

不同培育模式对牦牛犊牛生长性能、瘤胃发酵参数和血清生化指标的影响

马涛¹ 崔凯¹ 张成福² 曹涵文² 毕研亮¹ 屠焰¹ 张卫兵³ 刁其玉^{1*}
(1. 中国农业科学院饲料研究所, 农业农村部饲料生物技术重点实验室, 北京 100081; 2. 西藏自治区农牧科学院畜牧兽医研究所, 拉萨 850009; 3. 北京精准动物营养研究中心, 北京 100081)

摘要: 本试验旨在研究不同培育模式(随母哺乳与饲喂代乳粉)对牦牛犊牛生长性能、瘤胃发酵参数和血清生化指标的影响。选用日龄[(30±1)日龄]和体重[(22.5±0.9) kg]接近的牦牛犊牛60头(母犊牛40头、公犊牛20头),按照体重接近原则随机分为2组,每组母犊牛20头、公犊牛10头。对照组牦牛犊牛随母哺乳,试验组牦牛犊牛与母牛分离并饲喂专用代乳粉,试验共持续120 d。结果显示:试验组牦牛犊牛在30~150日龄的生长性能与对照组无显著差异($P>0.05$)。试验组牦牛犊牛存活率显著高于对照组(73.3% vs. 46.7%, $P<0.05$)。试验组牦牛犊牛瘤胃总挥发性脂肪酸浓度和丁酸摩尔比例以及血清总蛋白质、球蛋白、免疫球蛋白G、胰岛素、 β -羟丁酸和生长激素含量均显著高于对照组($P<0.05$)。由此得出,在本试验条件下,30日龄断母乳饲喂代乳粉的牦牛犊牛在随后4个月的生长性能与随母哺乳的牦牛犊牛无显著差异,但饲喂代乳粉显著提高了牦牛犊牛的存活率。基于瘤胃发酵参数和血清生化指标,可能是因为采食代乳粉能够保证牦牛犊牛摄入的营养浓度一致,有利于维持其正常的生理代谢功能,最终提高了牦牛犊牛的存活率。

关键词: 牦牛; 犊牛; 代乳粉; 生长性能; 存活率; 瘤胃发酵参数; 血清生化指标

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)04-2055-08

牦牛(*Bos grunniens*)是生长在青藏高原等海拔地区的反刍动物,经过了多年的进化,已经充分适应了极端寒冷、缺氧和强紫外线等恶劣环境。牦牛为高原地区人民提供肉、奶等食品,其粪便可作为燃料,是当地人民生存和经济发展的主要生产资料^[1-2]。传统的牦牛养殖以放牧为主,在冬季和春季(10月至次年5月)由于牧草缺乏,牦牛能量和营养摄入通常不能满足其需要,导致体重降低^[3-4]。母牦牛主要在5月产犊,目前牦牛犊牛培育仍较多采用随母哺乳的方式,这种方式犊牛死亡率较高:一方面,此时草场上的牧草还未完全生长,提供给母牦牛的营养相当有限;另一方面,母

牦牛体况仍处在恢复期,因此随母哺乳可能造成牦牛犊牛营养摄入水平较低或过度消耗母牦牛的营养,最终导致母牦牛或犊牛死亡^[5]。而与生活在平原上的普通牛相比,牦牛达到性成熟的速度较慢,生育力通常较低,成年母牦牛的平均繁殖率仅为48.61%,其中一半以上的母牦牛2年内生产1胎或者3年内生产2胎^[6]。一旦牦牛死亡,将造成巨大的经济损失。因此,提高牦牛犊牛的成活率,提高早期培育质量,是其成年发挥高产的重要保证。已有研究表明,代乳粉能够有效替代母乳,保证羔羊和犊牛健康生长,同时有助于母畜尽早恢复体况^[7-9]。本试验通过比较不同培育方式(随

收稿日期:2020-09-22

基金项目:国家重点研发计划子课题“牦牛优质安全养殖技术应用与示范”(2018YFD0502302);省部共建青稞和牦牛国家重点实验室开放课题(XZNKY-2020-C-007K02)

