

20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素净维持和生长需要量的研究

张浩^{1,2*}, 聂海涛³, 马铁伟³, 王子玉³, 王锋³

(1. 扬州大学动物科学与技术学院, 扬州 225009; 2. 扬州大学农业和农副产品安全国际联合研究实验室, 扬州 225009; 3. 南京农业大学江苏省肉羊产业工程技术中心, 南京 210095)

摘要: 旨在探讨 20~35 kg 杜湖杂交 F₁ 代母羔羊常量元素 (Ca、P、Na、K 和 Mg) 的净维持和生长需要量。选择 35 只母羔羊 (初体重为 (19.2±0.36) kg) 用于本试验。随机选取 7 只羊 (起始组 BL), 在大约 20 kg 时进行屠宰以测定常量元素体成分的初始值。另外 7 只羊随机选择 (中间屠宰组 IM), 且饲喂全混合颗粒饲料, 自由采食, 体重在大约 28 kg 时进行屠宰。剩余的 21 只羔羊随机分为 3 个组, 分别为自由采食组 (AL)、70%AL 组和 40%AL 组, 每组 7 只羊。当自由采食组体重大约为 35 kg 时, 将这 3 组羔羊屠宰。屠宰后, 测定空腹体常量元素含量 (头+足、皮、内脏+血液和胴体)。本研究结果显示, 在 20~35 kg 体重阶段, 杜湖杂交 F₁ 代母羔的常量元素净维持需要量分别为每天每千克空腹体重 (EBW): 22.21 mg 钙 (Ca)、11.65 mg 磷 (P)、3.41 mg 钠 (Na)、6.92 mg 钾 (K) 和 1.23 mg 镁 (Mg)。母羔的净生长需要量分别为每千克空腹体重增重 (EBWG): 11.93~11.68 g Ca、6.12~5.71 g P、1.34~1.24 g Na、1.58~1.63 g K 和 0.41~0.36 g Mg。20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔羊常量元素净需要量的确定将有助于此生长阶段合理饲料的配制和羔羊生产性能的提高。

关键词: 比较屠宰法; 杜湖母羔羊; 净维持需要; 净生长需要; 常量元素

中图分类号: S826.5

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2018)01-0111-10

The Net Macromineral Requirements for Maintenance and Growth of Dorper×Hu Crossbred F₁ Ewe Lambs from 20 to 35 kg

ZHANG Hao^{1,2*}, NIE Hai-tao³, MA Tie-wei³, WANG Zi-yu³, WANG Feng³

(1. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Joint International Research Laboratory of Agriculture & Agri-product Safety, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

3. Jiangsu Engineering Technology Research Center of Mutton Sheep&Goat Industry, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study was conducted to estimate the net macromineral requirements for maintenance and growth of Dorper×Hu crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg. Thirty-five ewe lambs were used (the initial body weight (BW) of (19.2±0.36) kg). Seven lambs were randomly chosen and slaughtered at 20 kg BW as the BL group for measuring initial body composition. Another 7 lambs were also randomly chosen and offered a pelleted mixed diet for ad libitum intake and slaughtered at 28 kg BW as the IM group. The remaining lambs (n=21) were allocated randomly to 3 groups (ad libitum intake group, 70% of the ad libitum intake group, 40% of the ad

收稿日期: 2017-05-23

基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金项目 (BK20170488); 中国博士后科学基金面上资助项目 (2017M610358); 扬州大学科研启动项目 (137011065); 苏北科技专项 (BZ-HA2017008)

作者简介: 张浩 (1985-), 男, 安徽宿州人, 讲师, 博士, 主要从事反刍动物营养研究

* 通信作者: 张浩, E-mail: zhanghao_850220@126.com

libitum intake group) with 7 lambs in each group. All lambs were slaughtered when the lambs in ad libitum intake group reached approximately 35 kg BW. The contents of macromineral of empty bodies of the lambs (head + feet, hide, internal organs + blood and carcass) were weighed, ground, mixed, and subsampled for chemical analyses. The results showed that, in the growth phase from 20 to 35 kg BW, the daily net macromineral requirements for maintenance were 22.21 mg Ca, 11.65 mg P, 3.41 mg Na, 6.92 mg K and 1.23 mg Mg per kilogram empty BW (EBW) for ewes, the daily net macromineral requirements for growth were 11.93-11.68 g Ca, 6.12-5.71 g P, 1.34-1.24 g Na, 1.58-1.63 g K and 0.41-0.36 g Mg per kilogram EBW gain (EBWG) for ewes. These results for the nutritional requirements of macromineral may help to formulate more balanced diets for Dorper × Hu ewe lambs in the growth phase from 20 to 35 kg BW.

