

# 不同蛋白质水平代乳粉对牦犊牛体重及血清生化指标的影响

鲍宇红<sup>1,2</sup> 宋天增<sup>3</sup> 冯柯<sup>4</sup> 张卫兵<sup>5</sup> 参木友<sup>1,2\*</sup>

1. 西藏自治区农牧科学院 草业科学研究所,拉萨 850000;
2. 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室,拉萨 850000;
3. 西藏自治区畜牧兽医研究所,拉萨 850000;
4. 拉萨市动物疫病预防控制中心,拉萨 850000;
5. 中国农业科学院 饲料研究所,北京 100081)

**摘要** 为探究西藏地区牦牛代乳粉哺育犊牛的适宜蛋白质水平,本试验以藏区高山牦牛为研究对象,研究不同蛋白水平对哺乳期牦犊牛的体重和血清学指标的影响,以筛选出蛋白质水平最佳的代乳粉。选取40头新生当雄县牦犊牛,随机分为4组( $n=10$ ):对照组牦牛随母牦牛哺乳(CON),试验组牦牛分别饲喂蛋白水平为21.95%低蛋白组(LP)、24.28%中蛋白组(MP)和26.11%高蛋白组(HP)3种牦牛代乳品。饲喂时间为犊牛30~90 d日龄,期间跟踪测定犊牛体重,并分别在30、60和90 d日龄采集血清进行分析。结果表明:饲喂3种代乳粉的犊牛体重均显著高于对照组( $P<0.001$ ),120 d日龄时HP组犊牛体重达到最高值;3种代乳粉对犊牛血清抗氧化指标和免疫指标产生一定的影响,其中HP组谷胱甘肽过氧化物酶活性有高于LP组的趋势( $0.05<P<0.1$ ),且HP组丙二醛含量及肿瘤坏死因子 $\alpha$ 较其他3组低,而免疫球蛋白(IgG、IgM)及谷胱甘肽过氧化物酶、丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶活性均较其他3组高。综合分析显示在西藏地区蛋白水平为26%的牦牛代乳粉饲喂哺乳期牦犊牛的效果较好。

**关键词** 牦牛犊牛; 代乳粉; 血清; 体重

中图分类号 S823.85

文章编号 1007-4333(2020)05-0078-08

文献标志码 A

## Effects of different protein levels of milk replacer on the body weight and serum biochemical indexes of yak calves

BAO Yuhong<sup>1,2</sup>, SONG Tianzeng<sup>3</sup>, FENG Ke<sup>4</sup>, ZHANG Weibing<sup>5</sup>, Canmuyou<sup>1,2\*</sup>

1. Institute of Pratacultural, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850009, China;
2. State Key Laboratory of Highland Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Lhasa 850009, China;
3. Institute of Animal Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Science, Lhasa 850000, China;
4. Animal Disease Prevention and Control Center of Lhasa, Lhasa 850009, China;
5. Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 10081, China)

**Abstract** In order to explore the appropriate protein level of milk replacer for yak calves, three milk replacers of different protein levels were used in this study to investigate their effects on the body weight and serum parameters of mountain yak calves during lactation period. Forty newborn male yaks in Dangxiong County were selected and randomly divided into four treatment groups ( $n=10$ ). The calves in the control group were fed naturally by their mothers, and the calves in the test groups were fed with three yak milk replacers with protein content of 21.95% (LP), 24.28% (MP) and 26.11% (HP), respectively. From age of 30 to 90 d, the body weight of yak calves was measured and their serum samples were collected at 30, 60 and 90 d of age. The results showed that the body weight of yak calves in the experimental groups were significantly higher than in the control group ( $P<0.001$ ). At 120 d of age, the body weight of

收稿日期: 2019-10-11

基金项目: 国家肉牛牦牛产业体系拉萨综合试验站(CARS-37)

第一作者: 鲍宇红,副研究员,主要从事反刍动物营养研究,E-mail:178943402@qq.com

通讯作者: 参木友,研究员,主要从事反刍动物营养研究,E-mail:tsamyu122@163.com

yak in MP group was the highest, and there was a significant difference between the control group and HP group ( $P < 0.05$ ). The GSH-Px activity in HP group was significantly higher than that of LP group. The contents of MDA and TNF- $\alpha$  in HP group were relatively low. And the IgG, IgM, ALT and AST levels were relatively high. In conclusion, the growth performance and serum index of yak were the best in the HP group with protein level of milk replacer 26%.

