

# 牦牛营养需要量与饲草料营养价值评价研究进展

郝力壮 刘书杰\* 胡令浩 柴沙驼

(青海大学畜牧兽医科学院,青海省高原放牧家畜动物营养与饲料科学重点实验室,省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室,青海省牦牛工程技术研究中心,西宁 810016)

**摘要:** 本文综述了牦牛营养需要量与饲草料营养价值评价研究进展,主要从牦牛的能量、蛋白质、矿物质、脂肪需要量和采食量以及饲草料营养价值评价等方面进行了梳理和总结,以期为同行进一步了解该领域研究进展提供参考。

**关键词:** 牦牛;营养;需要量;饲草料评价

**中图分类号:** S823.8<sup>+</sup>5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2020)10-4725-08

牦牛是适应高海拔环境且能充分利用高寒草地资源的特种大型哺乳动物,主要分布于青藏高原及其毗邻的高寒高海拔区域<sup>[1]</sup>。2018年,这一区域牦牛数量达1 600多万头<sup>[2]</sup>,是世界上主要的牦牛种质资源库和我国畜产品生产基地<sup>[3]</sup>。牦牛为青藏高原当地牧民提供着“衣”“食”“住”“行”“用”等基本的生产和生活资料,成为青藏高原约1.2亿hm<sup>2</sup>高寒草场上最重要的畜种<sup>[3]</sup>,十世班禅大师指出“没有牦牛就没有藏民族”<sup>[4]</sup>,可见牦牛生产对青藏高原藏民族经济与社会发展起着极其重要的作用。近年来,随着牦牛生产方式的转变和农牧民增收的迫切需求,牦牛“生态、科学、标准”养殖愈发重要。营养需要量和饲草料营养价值评价(数据库)是标准化饲养的核心和基础<sup>[5-6]</sup>,本文较系统的介绍了牦牛在这一领域的研究进展,并展望了今后研究方向,为同行进一步了解这一领域的研究进展提供参考。

## 1 牦牛营养需要量研究进展

### 1.1 牦牛能量需要量研究进展

#### 1.1.1 幼龄牦牛能量需要量

早期,有学者在海拔3 200 m应用密闭式回流

呼吸测热装置对1岁母牦牛测试,呼吸室控温15℃条件下求得绝食代谢产热量(FHP)为302.84 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d),呼吸商(RQ)为0.723<sup>[7]</sup>。近期,韩小东<sup>[8]</sup>采用Chamber技术系统测定了4、8、12、16月龄牦牛的维持代谢能需要量,分别为0.624、0.399、0.326、0.318 MJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d);以代谢能摄入量(MEI)、代谢体重(W<sup>0.75</sup>)及日增重(ΔW)建立的回归方程为MEI = 25.173 + 0.212W<sup>0.75</sup> + 8.875ΔW (n = 64, R<sup>2</sup> = 0.965);甲烷(CH<sub>4</sub>)与甲烷能(CH<sub>4</sub>-E)排放量在性别间无显著差异,甲烷排放量与干物质采食量(DMI)之间建立的预测模型为CH<sub>4</sub>(g/d) = 10.99DMI(kg/d) - 1.72 (n = 64, R<sup>2</sup> = 0.80),甲烷排放量与有机物采食量(OMI)之间建立的预测模型为CH<sub>4</sub>(g/d) = 12.76OMI(kg/d) - 1.48 (n = 64, R<sup>2</sup> = 0.80)。这些研究结果丰富了幼龄牦牛能量需要量参数,为进一步完善牦牛饲养标准提供了基础数据。

#### 1.1.2 生长期牦牛能量需要量

在国家及青海省有关部门支持下,20世纪80~90年代,研究人员连续开展了生长期牦牛营养和能量代谢与需要量的科学研究<sup>[3]</sup>,部分成果

收稿日期:2020-08-25

基金项目:国家自然科学基金(31660673);国家重点研发计划(2016YFD0500504,2018YFD0502300);中国科学院“西部之光”人才培养引进计划(1-7);青海省科协中青年科技人才托举工程(2019QHSHKXRCJT01);青海省重点实验室(2020-ZJ-Y08);国家重点基础研究发展计划(973前期)(2012CB722906)

作者简介:郝力壮(1984—),河北邢台人,副研究员,博士,从事牦牛营养与饲料科研、教学和技术推广工作。E-mail: lizhuanghao1122@fox-mail.com

