

# 35~50 kg 杜泊×晋中绵羊公羔体内铜、铁、锰、锌分布规律及净需要量参数研究

金亚倩, 刘文忠, 任有蛇, 张春香, 赵俊星, 马雪豪, 张建新\*

(山西农业大学动物科技学院, 太谷 030801)

**摘要:** 旨在研究 35~50 kg 杜泊×晋中绵羊 F1 代公羔铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)在体内分布特点及其净需要量。试验选取杜泊×晋中绵羊 F1 代公羔 30 只, 采用比较屠宰试验, 在试验羊平均体重达到 35 kg 时, 随机抽取 6 只进行屠宰, 作为初始屠宰组(BL), 用于估测试验羊初始体组成; 另随机选取 6 只羊, 自由采食并在平均体重达到 43 kg 时屠宰, 作为中期屠宰组(M); 剩余 18 只羊分为 3 个饲喂水平组: 自由采食组(AL)、65%限饲组(65%)和 40%限饲组(40%), 当自由采食组的平均体重达到 50 kg 时, 剩余 18 只羊全部屠宰。屠宰后, 分别测定肌肉、脂肪、骨骼、血+内脏、羊皮、羊毛中铜、铁、锰、锌含量, 建立数学模型分析微量元素在体组织中的分布规律, 并预测其净维持及净生长需要量。结果表明, 随着体重的增加, 公羔骨骼、肌肉生长速度逐渐降低, 脂肪生长速度逐渐增加。铜、铁、锰主要分布于内脏(血液)中, 分别占体内总含量的 86.34%、49.12%、68.65%, 锌主要分布于肌肉和骨骼中, 分别占体内总含量的 42.17%、24.19%。35~50 kg 杜泊×晋中绵羊 F1 代公羔铜、铁、锰、锌净维持需要量以空腹体重(EBW)表示分别为 0.016、0.281、0.007 和 0.085 mg·kg<sup>-1</sup> EBW·d<sup>-1</sup>, 以体重(BW)表示分别为 0.013、0.228、0.006 和 0.069 mg·kg<sup>-1</sup> BW·d<sup>-1</sup>; 净生长需要量以空腹体重(EBW)表示分别为 12.61~15.62、77.82~82.55、2.74~3.45 和 25.36~23.98 mg·kg<sup>-1</sup> EBW, 以体重(BW)表示分别为 10.17~12.75、62.76~67.39、2.21~2.82 和 20.45~19.57 mg·kg<sup>-1</sup> BW。本研究中公羔微量元素维持需要量除锌略低外, 其他都高于 NRC(2007)推荐量; 铁、锌净生长需要量与 NRC(2007)推荐量接近, 而铜、锰需要量较推荐量高。

**关键词:** 杂种公羔; 微量元素; 分布; 净需要量; 维持; 生长

中图分类号: S826; S816.72

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2016)12-2430-11

## Distributions of Cu, Fe, Mn, Zn and the Net Requirements for Maintenance and Growth of Dorper × Jinzhong Crossbred Ram Lambs at 35-50 kg

JIN Ya-qian, LIU Wen-zhong, REN You-she, ZHANG Chun-xiang,

ZHAO Jun-xing, MA Xue-hao, ZHANG Jian-xin\*

(College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to estimate distributions of Cu, Fe, Mn, Zn and the net requirements for maintenance and growth of Dorper × Jinzhong crossbred ram lambs at 35-50 kg. A total of 30 ram lambs were used in this experiment. A comparative slaughter trial was carried out, and 6 lambs were randomly chosen and slaughtered at approximately 35 kg BW as the baseline group for measuring initial body composition. Another 6 lambs were also randomly chosen and offered a pelleted mixed diet for ad libitum intake and slaughtered at approximately 43 kg BW. The remaining 18 lambs were equally assigned to 3 groups in a randomised design according to the level of dry matter intake (ad libitum or 65% or 40% of ad libitum intake of the same di-

收稿日期: 2016-07-11

基金项目: 国家现代肉羊技术体系专项(CARS-39); 山西省协同创新项目资助

作者简介: 金亚倩(1990-), 女, 山西曲沃人, 硕士, 主要从事动物繁殖生物技术研究, E-mail: jinyq2009@163.com

\* 通信作者: 张建新, 教授, 硕士生导师, 主要从事饲料资源开发与利用研究, E-mail: ypzjx@126.com

et), the 3 groups were slaughtered when the sheep fed ad libitum reached approximately 50 kg BW. The contents of Cu, Fe, Mn and Zn in different tissues, including muscle, adipose, bone, blood+visceral, leather and wool, were measured; mathematical model for analyzing distributions of trace element in tissues and predicting trace element requirements for maintenance and growth were established. The results showed that the growth rate of bone, muscle and fat decreased, decreased and increased, respectively. Cu, Fe Mn were mainly stored in viscera, accounting for 86.34%, 49.12%, 68.65% of the total contents in body, while Zn was mainly stored in muscle and bone, accounting for 42.17%, 24.19% of the total contents in body. The net requirements for maintenance of Cu, Fe, Mn, Zn expressed as empty body weight (EBW) were 0.016, 0.281, 0.007 and 0.085 mg · kg<sup>-1</sup> EBW · d<sup>-1</sup>, and expressed as body weight (BW) were 0.013, 0.228, 0.006 and 0.069 mg · kg<sup>-1</sup> BW · d<sup>-1</sup>, respectively. Net requirements for growth expressed as empty body weight (EBW) were 12.61-15.62, 77.82-82.55, 2.74-3.45 and 25.36-23.98 mg · kg<sup>-1</sup> EBW, and expressed as body weight (BW) were 10.17-12.75, 62.76-67.39, 2.21-2.82 and 20.45-19.57 mg · kg<sup>-1</sup> BW, respectively. The net requirements for maintenance of trace element in this study were higher than that recommended by NRC, excepted for Zn; net requirements for growth of Fe and Zn were similar with the recommendation of NRC, while requirements of Cu and Mn were higher than the recommendation.