**Keywords** yak calves; milk replacer; serum; body weight

牦牛(*Bos grunniens*)是在高寒、缺氧、枯草期漫长等严酷自然条件下,经过长期自然选择形成的特殊牛种<sup>[1]</sup>。牦牛是青藏高原最重要的家畜之一,可为当地牧民提供生产及生活的各种原料<sup>[2]</sup>,在高寒草甸生态系统中具有重要的地位。目前牦牛的饲养仍然以传统饲养为主,犏牛长期与母牛混群饲养,一般5~6月龄断奶<sup>[3]</sup>。但这种饲养方式存在诸多缺点,如:犏牛及母牛的采食量均较低使后期犏牛生长性能的发挥受限<sup>[4]</sup>;母牛发情时间延滞、繁殖性能下降<sup>[5]</sup>,不利于产业发展和经济效益的提高。利用牦牛代乳粉饲喂犏牛,进而实施早期断奶技术,以促进犏牛的健康发育,降低培育成本。同时可使母牛体况得到快速恢复并及时配种,缩短胎间距并延长使用年限,为后续生产打下良好的基础<sup>[6]</sup>。蛋白质是最动物最重要的必需营养素之一,也是影响代乳粉应用效果的主要因素。蛋白水平较高时不仅会影响其他养分的消化吸收,且过量蛋白还会增加粪氮及尿氮含量,污染环境并造成蛋白资源的浪费<sup>[7]</sup>。当蛋白含量较低时不能为动物生长发育提供充足的营养,进而引起一系列问题,尤其影响骨骼的发育<sup>[8-10]</sup>。研究代乳粉的适宜蛋白水平将为早期断奶犏牛的营养需要量提供基础数据,进而对指导生产实践有重要的现实意义<sup>[11]</sup>。目前,我国对于代乳粉的研究已经相对成熟,但代乳粉在西藏牦牛哺育中的应用尚未有报道。因此,本试验以藏区高山牦牛为研究对象,分别饲喂等能但蛋白质水平不同的牦牛代乳粉,研究不同蛋白水平牦牛代乳粉对哺乳期犏牛的体重和血清学指标的影响,为西藏牦牛健康养殖提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

新生牦牛选自拉萨市当雄县。试验用不同蛋白含量犏牛代乳粉由中国农业科学院饲料研究所提供。

### 1.2 试验时间及地点

饲养试验于2016年6—10月在拉萨市当雄县

郭庆村进行。当雄县平均海拔为4 200 m,年均温度1.3℃,年均降雨量456.8 mm,属高原寒温带半干旱季风气候区,冬寒夏凉,多大风。

### 1.3 试验设计

选取40头新生当雄牦牛,按体重和出生时间一致的原则分成4组,每个处理组10头重复。4个处理组分别为对照组及饲喂低、中、高蛋白代乳粉组。对照组(CON)犏牛随母牦牛哺乳;低、中、高蛋白组在饲喂犏牛专用代乳粉的基础上,饲喂蛋白含量分别为21.95%(低蛋白组,LP)、24.28%(中蛋白组,MP)和26.11%(高蛋白组,HP),脂肪、能量水平相同。不同蛋白含量代乳粉营养成分见表1。

表1 试验用代乳粉的配方和营养成分(干物质基础)

Table 1 Ingredients and nutrient compositions of milk replacer (dry matter basis)