Key words: comparative slaughter; Dorper × Hu crossbred F₁ ewe lambs; net maintenance requirement; net growth requirement; macromineral

我国是传统养羊大国,羊产业在我国畜牧业中具有重要地位。近些年,规模化、集约化和标准化舍饲养羊成为我国养羊业发展的新要求,但我国舍饲养羊存在诸多问题,饲料营养不均衡即是突出的问题之一^[1]。常量元素需要量已受到大量关注,某种常量元素的过量或缺乏都会干扰其他常量元素的吸收或利用,从而损害动物健康和生产性能,甚至导致其存活率下降。此外,准确预测常量元素的需要量可降低其排泄及对环境的污染^[2]。矿物质既是动物机体的重要组成部分,也在体内的生化过程中发挥着重要作用,矿物质缺乏或过量均会对动物健康及生产性能产生严重影响^[3],因此,深入研究矿物质需要量对羊产业持续、健康发展尤为重要。纪守坤^[4]对 20~35 kg 的杜寒杂交羔羊矿物质需要量进行了研究;赵向利等^[5]对 35~50 kg 的道赛特 × 小尾寒羊杂交公羔矿物质需要量进行了研究。以上国内学者的研究发现,NRC(2007)^[6]推荐的营养水平与我国羊只品种、饲料类型和饲养条件是不吻合的。NRC(2007)^[6]出版了关于小反刍动物的矿物质营养需要,但其参数多来自 ARC(1980)^[7],数据较陈旧,不能很好地反映近 30 年来动物品种和环境变化对动物矿物质需要量的新要求。G. Bellof 等^[8]对 18~55 kg 德国美利奴羊的矿物质需要量进行了研究;M. J. Araujo 等^[9]和 R. A. Gomes 等^[10]分别对 20 和 25 kg 的萨能奶山羊的矿物质需要量进行了研究,但他们所用品种难以很好反映我国羊只品种特点。因此,利用我国地方品种,建立切合我国品种特点的肉羊矿物质需要量对我国肉羊养殖更具指导意义。虽然各国对肉羊矿物质需要量均进行了一些探索,但 20~35 kg 阶段杜湖 F₁ 代母羔羊的矿物质

需要量还未见报道。

湖羊是我国著名的地方品种,具有早熟、四季发情、一年二胎、每胎多羔、泌乳性能好、生长发育快、改良后有理想产肉性能、耐高温高湿等优良性状,并以其漂亮的羔羊皮而闻名于世^[11-12],该品种主要分布于我国太湖地区,深受本地消费者的喜爱。杜泊羊原产于南非,以其耐寒、早熟和生长快速而闻名^[13],并被引进中国用来改良湖羊的生长性能和胴体性状。因此,杜泊-湖羊杂交组合已成为我国许多地区肉羊生产的主要方式之一。但由于缺乏相应营养需要量的参数标准,在饲养过程中大多只能参照国外相关标准进行饲料配方的设计。由于国内外在肉羊品种和生长特性上都存在一定的差异,因此,全面套用国外营养标准可能会引起营养供给过剩造成的饲料资源浪费或营养供给不足等问题。同时,本研究室已在前期进行了杜湖杂交羊不同年龄的能量和蛋白质需要量的研究,但还缺乏矿物质需要量,给科学精细化饲养带来困难。比较屠宰法(CST)作为一种精确、直接的测定方法被广泛用于蛋白质、能量、矿物质和微量元素需要量的测定^[14-17]。

本研究采用比较屠宰法,制定 20~35 kg 杜湖杂交 F₁ 代母羔羊常量元素的净维持和生长需要量,为完善我国肉羊饲养标准体系提供基础数据。

1 材料与方法

本试验在江苏省南通市南京农业大学海门山羊研发中心进行,保证羊只饲养的温度在 15.5~26.5 °C 范围内,平均湿度为 61.2%。整个试验过程符合扬州大学动物科学与技术学院动物福利管理条例。

1.1 基础饲料及饲养管理

试验饲料为全混合颗粒料,主要由玉米、大豆粉

和大豆秸秆组成,精粗比约为 50 : 50,详见表 1,自由采食。试验开始前,所有羊只进行 10 d 的预饲期,注射 0.2 mg · kg⁻¹ 体重的伊维菌素,进行驱虫处理。每只羊饲喂于设有自动饮水器和料槽的不锈钢单栏中(3.2 m × 0.8 m)。

试验羊在每天早上 08:00 饲喂 1 次,自由采食、

表 1 20~35 kg 杜湖杂交 F₁ 代母羔试验饲料原料和营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets of Dorper × Hu crossbred F₁ ewe lambs in 20-35 kg stage(DM basis) %

项目 Item	含量 Content
原料成分 Ingredient	
玉米 Corn	38.40
大豆粉 Soybean meal	10.20
大豆秸秆 Soybean straw	32.04
大麦 Barley	5.00
花生壳 Peanutshell	13.00
无水磷酸氢钙 Anhydrous calcium phosphate	0.38
石灰 Limestone	0.26
食盐 Sodium chloride	0.50
硫酸钠 Sodium sulfate	0.10
预混料 Premix ¹⁾	0.12
总计 Total	100.00
营养水平 Nutrient level (analyzed) ²⁾	
粗蛋白 CP	13.27
代谢能/(MJ · kg ⁻¹)ME ³⁾	8.83
粗脂肪 Ether extract	1.90
中性洗涤纤维 NDF	38.67
酸性洗涤纤维 ADF	15.89
钙 Ca	0.62
磷 P	0.29
钠 Na	0.29
钾 K	0.88
镁 Mg	0.20