\*通信作者:刘书杰,研究员,博士生导师,E-mail: mkylishj@126.com

为:1) FHP的特点。在等热区温度条件下,2个不同海拔高度(2 261和4 272 m)的1、2、3岁阉牦牛FHP分别为351、305、298 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d)和376、324、281 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d),不同海拔高度之间无显著差异;环境温度显著影响FHP,当气温在等热区8~15℃时,FHP相对稳定,但高于15℃或低于8℃时,FHP不同程度的增加。2)代谢能需要量。生长阉牦牛饲料能量消化率和能量代谢率,分别为60%~77%和50%~70%,而能量沉积率为9%~25%;代谢能用于维持(Km)和生长发育的利用效率(Kg)分别为0.66和0.49;生长期牦牛维持代谢能需要量为458 kJ/kg W<sup>0.75</sup>,较低海拔(2 261 m)时FHP为302.13 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d),用析因法求得牦牛代谢能需要量的预测方程为ME(MJ/d)=0.458W<sup>0.75</sup>+(8.732+0.091W)ΔW。3)行走运动能量需要量。采用闭路式呼吸面具法于6月份青海省海拔3 300 m草场对生长牦牛测定了不同运动速度能量代谢,结果发现2岁生长牦牛静站以及行走速度分别为1.0和1.5 m/s时,所耗能量分别为0.345、1.924、2.347 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·m)。4)体表面积(S)与代谢体重的关系。牦牛S、FHP与代谢体重高度相关,考虑牦牛代谢体重采用W<sup>0.52</sup>较为适宜,S=0.181 4W<sup>0.52</sup>,如选用代谢体重为W<sup>0.75</sup>时,可用相应公式换算。

### 1.1.3 母牦牛能量需要量

Ding等<sup>[9]</sup>采用心率法测得的放牧在海拔2 900~3 600 m典型高寒草甸草场的4~8岁非泌乳母牦牛的维持代谢能需要量为545 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d),代谢能用于增重的利用效率为0.627,能量沉积(ER)=-342<sub>(35)</sub>+0.627<sub>(0.051)</sub>MEI(n=21,R<sup>2</sup>=0.88)。王通<sup>[10]</sup>采用呼吸面具法测定的妊娠牦牛180和210 d的维持代谢能需要量(n=9)分别为438.81和541.64 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d),ER=1.722 3<sub>(0.550)</sub>MEI-755.76<sub>(184.194)</sub>(R<sup>2</sup>=0.58)和ER=0.987 5<sub>(0.245)</sub>MEI-534.87<sub>(87.348)</sub>(R<sup>2</sup>=0.87),同时测定的泌乳牦牛65和120 d维持代谢能需要量(n=9)分别为512.88和491.64 kJ/(kg W<sup>0.75</sup>·d),ER=0.909 1<sub>(0.170)</sub>MEI-466.26<sub>(120.40)</sub>(R<sup>2</sup>=0.78)和ER=1.462 8<sub>(0.214)</sub>MEI-719.17<sub>(146.07)</sub>(R<sup>2</sup>=0.87)。

## 1.2 牦牛蛋白质需要量研究进展

牦牛蛋白质需要量研究最早也是针对生长期牦牛开展的系列研究<sup>[3]</sup>,生长期牦牛可消化粗蛋白质(DCP)需要量回归方程为 $DCP=6.093W^{0.52}+(1.1548/\Delta W+0.0509/W^{0.52})^{-1}$ <sup>[3,11]</sup>;在低蛋白质饲料中添加尿素,瘤胃微生物蛋白产量由90.6 g/d提高到125.27 g/d,尿素利用率可达81.18%<sup>[12]</sup>;牦牛对蛋白质的吸收以肽形式为主<sup>[13]</sup>,当饲料中非纤维性碳水化合物(NFC)/中性洗涤纤维(NDF)=0.38、NFC/DCP=1.36时,牦牛对氮的利用效率最高<sup>[14]</sup>。在瘤胃微生物氮产量估测上,王虎成<sup>[15]</sup>采用尿嘌呤法建立了牦牛瘤胃微生物氮产量(g/d)估测方程: $Y=(X\times 70)/(0.83\times 0.15\times 1\ 000)=0.56X$ (X为小肠吸收嘌呤量,Y为氮产量)。而关于牦牛氮营养适应性机制研究,周建伟<sup>[16]</sup>采用比较营养学方法揭示了牦牛比黄牛具有更高效的饲料氮利用机制,来应对高原冷季牧草氮素营养不足的威胁。韩小东<sup>[8]</sup>分析了幼龄牦牛(4、8、12、16月龄)氮排泄(TN)、氮沉积(NR)与总氮采食量(NI)、活体重(LW)之间的回归关系(n=64),建立了如下回归方程:TN(g/d)=0.487<sub>(0.016)</sub>NI(g/d)(R<sup>2</sup>=0.954)、NR(g/d)=0.532<sub>(0.018)</sub>NI(g/d)(R<sup>2</sup>=0.947)、TN(g/d)=0.216<sub>(0.008)</sub>LW(kg)(R<sup>2</sup>=0.95)。潘浩<sup>[17]</sup>通过对妊娠期150、180、220 d和泌乳期65、120 d母牦牛净氮需要量进行研究(n=9),得到5个阶段净氮需要量预测方程,分别为NR=0.884<sub>(0.112)</sub>NI-0.454 1<sub>(0.084)</sub>(R<sup>2</sup>=0.899)、NR=0.921<sub>(0.147)</sub>NI-0.506 2<sub>(0.136)</sub>(R<sup>2</sup>=0.848)、NR=0.946<sub>(0.100)</sub>NI-0.536<sub>(0.077)</sub>(R<sup>2</sup>=0.917)、NR=0.395 7<sub>(0.031)</sub>NI-0.389 7<sub>(0.041)</sub>(R<sup>2</sup>=0.960)和NR=0.410 2<sub>(0.064)</sub>NI-0.328 4<sub>(0.078)</sub>(R<sup>2</sup>=0.856)。