项目 Item	代乳粉 Milk replacer		
	低蛋白 LP	中蛋白 MP	高蛋白 HP
干物质/% DM	95.98	96.28	96.22
粗蛋白质/% CP	21.95	24.28	26.11
粗脂肪/% EE	25.35	24.98	25.66
粗灰分/% Ash	7.88	7.47	7.23
钙/% Ca	1.26	1.21	1.17
总磷/% TP	0.67	0.68	0.65
总能/(MJ/kg) GE	19.38	19.52	19.66

### 1.4 饲养管理

试验牦牛0~10 d日龄时,随母牦牛哺乳;10 d日龄后每天定时(7:00—20:00)与母牦牛分离,单独分圈并饲喂代乳粉,饲喂量逐渐增加,过渡至30 d日龄时不再哺乳,只喂代乳粉,代乳粉日饲喂量为体重的3%,饲喂至犏牛90 d日龄,饲喂时用40~50℃的温水将奶粉冲调成乳液至8倍体积饲喂犏牛。每日分2次饲喂(08:00、20:00),饲喂后补充饮水。各组犏牛白天自由采食天然牧草(以蒿草为主),各组牧草中蛋白质和总能水平无显著差异。

各组累计干物质采食量 LP 组 989.05 kg, MP 组 1 015.92 kg, HP 组 1 004.4 kg。

## 1.5 测定指标及分析方法

### 1.5.1 生长性能指标

所有试验牦牛分别测定初生重、15、30、45、60、90、120 d 日龄体重。

### 1.5.2 血清指标

所有试验牦牛分别于 30、60、90 d 日龄第一次饲喂前,由颈静脉采血约 10 mL, 3 000 r/min 离心 20 min, 收集血清分装于 1.5 mL 离心管中, -20 °C 下保存待测。

血清生化指标包括尿素氮(BUN)、游离脂肪酸(FFA)、类胰岛素生长因子-1(IGF-1)、免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 M(IgM)、免疫球蛋白 G(IgG)、免肿瘤坏死因子 a(TNF-a)、白介素-1(IL-1)、皮质醇(Cort)、去甲肾上腺素(NE)、C 反应蛋白(CRO)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)采用日立 7020 全自动生化分析仪测定。血清样品在上海晶抗公司测定。血清激素指标和血清免疫指标均采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定。

## 1.6 统计方法

采用 SAS 9.4 统计软件中的 MIXED 模型对牦

牛的体重和血清数据进行统计分析,牦牛个体作为误差项分析主效应,时间以及时间与主效应的交互作为残差。当主效应之间有交互作用时用最小显著差数法(Least significant difference, LSD)比较平均数的差异。 $P < 0.05$  表示统计显著,  $0.05 \leq P \leq 0.1$  表示有统计差异的趋势。

统计分析模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + TD_{ij} + C(T)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

式中: $Y_{ijk}$  为因变量; $\mu$  为总体均值; $T_i$  为处理( $i=1, 2, 3$ ), 固定效应; $D_j$  为日龄( $j=30, 60, 90$ ), 单位为 d, 固定效应; $TD_{ij}$  为处理和日龄的交互作用; $C(T)_{ik}$  ( $i=1, 2, \dots, 40$ ) 为受试牦牛, 随机效应; $\epsilon_{ijk}$  为残差。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蛋白水平代乳粉对牦牛体重的影响

分别测定所有试验牦牛初生重、15、30、45、60、90、120 d 日龄体重, 结果见表 2。由表 2 可知: 各处理间牦牛初生重及 15 d 日龄体重差异不显著( $P > 0.05$ ), 但 30 d 日龄时 MP 组显著高于对照组、LP 和 HP 组( $P < 0.05$ ); 45、60、90 d 日龄时, 处理组牦牛体重均显著高于对照组( $P < 0.05$ ); 30~45 d 日龄时, HP 组牦牛体重增长较缓慢, 而在试验后期(60~120 d 日龄时)HP 组牦牛体重快速增加, 至 120 d 日龄时达到最高( $P < 0.05$ )。