作者简介:马涛(1987—),男,山东青岛人,副研究员,博士,从事反刍幼畜健康调控技术研究。E-mail: matao@caas.cn

*通信作者:刁其玉,研究员,博士生导师, E-mail: diaoqiuyu@caas.cn

母哺乳与饲喂代乳粉)对牦牛犊牛存活率、生长性能、瘤胃发酵参数和血清生化指标的差异,探究早期断母乳饲喂代乳粉在犊牛牦牛培育上的可行性,以期为提高牦牛犊牛早期培育水平提供思路和依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验时间和地点

本试验于2019年6—10月在西藏自治区那曲市羌塘牧业开发有限公司牧场(东经 $92^{\circ}05'$,北纬 $31^{\circ}48'$)进行,该地区海拔约4 436 m,试验期间平均最低温度为 2°C ,平均最高温度为 14°C 。

1.2 试验材料

牦牛犊牛专用代乳粉(专利号:02128844.5)由北京精准动物营养研究中心提供,代乳粉营养成分含量(风干基础,均为实测值):干物质94.7%、粗蛋白质22.9%、粗脂肪16.0%、粗灰分4.3%、钙0.9%、磷0.5%。

1.3 试验设计

选取日龄 $[(30\pm 1)$ 日龄]和体重 $[(22.5\pm 0.9)$ kg]接近的牦牛犊牛60头,其中母犊牛40头、公犊牛20头,按照体重接近原则随机分为2组,每组母犊牛20头、公犊牛10头。对照组牦牛犊牛随母哺乳,试验组牦牛犊牛与母牛分离并饲喂代乳粉,试验共持续120 d。

1.4 饲养管理

对照组牦牛犊牛随母哺乳,试验组牦牛犊牛按体重的1.5%(干物质基础)饲喂代乳粉。饲喂代乳粉时,将沸水冷却至 50°C 左右,与代乳粉按照7:1(质量比)的比例进行混合并充分搅拌均匀,待乳液温度降至 39°C 左右时,装入奶瓶饲喂犊牛。代乳粉每日饲喂2次(08:00、18:00)。试验期间,试验组犊牛不接触母牛,2组犊牛自由饮水且接触不到母牛饲料。

1.5 指标测定与方法

1.5.1 代乳粉营养成分含量

在烘箱中于 105°C 下干燥6 h,测定代乳粉干物质含量;使用凯氏定氮法测定代乳粉粗蛋白质含量;使用索氏提取法测定代乳粉粗脂肪含量;在 600°C 的马福炉中完全燃烧6 h,测定代乳粉粗灰分含量;使用原子吸收分光光度计(Perkin-Elmer M9W-700,北京珀金埃尔默仪器有限公司)测定代乳粉钙含量;通过钼钒酸盐比色法测定代乳粉磷含量。

1.5.2 生长性能和存活率

牦牛犊牛于试验开始和结束时称重,计算平均日增重,同时测量体高、十字部高、体斜长、胸围。试验过程中记录死亡的犊牛,试验结束时计算牦牛的存活率。

1.5.3 瘤胃发酵参数

于试验第120天晨饲前,每组各选取8头母犊牛经口腔采集瘤胃液,丢弃初次吸取的瘤胃液,随后在不同部位共吸取约200 mL瘤胃液并充分混合均匀,于 -20°C 保存待测定各挥发性脂肪酸(乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸和异戊酸)与氨态氮浓度,计算总挥发性脂肪酸浓度和各挥发性脂肪酸的摩尔比例。其中,挥发性脂肪酸浓度通过气相色谱仪(GC-6800,北京北分天普仪器技术有限公司)进行测定,氨态氮浓度采用苯酚-次氯酸钠法进行测定。