**Key words:** crossbred ram lambs; trace element; distributions; net requirement; maintenance; growth

近年来,随着农业部“肉羊标准化养殖示范创建活动”及“生态与草食畜牧业平衡发展”战略不断推进,肉羊产业逐步由粗放散养向集约化、规模化、专业化、标准化方向转变。肉羊集约化的生产经营方式以“品种良种化、营养均衡化、防疫程序化”为基本条件。在肉羊良种化进程中,国外引进的专门化肉用品种—杜泊绵羊,在杂交改良中表现出杂种优势强<sup>[1]</sup>、生长速度快、抗逆性强、肉质好等独特优势<sup>[2]</sup>,被内蒙、山西、河北、山东、河南省等肉羊优势产区大力推广,大量的杜泊杂种羔羊进入规模化的羔羊育肥场。

在肉羊饲养过程中,饲料占养殖成本的 60%~70%,因此,配制营养均衡的饲料是规模化羔羊育肥工作的根本保障。铜、铁、锰、锌是影响肉羊生长发育和机体健康必不可少的微量元素<sup>[3]</sup>。但是,我国《NY/T 816~2004 肉羊饲养标准》<sup>[4]</sup>中微量元素需要量是参照 NRC(1985)的估计数字,不能满足我国当前杜泊杂种羔羊的微量元素营养需求。矿物质营养需要会因地区、品种、体重等不同而表现出一定差异<sup>[5]</sup>。H. Zhang 等<sup>[6]</sup>、纪守坤<sup>[7]</sup>分别研究了国内 20~35 kg 杜湖杂交和杜寒杂交羔羊微量元素净需要量,发现不同地区及品种微量元素净需要量存在差异。目前国内对羔羊铜、铁、锰、锌需要量的研究

多集中于体重 35 kg 以下,35~50 kg 羔羊微量元素需要量尚未见报道。

本研究采用比较屠宰试验,对 35~50 kg 杜泊×晋中绵羊 F1 公羔不同组织铜、铁、锰、锌分布规律及其需要量参数进行研究,为后期羔羊育肥提供微量元素需要量参数,并为我国肉羊饲养标准的制定提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验日粮

参考 NRC(2007)<sup>[8]</sup>绵羊营养需要中体重 40 kg,日增重 300 g · d<sup>-1</sup>公羔营养需要设计配方,制成全混合颗粒饲料。试验日粮组成及营养水平见表 1。

### 1.2 试验设计

选取 30 只出生日期相近、体况良好、体重 33 kg 左右的杜泊×晋中绵羊 F1 代公羔(未去势),于试验前严格检疫。采用完全随机试验设计,当试验羊平均体重达到 35 kg 时,随机抽取 6 只进行屠宰,作为初始屠宰组(BL),用于估测试验羊初始体组成;另随机选取 6 只羊,自由采食并在平均体重达到 43 kg 时屠宰,作为中期屠宰组(M);剩余 18 只羊分为 3 个饲喂水平组:自由采食组(AL)、65%限饲组(65%)和 40%限饲组(40%),其中 40%组为设计的

表 1 日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)		%	
原料 Ingredient	比例 Percentage	营养水平 <sup>2</sup> Nutrient level	含量 Content
羊草 Chinese wild rye	45.00	干物质 DM	89.47
苜蓿 Alfalfa hay	10.00	代谢能/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) ME	9.29
玉米 Corn grain	29.50	粗蛋白 CP	11.91
豆粕 Soybean meal	14.00	粗脂肪 EE	1.93
食盐 Salt	0.50	中性洗涤纤维 NDF	39.20
预混料 <sup>1</sup> Mineral/Vitamin premix	1.00	铜/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Cu	6.16
合计 Total	100.00	铁/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Fe	346.58
		锰/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Mn	103.80
		锌/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Zn	51.62

<sup>1</sup>. 预混料为每千克饲粮提供:VA 15 000 IU, VD 5 000 IU, VE 50 mg, 铁 90 mg, 铜 12.5 mg, 锰 50 mg, 锌 100 mg, 硒 0.3 mg, 碘 0.8 mg, 钴 0.5 mg; <sup>2</sup>. ME 为计算值, 饲料中其他营养成分均为实测值

<sup>1</sup>. The premix provides the following per kg of diet: VA 15 000 IU, VD 5 000 IU, VE 50 mg, Fe 90 mg, Cu 12.5 mg, Mn 50 mg, Zn 100 mg, Se 0.3 mg, I 0.8 mg, Co 0.5 mg; <sup>2</sup>. ME is a calculated value, the others are measured values

维持需要量采食组, 当自由采食组的平均体重达到 50 kg 时, 剩余 18 只羊全部屠宰。

### 1.3 饲养管理

试验于 2014 年 8~10 月在山西农业大学动物科技学院试验站进行。试验历时 68 d, 其中适应期 3 d, 预饲期 10 d, 正试期 55 d。试验羊采用单栏独饲的方法进行饲喂, 每只羊占地约 2.8 m<sup>2</sup> (长 3.5 m, 宽 0.8 m)。试验前对试验羊舍进行清扫消毒, 并对试验羊进行免疫注射羊痘、口蹄疫和小反刍兽疫疫苗。在预饲期进行试验羊的分组、编号及驱虫工作, 使试验羊适应单栏饲养管理方式。

试验期间羊舍温度控制在 22 °C (15.5~26.5 °C), 并适时进行通风。每天于 08:00 和 18:00 饲喂, 自由饮水。适时调整各组饲喂量: AL 组以剩料占饲喂量的 10% 为准, 根据 AL 组采食量确定两个限饲组的饲喂量。每天饲喂前记录每只羊剩料量, 并采集饲料样品及剩料样品。每隔 10 d 对所有试验羊进行空腹称重并记录数据。试验结束后计算各组平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADI)和料重比。

### 1.4 样品采集与指标测定

试验结束当日 16:00 对试验羊进行称重并禁食禁水, 次日 08:00 称重后进行屠宰。屠宰后, 收集全部血液。取出内脏, 分离心、肝、脾、肺(气管)、肾、膀胱、睾丸、内脏脂肪及消化道脂肪, 并分别称重; 消化

道(食道、瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、小肠、大肠)剥离后清除内容物, 洗净后分别称重; 将头与胴体沿中线劈开, 分别称重后取右侧头、胴体, 分离骨骼、肌肉、脂肪并称量; 剥离右侧前后蹄皮、蹄骨称重; 皮、毛分离后分别称重。空腹体重(EBW, empty body weight)为宰前活重减去胃肠道内容物后的重量。最后将每只羊右侧所有肌肉用绞肉机绞碎后混匀取样, 取内脏脂肪、消化道脂肪的一半与右侧脂肪绞碎混匀后取样, 用破骨机将右侧骨骼破碎取样, 将血与内脏混合绞碎后取样, 将皮剪成小块后用皮革绞肉机将其绞碎并取样, 毛剪碎后取样, 每种组织取样约 500 g, -20 °C 保存。

饲料样品在测定初水分后制成风干样, 测定其常规养分含量; 组织样品通过真空冷冻干燥机干燥 72 h 后计算干物质(DM)含量; 利用干灰化法对饲料、组织样品进行前处理, 通过原子吸收分光光度计火焰法得到铜、铁、锰、锌的含量。

