.47±1.24ab
	DH	6.45±0.08	43.82±5.62a	8.87±2.03	1.02±0.19	6.65±0.88a	1.02±0.19b	0.72±0.16a	62.43±5.83a	22.37±4.03a
	XH	6.39±0.04	42.97±3.29a	8.12±1.51	1.15±0.14	6.44±1.52a	1.15±0.14a	0.56±0.11b	60.83±4.57a	21.67±1.32a
性别 Sex	公Male	6.41±0.07	41.22±6.59	8.35±1.99	1.10±0.18	6.01±1.50	1.36±0.23	0.63±0.18	58.67±7.06	21.21±3.13
	母Female	6.45±0.07	41.70±4.71	8.11±1.29	1.06±0.19	6.33±1.81	1.45±0.30	0.60±0.18	59.25±6.07	20.55±1.78
P值	品种 Breed	0.479	0.036	0.448	0.053	0.001	0.004	0.001	0.002	0.040
P value	性别 Sex	0.196	0.762	0.622	0.482	0.419	0.159	0.384	0.732	0.311
	品种×性别 Breed×sex	0.699	0.605	0.394	0.006	0.058	0.046	0.900	0.807	0.302

AA: 乙酸 Acetic acid; PA: 丙酸 Propionic acid; IBA: 异丁酸 Isobutyric acid; BA: 丁酸 Butyric acid; IVA: 异戊酸 Isovaleric acid; VA: 戊酸 Valeric acid; TVFA: 总挥发性脂肪酸 Total volatile fatty acids; AN: 氨态氮 Ammoniacal nitrogen.

谢和氨基酸转运等生理过程的酶,该酶在绵羊体内的正常范围为 $10\sim 50\text{ U}\cdot\text{L}^{-1}$ [24];CRE是肌肉代谢产物,反映肾小球过滤功能,低蛋白饮食能够造成其含量降低,肾小球损伤会导致其含量升高,其在绵羊体内的正常范围为 $45\sim 130\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [25]。在本试验中,这些指标均在正常范围内,从本试验结果来看,杂交能够提高肉羊的蛋白质利用率,促进肉羊生长,而夏湖羊对氮元素的利用能力较低。GLU能够反映机体对糖吸收、转运和代谢的动态平衡,体现了动物体内的能量储备水平。正常情况下,绵羊的GLU含量为 $2.8\sim 4.4\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,一般含量降低表明其大量作为能量用于动物生产[23,26]。TC和TG能够反映脂类的利用情况,其在绵羊体内的正常值分别为 $1.35\sim 1.97$ 和 $0.2\sim 1.0\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,当它们含量较低时表明脂肪利用率高[27]。从本试验结果来看,澳湖和杜湖对能量的利用效率更高,母羊对脂肪的利用效率更高。HDL能够将组织胆固醇运输到肝脏转化为胆汁酸或直接通过胆汁从肠道排出,而LDL则是把胆固醇转运到全身[22,26]。从本试验来看,夏湖可能更易清除体内胆固醇,进而降低脂肪的沉积。

挥发性脂肪酸(乙酸、丙酸和丁酸占总挥发性脂肪酸的95%)是由瘤胃微生物降解饲料中的纤维、淀粉等物质产生的一类短链脂肪酸,能够为宿主提供所需能量的70%以上,其具有调控机体代谢,提高机体抗氧化、免疫能力,促进动物生长和改善肉品质等作用[28]。丁酸能够刺激瘤胃上皮增殖和生长,是瘤胃上皮组织细胞的发育的重要能源物质[29]。戊酸能够显著增加瘤胃乙酸、丁酸和总挥发性脂肪酸的含量[30]。因此,在本试验中,杂交羊生长发育优于纯种湖羊,这可能与促进戊酸的生成进而提高总挥发性脂肪酸和丁酸含量,促进瘤胃上皮发育有关。异丁酸、异戊酸等异位酸,具有促进瘤胃内纤维降解菌的生长繁殖,提高饲料降解率;抑制脲酶,促进非蛋白氮类饲料(如尿素)的利用率和微生物蛋白的合成,提高反刍动物的生产性能以及促进瘤胃乳头和小肠绒毛的生长发育等作用[31]。在本试验中,夏湖羊瘤胃异戊酸和异丁酸含量高于澳湖和杜湖羊,结果表明夏湖羊对饲料的消化、吸收利用能力可能优于澳湖和杜湖羊。瘤胃内氨态氮是微生物蛋白合成的氮源,其适宜含量为 $6\sim 30\ \text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$,在适宜含量下有利于瘤胃发酵,若含量过高,会增加瘤胃氮循环中氮的损失,而含量过低则会降低纤维素分解菌分解纤维素的效率[32]。从本试验结果来看,所有品种羊瘤胃内的氨态氮含量处于适宜范围内,但杂交羊的含量要高于纯种湖羊,表明杂交羊粗饲料利用能力更强。