1.5.4 血清生化指标

于试验结束时,每组选取8头体重相近的母犊牛,清晨空腹颈静脉采血于10 mL的真空采血管(不含抗凝剂)中,于 $1\ 500\times g$ 离心30 min,收集上层血清于 -20°C 保存,待测血清生化指标。用比色法(科华KHB-1280全自动生化分析仪)测定血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿素氮(UN)含量;用酶联免疫吸附测定法(科华ST-360全自动酶标仪)测定血清胰岛素(INS)、 β -羟丁酸(BHBA)、胰岛素样生长因子-1(IGF-1)、生长激素(GH)、免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白M(IgM)、丙二醛(MDA)、白细胞介素-2(IL-2)和肿瘤坏死因子- α (TNF- α)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化酶(GSH-Px)和谷胱甘肽硫转移酶(GST)活性。各血清生化指标均使用标准试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

1.6 数据统计与分析

首先使用R-Studio(版本3.6.1)中的Shapiro-Wilk检验对所有数据进行正态性检验。对于瘤胃发酵参数和血清生化指标,如符合正态分布(Shapiro-Wilk检验 $P>0.05$),则使用未配对 t 检验(unpaired t -test)法比较对照组和试验组之间的差异;如不符合正态分布(Shapiro-Wilk检验 $P<0.05$),则使用Mann-Whitney U(2组样本量不一致时的非参数检验方法)检验比较对照组和试验组之间的差异。对于生长性能(均符合正态分布)

和存活率数据,采用 R 语言的广义线性模型 (GLM) 程序包分析试验组别、性别以及组别和性别的交互作用的影响,R 语言分析代码为:glm(生长性能指标~Group+Sex+Group * Sex, data=生长性能数据集)。其中,“生长性能数据集”为包括全部生长性能指标数据的文件,“生长性能指标”为“生长性能数据集”中待分析的特定指标,如体重、体高、体斜长、胸围等。由于存活率的数据符合为二项分布(binomial distribution),因此在使用 GLM 时需要调用该功能,对应的 R 语言分析代码为:glm(存活率~Group+Sex+Group * Sex, family="binomial", data=存活率)。统计分析结果以 $P < 0.05$ 为差异显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 为存在差异趋势。

2 结 果

2.1 生长性能和存活率

不同培育模式对牦牛犊牛生长性能和存活率的影响见表 1。试验开始时,试验组和对照组犊牛的体重、体高、体斜长、胸围无显著差异($P > 0.05$),母犊牛和公犊牛的体重、体高、体斜长、胸围亦无显著差异($P > 0.05$);试验结束时,2 组犊牛的体重、体高、体斜长、胸围均无显著差异($P > 0.05$),母犊牛的平均日增重显著高于公犊牛($P < 0.05$)。试验组犊牛的存活率显著高于对照组(73.3% vs. 46.7%, $P < 0.05$),不同性别犊牛存活率无显著差异($P > 0.05$)。组别和性别的交互作用对上述生长性能指标及存活率均无显著影响($P > 0.05$)。

表 1 不同培育模式对牦牛犊牛生长性能和存活率的影响

Table 1 Effects of different feeding modes on growth performance and survival rate of yak calves

项目 Items	组别 Groups		性别 Sex		均值 标准误 SEM	P 值 P-value		
	对照组 Control group	试验组 Test group	公 Male	母 Female		组别 Group	性别 Sex	组别×性别 Group×sex
试验开始 At the beginning of the trial								
样本数 <i>n</i>	30	30	20	40				
体重 BW/kg	22.7	22.3	23.9	21.8	0.89	0.819	0.266	0.665
体高 Withers height/cm	65.5	65.4	67.3	64.5	0.73	0.982	0.075	0.238
体斜长 Body oblique length/cm	55.4	54.5	56.6	54.1	0.77	0.545	0.137	0.427
胸围 Chest width/cm	77.6	75.8	78.4	75.8	1.19	0.456	0.320	0.681
试验结束 At the end of the trial								
样本数 <i>n</i>	14	22	13	23				
体重 BW/kg	43.7	43.8	41.8	44.8	1.21	0.924	0.232	0.257
体高 Withers height/cm	76.6	75.3	76.3	75.5	0.87	0.513	0.659	0.497
体斜长 Body oblique length/cm	69.9	71.8	70.3	71.5	1.02	0.418	0.582	0.920
胸围 Chest width/cm	95.3	98.5	96.0	98.0	1.45	0.335	0.513	0.676
平均日增重 ADG/(g/d)	165.2	159.9	143.0	172.7	6.77	0.529	0.038	0.915
存活率 Survival rate/%	46.7	73.3	65.0	57.5	—	0.029	0.305	0.364