表 2 代乳粉中不同蛋白水平对牦牛体重的影响

Table 2 Effect of CP levels of milk replacer on the body weight of yak calves

日龄/d Age	低蛋白 LP	中蛋白 MP	高蛋白 HP	对照 CON	标准误 SEM
0	11.00	9.46	9.09	11.00	0.35
15	24.57	26.30	21.88	24.00	0.82
30	26.71 b	31.70 a	27.13 b	25.67 b	0.73
45	33.14 a	35.90 a	31.94 a	26.58 b	0.96
60	38.00 a	37.60 ab	36.44 ab	27.75 c	1.03
90	41.21 a	40.40 a	42.50 a	29.17 b	1.33
120	48.57 ab	44.40 bc	50.81 a	31.83 c	1.81

注: 同列数字后不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: Within the same row, values with different letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

### 2.2 不同蛋白水平代乳粉对牦牛血清指标的影响

分别在 30、60、90 d 日龄晨饲前采牦牛颈静脉

血 10 mL, 测定不同蛋白水平代乳粉组牦牛的血清指标变化, 结果见表 3: 日龄对游离脂肪酸、表皮生长因子、类胰岛素样生长因子-I 含量均无显著影响

( $P>0.05$ )；60 d 日龄时 HP 组犏牛血清尿素氮含量显著高于 LP 组( $P<0.05$ )，但处理与日龄之间无交互作用( $P>0.05$ )；MP 组 60 d 日龄犏牛表皮生长因子含量显著高于其他组( $P<0.05$ )，且在不同

处理与日龄间存在交互作用( $P<0.05$ )；30、60 d 日龄时，LP 组犏牛类胰岛素样生长因子- I 含量最高( $P<0.05$ )，且不同处理与日龄对其存在显著交互作用( $P<0.05$ )。

表 3 代乳粉中不同蛋白水平对犏犊牛血清代谢物及内分泌指标的影响

Table 3 Effects of CP levels of milk replacer on the serum's metabolism and endocrine indexes of yak calves

项目 Item	日龄/d Age	处理 Treatment				标准误 SEM
		高蛋白 HP	中蛋白 MP	低蛋白 LP	对照 CON	
血清尿素氮/ (pmol/L) BUN	30	1 106.46	1 127.61	1 032.24	1 147.62	185.49
	60	1 153.30 a	963.39 ab	870.35 b	983.01 ab	110.96
	90	1 176.17	1 227.59	1 195.16	1 037.18	138.59
	平均值	1 145.31	1 106.20	1 032.59	1 055.94	80.17
游离脂肪酸/ ( $\mu$ mol/L) FFA	30	351.50	345.07	368.28	330.17	48.69
	60	388.11	339.42	373.99	405.88	44.81
	90	417.99	331.93	415.43	394.11	53.55
	平均值	385.86	338.81	385.90	376.72	22.28
表皮生长因子 60/ (pg/mL) EGF	30	554.35	495.85	462.59	508.31	75.24
	457.61b	650.14 a	468.98 b	462.97 b	44.52	
	90	547.75	459.29	480.18	518.68	53.64
	平均值	519.90	535.09	470.58	496.65	32.38
类胰岛素样生长因子- I / (ng/mL) IGF- I	30	19.41 c	33.09 ab	39.45 a	28.80 b	4.27
	60	29.95 ab	28.77 b	36.03 a	33.24 ab	2.86
	90	28.84	26.87	35.18	27.07	4.41
	平均值	26.06 b	29.57 b	36.88 a	29.70 b	1.99

饲喂不同蛋白水平代乳粉对犏牛血清抗氧化及免疫指标的影响见表 4。由表 4 可知：处理和日龄对血清中免疫指标、肝功能指标及抗氧化指标的影响均不显著( $P>0.05$ )；HP 组谷胱甘肽过氧化物酶活性有显著高于 LP 组的趋势( $0.05<P<0.1$ )，且 30 d 日龄时，犏牛血清过氧化氢酶活性有显著高于 60 d 日龄的趋势( $0.05<P<0.1$ )。总体来看，HP 组丙二醛含量及肿瘤坏死因子 a 较低，而免疫球蛋白(IgG、IgM)及谷胱甘肽过氧化物酶、丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶活性均较高。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 不同蛋白水平代乳粉对犏犊牛体重的影响