¹⁾ 预混料为每千克日粮提供 VA 15 000 IU, VD 5 000 IU, VE 50 mg, 钠 32 g, 钾 92 g, 镁 23 g, 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。²⁾ 营养水平均为实测值。³⁾ 代谢能值计算参照文献[18]所述方法

¹⁾ The premix provided the following nutrients per kg of the diet: 15 000 IU VA, 5 000 IU VD, 50 mg VE, 32 g Na, 92 g K, 23 g Mg, 90 mg Fe, 12.5 mg Cu, 50 mg Mn, 100 mg Zn, 0.3 mg Se, 0.8 mg I, and 0.5 mg Co. ²⁾ Nutrient levels are measured values. ³⁾ Energy values are estimated according to [18]

饮水。通过记录个体饲喂量和剩料量计算每日的采食量,自由采食组投料量在每天早上进行调整,以确保每天 10% 的剩料量(干物质计)。根据自由采食组前 1 d 的干物质采食量对每天限饲组的投料量进行调整。分别收集每天的饲料样和剩料(总剩料量的 10% 左右)并于 -20 °C 进行保存。最后将上述样品分别混合均匀,在 55 °C 下烘干 72 h,并研磨保存,待检测。在屠宰前 1 d 的 16:00 h 进行体重称量。

1.2 试验设计及分组

本研究中,随机选取 35 只平均体重在(19.20 ± 0.36) kg, 65 日龄左右的杜湖杂交 F₁ 代母羔为试验对象。为测定体成分的初始值,随机选择 7 只羊,体重在(19.98 ± 0.56) kg, 大约 65 日龄进行屠宰,以测定初始时机体的组成,称为起始组(BL)。羔羊自由采食,当体重达到大约 28 kg 时,再随机选取 7 只羊,作为中间屠宰组(IM)进行屠宰。在试验开始的同时,其余的 21 只羔羊随机分配至 3 个组,分别为自由采食组(AL)、70%AL 组和 40%AL 组,根据 NRC(2007)[⁶⁾], 平均日增重期望值分别可达到 300、200 和 0 g · d⁻¹。当自由采食组的羔羊体重达到大约 35 kg 时,对所有试验组羊只进行屠宰,屠宰前禁食禁水 16 h[¹⁶⁾]。

1.3 屠宰程序

对试验动物进行麻醉,放血处理,血液收集并称重。记录内脏、皮、毛、头、足、胴体以及脂肪组织的重量。移除胃肠道内容物(瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、小肠和大肠),并将其称重,以获得空腹体重(EBW)。EBW 是由体重(BW)减去胃肠道内容物和膀胱的重量所得。起初所有的体成分在 -6 °C 下冷冻,然后用不锈钢锯切割,研磨,混匀,并选取 500 g 样品进行指标测定。将这些样品解冻,选择 100 g 样品,冻干 72 h,然后用不锈钢搅拌机进行研磨混匀。样品采集程序遵循参考文献[19-20]的描述,并作适当修改。头部和胴体沿背部中间线劈开。胴体、头部、前肢和后肢的右半部分分离肌肉、脂肪和骨骼。骨骼组织经骨骼粉碎机粉碎;肌肉和脂肪组织切割成部分小块,各体成分测定分别选取 500 g 样品于 -20 °C 保存。

1.4 化学分析

1.4.1 饲料和剩料样品分析 饲料和剩料中干物质(DM)、粗灰分(Ash)含量测定方法参照 AOAC (1990)[²¹⁾]。Ca、P、Na、K 和 Mg 含量测定方法采用原子发射光谱法[^{8, 22)}]。

1.4.2 体组织常量元素分析 除羊毛外,其他每个个体组织取 100 g 进行冷冻干燥处理,测定其 DM 含量^[20]。所有样品(包含羊毛)采用原子发射光谱法测定常量元素含量。

1.5 数据计算与分析

1.5.1 初始体成分的计算 根据 BL 组平均体成分测定初始空腹体成分。根据 BL 组建立 EBW 和 BW 的线性回归方程。空腹体中水分、灰分和常量元素含量根据公式(1)起始 EBW 和 BL 平均体成分之间关系进行估算^[13]:

$$EBW = a + (b \times BW) \quad (1)$$

a 为截距;b 为回归系数;EBW 和 BW 的单位为千克(kg)。

1.5.2 常量元素维持需要量计算 常量元素维持需要量的计算采用 CST 法进行^[23]。常量元素在动物体内的沉积量可由其在试验末动物体内含量与初始体内含量之差计算所得。总常量元素的损失根据其采食量及其沉积量之差计算所得。常量元素的维持需要量可利用常量元素沉积量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBW)和常量元素采食量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBW)的线性回归关系计算所得,当常量元素采食量为零时,其负截距即是动物内生的代谢损失常量元素,代表动物在维持情况下的净常量元素需要量,单位为($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBW) $\cdot \text{d}^{-1}$ 。