## 1.3 牦牛矿物质需要量研究进展

众多研究人员关于牦牛矿物质的研究一般都是在研究高原放牧生产系统土-草-畜矿物质关系时有所涉及,仅是阐明牦牛在某种饲养状态下某些矿物质缺乏<sup>[18-21]</sup>,通过补饲后,牦牛生产性能得到很好地提升<sup>[20,22-23]</sup>。20世纪80年代末,有学者描述了高寒草地放牧家畜的舔土现象,指出高原放牧家畜矿物质缺乏是普遍问题<sup>[24]</sup>。在国际上所有饲养系统中,矿物质需要量参数的确定和适度

补充是实现家畜生产性能和健康水平的有效途径,不足和过量都将造成不良结果<sup>[25]</sup>。2013—2016年,李亚茹<sup>[26]</sup>、薛艳锋<sup>[27]</sup>和李万栋<sup>[28]</sup>开展了生长期牦牛主要矿物质需要量研究系列工作,确定了在牦牛饲料中一些矿物元素的适宜添加量及添加形式。牦牛钙、磷营养需要上,李亚茹<sup>[26]</sup>建立了2岁牦牛钙排泄量与钙食入量以及磷排泄量与磷食入量的关系( $n=30$ ),即  $Y=0.2938X+119.49$  ( $R^2=0.9312$ ) 和  $Y=0.247X+6.6022$  ( $R^2=0.9385$ ),  $Y$  为每千克体重钙或磷排泄量 [ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ],  $X$  为每千克体重钙或磷食入量 [ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ]。薛艳锋<sup>[27]</sup>和李万栋<sup>[28]</sup>除了确定主要矿物元素铜、锰、碘、铁、锌、硒在饲料中的适宜添加量外,还确定了适宜添加形式为蛋氨酸铜、蛋氨酸锰、碘酸钙、羟基蛋氨酸铁、羟基蛋氨酸锌、

酵母硒。周义秀等<sup>[21,23]</sup>系统研究了高寒草甸草场12个月天然牧草和放牧母牦牛乳中矿物元素含量并分析了二者的关系,在此基础上进行冷季放牧母牦牛补饲并对冷季牦牛产奶量及乳中矿物元素与补饲量进行了回归分析,获得了产奶量和乳中矿物元素含量与补饲量之间的系列回归方程,为冷季放牧母牦牛合理补饲矿物质提供了依据。笔者在所在团队已有牦牛矿物质营养研究成果<sup>[21,23,27-28]</sup>的基础上,并结合国际上的研究成果<sup>[29-33]</sup>,总结了牦牛矿物质需要量及耐受浓度参考值(表1),可为当前牦牛高效饲养提供参考。牦牛矿物质营养领域尚有大量空白亟需补充完善,随着研究数据地不断积累,将逐渐更新和修订以下参考值。

表1 牦牛矿物质需要量及耐受浓度参考值

Table 1 Reference values of yak mineral requirement and tolerance concentration

项目 Items	需要量 Requirement				最大耐受浓度 Maximum tolerable concentration
	生长期牦牛 Growing yak	生长肥育牛 Growing and finishing cattle	母牛 Cows		
			妊娠阶段 Gestating	哺乳前期 Early lactation	
钠 Na/%	0.06~0.08	0.06~0.08	0.06~0.08	0.10	—
钾 K/%	0.6	0.6	0.6	0.7	2
镁 Mg/%	0.10	0.10	0.12	0.20	0.4
铁 Fe/(mg/kg)	20~40 (30)	50	50	50	500
钴 Co/(mg/kg)	0.10	0.15	0.15	0.15	25
铜 Cu/(mg/kg)	10~20 (15)	10	10	10	40
锰 Mn/(mg/kg)	40~60 (50)	20	40	40	1 000
锌 Zn/(mg/kg)	20~40 (30)	30	30	30	500
钼 Mo/(mg/kg)	—	—	—	—	5
硒 Se/(mg/kg)	0.2~0.4 (0.3)	0.1	0.1	0.1	5

括号中数据为最佳量。Data in brackets were the optimal amounts.

#### 1.4 牦牛脂肪需要量研究进展

在反刍动物饲料中添加脂肪一般是用来提高饲料能量浓度,但近年来人们更加关注通过在饲料中添加脂肪来改变动物生理过程、降低甲烷排放和改善畜产品品质<sup>[25]</sup>。由于青海省是我国优质双低油菜的主产区之一,又是我国牦牛饲养量最多的省份,因此双低油菜籽及菜籽油成为牦牛脂肪营养的主要研究对象,近年来开展了系列研究。郝力壮等<sup>[34]</sup>采用体外产气法对青海主要油菜种植区的双低菜籽饼进行了营养评价。另外,林莉

等<sup>[35]</sup>和孙璐<sup>[36]</sup>针对双低油菜籽的饲用价值进行了评价,采用体外产气技术结合瘤胃发酵参数确定牦牛饲料中双低油菜籽添加量不应超过15%~18%(折合成油脂添加量为7%~8%)。拜彬强等<sup>[37]</sup>、Hao等<sup>[38-39]</sup>采用体外产气技术评价了双低油菜籽与牧草的组合效应,结果表明添加15%的双低油菜籽在不影响瘤胃发酵前提下可使甲烷排放量降低34.61%。另外,周小玲等<sup>[40-41]</sup>对泌乳牦牛补饲双低油菜籽200 g/d,结果发现可以显著提高泌乳性能,但对乳中共轭亚油酸(CLA)含量无