本试验中，各组犏牛初生重均无显著差异，10 d

日龄开始逐渐饲喂代乳粉，直至 30 d 日龄完成过渡。30 d 日龄时 MP 组犏牛体重显著高于其他组，而对照组犏牛体重最低；一方面是由于犏牛个体瘤胃发育程度不同；另一方面也可能是因为早期补饲代乳粉能够促进瘤胃发育以及瘤胃细菌生长繁殖，进而促进营养物质消化吸收，从而有效促进犏牛体重的快速增加。这与李辉等<sup>[11]</sup>报道的犏牛饲喂代乳粉的试验结果不一致，究其原因可能是由于研究对象不同，本试验中试验动物为牦牛不是新生荷斯坦犏牛。牦牛生长环境特异，属高寒地带，其氮代谢特点不同<sup>[6]</sup>，蛋白需要量可能相对更高。本研究中西藏地区犏牛随母牛喂养时奶量并不能满足犏牛的生长需要，所以在饲喂代乳粉后犏牛增重较快。特别是 60~90 d 日龄，3 个处理组体重显著高于对照

表4 代乳粉中不同蛋白水平对牦犊牛血清抗氧化以及免疫指标的影响

Table 4 Effect of CP levels on the serum anti-oxidation and immune index of yak calves

项目 Item	处理 Treatment				日龄/d Age			标准误差 SEM
	高蛋白 HP	中蛋白 MP	低蛋白 LP	对照 CON	30	60	90	
丙二醛/(nmol/mL) MDA	13.06	14.36	12.47	13.87	14.13	13.09	13.10	0.60
超氧化物歧化酶/(U/L) SOD	341.76	370.73	363.61	369.34	345.99	358.73	379.37	18.85
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/L) GSH-Px	472.91 a	414.08 ab	378.94 b	401.41 ab	414.07	425.45	410.98	21.13
过氧化氢酶/(U/L) CAT	51.85	53.84	59.03	48.33	58.56 a	49.73 b	51.49 ab	2.55
免疫球蛋白 A/(ng/mL) IgA	53.51	51.82	57.78	56.77	56.78	58.00	50.15	2.70
免疫球蛋白 G/( $\mu$ g/mL) IgG	81.33	79.99	75.12	75.79	76.32	78.70	79.15	3.76
免疫球蛋白 M/( $\mu$ g/mL) IgM	85.02	88.44	103.96	81.76	92.46	89.79	87.29	4.47
白介素-1/(ng/mL) IL-1	162.14	149.18	139.32	139.30	153.46	143.45	145.54	7.75
肿瘤坏死因子 a/(ng/L) TNF-a	196.76	207.65	210.62	214.01	206.86	207.69	207.26	5.35
丙氨酸氨基转移酶/(U/L) ALT	23.24	19.72	21.87	20.88	21.78	22.03	20.47	1.14
天冬氨酸氨基转移酶/(U/L) AST	53.65	51.14	57.18	52.00	57.81	52.92	49.75	2.54

组,说明在此生长阶段,母牛乳不能满足犊牛的生长需要,需要进行适当的代乳粉补充。跟踪测定犊牛120 d日龄体重发现,HP(26% CP, g/g)处理显著高于MP(24% CP, g/g)处理,HP(26% CP, g/g)处理和LP(22% CP, g/g)处理显著高于对照组,说明26%的蛋白质水平适合牦牛生长的需要,并能促进牦牛的后续生长。但是李辉等<sup>[12]</sup>得出的荷斯坦犊牛代乳粉的最佳蛋白水平是22%,低于本试验牦牛代乳粉26%的最佳水平,这可能与试验动物的种类和饲养环境差异有关。牦牛生长在高寒地区,生长环境恶劣,母乳中不能满足犊牛生长所需,犊牛对营养的要求更高。