### 1.5 微量元素净需要量计算

1.5.1 净维持需要量计算 根据 BL 组试验羊数据, 建立 BW 与 EBW、EBW 与体内微量元素含量的回归关系, 用于预测其余 4 组初始微量元素含量。体内微量元素沉积量为试验始、末体内微量元素含量之差。通过建立微量元素沉积量( $R_m$ , Retained microelement)与微量元素摄入量( $I_m$ , Intake microelement)的回归方程, 外推到  $I_m$  为零时的负截距

即为维持条件下微量元素净需要量<sup>[9]</sup>。

1.5.2 净生长需要量计算 体内微量元素含量通过其与空腹体重的异速生长模型进行推测<sup>[10]</sup>:

$$\lg(y) = a + b \times \lg(x) \quad (1)$$

其中,  $y$  为去除消化道内容物后微量元素含量 (mg);  $x$  为 EBW (kg);  $a$  为截距;  $b$  为体内微量元素含量与空腹体重的异速生长回归系数。

式①求导后可得

$$y' = b \times 10^a \times \text{EBW}^{(b-1)} \quad (2)$$

其中,  $y'$  为每增加单位空腹体重所需微量元素的量 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ );  $a$ 、 $b$  由式①得到。

通过体重与空腹体重的比值转换得到单位体增重所需的微量元素。

## 1.6 数据处理

试验数据运用 Excel 2013 进行初步整理, 采用 SAS 8.1 统计软件进行统计分析, 采用 GLM 程序

按随机试验设计进行方差分析, 不同试验组间的多重比较采用 LSD 法进行, 以  $P < 0.05$  作为差异显著的判断标准, 线性回归采用 PROC REG 模型。

## 2 结果

### 2.1 35~50 kg 不同体重阶段公羔生长性能及体内微量元素含量

由表 2 可知, 随着 BW 的增加, AL 组公羔 ADI 较 M 组显著增加 ( $P < 0.05$ ), ADG 有降低趋势 ( $P > 0.05$ ), 料重比显著增加 ( $P < 0.05$ ); 随着 BW 的增加, 胴体重、肌肉重、羊皮重、内脏重、脂肪重及羊毛重均表现为  $\text{AL} > \text{M} > \text{BL}$  ( $P < 0.05$ )。50 kg 公羔骨骼重显著高于 35 kg 公羔, 但与 43 kg 公羔差异不显著 ( $P > 0.05$ )。35~50 kg 公羔体内铜、铁、锰、锌含量均随 BW 的增加显著增加 ( $P < 0.05$ )。

表 2 35~50 kg 阶段公羔生长性能及体内微量元素含量

Table 2 Growth performance and trace element contents of male lambs at 35-50 kg

项目 Item	组别 Group			SEM	P
	BL	M	AL		
体重/kg BW	35.02 <sup>c</sup>	43.15 <sup>b</sup>	50.64 <sup>a</sup>	0.26	<0.001
平均日采食量/(g·d <sup>-1</sup> ) ADI	0.00 <sup>c</sup>	1 627.89 <sup>b</sup>	1 891.82 <sup>a</sup>	62.65	<0.001
平均日增重/(g·d <sup>-1</sup> ) ADG	0.00 <sup>b</sup>	397.50 <sup>a</sup>	338.20 <sup>a</sup>	38.24	<0.001
料重比 F : G	0.00	4.59 <sup>b</sup>	5.78 <sup>a</sup>	0.45	<0.001
空腹体重/kg EBW	28.07 <sup>c</sup>	35.37 <sup>b</sup>	41.23 <sup>a</sup>	0.47	<0.001
胴体重/kg Carcass weight	15.76 <sup>c</sup>	19.38 <sup>b</sup>	23.38 <sup>a</sup>	0.43	<0.001
骨骼重/g Bone weight	4 451.67 <sup>b</sup>	4 888.88 <sup>ab</sup>	5 042.05 <sup>a</sup>	158.80	0.049
肌肉重/g Muscle weight	10 561.20 <sup>c</sup>	12 670.70 <sup>b</sup>	15 117.97 <sup>a</sup>	323.90	<0.001
羊皮重/g Leather weight	2 428.33 <sup>c</sup>	3 317.17 <sup>b</sup>	3 856.13 <sup>a</sup>	96.02	<0.001
血+内脏重/g Blood and viscera weight	5 295.99 <sup>c</sup>	6 705.58 <sup>b</sup>	7 746.38 <sup>a</sup>	153.12	<0.001
脂肪重/g Fat weight	2 959.37 <sup>c</sup>	4 432.35 <sup>b</sup>	6 960.81 <sup>a</sup>	489.75	<0.001
羊毛重/g Fleece weight	415.00 <sup>c</sup>	672.55 <sup>b</sup>	859.88 <sup>a</sup>	75.82	0.003
铜/mg Cu	216.22 <sup>c</sup>	360.49 <sup>b</sup>	399.12 <sup>a</sup>	19.72	<0.001
铁/mg Fe	2 163.47 <sup>c</sup>	2 247.58 <sup>b</sup>	3 142.43 <sup>a</sup>	124.12	<0.001
锰/mg Mn	45.04 <sup>c</sup>	74.78 <sup>b</sup>	83.96 <sup>a</sup>	4.09	<0.001
锌/mg Zn	847.32 <sup>c</sup>	1 015.95 <sup>b</sup>	1 163.63 <sup>a</sup>	33.98	<0.001

同行数字肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 标有相同字母或不标表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 下同

In the same row, values with different small letters mean significant difference ( $P < 0.05$ ), while with the same or no letters mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), the same as below

### 2.2 35~50 kg 不同体重阶段公羔各组织中微量元素含量及分布规律

各组织中微量元素含量见表 3。随着 BW 的增加, 骨骼中铜、铁、锰出现不同程度增加 ( $P < 0.05$ ), 锌含量显著减少 ( $P < 0.05$ ); 肌肉中铁、锌含量无显

著差异 ( $P > 0.05$ ), AL 组铜含量显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ ), BL 组锰含量显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ ); 皮中铜、铁、锰、锌含量均显著降低 ( $P < 0.05$ ); 内脏中铜、锰含量均表现为  $\text{M} > \text{AL} > \text{BL}$  ( $P < 0.05$ ), M 组铁、锌含量均显著低于其他两组