显著影响,这可能与摄入的脂肪量少有关。鉴于此,李万栋等<sup>[42]</sup>开展了灌注水平分别为0、3%、6%菜籽油的瘤胃灌注试验,结果表明灌注3%菜籽油有提高瘤胃液pH、改善瘤胃发酵模式、提高瘤胃微生物蛋白合成能力和机体免疫能力的趋势。根据以上体外和半体内试验结果,孙红梅<sup>[43]</sup>通过体外产气技术进一步筛选了精饲料添加0、10.00%和21.75%熟化油菜籽的育肥牦牛饲粮最佳精粗比,结果显示精粗比为7:3时瘤胃发酵效果最好。在此基础上,研究人员进行了饲养试验、消化代谢试验和六氟化硫示踪技术甲烷排放测定,结果显示10.00%添加组(饲粮粗脂肪含量为6.38%)在有效改善牦牛肉嫩度、提高不饱和脂肪酸含量的同时<sup>[44]</sup>,显著降低了甲烷排放量<sup>[43]</sup>,对瘤胃、十二指肠、空肠和盲肠食糜中4种消化酶的活性有正效应<sup>[45-46]</sup>。Zhang等<sup>[47]</sup>通过PCR技术进一步证实了油菜籽中脂肪上调了背最长肌中脂肪酸结合蛋白(*FABP*)基因的表达量。Hao等<sup>[48]</sup>研究发现,在舍饲育肥条件下,在精粗比为65:35的饲粮中添加5.07%的熟化油菜籽(饲粮粗脂肪含量为6.68%)可改善肉的嫩度、增加不饱和脂肪酸含量、降低致动脉粥样硬化指数(AI)和n-6/n-3比值,较好地改善了牦牛肉品质。在高寒草地暖季放牧条件下,对2岁多的公牦牛补饲添加12%熟化油菜籽的颗粒饲料(粗脂肪含量为8.76%),结果显示改善了肉的嫩度,提高了n-3不饱和脂肪酸含量,降低了胆固醇含量、n-6/n-3比值和致动脉粥样硬化指数,同时还降低了甲烷排放量及甲烷能与采食总能比值,提高了能量利用效率,经采食量和牧草粗脂肪含量测定计算可知,该试验饲粮粗脂肪含量在4.91%~5.13%<sup>[20]</sup>。张群英等<sup>[49-50]</sup>研究了不同物理形式双低油菜籽对牦牛瘤胃发酵及甲烷排放的影响,发现将物理破碎形式油菜籽添加至饲粮中使饲粮粗脂肪含量为5.45%时,既有效降低甲烷产量又能改善饲粮营养成分表观消化率;而将纯菜籽油添加至饲粮中使饲粮粗脂肪含量达到6.27%时,对牦牛日增重及饲粮营养成分表观消化率不利,实际生产效果不佳。通过对以上系列研究总结可知,熟化油菜籽具有较好的包被脂肪作用,通过将其添加到牦牛饲粮中,使之粗脂肪含量达到4.91%~6.68%时,可实现降低甲烷排放和改善牦牛肉品质的作用,但如不包被,则不宜超过6%,这与NRC肉牛饲粮脂肪限量一致<sup>[25]</sup>。

## 1.5 牦牛采食量研究进展

关于牦牛采食量的研究已有半个多世纪,最早是任继周等<sup>[51]</sup>采用直接观察法和牧前牧后差额法测定并计算产奶母牦牛和由不产奶的母牦牛、犊牦牛、公牦牛和阉牦牛组成的混合牛群采食量。之后,一些学者采用观察计数法先后测定了川西北牦牛和犏牛<sup>[52]</sup>、青海大通牛场带犊母牛、阉牛和犏牛<sup>[53-54]</sup>以及青海铁卜恰草原站混合牦牛群<sup>[24]</sup>的采食量。另外,有学者采用牧前牧后差额法研究了在莎草+禾本科草地上放牧牦牛的采食量<sup>[55]</sup>以及不同放牧强度对牦牛采食量和牧草消化率的影响<sup>[56]</sup>。牦牛最早的一些采食量数据是由上述这些方法测定的,但无论是观察法还是牧前牧后差额法,仅是粗略的测定牦牛采食量,误差较大<sup>[24]</sup>。1977年,国外学者Richmond等<sup>[57]</sup>比较了舍饲条件下1岁北美野牛、牦牛和肉牛对3种干草的采食量和消化率,表明饲粮中性洗涤纤维含量影响3个牛种的采食量,且牦牛单位体重采食量最低。肖志清<sup>[58]</sup>则采用刈割饲喂法测定了幼龄牦牛和黑犏牛对天然牧草的采食量,而韩兴泰等<sup>[59]</sup>测定了舍饲条件下2~3岁不同精粗比和粗饲料条件下阉牦牛的采食量,结果证实牦牛单位体重采食量比其他牛种低。舍饲饲喂法是家畜最为精确的采食量测定方法,由于放牧家畜采食受到的影响因素较多,因此可通过舍饲测定的数据来矫正放牧采食量预测模型<sup>[60]</sup>。除了直接测定牦牛采食量的方法外,间接测定法也被广泛地应用在牦牛采食量测定上。蒋志刚等<sup>[61-62]</sup>首次在牦牛群能量流研究中采用了4 mol/L盐酸不溶灰分法(4N-AIA法),随后为了更好地测定牦牛采食量,陈友慷<sup>[63]</sup>比较和讨论了国内外各种放牧家畜采食量测定方法,指出指示剂法是应用前景较好的方法。随后该学者采用内源指示剂法[酸性洗涤灰分(ADA)、酸性洗涤木质素(ADL)和二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )]测定了成年母牦牛冷季采食量<sup>[64]</sup>,并讨论了外源性粗灰分对牦牛冷季采食量和消化率的影响<sup>[65]</sup>,在此基础上改进了采用指示剂法测定采食量的计算公式,提高了计算的准确性<sup>[66]</sup>。王树林等<sup>[67]</sup>对舍饲饲喂法、称重法和4N-AIA法进行比较,推荐放牧条件下测定牦牛采食量采用4N-AIA法,并结合舍饲饲喂法对其结果进行校正,可获得较为准确的采食量。刘书杰等<sup>[68]</sup>采用称重法、校正称重法、4N-AIA法、木质素法测定并比较了生长期放牧牦