4 结论

在本试验中,湖羊与澳洲白、杜泊羊和夏洛莱羊杂交后母羊的产羔率下降,但杂交羊羔羊的成活率提高。澳湖、杜湖和夏湖羊生长发育优于纯种湖羊,可能与杂交羊瘤胃发酵效率的提升有关。

参考文献 References:

- [1] Zhan J S, Yang Q, Zhong X J, *et al.* Effects of total mixed rations with different concentration-roughage ratios on meat quality, serum indices, and intestinal tract development in Hu sheep. *Pratacultural Science*, 2019, 36(12): 3166–3174.
占今舜, 杨群, 钟小军, 等. 不同精粗比饲料对湖羊肉品质、血液指标和肠道发育的影响. *草业科学*, 2019, 36(12): 3166–3174.
- [2] Li Q, Shao Y W K, Feng T Y, *et al.* Research progress on the effects of different hybrid combinations of meat sheep in China. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019 (19): 43–45.
李倩, 邵勇维克, 冯天雨, 等. 我国肉用绵羊不同杂交组合效果研究进展. *黑龙江畜牧兽医*, 2019(19): 43–45.
- [3] Jiang X M, Zhang Y H, Maerziya·Yasen, *et al.* Research progress on the introduction of Australian White sheep into China. *Grass Feeding Livestock*, 2022(2): 1–6.
蒋晓梅, 张艳花, 玛尔孜娅·亚森, 等. 我国引入澳洲白绵羊的研究进展. *草食家畜*, 2022(2): 1–6.
- [4] Wang Y F, Wang Y Y, Li X H. *LEF1* bioinformatics and expression analysis in Dorper sheep. *China Herbivore Science*, 2022, 42(4): 13–17.
王翊帆, 王雅艳, 李新海. 杜泊羊 *LEF1* 生物信息学及表达分析. *中国草食动物科学*, 2022, 42(4): 13–17.
- [5] Zhang Y D, Wang L, Yan T Y, *et al.* Study on the hybrid effect of Australian White sheep, Dorpersheep and small-tailed Han