( $P < 0.05$ ); 脂肪中铜、锰含量随 BW 增加显著增加 ( $P < 0.05$ ), 锌含量有降低趋势 ( $P > 0.05$ ), AL 组铁含量显著低于其他两组 ( $P < 0.05$ ); 羊毛中铜含量表现为  $M > BL > AL$  ( $P < 0.05$ ), 锰含量随 BW 增加显著减少 ( $P < 0.05$ ), 铁、锌含量无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 单位 EBW 铜、锰含量在 M、AL 组显著高于 BL 组 ( $P < 0.05$ ), 锌含量反之 ( $P < 0.05$ ), 而铁

含量以 M 组最低, 显著低于其他两组 ( $P < 0.05$ )。

各组织中微量元素分布规律见表 4。内脏中铜、铁、锰占体内总含量的百分比均最高, 分别达 83.16%、46.48%、63.21% 以上; 锌在肌肉中的比例最高, 达 40.00% 以上, 其次为骨骼中, 达 20.23% 以上; 其他组织中的微量元素含量较低。

表 3 35~50 kg 阶段公羔各组织中微量元素含量(鲜重)

Table 3 Trace element concentrations in tissues of male lambs at 35-50 kg (wet weight basis)

mg · kg<sup>-1</sup>

组织 Tissue	项目 Item	组别 Group			SEM	P
		BL	M	AL		
骨骼 Bone	铜 Cu	1.33 <sup>c</sup>	1.87 <sup>b</sup>	2.64 <sup>a</sup>	0.13	<0.001
	铁 Fe	94.22 <sup>ab</sup>	69.03 <sup>b</sup>	130.27 <sup>a</sup>	10.43	0.044
	锰 Mn	0.70 <sup>b</sup>	0.71 <sup>b</sup>	0.96 <sup>a</sup>	0.03	<0.001
	锌 Zn	53.06 <sup>a</sup>	50.63 <sup>ab</sup>	46.69 <sup>b</sup>	1.02	0.025
肌肉 Muscle	铜 Cu	1.02 <sup>b</sup>	0.97 <sup>b</sup>	1.19 <sup>a</sup>	0.02	<0.001
	铁 Fe	26.79	28.65	28.34	0.64	0.471
	锰 Mn	0.61 <sup>a</sup>	0.55 <sup>b</sup>	0.54 <sup>b</sup>	0.01	0.007
	锌 Zn	32.10	35.73	32.45	0.74	0.077
羊皮 Leather	铜 Cu	1.35 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>	1.18 <sup>b</sup>	0.02	0.004
	铁 Fe	68.21 <sup>a</sup>	44.18 <sup>b</sup>	35.89 <sup>c</sup>	3.62	<0.001
	锰 Mn	0.87 <sup>a</sup>	0.73 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	0.02	<0.001
	锌 Zn	17.34 <sup>a</sup>	13.55 <sup>b</sup>	13.80 <sup>b</sup>	0.49	<0.001
内脏 Viscera	铜 Cu	35.53 <sup>c</sup>	47.82 <sup>a</sup>	42.85 <sup>b</sup>	1.30	<0.001
	铁 Fe	208.95 <sup>a</sup>	155.93 <sup>b</sup>	200.30 <sup>a</sup>	7.52	0.002
	锰 Mn	5.38 <sup>c</sup>	8.19 <sup>a</sup>	7.53 <sup>b</sup>	0.30	<0.001
	锌 Zn	22.38 <sup>a</sup>	13.87 <sup>b</sup>	24.86 <sup>a</sup>	1.27	<0.001
脂肪 Fat	铜 Cu	2.25 <sup>c</sup>	2.51 <sup>b</sup>	4.07 <sup>a</sup>	0.20	<0.001
	铁 Fe	26.35 <sup>a</sup>	24.13 <sup>a</sup>	16.06 <sup>b</sup>	1.54	0.007
	锰 Mn	0.65 <sup>c</sup>	0.72 <sup>b</sup>	0.83 <sup>a</sup>	0.02	<0.001
	锌 Zn	8.39	7.37	5.69	0.53	0.101
羊毛 Fleece	铜 Cu	3.87 <sup>b</sup>	4.11 <sup>a</sup>	3.56 <sup>c</sup>	0.06	<0.001
	铁 Fe	300.38	388.45	294.18	20.95	0.117
	锰 Mn	7.28 <sup>a</sup>	5.87 <sup>b</sup>	4.50 <sup>c</sup>	0.28	<0.001
	锌 Zn	222.65	219.65	177.43	10.15	0.123
空腹体重 EBW	铜 Cu	7.88 <sup>b</sup>	9.68 <sup>a</sup>	10.21 <sup>a</sup>	0.40	<0.001
	铁 Fe	78.77 <sup>a</sup>	63.62 <sup>b</sup>	76.33 <sup>a</sup>	5.24	0.024
EBW	锰 Mn	1.64 <sup>b</sup>	2.11 <sup>a</sup>	2.04 <sup>a</sup>	0.05	<0.001
	锌 Zn	30.86 <sup>a</sup>	28.72 <sup>b</sup>	28.21 <sup>b</sup>	0.82	0.013

表 4 35~50 kg 阶段公羔各组织中微量元素分布规律

Table 4 Distributions of trace element in tissues of male lambs at 35-50 kg

mg

项目 Item	组别 Group	组织 Tissue					
		骨骼 Bone	肌肉 Muscle	羊皮 Leather	内脏 Viscera	脂肪 Fat	羊毛 Fleece
铜 Cu	BL	5.90	10.78	3.27	188.03	6.64	1.60
	占比%	2.73	4.99	1.51	86.97	3.06	0.74
	M	9.14	12.36	4.27	320.82	11.13	2.77
	占比%	2.55	3.46	1.19	88.90	3.12	0.78
	AL	13.33	17.98	4.53	280.25	28.32	3.06
	占比%	3.34	4.51	1.13	83.16	7.09	0.77
铁 Fe	BL	418.34	282.01	165.26	1 107.90	71.83	118.13
	占比%	18.63	13.25	7.78	51.67	3.31	5.36
	M	331.43	363.32	146.92	1 048.75	105.43	251.72
	占比%	14.76	16.32	6.55	46.48	4.73	11.16
	AL	655.52	430.43	137.71	1 553.94	111.42	253.42
	占比%	20.65	13.84	4.45	49.20	3.59	8.27
锰 Mn	BL	3.09	6.44	2.10	28.47	1.91	3.03
	占比%	6.87	14.32	4.67	63.21	4.23	6.70
	M	3.47	6.97	2.42	54.75	3.21	3.96
	占比%	4.65	9.33	3.24	73.24	4.28	5.26
	AL	4.83	8.23	2.89	58.37	3.62	3.89
	占比%	5.76	9.82	3.45	69.49	6.84	4.64
锌 Zn	BL	235.72	338.48	42.07	118.45	23.13	89.46
	占比%	27.89	40.00	4.97	13.99	2.72	10.43
	M	247.78	451.60	44.83	92.67	32.00	147.07
	占比%	24.46	44.38	4.43	9.13	3.14	14.46
	AL	235.15	490.76	53.08	192.44	39.17	153.02
	占比%	20.23	42.13	4.57	16.60	3.36	13.11