2.2 瘤胃发酵参数

不同培育模式对牦牛犊牛瘤胃发酵参数的影响见表 2。试验组犊牛瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度、丁酸摩尔比例显著高于对照组($P < 0.05$),而异戊酸摩尔比例显著低于对照组($P < 0.05$)。2 组犊牛瘤胃液乙酸、丙酸、异丁酸和戊酸摩尔比例均无显著差异($P > 0.05$)。试验组犊牛瘤胃液氨态氮浓度有高于对照组的趋势($0.05 \leq P < 0.10$)。

2.3 血清生化指标

不同培育模式对牦牛犊牛血清生化指标的影响见表 3。试验组犊牛血清 TP、GLB、IgG、INS、BHBA、GH 含量均显著高于对照组($P < 0.05$),血清 IL-2 和 TNF- α 含量有高于对照组的趋势($0.05 \leq P < 0.10$)。2 组犊牛血清 ALB、UN、IgA、IgM、IGF-I、MDA 含量与 SOD、GSH-Px 和 GST 活性没有显著差异($P > 0.05$)。

表2 不同培育模式对牦牛犊牛瘤胃发酵参数的影响

Table 2 Effects of different feeding modes on rumen fermentation parameters of yak calves

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Test group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
样本数 <i>n</i>	8	8		
总挥发性脂肪酸浓度 Total VFA concentration/(mmol/L)	50.2	76.2	6.03	0.014
摩尔比例 Molar proportion/%				
乙酸 Acetate	65.9	63.2	1.15	0.284
丙酸 Propionate	20.3	21.9	1.21	0.538
丁酸 Butyrate	8.5	10.9	0.50	0.010
异丁酸 Iso-butyrate	1.95	1.30	0.19	0.189
戊酸 Valerate	1.04	1.28	0.13	0.336
异戊酸 Iso-valerate	2.32	1.32	0.20	0.009
氨态氮浓度 NH ₃ -N concentration/(mg/dL)	10.1	18.1	2.61	0.054

表3 不同培育模式对牦牛犊牛血清生化指标的影响

Table 3 Effects of different feeding modes on serum biochemical indices of yak calves

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Test group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
样本数 <i>n</i>	8	8		
总蛋白 TP/(g/L)	69.3	71.2	0.37	0.006
白蛋白 ALB/(g/L)	34.0	33.7	0.46	0.782
球蛋白 GLB/(g/L)	35.3	37.5	0.46	0.013
尿素氮 UN/(mmol/L)	4.84	5.41	0.28	0.320
免疫球蛋白 G IgG/(g/L)	7.66	8.19	0.12	0.018
免疫球蛋白 A IgA/(g/L)	1.76	1.69	0.03	0.288
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	2.28	2.37	0.05	0.382
胰岛素 INS/(mIU/L)	10.4	15.0	1.77	0.038
β-羟丁酸 BHBA/(mmol/L)	1.39	1.61	0.07	0.038
胰岛素样生长因子-I IGF-I/(ng/mL)	57.7	60.7	1.32	0.188
生长激素 GH/(ng/mL)	5.08	5.63	0.18	0.050
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	89.5	88.5	0.84	0.572
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.17	5.29	0.05	0.266
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	1 026.1	1 031.3	1.85	0.178
谷胱甘肽硫转移酶 GST/(U/mL)	33.8	35.0	0.63	0.350
白细胞介素-2 IL-2/(pg/mL)	166.2	171.3	1.49	0.087
肿瘤坏死因子-α TNF-α/(pg/mL)	49.5	53.2	1.57	0.083