1.5.3 常量元素生长需要量计算 据 ARC (1980)^[7]报道,体内常量元素含量可与 EBW 建立对数异速生长模型,并进而推导在不同 EBW 下的常量元素体含量(公式 2)。

$$\lg y = a + (b \times \lg x) \quad (2)$$

y 代表动物体去除胃肠道内容物后,含有的体常量元素量(g);a 为截距;b 为回归系数;x 代表空腹体重(EBW, kg)。

$$y' = b \times 10^a \times EBW^{(b-1)} \quad (3)$$

此方程可预测常量元素在不同空腹体重下的净生长需要量,并可由方程 2 变形求导数得到。

y' 代表每增加单位空腹体重所需要的常量元素量,单位为 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBWG;EBW 单位为 kg;由方程 2 可获得 a 和 b 的数值。

单位体增重所需常量元素量的计算需通过宰前 BW 和 EBW 比值的转换来获得。

1.6 统计分析

数据分析使用 SAS 9.0 (SAS Inst. Inc.,

Cary, NC)软件中的完全随机设计模型。线性回归分析采用 PROC MIXED 程序。在不同采食量水平下,干物质采食量(DMI)、粗蛋白质采食量(CPI)和代谢能采食量(MEI)、体成分、平均日增重(ADG)和 EBW 采用 PROC MIXED 程序分析。以“平均值 \pm 2.5 倍标准差”作为判断数据异常值的标准。采用邓肯(Duncan)检验方法进行比较,显著差异的判断标准为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同采食水平对 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔生产性能和体常量元素含量的影响

如表 2 所示,母羔羊的 DMI、CPI、MEI、EBW、ADG 和 EBWG 随着采食量的提高而显著升高($P < 0.05$)。母羔羊 Ca、P、Na、K 和 Mg 体成分含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBW)随采食量水平增加无显著变化($P > 0.05$)。

2.2 不同采食水平对 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素摄入量和代谢的影响

如表 3 所示,母羔的 Ca、P、Na、K 和 Mg 摄入量 and 沉积量皆随着采食量水平的提高而显著提高($P < 0.05$)。

2.3 不同采食水平对 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素净维持需要量的影响

如表 4 所示,常量元素沉积量和常量元素采食量具有高度相关性。因此,常量元素沉积量和常量元素采食量建立了线性关系。理论上,常量元素采食量为 $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBW 时的负截距是动物在维持情况下净常量元素需要量,单位为($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ EBW) $\cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.4 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素体组成和净生长需要量预测

如表 5 所示,BW 和 EBW 之间的线性关系为($R^2 = 0.95$, 均方根误差(RMSE) = 0.98, $n = 7$, $P \leq 0.001$): $EBW(\text{kg}) = 0.292 + 0.787 \times BW(\text{kg})$ 。常量元素体含量和空腹体重之间建立了对数异速方程($P \leq 0.001$), R^2 范围值在 0.87~0.95。Ca、P、Na 和 Mg 每单位空腹体重含量随着体重增加而下降;K 每单位空腹体重含量随着体重增加而增加。

如表 6 所示,根据表 5 的对数异速方程进而建立了常量元素净生长需要量预测方程,计算每增加 EBWG 所需要的常量元素净生长需要量。

表 2 不同采食水平对 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔生产性能和体常量元素含量的影响Table 2 The effects of different intake levels on growth performance and body macromineral contents of Dorper×Hu ewe crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg

项目 Item	组别 Group					标准误 SEM	P-值 P-value
	起始组 BL	中间屠宰 组 IM	自由采食 组 AL	70% AL 组 70% AL group	40% AL 组 40% AL group		
样本量 <i>n</i>	7	7	7	7	7	—	—
干物质采食量/(kg·d ⁻¹)DMI	0	1.02	1.24 ^a	0.87 ^b	0.50 ^c	0.31	0.03
粗蛋白采食量/(kg·d ⁻¹)CPI ¹⁾	0	0.14	0.16 ^a	0.12 ^b	0.07 ^c	0.03	0.02
代谢能采食量/(MJ·d ⁻¹)MEI ²⁾	0	9.01	10.95 ^a	7.68 ^b	4.42 ^c	2.86	0.03
体重/kg BW	19.56	28.32	35.02 ^a	29.23 ^b	21.01 ^c	0.64	≤0.000 1
空腹体重/kg EBW	15.89	22.11	28.12 ^a	23.23 ^b	16.71 ^c	0.52	≤0.000 1
日增重/(g·d ⁻¹)ADG	0	230.53	237.85 ^a	154.92 ^b	22.31 ^c	23.67	≤0.000 1
空腹体增重/(g·d ⁻¹)EBWG	0	163.68	188.15 ^a	112.92 ^b	12.62 ^c	18.22	≤0.000 1
钙/(g·kg ⁻¹ EBW)Ca	12.38	12.25	12.13	12.32	12.62	1.03	0.13
磷/(g·kg ⁻¹ EBW)P	6.69	6.71	6.50	6.69	7.03	0.53	0.08
钠/(g·kg ⁻¹ EBW)Na	1.53	1.48	1.43	1.58	1.71	0.21	0.31
钾/(g·kg ⁻¹ EBW)K	1.49	1.52	1.55	1.60	1.69	0.22	0.14
镁/(g·kg ⁻¹ EBW)Mg	0.48	0.46	0.43	0.44	0.58	0.15	0.09