各组织占比为组织中各矿物质含量占空腹体重中总含量的百分比

The proportion of tissue is the ratio of mineral weight in tissue to the mineral weight of EBW

### 2.3 35~50 kg 公羔微量元素净维持需要量

由表 5 可知,体内微量元素沉积量  $R_m$  与微量元素摄入量  $I_m$  呈线性关系,且相关系数较高 ( $R^2 > 0.69$ )。当  $I_m$  为零时,负截距即为微量元素维持需

要量。由表可见,35~50 kg 公羔铜、铁、锰、锌维持需要量分别为 0.016、0.281、0.007 和 0.085  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{EBW} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

表 5 维持需要量预测公式

Table 5 Equations to predict the trace element net requirements for maintenance of lambs

项目 Item	方程 Equation	$R^2$	$P$	净维持需要量/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{EBW} \cdot \text{d}^{-1})$ Net requirement for maintenance
铜 Cu	$R_{\text{Cu}} = 0.3040 \times I_{\text{Cu}} - 0.0161$	0.84	$< 0.001$	0.016
铁 Fe	$R_{\text{Fe}} = 0.0485 \times I_{\text{Fe}} - 0.2810$	0.69	$< 0.001$	0.281
锰 Mn	$R_{\text{Mn}} = 0.0042 \times I_{\text{Mn}} - 0.0065$	0.85	$< 0.001$	0.007
锌 Zn	$R_{\text{Zn}} = 0.0712 \times I_{\text{Zn}} - 0.0851$	0.84	$< 0.001$	0.085

### 2.4 35~50 kg 公羔微量元素净生长需要量

由表 6 可知,EBW 与 BW 呈高度线性关系 ( $R^2 = 0.96$ ),各微量元素总含量与 EBW 呈异速回

归关系,且高度相关 ( $R^2 > 0.72$ ),故可通过 BW 预测 EBW,进而推导出单位 EBW 微量元素的含量(表 7)。由表 7 可知,随着 BW 的增加,单位 EBW

铜、铁、锰的含量逐渐增加, 锌的含量逐渐减少。当 BW 分别为 35、40、45、50 kg 时, 相应的 EBW 分别为 28.23、32.42、36.62、40.82 kg, BW : SBW 比值分别为 1.24、1.23、1.23、1.22, 该比值可用于单位

EBW 微量元素含量与单位 BW 微量元素含量的换算。表 8 为公羔不同体重阶段不同日增重微量元素需要量。由表 8 可知, 随 BW 增加, 铜、铁、锰的需要量增加, 锌的需要量减少。

表 6 35~50 kg 公羔体内微量元素含量与 EBW 的回归关系

Table 6 Regression relations between carcass trace element contents and EBW of male lambs at 35-50 kg

项目 Item	方程 Equation	$R^2$	RMSE	$P$
空腹体重/kg EBW	$EBW = 0.8396 \times BW - 1.1593$	0.96	1.14	<0.001
铜/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Cu	$\lg Cu = 1.5792 \times \lg EBW + 0.0622$	0.93	0.03	<0.001
铁/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Fe	$\lg Fe = 1.1599 \times \lg EBW + 1.5947$	0.72	0.05	<0.001
锰/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Mn	$\lg Mn = 1.6284 \times \lg EBW - 0.6863$	0.92	0.04	<0.001
锌/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Zn	$\lg Zn = 0.8482 \times \lg EBW + 1.6958$	0.93	0.02	<0.001

表 7 35~50 kg 公羔微量元素净生长需要量

Table 7 Net requirements of trace element for growth of male lambs at 35-50 kg

项目 Item	体重/kg Body weight				方程 Equation
	35	40	45	50	
空腹体重/kg EBW	28.23	32.42	36.62	40.82	
铜/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Cu	12.61	13.67	14.67	15.62	$NRG_{Cu} = 1.8224 \times EBW^{0.5792}$
铁/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Fe	77.82	79.56	81.13	82.55	$NRG_{Fe} = 45.6164 \times EBW^{0.1599}$
锰/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Mn	2.74	2.98	3.22	3.45	$NRG_{Mn} = 0.3353 \times EBW^{0.6284}$
锌/(mg · kg <sup>-1</sup> EBW) Zn	25.36	24.83	24.37	23.98	$NRG_{Zn} = 42.1016 \times EBW^{-0.1518}$

表 8 35~50 kg 阶段公羔不同平均日增重微量元素净生长需要量

Table 8 Net requirements of trace element for growth of male lambs at 35-50 kg in different ADG

体重/kg	日增重/(g · d <sup>-1</sup> )	微量元素/(mg · d <sup>-1</sup> ) Trace element			
		铜 Cu	铁 Fe	锰 Mn	锌 Zn
BW	ADG				
	100	1.02	6.28	0.22	2.04
35	200	2.03	12.55	0.44	4.09
	300	3.05	18.83	0.66	6.13
	100	1.11	6.45	0.24	2.01
40	200	2.22	12.90	0.48	4.03
	300	3.32	19.35	0.73	6.04
	100	1.19	6.60	0.26	1.98
45	200	2.39	13.20	0.52	3.97
	300	3.58	19.81	0.79	5.95
	100	1.28	6.74	0.28	1.96
50	200	2.55	13.48	0.56	3.91
	300	3.83	20.22	0.84	5.87

### 3 讨论

#### 3.1 35~50 kg 公羔体组织生长情况

羔羊生长速度与品种、性别、生长阶段及营养水平等有密切关系<sup>[11]</sup>。王学琼<sup>[12]</sup>研究发现, 育成母羊生长速度低于母羔; 彭津津<sup>[13]</sup>对 35~43 和 43~50

kg 两个体重阶段道寒杂交公羔研究发现, 公羔前期平均日增重高于后期。本研究中, 35~43 和 43~50 kg 两个体重阶段杜泊 × 晋中绵羊 F1 代公羔平均日增重分别为 398 和 338 g, 说明育肥后期生长速度降低, 但随着体重增长, 羔羊日采食量提高, 饲料转化效率降低。