3 讨论

3.1 生长性能和存活率

尽管目前已有不少关于牦牛生长性能及其影响因素的研究,但都集中在2~5岁阶段,且这些试验中牦牛生长海拔^[10-12]相对本研究较低。此外,这些试验主要研究了牦牛生长性能受放牧条件下牧草质量或供应量以及放牧时间等的影响。目前

关于牦牛犊牛培育的研究非常有限,本试验的牦牛犊牛 ADG 在 160 g/d 左右,低于前人报道的结果(300 g/d)^[13],可能是由于养殖条件、饲料供应、管理方式等存在差异所致。本试验中试验组和对照组牦牛犊牛在生长性能方面一致,本团队近期在羔羊上的研究表明,49日龄前随母哺乳的羔羊与21日龄断母乳并饲喂代乳粉的羔羊在2月龄时 ADG 无显著差异^[14],说明代乳粉能够充分满足牦

牛犊牛生长对于营养素的需要。尽管 2 组牦牛犊牛的 ADG 和终末体重差异不显著,但是饲喂代乳粉显著提高了牦牛犊牛的存活率。本试验开展地区(西藏自治区那曲市)具有高海拔、高寒缺氧等不利条件,该地区牧草较为匮乏,母牦牛生产后自身存活已属不易,犊牛在出生 1 个月后对于营养需求显著提高,如果无法从母牛乳中得到充足的营养,其存活几率非常渺茫。考虑到使用代乳粉的成本远远低于牦牛犊牛成活创造的经济效益,早期断母乳并饲喂代乳粉的饲喂模式将有助于提高高海拔地区牦牛的存活率和养殖效益。

3.2 瘤胃发酵参数

挥发性脂肪酸是由瘤胃微生物发酵分解饲料碳水化合物形成,能够为反刍动物生产提供 70%~80% 的能量^[15]。本研究中,对照组牦牛犊牛瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度显著低于试验组,可能与前者的干物质采食量较低有关^[11],虽然本试验中无法测定对照组牦牛的具体干物质采食量,但根据牦牛的泌乳曲线可知,牦牛产乳量在犊牛出生后 1 个月内曲线上升,随后进入平台期,犊牛 2 月龄之后至 6 月龄这一段时间产乳量不断下降^[16],由此推测对照组牦牛犊牛在试验第 31~120 天干物质采食量逐渐降低,限制了瘤胃微生物发酵底物的供应量,由此造成了瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度的降低。值得注意的是,试验组牦牛犊牛瘤胃液丁酸摩尔比例显著高于对照组,丁酸是瘤胃中产丁酸菌合成的一种重要的挥发性脂肪酸^[17],具有为上皮细胞供能^[18]、促进机体健康^[19]的重要作用。最近研究发现,丁酸对于促进幼龄反刍动物瘤胃的发育可能也具有重要作用^[20],由此可推测,与对照组相比,代乳粉为瘤胃产丁酸微生物提供了更充足的底物,后者产生了足够的丁酸,促进了瘤胃的发育并改善了牦牛犊牛的健康状况,从而提高了犊牛的存活率。瘤胃中的氨态氮是微生物合成蛋白质的主要氮源,研究表明微生物合成的 40%~68% 的蛋白质的氮源为氨态氮^[21],适宜微生物生长达到最高效率的瘤胃氨态氮浓度范围较广,通常在 5~25 mg/dL^[22]。本研究中虽然 2 组牦牛犊牛的血清氨态氮浓度都在上述范围之内,但代乳粉组为微生物提供了更充足的氮源,保证了瘤胃微生物能够合成更多的小肠可代谢蛋白质供机体利用。本研究中试验组牦牛犊牛瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度与 Zhou 等^[11]报道的牦牛数

据基本一致,但氨态氮浓度高于上述作者报道的结果;Shi 等^[12]研究了不同采食量和季节对牦牛生产性能的影响,结果发现高采食量提高了牦牛瘤胃液总挥发性脂肪浓度,但对氨态氮浓度无显著影响。然而上述研究使用的试验动物为 2.5~3.0 岁的成年牦牛,且均采食固体饲料,与本试验中的牦牛无论在年龄还是饲料上都有显著区别,因此未来还需要进一步研究牦牛犊牛阶段的瘤胃发酵情况及可能的影响因素。