牛采食量,进一步推荐暖季采用 4N-AIA 法、冷季采用木质素法测定牦牛采食量。薛白等<sup>[69-70]</sup>、崔占鸿<sup>[71]</sup>和杨乔青<sup>[72]</sup>采用 4N-AIA 法分别测定了甘肃祁连山北麓肃南县 1~7 岁放牧牦牛、三江源区 2.5 岁生长期放牧牦牛和环湖地区高山草场 1.6 岁放牧牦牛的采食量,为这些地区放牧牦牛的精准补饲提供了基础参数。另外,随着链烷烃这一新的采食量测定方法的出现<sup>[73]</sup>,且该方法测定的准确性得到不断的完善<sup>[74]</sup>,便有学者将其应用到牦牛采食量和择食性测定上<sup>[71,75]</sup>。但如果草地牧草种类过多,则影响结果的准确性<sup>[71,75-76]</sup>。另外,近年来有学者尝试采用粪氮指数法来预测川西北成年母牦牛采食量,结果高估了采食量<sup>[77]</sup>。目前,放牧牦牛采食量测定采用该方法尚缺少一个试验条件相似条件下建立的回归方程,因此大大限制了该方法的应用。综上所述,放牧牦牛采食量已多有研究,直接法和间接法均得到了应用,从已开展的试验来看,采用内源指示剂法,尤其 4N-AIA 法是当前测定草地质量较好且处于青绿期的放牧牦牛采食量的较佳选择。通过整理以上学者测定的牦牛采食量结果可知,采食量范围为体重的 2%~6%,且饲料质量越好,采食量越多,但采食量主要集中在体重的 2%~4%。另外,有学者通过测定牦牛舍饲条件下 16 头生长期牦牛的采食量,建立了舍饲牦牛采食量( $Y$ )和体重( $X$ )之间的模型: $Y=0.016\ 5X+0.048\ 6(r=0.959)$ <sup>[3]</sup>。郝力壮等<sup>[6]</sup>则通过化学分析法、4N-AIA 法、体外产气法和两阶段法测定指标系统拟合了暖季放牧牦牛采食量系列模型,为放牧牦牛采食量预测提供了依据。

## 2 牦牛饲草料营养价值数据库

在牦牛饲草料营养价值评价方面,自 1997 年至今,笔者所在团队陆续评价了青藏高原天然牧草、人工牧草、多种精饲料原料和高原农作物秸秆的营养价值,系统搜集了青藏高原西藏和青海两省区关于饲草料化学成分数据,同时于 2016—2018 年通过概略养分分析、体外产气法、两阶段酶法和消化代谢试验,建立了系列牦牛常用饲草料有效能值和有效蛋白质的估测模型<sup>[6,78-80]</sup>,这为充分利用以往积累的高原上各种饲草料常规营养数据奠定了基础。在这些工作的基础上,第 1 版《青藏高原牦牛饲草料成分与营养价值表》得以正式出版<sup>[5]</sup>。该书收录基本涵盖了当前青藏高原反刍

家畜饲草料营养价值约 2 万多个数据,饲草料种类均是来自于青藏高原区域,包括精饲料原料(蛋白质和能量饲料原料)、农作物加工副产品、人工牧草和高寒天然牧草种类。与此同时,数据库的信息化也在建设并不断完善,柴沙驼等开发完成了“典型地区天然草地牧草营养价值数据库平台系统”(软件著作权登记号:2018SR489149,开发完成日期:2017 年 09 月 01 日,首次发表日期:2017 年 09 月 01 日)。在此基础上,基于 30 余年积累的青藏高原饲草料数据,作为《青藏高原牦牛饲草料成分与营养价值表》<sup>[5]</sup>一书的配套,郝力壮等进一步完善和开发了“青藏高原饲草料营养价值数据库系统”(软件著作权登记号:2020SR0528252,开发完成日期:2019 年 12 月 10 日,首次发表日期:2020 年 03 月 16 日)和“青藏高原草畜营养平衡管理系统”(软件著作权登记号:2020SR0528425,开发完成日期:2019 年 10 月 25 日,首次发表日期:2020 年 03 月 30 日),不断将该数据库趋向于实际应用。