机体各组织器官的生长速度会随动物体重增长而变化,在特定的生长阶段会有特定的组织优先生长<sup>[14]</sup>。在动物出生初期,骨骼组织表现出较快的生长速度,之后为肌肉,最后是脂肪沉积<sup>[15-16]</sup>。R. A. Gomesa 等<sup>[17]</sup>研究显示,5~20 kg 萨能山羊骨骼组织生长速度较机体生长速度快;而纪守坤等<sup>[18]</sup>则提出,20~35 kg 杜寒杂交公羔骨骼组织生长速度低于机体生长速度;I. F. Da Silva 等<sup>[19]</sup>对 18~30 kg 粗毛羊研究发现,随着体重增加,EBW 中骨骼所占比例减少而脂肪所占比例增加,说明随着体重增加,骨骼生长速度减慢。本研究中,35~50 kg 公羔 EBW 由 28.07 kg 增加到 41.23 kg,增加了 46.88%,而骨骼组织由 4.45 kg 增加到 5.04 kg,增加了 13.26%,骨骼增重速度低于机体增重速度,与纪守坤等<sup>[18]</sup>和 I. F. Da Silva 等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。另外,本试验 EBW 和骨骼组织增重幅度均低于纪守坤等<sup>[18]</sup>报道的数据(分别为 67.24%和 43.57%),可能是本研究所用试验羊体重较大的缘故。在本研究中,公羔肌肉、脂肪分别增加了 43%和 135%,说明在 35~50 kg 增重阶段,脂肪组织生长速度最快,骨骼生长最慢,而肌肉生长速度与 EBW 生长速度接近,比较稳定。

### 3.2 35~50 kg 公羔组织中微量元素含量变化及分布规律

本研究中,随着体重的增加,铜、铁、锰、锌在机体的总含量均升高,但单位 EBW 含量表现出不同的变化趋势:铜、锰含量升高,锌含量下降,这与 H. Zhang 等<sup>[6]</sup>研究结果一致,但铁含量先降低后升高,与前人报道略有不同,可能是因为本研究所用试验羊品种及生长阶段不同所致。

微量元素因其功能各异而在不同组织中的含量具有较大的差异,且其在各组织中的分布规律易受动物品种、性别、体重及饲喂水平等因素的影响<sup>[20]</sup>。本试验数据显示,机体骨骼、肌肉、羊皮、内脏、脂肪、羊毛组织中微量元素的含量差异较大,除锌以外,铜、锰、铁都以内脏(含血)中含量最高。锌对机体生长与健康起着至关重要的作用<sup>[21]</sup>,不仅参与机体蛋白质、脂肪酸代谢,还与机体自由基的清除密切相关。本研究中,肌肉组织中锌含量最高,占体内总量的 42.17%,其次为骨骼,占 20.23%;G. Bellof 等<sup>[22]</sup>对 45 kg 羔羊的研究发现锌在肌肉中的含量占体内总含量的 59%;纪守坤<sup>[7]</sup>对 20~35 kg 杜寒杂交一代公羔的研究发现锌在肌肉和骨骼中的含量

分别占体内总含量的 34.11%、32.42%;H. Zhang<sup>[6]</sup>等对杜湖杂交公羔的研究发现锌在肌肉和骨骼中的含量占体内总含量的 35.68%、31.68%,这些报道与本研究结果略有差异,可能是因为品种、体重、环境等因素导致锌在机体中的含量差异。铜在动物体内多种关键酶系统中发挥重要作用,体内 50%~60%铜存在于肝中<sup>[23]</sup>,本试验内脏中铜含量占体内总含量的 86.34%,而 G. Bellof 等<sup>[20]</sup>认为 55%的铜分布于肝中,纪守坤<sup>[7]</sup>认为铜主要分布于内脏中,H. Zhang 等<sup>[6]</sup>发现 20~35 kg 公羔内脏中铜含量占体内总含量 83.12%,本试验结果与 H. Zhang 等<sup>[6]</sup>、纪守坤<sup>[7]</sup>的结果一致。铁是动物机体中血红蛋白的重要组成成分,体内 50%~60%的铁参与机体血液循环<sup>[24]</sup>。本试验发现,内脏(含血)中铁含量占体内总含量的 49.12%,H. Zhang 等<sup>[6]</sup>发现公羔体内 64.38%铁存在于内脏中,纪守坤<sup>[7]</sup>也认为内脏是铁的主要分布部位,占体内总含量的 66.99%,而 G. Bellof 等<sup>[20]</sup>认为,骨骼中铁含量最高,占体内总含量的 57.4%,是肌肉中的两倍。锰也是机体不可缺少的矿物元素,但在体内含量极低,在肌肉和脂肪组织中未检测到<sup>[21]</sup>,但在羊毛中含量较高,占体内总含量的 41%,J. W. Lassiter 等<sup>[25]</sup>也认为,羊毛中的锰含量是估测体内锰总含量的重要指标,缺锰时,羊毛中的锰含量会从 19 mg·kg<sup>-1</sup>下降到 6 mg·kg<sup>-1</sup>。但本研究数据表明,内脏(含血)中锰含量占体内总含量的 68.65%,纪守坤<sup>[7]</sup>、H. Zhang 等<sup>[6]</sup>也认为锰主要分布于内脏中。各研究者结果差异较大,可能与动物品种、体重、日粮及地理环境不同有关。

### 3.3 35~50 kg 公羔铜、铁、锰、锌净需要量

本研究日粮所提供的铜、铁、锰、锌,除铜以外均高于 NRC(2007)<sup>[8]</sup>推荐量,尤其是铁含量远超过 NRC(2007)的推荐值,但没超过其上限(500 mg·kg<sup>-1</sup>DM)。由于 NRC(2007)<sup>[8]</sup>是把前人研究结果汇总后给出的推荐值,且各地学者对矿物质需要量的研究存在较大分歧,因此,NRC(2007)<sup>[8]</sup>推荐的需要量并不一定适合我国杜泊杂种羊的营养需求。此外,N. F. Suttle<sup>[26]</sup>认为,与常量元素相比,微量元素需要量更易受动物品种、饲养条件、营养水平等外界因素的影响。本试验参考纪守坤<sup>[7]</sup>的研究结果确定铜、锰、铁、锌添加量,以研究 35~50 kg 杜泊×晋中绵羊 F1 公羔微量元素需要量。