- sheep. *China Herbivore Science*, 2014, 34(6): 10–12.
- 张永东, 王磊, 严天元, 等. 澳洲白羊、杜泊羊与小尾寒羊杂交效果研究. *中国草食动物科学*, 2014, 34(6): 10–12.
- [6] Yang D L, Yang D G, An Y F, *et al.* Study on hybrid effect of Tibetan sheep of Qinghai Plateau type and Australian White sheep, black-headed Dorper sheep, black-headed Suffolk sheep. *China Herbivore Science*, 2019, 39(6): 70–72.
- 杨杜录, 杨东贵, 安玉峰, 等. 青海高原型藏羊与澳洲白羊、黑头杜泊羊、黑头萨福克羊杂交效果的研究. *中国草食动物科学*, 2019, 39(6): 70–72.
- [7] Kong L X, Yang X Y, Lian Z Q, *et al.* A comparative study on the improvements by crossbreeding of Dorper sheep and Australian White sheep with Hu sheep. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2018, 50(8): 6–10.
- 孔令旋, 杨新月, 练志全, 等. 杜泊羊、澳洲白绵羊与湖羊杂交效果的比较. *畜牧与兽医*, 2018, 50(8): 6–10.
- [8] Wang X, Wang G C, Xia D C, *et al.* The analysis of correlation and multiple regression on body weight and body size of Charolais sheep. *Chinese Journal of Animal Science*, 2024, 60(7): 133–136.
- 王鑫, 王国春, 夏德翠, 等. 夏洛来羊体重与体尺相关性及其多元回归分析. *中国畜牧杂志*, 2024, 60(7): 133–136.
- [9] Wang J, Shen C X, Luo Z Q, *et al.* Analysis on hybrid improvement effect of Charolais sheep and small-tailed Han sheep. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2017(3): 69–71.
- 王军, 谌春湘, 骆志强, 等. 夏洛莱羊与小尾寒羊杂交改良效果分析. *中国畜禽种业*, 2017(3): 69–71.
- [10] Liu Y J, Wang J T, Liu Z Z, *et al.* Screening of hybrid combinations and genetic effects analysis of *GLPG* gene in meat sheep. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2020, 51(1): 55–63.
- 刘艳军, 王建涛, 刘铮铸, 等. 肉用绵羊二元杂交组合的筛选及 *GLPG* 基因遗传效应研究. *畜牧兽医学报*, 2020, 51(1): 55–63.
- [11] Agricultural Industry Standard of the People's Republic of China. Nutrient requirements of meat-type sheep and goat: NY/T 816-2021. Beijing: China Agriculture Press, 2022.
- 中华人民共和国农业行业标准. 肉羊营养需要量: NY/T 816-2021. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [12] Gao L Q, Zhan J S, Hu Y, *et al.* Effects of total mixed ration with different concentration-roughage ratios on growth performance, serum hormone concentrations and slaughter performance of Hu sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4): 1676–1684.
- 高林青, 占今舜, 胡耀, 等. 不同精粗比全混合日粮对湖羊生长性能、血清激素浓度和屠宰性能的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(4): 1676–1684.
- [13] Zhan J S, Liu Y, Zhan Y P, *et al.* Effects of dietary protein level on meat quality, serum enzyme activity and intestinal development of Guangfeng goat. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(3): 1493–1502.
- 占今舜, 刘远, 占咏平, 等. 饲料蛋白质水平对广丰山羊肉品质、血清酶活性、瘤胃发酵和肠道发育的影响. *动物营养学报*, 2021, 33(3): 1493–1502.
- [14] Pan X R, Chen G R, Wang X P, *et al.* The study on hybridization experiment of Australian White sheep, Dorper sheep, and small-tailed Han sheep, Hu sheep. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary*, 2017, 47(10): 113–114, 119.
- 潘晓荣, 陈广仁, 王晓平, 等. 澳洲白、杜泊羊与小尾寒羊、湖羊杂交试验研究. *甘肃畜牧兽医*, 2017, 47(10): 113–114, 119.
- [15] Chen G R, Pan X R, Yuan Y, *et al.* Evaluation of hybrid effect between Australian White sheep and Hu sheep in Hexi Corridor of Gansu Province. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, 28(3): 323–329.
- 陈广仁, 潘晓荣, 袁勇, 等. 澳洲白绵羊与湖羊在甘肃河西走廊区杂交效果评价. *西北农业学报*, 2019, 28(3): 323–329.
- [16] Luo Y, Pareha·Paerhati, Yang L X, *et al.* Improvement experiment of hybrid breed between Dorper and Hu sheep. *Agricultural Engineering Technology*, 2024, 44(6): 28–29.
- 罗渝, 帕热哈·帕尔哈提, 杨玲霞, 等. 杜泊羊与湖羊杂交品种改良试验. *农业工程技术*, 2024, 44(6): 28–29.
- [17] Zhan J S, Zhong X J, Zhan Q B, *et al.* Effects of concentrates with different protein levels on growth performance, slaughter performance and serum biochemical indexes of Guangfeng goat. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(1): 528–536.
- 占今舜, 钟小军, 占清标, 等. 不同蛋白质水平精料对广丰山羊生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响. *动物营养学报*, 2021, 33(1): 528–536.
- [18] Guo S X, Wang Q, Liu L L, *et al.* Analysis of the correlation between body weight and body size of Duolang sheep and Duohu