## 3 小结与展望

数十载沧海一粟,牦牛营养和饲料领域几代人薪火相传,在营养需要和饲草料营养价值评价领域披荆斩棘、持续推进。尽管相比奶牛和肉牛,牦牛这一领域研究空白仍有很多,有些参数尚是初步结果,但已在青藏高原牦牛产业中显示出有力的支撑和推动作用,为农牧民福祉做出了贡献。青海省高原放牧家畜营养与饲料科学研究团队在连续 30 多年牦牛营养和饲料研究的基础上,已在制订相关饲养标准,努力推进牦牛营养与饲草料的基础和应用基础研究,以期对牦牛饲养提供有力的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] WIENER G, HAN J L, LONG R J. The yak [M]. 2nd ed. Bangkok: RAP Publication, 2003: 1-18.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [3] 胡令浩. 牦牛营养研究论文集 [M]. 西宁: 青海人民出版社, 1997.
- [4] WU K, WU C. Documentation and mining of yak culture to promote a sustainable yak husbandry [M] // ZHONG J, ZI X, HAN J, et al. Fourth international congress on yak. Ithaca, New York: International Vet-

- erinary Information Service, 2004.
- [ 5 ] 郝力壮,刘书杰,参木友.青藏高原牦牛饲草料成分与营养价值表[M].西宁:青海人民出版社,2019.
- [ 6 ] 郝力壮,刘书杰.青藏高原高寒草地暖季放牧牦牛生态生产范式[M].西宁:青海人民出版社,2020.
- [ 7 ] 赵新全,皮南林,冯金虎.生长发育牦牛(1岁母牛)绝食代谢测定[J].高原生物集刊,1990(9):155-160
- [ 8 ] 韩小东.犏牦牛维持能量需要量研究[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2019.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 王通.牦牛妊娠期和泌乳期能量营养需要量及其代谢规律的研究[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2019.
- [ 11 ] 薛白,柴沙驼,刘书杰,等.生长期牦牛蛋白质需要量的研究[J].青海畜牧兽医杂志,1994(4):1-4.
- [ 12 ] 柴沙驼,刘书杰,谢敬云,等.生长期牦牛对饲料中氮利用率的研究[J].草食家畜,1996(4):36-39.
- [ 13 ] 韩兴泰.牦牛与黑白花牛胃肠道内肽的吸收量及其对日粮蛋白质降解率的反应[D].博士学位论文.西宁:中国科学院西北高原生物研究所,1998.
- [ 14 ] 张莹.牦牛适应高寒营养胁迫的尿素氮代谢机制[D].硕士学位论文.兰州:兰州大学,2010.
- [ 15 ] 王虎成.尿嘌呤衍生物排出量估测青藏高原牦牛瘤胃微生物蛋白产量研究[D].博士学位论文.兰州:兰州大学,2009.
- [ 16 ] 周建伟.青藏高原牦牛与土种黄牛氮代谢机制对比研究[D].博士学位论文.兰州:兰州大学,2017.
- [ 17 ] 潘浩.牦牛妊娠期和泌乳期蛋白质营养需要量及消化代谢的研究[D].硕士研究生.西宁:青海大学,2020.
- [ 18 ] 韩小东,郝力壮,刘书杰.高寒草地天然牧草 Ca、P 含量及其分布规律[J].饲料工业,2017,38(21):62-64.
- [ 19 ] 辛国省.青藏高原东北缘土草畜系统矿物质元素动态研究[D].博士学位论文.兰州:兰州大学,2010.
- [ 20 ] 郝力壮.牦牛暖季补饲对改善肉品质的作用及机理研究[D].博士学位论文.兰州:兰州大学,2019.
- [ 21 ] 周义秀,郝力壮,刘书杰.三江源区高寒草场不同物候期牧草对放牧牦牛产奶量及乳中矿物质元素含量的影响[J].动物营养学报,2020,32(8):3742-3749.
- [ 22 ] 晁文菊.补饲对围产期牦牛生产性能及其犏牦牛生长发育的影响[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2009.
- [ 23 ] 周义秀,郝力壮,刘书杰.三江源区高寒草场泌乳牦牛冷季补饲精料对其产奶量及乳中矿物质元素含量的影响[J].动物营养学报,2020,32(9):4194-4204.
- [ 24 ] 《中国牦牛学》编写委员会.中国牦牛学[M].成都:四川科学技术出版社,1989.
- [ 25 ] 美国国家科学院-工程院-医学科学院.肉牛营养需要[M].孟庆翔,周振明,吴浩,译.北京:科学出版社,2018.
- [ 26 ] 李亚茹.生长期牦牛钙磷需要量的研究[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2016.
- [ 27 ] 薛艳锋.铜、锰、碘对牦牛瘤胃发酵、血液指标及生长性能的影响[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2016.
- [ 28 ] 李万栋.铁、锌、硒对牦牛瘤胃发酵、生长性能及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2016.
- [ 29 ] NRC. Mineral tolerance of domestic animals [S]. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, 1980.
- [ 30 ] NRC. Nutrient requirements of beef cattle [S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1996.
- [ 31 ] NRC. Nutrient requirements of beef cattle [S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 2000.
- [ 32 ] NRC. Mineral tolerance of domestic animals [S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 2005.
- [ 33 ] NRC. Nutrient requirements of beef cattle [S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 2016.
- [ 34 ] 郝力壮,柴沙驼,崔占鸿,等.应用体外产气法评定青海省菜籽饼营养价值研究[J].中国畜牧兽医,2008,35(11):20-23.
- [ 35 ] 林莉,郝力壮,张晓卫,等.日粮中添加油菜籽对牦牛瘤胃发酵的影响研究[J].黑龙江畜牧兽医,2010(9):7-9.
- [ 36 ] 孙璐.添加双低油菜籽对生长牦牛瘤胃发酵的影响[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2012.
- [ 37 ] 拜彬强,郝力壮,刘书杰,等.不同物候期天然牧草与油菜籽组合发酵特性研究[J].家畜生态学报,2016,37(2):45-52.
- [ 38 ] HAO L Z, LIU S J, FENG Y Z, et al. *In vitro* screening of additives for reducing methane emissions from yak (*Bos grunniens*) [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Yak. Lanzhou: Poster Presentation, 2014.
- [ 39 ] HAO L Z, SUN H M, LIU S J, et al. Supplementation with baked rapeseed causes reduction of methane e-