已有研究对犊牛蛋白质需要量进行了大量研究,但结果不尽相同<sup>[11-17]</sup>。Brosh等<sup>[18]</sup>对160~450 d日龄犊牛饲喂高蛋白日粮(14.6%)后其体增重高于饲喂中低蛋白日粮(10.6%),其结果与本研究相似。已有研究表明提高高蛋白日粮能显著提高氮的利用率,进而提高蛋白和能量利用率的结果<sup>[18-19]</sup>。然而,也有研究表明日粮中不同蛋白水平对生长犊牛体重变化无显著影响<sup>[16,20]</sup>。本试验中,饲喂代乳粉的犊牛体重均高于对照组,其中45~120 d日龄时,HP组均显著高于对照组,说明本试验条件下,饲喂代乳粉能促进牦牛的生长。

### 3.2 不同蛋白水平代乳粉对牦牛血清指标的影响

动物血清学指标有助于评价物质代谢和相关器官以及机体健康状况,可为预防和治疗动物疾病提供指导<sup>[21]</sup>。血清尿素氮是衡量动物体内蛋白质代谢和氨基酸平衡的一个重要指标,其含量可以反映瘤胃内氮的利用情况,通常在血清尿素氮含量较低时表明氨基酸平衡较好,机体蛋白质合成率较高<sup>[21]</sup>。本试验犊牛30 d日龄时HP组血清尿素氮显著高于LP组,但其余日龄无显著差异,这和柴沙驼等<sup>[3]</sup>报道的结论不一致,而与李辉等<sup>[12]</sup>结果一致。柴沙陀等<sup>[3]</sup>选择2月龄断奶犊牛为试验动物,而本试验则是刚出生犊牛,二者瘤胃发育状态不同可能造成了试验结果的差异。BUN受日粮蛋白质水平的影响。HP组蛋白含量摄入量较高,瘤胃产氨增多,多余的氨被吸收进入血液,造成血液尿素氮增大,但各组均在正常范围内<sup>[12]</sup>。IGF-I是一类多功能的细胞增殖调控因子,是生长激素产生生理作用过程中必需的一种活性蛋白质多肽物质<sup>[22]</sup>。Fontana等<sup>[23]</sup>指出,蛋白水平是决定机体IGF-I水平的关键因素之一。IGF-I具有促进细胞生长、增

强机体免疫及神经系统功能等多种作用,同时还可促进幼龄反刍动物瘤胃上皮的生长发育<sup>[23]</sup>。本试验中LP组犊牛血清中IGF-I浓度最高,30 d日龄时显著高于HP组,60 d日龄时显著高于MP组,但90 d日龄时各组差异不显著。王波等<sup>[21]</sup>试验发现,随着试验时间的延长,IGF-I含量都有所下降,90 d日龄时组间无显著差异,与本试验结果一致。表皮生长因子是一种多功能的生长因子,广泛存在于动物体液和多种腺体中,可促进上皮细胞的增殖和分化,体外研究表明,EGF能够刺激瘤胃上皮细胞增殖和DNA合成<sup>[24]</sup>。本试验中,60 d日龄时,MP组犊牛血清表皮生长因子浓度显著高于其他处理组,而在30及90 d日龄时无显著差异,且到后期MP组高于其他组,表明试验后期犊牛已适应代乳粉。

本试验中犊牛抗氧化血清指标和免疫指标显示,HP组谷胱甘肽过氧化物酶有显著高于LP组的趋势。谷胱甘肽过氧化物酶是机体内广泛存在的一种重要的过氧化物分解酶,具有重要的抗氧化作用,表明MP组犊牛具有更强的抗氧化作用,能更好的满足牦牛的需要。其余血液抗氧化指标和免疫指标显示,本试验中犊牛健康状况良好。在自由放牧条件下,饲喂代乳粉可促进牦牛体重的增长。