3.3 血清生化指标

血清生化指标能够一定程度上反映试验动物生理代谢和健康状况^[23]。例如,血清 TP 含量与机体免疫力和代谢水平相关,对于维持动物免疫力和代谢水平、促进动物健康生长具有重要作用。TP 包含 GLB 和 ALB,其中 IgG 是血清 GLB 的主要组成部分,本研究中试验组牦牛犊牛血清 IgG 含量显著高于对照组,由此可能解释了试验组牦牛犊牛血清 GLB 以及 TP 含量高于对照组的原因。BHBA 是血液当中酮体的主要成分,是调控动物健康成长的重要物质之一^[24]。最近研究表明,幼畜血液中 BHBA 的含量与营养采食量呈正相关^[9,25-26]。本研究中牦牛犊牛血清 BHBA 含量和瘤胃液丁酸摩尔比例在 2 组之间的差异变化一致,这可能是因为 BHBA 是由瘤胃微生物产生的丁酸被转运到瘤胃上皮细胞线粒体中后经乙酰辅酶 A 途径氧化生成^[27]。INS 是控制动物机体营养代谢的最重要的激素之一^[28],血液酮体含量增加会刺激 β 细胞释放 INS,这可能是一种防止脂肪过度动员的反馈机制^[29]。此外,GH 是垂体前叶分泌的蛋白质,具有促进生长的作用^[30]。基于上述血清生化指标分析,试验组牦牛犊牛的代谢功能和健康状态均要优于对照组牦牛犊牛。

4 结 论

在本试验条件下,30 日龄断母乳饲喂代乳粉的牦牛犊牛在随后 4 个月的生长性能与随母哺乳的牦牛犊牛无显著差异,但饲喂代乳粉显著提高了牦牛犊牛的存活率。从瘤胃发酵参数和血清生化指标来看,可能是因为采食代乳粉能够保证牦牛犊牛摄入的营养浓度一致,有利于维持其正常的生理代谢功能,最终提高了牦牛犊牛的存活率。

参考文献:

- [1] LONG R J, DONG S K, HU Z Z, et al. Digestibility,

- nutrient balance and urinary purine derivative excretion in dry yak cows fed oat hay at different levels of intake [J]. *Livestock Production Science*, 2004, 88 (1/2): 27-32.
- [2] LONG R J, DING L M, SHANG Z H, et al. The yak grazing system on the Qinghai-Tibetan plateau and its status [J]. *The Rangeland Journal*, 2008, 30 (2): 241-246.
- [3] LONG R J, APORI S O, CASTRO F B, et al. Feed value of native forages of the Tibetan plateau of China [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 80 (2): 101-113.
- [4] DING L M, WANG Y P, BROSH A, et al. Seasonal heat production and energy balance of grazing yaks on the Qinghai-Tibetan plateau [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 198: 83-93.
- [5] WIENER G, HAN J, LONG R. The yak [M]. 2nd ed. Bangkok, Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003.
- [6] LAN D L, XIONG X R, HUANG C, et al. Toward understanding the genetic basis of yak ovary reproduction: a characterization and comparative analyses of estrus ovary transcriptome in yak and cattle [J]. *PLoS One*, 2016, 11 (4): e0152675.
- [7] CHAI J M, MA T, WANG H C, et al. Effect of early weaning age on growth performance, nutrient digestibility, and serum parameters of lambs [J]. *Animal Production Science*, 2017, 57 (1): 110-115.
- [8] 李梦雅, 袁梅, 王之盛, 等. 母带犊牛与离母犊牛生长性能和血清生化、抗氧化、免疫指标的比较研究 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (12): 5571-5581.
- LI M Y, YUAN M, WANG Z S, et al. Comparative study on growth performance and serum biochemical, antioxidant and immune indexes between calves with dam and calves without dam [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (12): 5571-5581. (in Chinese)
- [9] 黄文琴, 庄一民, 高帆, 等. 早期断奶并补饲代乳粉对羔羊生长性能、消化性能、血清生化指标及肉质质的持续影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (5): 2251-2262.
- HUANG W Q, ZHUANG Y M, GAO F, et al. Persistent effects of early weaning and supplementary feeding milk replacer on growth performance, digestive performance, serum biochemical indices and meat quality of lambs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (5): 2251-2262. (in Chinese)
- [10] XU T W, XU S X, HU L Y, et al. Effect of dietary types on feed intakes, growth performance and economic benefit in Tibetan sheep and yaks on the Qinghai-Tibet plateau during cold season [J]. *PLoS One*, 2017, 12 (1): e0169187.
- [11] ZHOU J W, LIU H, ZHONG C L, et al. Apparent digestibility, rumen fermentation, digestive enzymes and urinary purine derivatives in yaks and Qaidam cattle offered forage-concentrate diets differing in nitrogen concentration [J]. *Livestock Science*, 2018, 208: 14-21.
- [12] SHI F Y, GUO N, DEGEN A A, et al. Effects of level of feed intake and season on digestibility of dietary components, efficiency of microbial protein synthesis, rumen fermentation and ruminal microbiota in yaks [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2020, 259: 114359.
- [13] 聂召龙, 潘浩, 刘书杰, 等. 复合乳酸菌对早期断奶牦犊牛生长性能、血清生化指标、肠道发育及消化酶活性的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (8): 3760-3770.
- NIE Z L, PAN H, LIU S J, et al. Effects of compound lactobacillus on growth performance, serum biochemical indexes, intestinal development and digestive enzyme activities of early-weaned yak calves [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (8): 3760-3770. (in Chinese)
- [14] WANG S Q, MA T, ZHAO G H, et al. Effect of age and weaning on growth performance, rumen fermentation, and serum parameters in lambs fed starter with limited ewe-lamb interaction [J]. *Animals*, 2019, 9 (10): 825.
- [15] BERGMAN E N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species [J]. *Physiological Reviews*, 1990, 70 (2): 567-590.
- [16] 文勇立, 赵佳琦. 牦牛的泌乳量测定及其乳特性 [J]. *中国乳业*, 2019, 215 (11): 12-18.
- WEN Y L, ZHAO J Q. Lactation amount and milk characteristics of yaks [J]. *China Dairy*, 2019, 215 (11): 12-18. (in Chinese)
- [17] ALUWONG T, KOBO P I, ABDULLAHI A. Volatile fatty acids production in ruminants and the role of monocarboxylate transporters: a review [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2013, 9 (38): 6229-6232.
- [18] BUGAUT M. Occurrence, absorption and metabolism of short chain fatty acids in the digestive tract of mam-