- missions from feedlot growing yak (*Bos grunniens*) [C]//Proceedings of Future Management of Grazing and Wild Lands in a High-Tech World: Proceedings 10th International Rangeland Congress. [S. l.]: [s. n.], 2016:350-351.
- [40] 周小玲. 饲喂油菜籽对放牧牦牛乳生产性能和乳共轭亚油酸的影响初探[D]. 硕士学位论文. 西宁: 青海大学, 2008.
- [41] 周小玲, 郝力壮, 洪金锁, 等. 饲喂油菜籽对放牧牦牛乳生产性能和乳脂肪酸的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(1): 53-58.
- [42] 李万栋, 郝力壮, 刘书杰, 等. 灌注不同水平双低菜籽油对牦牛瘤胃发酵及血液生化指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(17): 59-63.
- [43] 孙红梅. 牦牛低碳型日粮补饲效果评价[D]. 硕士学位论文. 西宁: 青海大学, 2015.
- [44] 拜彬强. 不同能量水平日粮对生长期舍饲牦牛生产性能、营养物质表观消化率及瘤胃发酵情况的影响[D]. 硕士学位论文. 西宁: 青海大学, 2015.
- [45] 刘慧丽, 郝力壮, 刘书杰, 等. 饲粮中油菜籽不同添加量对牦牛瘤胃和十二指肠食糜消化酶活性的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(4): 152-154, 157.
- [46] 范小红, 郝力壮, 刘书杰, 等. 双低油菜籽不同添加水平对牦牛空肠和盲肠食糜消化酶活性的影响[J]. 中国饲料, 2017(18): 15-18, 23.
- [47] ZHANG Q Y, XUE Y F, LIU S J, et al. Regulation to yak meat's tenderness by adding different level's rapeseed [C]//Proceeding of the 6th International Yak Conference & The First Qinghai Yak Conference. *Xining*: [s. n.], 2018:391-398.
- [48] HAO L Z, XIANG Y, DEGEN A, et al. Adding heat-treated rapeseed to the diet of yak improves growth performance and tenderness and nutritional quality of the meat [J]. *Animal Science Journal*, 2019, 90(9): 1177-1184.
- [49] 张群英. 不同物理形式双低油菜籽对牦牛瘤胃发酵及甲烷排放的影响[D]. 硕士学位论文. 西宁: 青海大学, 2020.
- [50] 张群英, 郝力壮, 牛建章, 等. 不同双低菜籽油水平饲粮对牦牛体外瘤胃发酵特征及甲烷产量的影响[J/OL]. 动物营养学报 [2020-08-04]. <https://www.cnki.net/KCMS/detail/11.5461.S.20200722.1511.020.html>.
- [51] 任继周, 金巨和. 牦牛群放牧习性的观察研究[J]. 中国畜牧兽医杂志, 1956(2): 58-62.
- [52] 周寿荣. 牦牛的食性和饲草[J]. 中国牦牛, 1981(4): 1-4.
- [53] 张容昶, 邓仕章, 包天良, 等. 对牦牛及其种间杂种阉牛夏季放牧习性的观测[J]. 甘肃农大学学报, 1983(3): 38-42.
- [54] 雷焕章, 何其健, 毕海东, 等. 牦牛及其杂种牛冷、暖交错季节放牧生态反应的研究[J]. 中国牦牛, 1985(2): 13-16, 23.
- [55] 严学兵, 汪玺, 郭玉霞, 等. 高寒牧区垂穗披碱草草地生物量及营养价值动态的研究[J]. 草业科学, 2003, 20(11): 14-18.
- [56] 董全民, 赵新全. 放牧强度和放牧时间对牦牛干物质采食量及其表观消化率的影响[J]. 中国草食动物, 2007, 27(5): 12-14.
- [57] RICHMOND R J, HUDSON R J, CHRISTOPHERSON R J. Comparison of forage intake and digestibility by American bison, yak and cattle [J]. *Acta Theriologica*, 1977, 22(14): 225-230.
- [58] 肖志清. 利用天然牧草营养肥幼龄牦牛黑犏牛浅析[J]. 四川草原, 1985(1): 89-93.
- [59] 韩兴泰, 谢敖云, 胡令浩. 生长牦牛采食量的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1990(6): 5-6, 39.
- [60] VAN ES A J H. Which information on feeds is most needed in practical livestock feeding? [M]//ROBARDS G E, PACKHAM R G. Feed information and animal production. Farnham Royal, Slough, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux and International Network of Feed Information Centres, 1983: 115-118.
- [61] 蒋志刚, 皮南林. 高寒草甸生态系统中牦牛种群能量流动态的初步研究[J]. 西南民族学院学报, 1985(3): 1-7.
- [62] 蒋志刚, 夏武平. 牦牛种群的能量流动态及其在系统能量流中的地位 and 作用[J]. 生态学报, 1987, 7(3): 266-275.
- [63] 陈友慷. 放牧家畜采食量和消化率的测定方法[J]. 中国牦牛, 1994(2): 42-49.
- [64] 陈友慷, 袁有清, 汤茂林, 等. 成年母牦牛冷季采食量和消化率测定[J]. 中国牦牛, 1994(2): 29-32, 68.
- [65] 陈友慷, 黄怀昭, 曹毅, 等. 外源性粗灰分对牦牛冷季采食量和消化率测定值的影响[J]. 中国牦牛, 1994(2): 26-28, 36.
- [66] 陈友慷. 放牧家畜采食量和消化率计算公式存在的问题与改进[J]. 中国牦牛, 1994(2): 50-54.
- [67] 王树林, 祝成年. 两种间接测定生长牦牛采食量方法比较[J]. 青海畜牧兽医学院学报, 1995, 12(2): 38-40.
- [68] 刘书杰, 王万邦, 薛白, 等. 不同物候期放牧牦牛采食量的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1997, 27(2):