铜在动物机体中代谢复杂,且易与日粮中钼、



硫、铁发生拮抗而影响其吸收,当日粮中钼、硫、铁含量高时,机体对铜的需要量也会增加<sup>[27]</sup>,故对铜营养需要量的确定较为困难。由于粪便是机体排出过量铜的主要途径,因此,铜的维持需要主要指粪便内源性损失。本研究中,铜的维持需要量为  $0.016 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW} \cdot \text{d}^{-1}$  (或  $0.013 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 低于 H. Zhang 等<sup>[6]</sup> 研究中  $20 \sim 35 \text{ kg}$  杜湖杂交公羔需要量 ( $0.036 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 但高于 ARC (1980)<sup>[10]</sup>、NRC (2007)<sup>[8]</sup> 及 N. F. Suttle<sup>[26]</sup> 给出的推荐量 ( $0.004 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ )。当体重为  $35 \text{ kg}$  时,本试验中铜的需要量经计算为  $0.455 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ , 略高于纪守坤<sup>[7]</sup> 的研究结果 ( $0.41 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ )。铁广泛存在于大多数饲料中,一般在实际生产中不会出现缺铁的问题,但应避免摄入过量铁,否则影响其他矿物质的吸收与代谢<sup>[28]</sup>。本研究中铁的维持需要量为  $0.281 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW} \cdot \text{d}^{-1}$  (或  $0.228 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 高于 NRC (2007)<sup>[8]</sup> 的推荐量 ( $0.014 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 但低于 H. Zhang 等<sup>[6]</sup> 的研究结果 ( $0.307 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ )。当体重为  $35 \text{ kg}$  时,本试验中铁的需要量经计算为  $7.98 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ , 低于纪守坤<sup>[7]</sup> 的研究结果 ( $11.49 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ )。锰与动物机体健康及繁殖性能有密切关系,缺锰会导致雄性动物曲细精管退化。与铜类似,锰会与日粮中的其他矿物质,尤其是钙和磷发生拮抗作用而影响其利用率,故其需要量也不易确定。M. Hidiroglou<sup>[29]</sup> 提出通过测定肝中丙酮酸羧化酶水平来估算绵羊锰的最佳需要量。本研究通过比较屠宰试验,得出锰的维持需要量为  $0.007 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW} \cdot \text{d}^{-1}$  (或  $0.006 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 高于 NRC (2007)<sup>[8]</sup> 的推荐量 ( $0.002 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 和 H. Zhang 等<sup>[6]</sup> 的研究结果 ( $0.004 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ )。当体重为  $35 \text{ kg}$  时,本试验中锰的需要量经计算为  $0.21 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ , 低于纪守坤<sup>[7]</sup> 的研究结果 ( $0.29 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ )。本研究得到锌的维持需要量为  $0.085 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 略低于 ARC (1980)<sup>[10]</sup> 和 NRC (2007)<sup>[8]</sup> 给的推荐值 ( $0.076 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 及 H. Zhang 等<sup>[6]</sup> 的研究结果 ( $0.072 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 换算成  $35 \text{ kg}$  体重 ( $2.42 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 后,较纪守坤等<sup>[7,30]</sup> 的研究结果 ( $2.34 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 略高。

本研究得到的  $35 \sim 50 \text{ kg}$  公羔铜、铁、锰、锌的

净生长需要量分别为  $12.61 \sim 15.62$ 、 $77.82 \sim 82.55$ 、 $2.74 \sim 3.45$  和  $25.36 \sim 23.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW}$ , 空腹体重与体重单位转换后,净生长需要量分别为  $10.17 \sim 12.75$ 、 $62.76 \sim 67.39$ 、 $2.21 \sim 2.82$  和  $20.45 \sim 19.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。与 NRC (2007)<sup>[8]</sup> 铜、铁、锰、锌净生长需要量的推荐值 ( $1.06 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ ,  $55$ 、 $0.47$ 、 $24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ ) 相比,铁、锌的净生长需要量与之接近,铜、锰远高于 NRC (2007)<sup>[8]</sup> 的推荐值。N. D. Grace<sup>[23]</sup> 对  $25 \sim 50 \text{ kg}$  肉用罗姆尼绵羊研究发现,铜、铁、锰、锌净生长需要量为  $0.77$ 、 $55$ 、 $0.47$ 、 $24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW}$ , 铁、锌需要量与本试验结果较接近,而铜、锰需要量远低于本试验结果。G. Bellof 等<sup>[20]</sup> 报道,  $18 \sim 50 \text{ kg}$  德国美利奴羊铜、铁、锰、锌净生长需要量为  $1.41$ 、 $26.1$ 、 $1.04$ 、 $30.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW}$ , 除锌以外均低于本研究结果。纪守坤<sup>[7]</sup> 研究表明,  $20 \sim 35 \text{ kg}$  杜湖杂交公羔铜、铁、锰、锌净生长需要量为  $8.08 \sim 11.16$ 、 $82.83 \sim 86.15$ 、 $1.79 \sim 2.12$ 、 $20.52 \sim 20.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ , 与本研究结果接近。H. Zhang 等<sup>[6]</sup> 报道,  $20 \sim 35 \text{ kg}$  杜湖杂交公羔铜、铁、锰、锌净生长需要量为  $3.00 \sim 2.40$ 、 $56.60 \sim 49.40$ 、 $0.30 \sim 0.22$ 、 $22.70 \sim 23.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ , 除锌需要量与本研究结果接近以外,其他微量元素需要量均低于本研究结果,且随体重增长,各微量元素需要量变化趋势与本研究结果相反。这些结果的差异可能来自品种、日粮、饲养管理、地理环境等的不同。

#### 4 结论

(1) 随着体重的增加,  $35 \sim 50 \text{ kg}$  阶段公羔骨骼、肌肉生长速度逐渐降低,脂肪生长速度逐渐增加。

(2) 铜、铁、锰主要分布于内脏(血液)中,锌主要分布于肌肉和骨骼中。

(3)  $35 \sim 50 \text{ kg}$  杜泊 $\times$ 晋中绵羊 F1 代公羔铜、铁、锰、锌净维持需要量分别为  $0.016$ 、 $0.281$ 、 $0.007$  和  $0.085 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW} \cdot \text{d}^{-1}$ , 以体重(BW)表示分别为  $0.013$ 、 $0.228$ 、 $0.006$  和  $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

(4)  $35 \sim 50 \text{ kg}$  杜泊 $\times$ 晋中绵羊 F1 代公羔铜、铁、锰、锌净生长需要量分别为  $12.61 \sim 15.62$ 、 $77.82 \sim 82.55$ 、 $2.74 \sim 3.45$  和  $25.36 \sim 23.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBW}$ , 以体重(BW)表示分别为  $10.17 \sim 12.75$ 、 $62.76 \sim 67.39$ 、 $2.21 \sim 2.82$  和  $20.45 \sim 19.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。