综上,本试验条件下,26%粗蛋白水平牦牛代乳粉对犊牛在生长性能和血清指标方面均表现最优,更有利于牦牛的健康生长。

### 参考文献 References

- [1] 董全民,赵新全,施建军,王彦龙,盛丽,杨时海,李世雄,马玉寿,王柳英.日粮组成对牦牛消化和能量代谢的影响[J].草业学报,2012,21(3):281-286  
Dong Q M, Zhao X Q, Shi J J, Wang Y L, Sheng L, Yang S H, Li S X, Ma Y S, Wang L Y. Effect of dietary composition on the digestive and energy metabolisms of yak calves[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(3): 281-286 (in Chinese)
- [2] Wang M Q, Li P L, Li J, Dai G J. Changes of serum macromineral concentrations relative to the body weight gain of growing yaks throughout a year-round [J]. *Livestock Science*, 2008, 116(1-3): 203-208
- [3] 柴沙驼,李亮,崔占鸿,何晓林,冯宇诚,马科福.代乳料对牦牛生产、生理指标的影响及其可行性评价[J].黑龙江畜牧兽医,2010,21:63-64  
Chai S T, Li L, Cui Z H, He X L, Feng Y C, Ma K F. Effect

- of milk substitute on production and physiological indexes of calf yak and its feasibility evaluation[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2010, 21: 63-64 (in Chinese)
- [4] 张志胜, 桑润滋, 田树军, 王志刚, 贾青. 犊牛早期断奶对母牛产后乏情的影响与机理研究[J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(2): 6-9
- Zhang Z S, Sang R Z, Tian S J, Wang Z G, Jia Q. Effects of early weaning on postpartum anestrus of cow[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2000, 23(2): 6-9 (in Chinese)
- [5] 刘基伟, 吴健, 李旭, 秦立红, 王蕾, 张国梁, 赵玉民. 草原红牛犊牛断奶补饲及母牛后期发情效果研究[J]. 当代畜牧, 2017, 21: 27-28
- Liu J W, Wu J, Li X, Qin L H, Wang L, Zhang G L, Zhao Y M. Study on the effect of supplementary weaning of Steppe red calf and cow estrus[J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2017, 7: 27-28 (in Chinese)
- [6] 张莹. 牦牛适应高寒营养胁迫的尿素氮代谢机制[J]. 兰州: 兰州大学, 2010
- Zhang Y. The mechanism of urea nitrogen metabolism in yak adapted to the hypertrophic stress [J]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010 (in Chinese)
- [7] 张志胜, 桑润滋, 田树军, 王志刚, 贾青. 犊牛早期断奶对母牛产后乏情的影响与机理研究[J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(2): 6-9
- Zhang Z S, Sang R Z, Tian S J, Wang Z G, Jia Q. Effects of early weaning on postpartum anestrus of cow[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2000, 23(2): 6-9 (in Chinese)
- [8] 云强, 刁其玉, 屠焰, 周烽. 开食料中粗蛋白水平对荷斯坦犊牛生长性能和血清生化指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47(3): 49-52
- Yun Q, Diao Q Y, Tu Y, Zhou Y. Effects of crude protein level on growth performance and serum biochemical parameters of Holstein calves[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2011, 47(3): 49-52 (in Chinese)
- [9] 云强, 刁其玉, 屠焰, 周烽. 开食料中粗蛋白质水平对荷斯坦犊牛瘤胃发育的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 57-62
- Yun Q, Diao Q Y, Tu Y, Zhou Y. Effects of crude protein levels in starters on rumen development of Holstein bull calves [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(1): 57-62 (in Chinese)
- [10] 黄利强, 龚月生, 崔伟, 王晶, 刘锦妮. 犊牛开食料中适宜蛋白质水平的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2009, 3: 54-56
- Huang L Q, Gong Y S, Cui W, Wang J, Liu J N. Study on appropriate protein level in starters for calves[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2009, 3: 54-56 (in Chinese)
- [11] 李辉, 刁其玉, 张乃锋. 不同蛋白水平对犊牛生长、营养代谢及氨基酸消化率的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2008, 39(11): 1510-1516
- Li H, Diao Q Y, Zhang N F. Effect of different protein levels on the growth, nutrient utilization and amino acids digestibility of dairy calves[J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2008, 39(11): 1510-1516 (in Chinese)
- [12] 李辉, 刁其玉, 张乃锋, 屠焰, 王吉峰. 不同蛋白水平对犊牛消化代谢及血清生化指标的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(4): 1219-1226
- Li H, Diao Q Y, Zhang N F, Tu Y, Wang J F. Effect of different protein levels on nutrient digestion metabolism and serum biochemical indexes in calves[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(4): 1219-1226 (in Chinese)
- [13] Blome R M, Drackley J K, McKeith F K, McCoy G C. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacer containing different amounts of protein1[J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81(6): 1641-1655
- [14] Donnelly P E, Hutton J B. Effects of dietary protein and energy on the growth of Friesian bull calves[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1976, 19(4): 409-414
- [15] 李辉. 蛋白水平与来源对早期断奶犊牛消化代谢及胃肠道结构的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008
- Li H. Effects of protein level and source on nutrient utilization and gastrointestinal characteristics in early-weaning calves [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008 (in Chinese)
- [16] Gonzalez F, Elias A, Urquiza V. Effect of different protein levels on the feed of grazing calves[J]. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 1990, 24(2): 159-164
- [17] Sengar S S, Josh I D C, Johri S B. Effect of feeding different levels of protein on nutrient utilization and growth in male buffalo calves[J]. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 1985, 2(1): 27-30