¹⁾ 粗蛋白质采食量(kg·d⁻¹)=粗蛋白质含量(%)×干物质采食量(kg·d⁻¹)。²⁾ 代谢能采食量(MJ·d⁻¹)=代谢能(MJ·kg⁻¹)×干物质采食量(kg·d⁻¹)。同行不同小写字母说明差异显著($P<0.05$),无字母说明无显著差异($P>0.05$),对比仅在不同采食量水平进行。下表同

¹⁾ CPI(kg·d⁻¹)=CP(%)×DMI(kg·d⁻¹)。²⁾ MEI(MJ·d⁻¹)=ME(MJ·kg⁻¹)×DMI(kg·d⁻¹)。Within a row, means with different letter superscripts significantly differ ($P<0.05$), means with the same superscript letter don't significantly differ ($P>0.05$). Comparisons are made only among feeding levels. The same as below

表 3 不同采食量水平对 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素摄入量和代谢的影响Table 3 The effects of different intake levels on macrominerals intake and metabolism of Dorper×Hu crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg (mg·kg⁻¹ EBW)·d⁻¹

项目 Item	组别 Group			标准误 SEM	P-值 P-value
	自由采食组 AL	70% AL 组 70% AL group	40% AL 组 40% AL group		
钙 Ca					
摄入量 Intake	276.54 ^a	200.23 ^b	146.78 ^c	16.12	0.001
沉积量 Retention	42.12 ^a	26.23 ^b	11.24 ^c	3.32	0.03
磷 P					
摄入量 Intake	130.23 ^a	92.35 ^b	66.35 ^c	9.35	0.005
沉积量 Retention	24.13 ^a	11.23 ^b	7.34 ^c	3.09	0.02
钠 Na					
摄入量 Intake	128.97 ^a	100.34 ^b	65.34 ^c	13.2	0.001
沉积量 Retention	4.37 ^a	1.83 ^b	0.65 ^c	0.53	0.03
钾 K					
摄入量 Intake	394.34 ^a	291.34 ^b	214.23 ^c	14.9	0.002
沉积量 Retention	7.68 ^a	4.78 ^b	0.76 ^c	0.44	0.001
镁 Mg					
摄入量 Intake	89.34 ^a	70.12 ^b	47.68 ^c	10.6	0.02
沉积量 Retention	2.31 ^a	1.4 ^b	0.71 ^c	0.24	0.04

表 4 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素净维持需要量线性回归计算方程

Table 4 Regression equations for estimating the net maintenance requirements of macrominerals of Dorper×Hu crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg

项目 Item	线性回归方程 Regression equation ¹⁾	相关系数 R ²	P-值 P-value	净维持需要量/ ((mg·kg ⁻¹ EBW)·d ⁻¹) Net maintenance req. ²⁾	净维持需要量/ ((mg·kg ⁻¹ BW)·d ⁻¹) Net maintenance req.
钙 Ca	Ca Ret. = -22.22+0.235 9×Ca Int.	0.965 3	<0.001	22.21	17.77
磷 P	P Ret. = -11.65+0.268 5×P Int.	0.939 8	<0.001	11.65	9.32
钠 Na	Na Ret. = -3.41+0.057 6×Na Int.	0.934 8	<0.001	3.41	2.73
钾 K	K Ret. = -6.91+ 0.037 9×K Int.	0.978 3	<0.001	6.92	5.54
镁 Mg	Mg Ret. = -1.23+ 0.038 2×Mg Int.	0.963 2	<0.001	1.23	0.98

¹⁾ Ret= 沉积量(mg·kg⁻¹ EBW);Int= 采食量(mg·kg⁻¹ EBW)。²⁾ req= 净维持需要量

¹⁾ Ret=retained(mg·kg⁻¹ EBW); Int= intake(mg·kg⁻¹ EBW). ²⁾ req=net maintenance requirement

表 5 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素体含量与空腹体重的异速回归线性预测方程

Table 5 Allometric equations to estimate body composition of macrominerals and EBW of Dorper × Hu crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg

项目 Item	线性回归方程 Regression equation	相关系数 R ²	均方误差 RMSE	P-值 P-value	体重/kg BW ¹⁾			
					20	25	30	35
空腹体重/kg EBW	EBW=0.292+0.787×BW	0.95	0.98	≤0.001	16.03	19.97	23.90	27.84
钙/(g·kg ⁻¹ EBW) Ca	lg Ca(g)=1.138 4+0.962 5×lg EBW	0.94	0.03	≤0.001	12.39	12.29	12.21	12.14
磷/(g·kg ⁻¹ EBW) P	lg P (g)=0.990 4+0.877 6×lg EBW	0.91	0.04	≤0.001	6.96	6.78	6.63	6.51
钠/(g·kg ⁻¹ EBW) Na	lg Na (g)=0.339 3+0.872 8×lg EBW	0.93	0.02	≤0.001	1.53	1.49	1.46	1.43
钾/(g·kg ⁻¹ EBW) K	lg K (g)=0.107 6+1.055 6×lg EBW	0.94	0.05	≤0.001	1.49	1.51	1.53	1.55
镁/(g·kg ⁻¹ EBW) Mg	lg Mg (g)=-0.126 8+0.843 2×lg EBW	0.87	0.03	≤0.001	0.48	0.47	0.45	0.43