- 4-8.
- [69] 薛白,赵新全,张耀生.青藏高原天然草场放牧家畜的采食量动态研究[J].家畜生态,2004,25(4):21-25.
- [70] 薛白.青藏高原东北区牦牛、绵羊生产系统的可持续发展能力研究[D].博士学位论文.中国科学院研究生院,2006.
- [71] 崔占鸿.链烷技术测定放牧牦牛采食量和择食性的研究[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2007.
- [72] 杨乔青.缺草季节放牧牦牛采食量的测定[J].养殖与饲料,2009(10):68-69.
- [73] MAYES R W, LAMB C S. The possible use of *n*-alkanes in herbage as indigestible faecal markers[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 1984, 43:39.
- [74] DOVE H, MAYES R W. Protocol for the analysis of *n*-alkanes and other plant-wax compounds and for their use as markers for quantifying the nutrient supply of large mammalian herbivores[J]. Nature Protocols, 2006, 1(4):1680-1697.
- [75] DING L M, LONG R J. The use of herbage *n*-alkanes as markers to estimate the diet composition of yaks on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2010, 23(1):61-67.
- [76] 孙泽威,邓波,娄玉杰,等.饱和链烷烃技术测定放牧动物营养状况的几个关键问题[J].草地学报,2012,20(3):389-392.
- [77] 吴伟生,郑群英,刘刚,等.应用粪氮指数法检测青藏高原草甸区成年母牦牛青草期放牧采食量[J].家畜生态学报,2015,36(7):33-38.
- [78] 刘慧丽.牦牛饲草料有效能值预测与评价[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2012.
- [79] 范小红.牦牛饲草料蛋白质利用率评价[D].硕士学位论文.西宁:青海大学,2017.
- [80] 韩小东,刘慧丽,郝力壮,等.高寒草甸牧草常规营养成分与总能预测模型的建立[J].西北农业学报,2018,27(10):1416-1422.

## Research Progress on Nutrient Requirements of Yak and Nutritional Value Evaluation of Forage/Feed

HAO Lizhuang LIU Shujie\* HU Linghao CHAI Shatuo

(Qinghai Engineering Technology Research Center on Yak, State Key Laboratory of Plateau Ecology and Agriculture, Key Laboratory of Plateau Grazing Animal Nutrition and Feed Science of Qinghai Province, Qinghai Academy of Science and Veterinary Medicine of Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** The article reviewed the research progress of yak's nutrient requirements and forage/feed nutritional value evaluation, mainly from analysis and summary in yak's on energy, protein, mineral and fat requirements, feed intake, and forage/feed nutritional value evaluation, hope to provide a reference for further understand the research progress in this field. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(10):4725-4732]

**Key words:** yak; nutrition; requirement; forage/feed evaluation