- [18] Brosh A, Aharoni Y, Levy D, Holzer Z. Effect of dietary protein concentration and source on the growth rate and on body composition of Holstein-Friesian male calves[J]. *Animal Science*, 2000, 70(3): 527-536
- [19] Singh R K, Verma D N, Husain K Q. Estimating the requirement of protein for maintenance and growth of female buffalo calves[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 1994, 11: 97-100
- [20] Vrem A D N. Studies on protein requirement of buffalo calves [J]. *Buffalo Bulletin*, 1998, 17: 10-13
- [21] 王波, 柴建民, 王海超, 崔凯, 祁敏丽, 张乃锋, 屠焰, 刁其玉. 蛋白水平对早期断奶双胞胎湖羊公羔营养物质化与血清指标的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2016, 47(6): 1170-1179
- Wang B, Chai J M, Wang H C, Cui K, Qi M L, Zhang N F, Tu Y, Diao Q Y. Effects of protein levels on nutrient digestion and metabolism and serum parameters of early-weaned male Hu twin lambs[J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2016, 47(6): 1170-1179 (in Chinese)
- [22] 卢劲晔, 王锦峰, 卢炜, 刘静. 胰岛素样生长因子1研究进展[J]. *畜牧与兽医*, 2014, 46(5): 116-118
- Lu J Y, Wang J F, Lu W, Liu J. Advances in the study of insulin-like growth factor 1 [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2014, 46(5): 116-118 (in Chinese)
- [23] Fontana L, Weiss E P, Villareal D T, Klein S, Holloszy J O. Long-term effects of calorie or protein restriction on serum IGF-1 and IGFBP-3 concentration in humans[J]. *Aging Cell*, 2008, 7(5): 681-687
- [24] 卢劲晔, 顾蓓蓓, 冯晴, 赵怀宝, 张磊, 许君, 沈赞明. 反刍动物瘤胃上皮的生长发育及其调节[J]. *临床兽医*, 2017, 4: 182-185
- Lu J Y, Gu B B, Feng Q, Zhao H B, Zhang L, Xu J, Shen Z M. Growth and regulation of rumen epithelium in ruminants[J]. *Clinical Veterinary*, 2017, 4: 182-185 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东