- mals [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 1987, 86(3): 439–472.
- [19] LI X Q, HØJBERG O, CANIBE N, et al. Phylogenetic diversity of cultivable butyrate-producing bacteria from pig gut content and feces [J]. *Journal of Animal Science*, 2016, 94: 377–381.
- [20] MALMUTHUGE N, LIANG G X, GUAN L L. Regulation of rumen development in neonatal ruminants through microbial metagenomes and host transcriptomes [J]. *Genome Biology*, 2019, 20: 172.
- [21] HRISTOV A, BRODERICK G A. *In vitro* determination of ruminal protein degradability using $[^{15}\text{N}]$ ammonia to correct for microbial nitrogen uptake [J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72(5): 1344–1354.
- [22] PRESTON T R, LENG R A. Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics [M]. Armidale NSW, Australia: Penambul Books Ltd., 1987.
- [23] PICCIONE G, CASELLA S, LUTRI L, et al. Reference values for some haematological, haematochemical, and electrophoretic parameters in the Girgentana goat [J]. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2014, 34(2): 197–204.
- [24] 文静, 付守鹏, 柳巨雄. β -羟丁酸对中枢神经系统的作用及机制研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2012, 39(2): 106–110.
WEN J, FU S P, LIU J X. Research progress on the roles of β -hydroxybutyric acid played in central nervous system and mechanism [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2012, 39(2): 106–110. (in Chinese)
- [25] DEELEN S M, LESLIE K E, STEELE M A, et al. Validation of a calf-side β -hydroxybutyrate test and its utility for estimation of starter intake in dairy calves around weaning [J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(9): 7624–7633.
- [26] 解彪, 张乃锋, 崔凯, 等. 早期断奶羔羊饲喂不同中性洗涤纤维水平饲料对羔羊育肥期生长性能、血清学指标和屠宰性能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(6): 2172–2181.
XIE B, ZHANG N F, CUI K, et al. Effects of feeding different neutral detergent fiber level diets for early weaned lambs on growth performance, serological parameters and slaughter performance of lambs at fattening stage [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(6): 2172–2181. (in Chinese)
- [27] LANE M A, BALDWIN IV R L, JESSE B W. Developmental changes in ketogenic enzyme gene expression during sheep rumen development [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(6): 1538–1544.
- [28] FUKUMORI R, SUGINO T, SHINGU H, et al. Effects of fat-enriched diet and methionine on insulin sensitivity in lactating cows [J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(6): 2778–2784.
- [29] 张卫兵, 张蓉, 毕研亮, 等. 白藜芦醇和血根碱对 2 月龄以内犊牛生长性能、血清指标及腹泻状况的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(6): 2411–2420.
ZHANG W B, ZHANG R, BI Y L, et al. Effects of resveratrol and sanguinarine on growth performance, serum indexes and diarrhea status of calves under 2 months of age [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(6): 2411–2420. (in Chinese)
- [30] ETHERTON T D, BAUMAN D E. Biology of somatotropin in growth and lactation of domestic animals [J]. *Physiological Reviews*, 1998, 78(3): 745–761.

Effects of Different Feeding Modes on Growth Performance, Rumen Fermentation Parameters and Serum Biochemical Indices of Yak Calves

MA Tao¹ CUI Kai¹ ZHANG Chengfu² CAO Hanwen² BI Yanliang¹
TU Yan¹ ZHANG Weibing³ DIAO Qiyu^{1*}

(1. Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of PRC, Beijing 100081, China; 2. Institute of Animal Science and Veterinary, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850009, China; 3. Beijing Precision Animal Nutrition Research Center, Beijing 100081, China)

Abstract: This experiment aims to investigate the effects of different feeding modes (fed with dam's milk and fed with milk replacer) on growth performance, rumen fermentation parameters and serum biochemical indices of yak calves. A total of 60 yak calves with similar age [(30±1) days of age] and body weight [(22.5±0.9) kg] including 40 females and 20 males were used in this experiment. The yak calves were divided into two groups according to similar body weight. Each group contained 20 female and 10 male calves. Calves in control group were fed dam's milk, while calves in test group were separated from calves and fed milk replacer. The experiment lasted for 120 days. The results showed that calves in the test group had similar growth performance at 30 to 150 days of age compared with those in the control group, the difference were not significant ($P>0.05$). Compared with the control group, feeding milk replacer significantly improved the survival rate of yak calves (73.3% vs. 46.7%, $P<0.05$). The total volatile fatty acid concentration and butyrate molar proportion in rumen fluid, as well as serum contents of total protein, globulin, immunoglobulin G, insulin, beta-hydroxybutyric acid and growth hormone of yak calves in test group were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). In conclusion, under the condition of this experiment, when yak calves are stopped breastfeeding and fed milk replacer since the 30 days of age, the growth performance in the following 4 months of them has no significant difference compared with yak calves fed dam's milk, but the survival rate is significantly increased. Based on the results of rumen fermentation parameters and serum biochemical indices, it is possible that feeding milk replacer can provide stable nutrients, which is essential to maintain the normal metabolic and physiological functions of yak calves, and in turn improve their survival rate. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(4):2055-2062]

Key words: yaks; calves; milk replacer; growth performance; survival rate; rumen fermentation parameters; serum biochemical indices