¹⁾ 根据异速回归方程计算所得

¹⁾ Values are calculated from the allometric equations

表 6 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔常量元素净生长需要量预测方程及在不同体重阶段每增加单位空腹体重净常量元素生长需要量

Table 6 The equations for predicting the net growth requirements of macromineral and the net macromineral requirements per EBWG at different BW of Dorper×Hu crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg

项目 Item	体重/kg BW				公式 Equation ¹⁾
	20	25	30	35	
空腹体重/kg EBW	16.03	19.97	23.90	27.84	
钙 Ca	11.93	11.85	11.73	11.68	Ca=13.237 4×EBW ^{-0.037 5}
磷 P	6.12	5.93	5.80	5.71	P=8.584 1×EBW ^{-0.122 4}
钠 Na	1.34	1.31	1.26	1.24	Na=1.906 4×EBW ^{-0.127 2}
钾 K	1.58	1.59	1.61	1.63	K=1.352 4×EBW ^{0.055 6}
镁 Mg	0.41	0.39	0.37	0.36	Mg=0.629 7×EBW ^{-0.156 8}

¹⁾ 每增加单位空腹体重净常量元素生长需要量=b×10^a×EBW^(b-1), a 和 b 由相应的表 5 公式所得

¹⁾ Component concentration = b×10^a×EBW^(b-1), in which a and b are constants determined from the equations in Table 5

2.5 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔活体平均日增重常量元素净生长需要量

如表 7 所示,为计算常量元素活体平均日增重的净生长需要量,空腹平均日增重常量元素净生长需要量将除以体重与空腹体重相应的比率。而其相

应的比值(BW/EBW)在 20、25、30 和 35 kg 分别为 1.24、1.25、1.26 和 1.26。Ca、P、Na 和 Mg 每增加单位活体重所需净生长需要量随着体重增加而下降;K 每增加单位活体重所需净生长需要量随体重增加而增加。

表 7 20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔活体平均日增重常量元素净生长需要量

Table 7 Net growth requirements of macromineral for live weight gain of Dorper×Hu crossbred F₁ ewe lambs from 20 to 35 kg

体重/kg BW	平均日增重/(g·d ⁻¹) ADG	净生长需要量/(mg·d ⁻¹) Net growth requirement				
		钙 Ca	磷 P	钠 Na	钾 K	镁 Mg
20	100	957	490	107	126	33
	200	1 914	980	214	252	66
	300	2 871	1 470	321	378	99
25	100	948	474	105	127	31
	200	1 896	948	210	254	62
	300	2 844	1 422	315	381	93
30	100	938	464	100	129	30
	200	1 876	928	200	258	60
	300	2 814	1 392	300	387	90
35	100	934	457	99	130	29
	200	1 868	914	198	260	58
	300	2 802	1 371	297	390	87

3 讨论

3.1 动物常量元素净维持需要量

通常采用析因法来确定不同种类动物的常量元素需要量,此法获得的营养需要量模型是一个动态模型,即分别对不同体重下的维持需要量和生长需要量进行估算^[24]。目前,NRC(2007)^[6]、NRC(2001)^[25]、NRC(2000)^[26]和 N. F. Suttle^[27]均已采纳析因模型,该模型将动物的矿物质净需要量分为两部分:净维持需要量和净生长需要量,公式:GR=(P+M)/A(GR 为总需要量,P 为净生长需要量,M 为净维持需要量,A 为营养吸收利用率)。通过上述公式可见,精确测定羔羊矿物质净生长和净维持需要量是计算矿物质总需要量的一个重要环节。

在动物的骨骼和牙齿中,钙和磷是重要的组成成分,且钙和磷能够提高体内相关酶的活性,并促进神经兴奋性的传导。在生产实践中,钙和磷作为添加量相对较大的常量元素,在配制饲料配方时是必须慎重

考虑的重要因素^[24]。本研究结果显示,20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔净钙维持需要量为 17.77 mg·kg⁻¹ BW。该数值高于 ARC(1980)^[7]采用内源粪损失法得到的绵羊净钙维持需要量(16 mg·kg⁻¹ BW)。M. H. M. R. Fernandes 等^[16]报道,体重在 20~35 kg 波尔杂交公山羊采取 CST 法和最小内源损失法(MEL)所得净钙维持需要量分别为 27.4 和 16.1 mg·kg⁻¹ BW。可以看出,前人对钙的维持需要量研究结果由于研究方法和动物品种等因素的不同而与本研究结果存在一定差异。

在动物生长发育过程中,磷主要参与机体组成、能量代谢及调节机体酸碱平衡。在生产实践中,磷随着粪尿等废弃物而被排出动物机体外,并对环境产生一定污染。所以,国内外研究者对磷的需要量研究颇为关注。在反刍动物中,关于磷的净维持需要量的研究结果差别很大。本研究结果显示,20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔净磷维持需要量为 9.32 mg·kg⁻¹ BW,该数值低于 M. H. M. R. Fernandes 等^[16],S. K. Ji

等^[28]和 NRC(1985)^[29]报道的净磷维持需要量。此外,ARC(1965)^[30]报道绵羊的净磷维持需要量为 $42.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$,此数值由 ARC(1980)^[7]根据内源损失法降为 $14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。磷的内源损失受饲料采食量和饲粮质量等因素影响^[31]。唾液中磷也在磷的代谢中起重要作用^[6]。此外,当毛发和头屑等从动物体脱落时,磷的损失也同样可能会发生。以上因素可能导致不同研究者对净磷维持需要量的研究结果差异较大。