- F₂ generation. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2021(15): 56–60.
- 郭锁鑫, 王琼, 刘玲玲, 等. 多浪羊与多湖F₂代体重与体尺指标的相关关系分析. 黑龙江畜牧兽医, 2021(15): 56–60.
- [19] Qi P, Wang X W, Zhang J, *et al.* Research on lambing number, early growth performance and fattening performance of the hybrid generation between Dorper sheep/Suffolk sheep and Hu sheep. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2024(22): 53–57.
- 亓鹏, 王小伟, 张菊, 等. 杜泊羊、萨福克羊与湖羊杂交一代产羔数、羔羊早期生长性能和育肥性能的研究. 黑龙江畜牧兽医, 2024(22): 53–57.
- [20] Wang Z W, Mao Y Y, Sun R F, *et al.* Study on hybrid effect of different meat sheep breeds and Hu Sheep. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2016(10): 88–90.
- 王志武, 毛杨毅, 孙锐锋, 等. 不同肉羊品种与湖羊杂交效果研究. 黑龙江畜牧兽医, 2016(10): 88–90.
- [21] He M C, Dong H, Yang J X, *et al.* Screening hybrid combinations of Hu sheep. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2022, 54(1): 22–26.
- 何茂昌, 董和, 杨军祥, 等. 湖羊杂交组合筛选试验研究. 畜牧与兽医, 2022, 54(1): 22–26.
- [22] Zhan J S, Huo J H, Zhong X J, *et al.* Effects of diet added with rutin on growth performance, serum biochemical indexes and hormone levels and rumen fermentation of Hu sheep. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(5): 2717–2726.
- 占今舜, 霍俊宏, 钟小军, 等. 饲料中添加芦丁对湖羊生长性能、血清生化指标和激素水平及瘤胃发酵的影响. 动物营养学报, 2021, 33(5): 2717–2726.
- [23] Tian M, Han C M, Liu K, *et al.* Variation regularity and correlation analysis of blood biochemical indicators in dairy goats during different lactation stages. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2024, 45(10): 36–42.
- 田敏, 韩程名, 刘坤, 等. 不同泌乳时期奶山羊血液生化指标变化规律及其相关性分析. 家畜生态学报, 2024, 45(10): 36–42.
- [24] Zhan J S, Jiang H Y, Wang H B, *et al.* The changes of serum biochemical indexes, oxidation resistance and immune property in pre and post-weaning lambs. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(5): 202–211.
- 占今舜, 江浩筠, 王海波, 等. 羔羊断奶前后血清生化指标、抗氧化和免疫性能的变化. 草业学报, 2025, 34(5): 202–211.
- [25] Ding C R, Sun Y Q. Predictive value of combined detection of serum Cys-C, UPCR and serum Cr levels for the prognosis of patients with diabetic nephropathy. Clinical Medical & Engineering, 2024, 31(12): 1519–1520.
- 丁丛仁, 孙跃琦. 血清Cys-C、UPCR、血清Cr水平联合检测对糖尿病肾病患者预后的预测价值. 临床医学工程, 2024, 31(12): 1519–1520.
- [26] Wang H B, Gu Z Y, Liu Y, *et al.* Effect of quercetin on growth performance and serum physiological and immuno- antioxidant capacity of early weaned Guangfeng goat lambs. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2025, 51(1): 90–97.
- 王海波, 谷志勇, 刘远, 等. 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊的生长性能和血清生理及免疫抗氧化能力的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(1): 90–97.
- [27] Zhan J S, Gu Z Y, Wang H B, *et al.* Effects of rutin supplementation on growth performance, slaughter performance, serum parameters, and meat quality of Nubian goats. Animal Science Journal, 2023, 94(1): e13819.
- [28] Wang H B, Zhan J S, Jia H B, *et al.* Effects of rumen fermentation level on slaughter performance, antioxidant and immune functions and composition of volatile fatty acids in the intestine of Hu sheep. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(7): 263–268.
- 王海波, 占今舜, 贾浩滨, 等. 瘤胃发酵水平对湖羊屠宰性能、机体抗氧化和免疫功能及肠道挥发性脂肪酸组成的影响. 中国畜牧杂志, 2024, 60(7): 263–268.
- [29] Zhan J S, Zhan K, Yang F Y, *et al.* Effects of diet supplemented probiotics on growth performance, blood biochemical indices and rumen fermentation of Nubian goats. China Herbivore Science, 2021, 41(6): 6–12, 23.
- 占今舜, 詹康, 杨富裕, 等. 饲料中添加益生菌对努比亚山羊生长性能、血液生化指标和瘤胃发酵的影响. 中国草食动物科学, 2021, 41(6): 6–12, 23.
- [30] Wang C, Huang Y X, Liu Q, *et al.* Effects of valerate acid on rumen fermentation of Simmental cattle. Feed Industry, 2006, 27(19): 22–24.

王聪, 黄应祥, 刘强, 等. 戊酸对西门塔尔牛瘤胃发酵的影响. 饲料工业, 2006, 27(19): 22—24.

- [31] Zhang Z W, Zhu M X, Wang C F. Effects of isoacids on ruminal metabolism and performance in ruminants: A review. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(3): 1408—1415.

张振威, 朱明霞, 王长法. 异位酸影响反刍动物瘤胃代谢和生产性能的研究进展. 动物营养学报, 2022, 34(3): 1408—1415.

- [32] Ran H, Zhu S X, Liu T, *et al.* Effects of Astragalus polysaccharide powder on rumen fermentation parameters and microflora of Hu sheep *in vitro*. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(3): 1880—1892.

冉航, 朱声鑫, 刘婷, 等. 黄芪多糖粉对湖羊瘤胃体外发酵参数和微生物区系的影响. 动物营养学报, 2025, 37(3): 1880—1892.