## 参考文献(References):

- [1] ZHANG C, WANG G, WANG J, et al. Characterization and comparative analyses of muscle transcriptomes in Dorper and small-tailed Han sheep using RNA-Seq technique [J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e72686.
- [2] 李法忱, 王立铭, 王金文, 等. 杜泊绵羊羔羊生长发育规律的研究[J]. *中国草食动物*, 2003, 23(5):13-15.
- LI F C, WANG L M, WANG J W, et al. Research on the growth rules of Dorper sheep lamb[J]. *China Herbivores*, 2003, 23(5):13-15. (in Chinese)
- [3] LEE J, KNOWLES S O, JUDSON G J, et al. Trace element and vitamin nutrition of grazing sheep// *Sheep Nutr*[M]. 2002; 285-311.
- [4] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准——肉羊饲养标准(NY/T 816-2004) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- Agriculture Department of PRC. Agricultural industry standard of the People's Republic of China——Mutton sheep breeding standards (NY/T 816-2004) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. (in Chinese)
- [5] PEREIRA E S, CARMO A B, COSTA M R, et al. Mineral requirements of hair sheep in tropical climates [J]. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 2016, 100(6):1090-1096.
- [6] ZHANG H, NIE H T, WANG Q, et al. Trace element concentrations and distributions in the main body tissues and the net requirements for maintenance and growth of Dorper × Hu lambs[J]. *J Anim Sci*, 2015, 93(5):2471-2481.
- [7] 纪守坤. 20-35 kg 杜泊×小尾寒羊 F1 代羔羊体内主要矿物质分布规律及需要量参数的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- JI S K. Study on main minerals distribution and requirement parameters of Dorper and Thin-Tailed Han sheep crossbred lambs (F1) during their 20 to 35 kg body weight[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013. (in Chinese)
- [8] NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids [S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 2007.
- [9] LOFGREEN G P, GARRETT W N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle[J]. *J Anim Sci*, 1968, 27(3):793-806.
- [10] ARC. The butrrient requirements of ruminant livestock[S]. Slough: Common Wealth Agricultural Bureaux, 1980.
- [11] 吴铁梅. 不同饲养模式对绒山羊羊育肥性能、屠宰性能及肉品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- WU T M. Effects of different feeding modes on fattening performance and slaughter performance and meat quality of young cashmere goats[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [12] 王学琼. 采食量水平对两个年龄段杜湖杂交 F<sub>1</sub> 代母羊育肥效果与肉品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- WANG X Q. Effect of feed intake on the fattening effect and meat quality of two ages Dorper sheep and Hu sheep crossbred ewes in F<sub>1</sub> generation[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [13] 彭津津. 道寒杂交公羔生长期(35~50 kg)能量和蛋白质需要量的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- PENG J J. Study on energy and protein requirements of 35-50 kg Dorset and Thin-Tailed Han crossbred ram lambs[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [14] BURTON J H, REID J T. Interrelationships among energy input, body size, age and body composition of sheep[J]. *J Nutr*, 1969, 97(4):517-524.
- [15] LAWRENCE T L J, FOWLER V R. Growth of farm animals[M]. 2002:349-350.
- [16] BERG R T, ANDERSEN B B, LIBORIUSSEN T. Growth of bovine tissues 1. Genetic influences on growth patterns of muscle, fat and bone in young bulls[J]. *Anim Prod*, 1978, 26(3):245-258.
- [17] GOMESA R A, OLIVEIRA-PASCOA D, TEIXEIRA I A M A, et al. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids[J]. *Small Rum Res*, 2011, 99(2):160-165.
- [18] 纪守坤, 许贵善, 姜成钢, 等. 20~35 kg 体重阶段杜泊×小尾寒羊 F<sub>1</sub> 代公羔体内钙、磷、钠、钾、镁含量及分布特点[J]. *畜牧兽医学报*, 2013, 44(12):1946-1953.
- JI S K, XU G S, JIANG C G, et al. Changes of major mineral contents and distributions in Dorper × Thin-Tailed Han F<sub>1</sub> lambs during 20-35 kg period[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2013, 44(12):

- 1946-1953. (in Chinese)
- [19] DA SILVA I F, DE SOUZA RODRIGUES R T, QUEIROZ M A, et al. Net requirements of calcium, phosphorus, magnesium, and sulphur for growth of non-descript breed hair lambs of different sex classes in the Brazilian semiarid conditions [J]. *Trop Anim Health Prod*, 2016, 48(4):817-822.
- [20] BELLOF G, PALLAUF J. Deposition of copper, iron, manganese and zinc in the empty body of growing lambs of the breed German Merino Landsheep [J]. *Animal*, 2007, 1(6):827-834.
- [21] OTT E A, SMITH W H, STOB M, et al. Zinc deficiency syndrome in the young lamb [J]. *J Nutr*, 1964, 82:41-50.
- [22] BELLOF G, MOST E, PALLAUF J. Concentration of copper, iron, manganese and zinc in muscle, fat and bone tissue of lambs of the breed German Merino Landsheep in the course of the growing period and different feeding intensities [J]. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 2007, 91(3-4):100-108.
- [23] GRACE N D. Amounts and distribution of mineral elements associated with fleece-free empty body weight gains in the grazing sheep [J]. *N Z J Agric Res*, 1983, 26(1):59-70.
- [24] MATEOS G G, VALENCIA D G, MORENO E J. Microminerales en alimentación de monogástricos. Aspectos técnicos y consideraciones legales [J]. *P García Rebullar*, 2006, 21: 275-323.
- [25] LASSITER J W, MORTON J D. Effects of a low manganese diet on certain ovine characteristics [J]. *J Anim Sci*, 1968, 27(3):776-779.
- [26] SUTTLE N F. Mineral nutrition of livestock [M]. 4th ed. CABI Publishing, New York, NY, 2010.
- [27] MCDOWELL L R. Minerals in animal and human nutrition [M]. 2nd ed. Elsevier Science BV, Amsterdam, Netherlands, 2003.
- [28] 冯仰廉. 反刍动物营养学 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.  
FENG Y L. Ruminant nutrition [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [29] HIDIROGLOU M. Manganese in ruminant nutrition [J]. *Can J Anim Sci*, 1979, 59(2):217-236.
- [30] JI S K, XU G S, DIAO Q Y, et al. Net zinc requirements of Dorper × thin-tailed Han crossbred lambs [J]. *Livest Sci*, 2014, 167:178-185.

(编辑 郭云雁)