在生物机体中,钠和钾作为电解质能够维持机体渗透压,并控制机体的水代谢。本研究通过比较屠宰法计算得到了 20~35 kg 杜湖杂交 F₁ 代母羔钠和钾的净维持需要量(表 4)。这些数值结果有别于以往的报道^[6, 32]。F. Meschy^[32]报道育肥期绵羊钠和钾的净维持需要量分别为 15 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。ARC(1980)^[7]采用内源粪尿法所得育肥期绵羊钠和钾的净维持需要量分别为 25.8 和 $38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$; NRC(2007)^[6]报道钠的净维持需要量为 $10.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。以上报道数值均显著高于本研究所得结果。除排泄的粪尿含钠钾外,钠和钾还通过皮肤流汗的形式损失,尤其在炎热潮湿的地区^[16]。上述因素可能导致不同研究者对净钠和钾维持需要量的研究结果差异较大。另外,从试验方法上看,前人均采用矿物质采食与排出的平衡试验进行估测维持需要量,而本试验利用屠宰试验深入到体内矿物质沉积水平,体内矿物质沉积对矿物质体内供需关系更敏感,这可能是造成差异的主要原因。

镁主要分布于骨骼中,在机体中与 300 多种代谢活动有关^[4]。但从骨骼中重吸收入血的镁却很有限,因此近些年来对镁需要量的估测值在逐渐升高^[6],尤其是针对孕期和哺乳期的动物^[25]。ARC(1980)^[7]给出镁的净维持需要量为 $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$,这个推荐量之后被 NRC(2007)^[6]和 N. F. Suttle^[27]所接受,在实际生产中发挥着重要指导作用。本研究结果显示,20~35 kg 杜湖 F₁ 代母羔净镁维持需要量为 $0.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。这些结果低于 NRC(2007)^[6]报道的育肥期绵羊净镁维持需要量 $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW}$ 。这可能是由于影响镁需要的因素较多^[6],在生产中动物较易出现缺乏以及人们在研究中对需要量推荐值进行了较保守的估测造成的。

3.2 动物常量元素净生长需要量

动物机体的生长发育相对复杂,研究角度的不同也决定了研究内容的差异。从生化角度来看,动

物机体的生长过程就是机体中蛋白质、能量、矿物质和水分等营养成分在体内不断积累的生理过程^[24]。因此,在满足动物机体不同生长速度下,营养物质的沉积需要量就是其相应的净生长需要量。NRC(2007)^[6]报道,绵羊的常量元素净生长需要量分别为钙 $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$,磷 $6.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$,钠 $1.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BWG}$ (体增重),钾 $1.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BWG}$,镁 $0.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BWG}$ 。本研究中,20~35 kg 母羔的净生长需要量分别为钙 $11.93 \sim 11.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$,磷 $6.12 \sim 5.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$,钾 $1.58 \sim 1.63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$,镁 $0.41 \sim 0.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$ 和钠 $1.34 \sim 1.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ EBWG}$ 。本研究结果显示,对于母羔,钙的净生长需要量高于 NRC(2007)^[6]报道;钠和磷与 NRC(2007)^[6]报道数值相近;钾和镁要低于 NRC(2007)^[6]报道。在本试验条件下,以上结果的不同表明了我国杜湖 F₁ 代羔羊常量元素需要量的特异性。

可能是由于各研究者所采用的试验动物品种和生长阶段以及饲养环境等不同,导致了本试验的测定结果与其他研究者的测定参数存在较大的差距,这也更进一步说明针对我国肉羊品种进行营养需要量研究的必要性。

4 结 论

4.1 20~35 kg 母羔的常量元素净维持需要量分别为每千克 EBW:2.21 mg Ca,11.65 mg P,3.41 mg Na,6.92 mg K 和 1.23 mg Mg;每千克 BW:17.77 mg Ca,9.32 mg P,2.73 mg Na,5.54 mg K 和 0.98 mg Mg。

4.2 20~35 kg 母羔的净生长需要量分别为每千克 EBWG:11.93~11.68 g Ca,6.12~5.71 g P、1.34~1.24 g Na,1.58~1.63 g K 和 0.41~0.36 g Mg;每千克 BWG:957~934 mg Ca,490~457 mg P、107~99 mg Na,126~130 mg K 和 33~29 mg Mg。

参考文献(References):

- [1] 刁其玉. 肉羊饲养实用技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
DIAO Q Y. Practical techniques for raising sheep and goats[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009. (in Chinese)
- [2] CHIZZOTTI M L, DE CAMPOS VALADARES FILHO S, TEDESCHI L O, et al. Net requirements

- of calcium, magnesium, sodium, phosphorus, and potassium for growth of Nellore × Red Angus bulls, steers, and heifers[J]. *Livest Sci*, 2009, 124(1-3): 242-247.
- [3] 纪守坤,许贵善,姜成钢,等. 20~35 kg 体重阶段杜泊×小尾寒羊 F₁ 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 × Small Tail Han F₁ lambs during 20-35 kg period[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2013, 44(12): 1946-1953. (in Chinese)
- [4] 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)
- [5] 赵向利,杨佳栋,张雅飞,等. 35~50 kg 道赛特×小尾寒羊杂交公羔矿物质需要量研究[J]. 动物营养学报, 2016, 28(3): 739-746.
- ZHAO X L, YANG J D, ZHANG Y F, et al. Mineral requirements for Dorset × thin-tailed Han crossbred male lambs at 35 to 50 kg[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(3): 739-746. (in Chinese)
- [6] NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids[S]. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2007.
- [7] ARC. The nutrient requirements of ruminant livestock[S]. London: CAB International, 1980.
- [8] BELLOF G, PALLAUF J. Deposition of major elements in the body of growing lambs of the German Merino Landsheep breed [J]. *Small Rumin Res*, 2007, 73(1-3): 186-193.
- [9] ARAÚJO M J, MEDEIROS A N, TEIXEIRA I, et al. Mineral requirements for growth of Moxoto goats grazing in the semi-arid region of Brazil[J]. *Small Rumin Res*, 2010, 93(1): 1-9.
- [10] GOMES R A, OLIVEIRA-PASCOA D, TEIXEIRA I A M A, et al. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids[J]. *Small Rumin Res*, 2011, 99(2-3): 160-165.
- [11] YUE G H. Reproductive characteristics of Chinese Hu sheep [J]. *Anim Reprod Sci*, 1996, 44(4): 223-230.
- [12] NIE H T, WAN Y J, YOU J H, et al. Effect of age on energy requirement for maintenance and growth of Dorper and Hu Crossbred F₁ ewes weighing 20 to 50 kg[J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2015, 28(8): 1140-1149.
- [13] CLOETE S W P, SNYMAN M A, HERSELMAN M J. Productive performance of Dorper sheep [J]. *Small Rumin Res*, 2000, 36(2): 119-135.
- [14] CHIZZOTTI M L, VALADARES FILHO S C, TEDESCHI L O, et al. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F₁ Nellore × Red Angus bulls, steers, and heifers[J]. *J Anim Sci*, 2007, 85(8): 1971-1981.
- [15] FERNANDES M H M R, RESENDE K T, TEDESCHI L O, et al. Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids[J]. *J Anim Sci*, 2007, 85(4): 1014-1023.
- [16] FERNANDES M H M R, RESENDE K T, TEDESCHI L O, et al. Macromineral requirements for the maintenance and growth of Boer crossbred kids[J]. *J Anim Sci*, 2012, 90(12): 4458-4466.
- [17] DE SOUZA C M S, DE MEDEIROS A N, COSTA R G, et al. Micromineral nutritional requirements for weight gain in Canindé goats under grazing in the Brazilian semiarid [J]. *Acta Sci*, 2013, 35(2): 173-179.
- [18] DENG K D, DIAO Q Y, JIANG C G, et al. Energy requirements for maintenance and growth of Dorper crossbred ram lambs[J]. *Livest Sci*, 2012, 150(1-3): 102-110.
- [19] GALVANI D B, PIRES C C, KOZLOSKI G V, et al. Energy requirements of Texel crossbred lambs [J]. *J Anim Sci*, 2008, 86(12): 3480-3490.
- [20] GALVANI D B, PIRES C C, KOZLOSKI G V, et al. Protein requirements of Texel crossbred lambs [J]. *Small Rumin Res*, 2009, 81(1): 55-62.
- [21] AOAC. Official methods of analysis[M]. 15th ed. Arlington, VA: AOAC, 1990.
- [22] BELLOF G, MOST E, PALLAUF J. Concentration of Ca, P, Mg, Na and K in muscle, fat and bone tissue of lambs of the breed German Merino Landsheep in the course of the growing period [J]. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 2006, 90(9-10): 385-393.
- [23] 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.
- [24] 杨 凤. 动物营养学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2002.
YANG F. Animal nutrition[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2002. (in Chinese)
- [25] NRC. Nutrient requirements of small ruminants; sheep, goats, cervids, and new world camelids[S]. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2001.
- [26] NRC. Nutrient requirements of small ruminants; sheep, goats, cervids, and new world camelids[S]. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2000.
- [27] SUTTLE N F. Mineral nutrition of livestock[M]. 4th ed. Wallingford: CABI, 2010.
- [28] JI S K, XU G S, JIANG C G, et al. Net phosphorus requirements of Dorper \times Thin-tailed Han crossbred ram lambs[J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2013, 26(9): 1282-1288.
- [29] NRC. Nutrient requirements of small ruminants; sheep, goats, cervids, and new world camelids[S]. Washington, D. C.: The National Academies Press, 1985.
- [30] ARC. The nutrient requirements of ruminant livestock[S]. London: CAB International, 1965.
- [31] AFRC. Technical committee on responses to nutrients report No. 6. A reappraisal of the calcium and P requirements of sheep and cattle[J]. *Nutr Abs Rev*, 1991, 61: 573-612.
- [32] MESCHY F. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats[J]. *Livest Prod Sci*, 2000, 64(1): 9-14.

(编辑 郭云雁)