

饲粮氮水平对牦牛瘤胃发酵及营养物质 消化代谢特征的影响

张莹^{1,2} 郭旭生^{1,3} 龙瑞军^{1,2,3*} 周建伟^{1,2} 朱玉环^{1,2} 米见对^{1,2}

(1. 兰州大学青藏高原草地生态管理国际中心, 兰州 730000; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 草地与牦牛研究所, 兰州 730020; 3. 兰州大学生命科学学院, 干旱与草地生态教育部重点试验室, 兰州 730000)

摘要: 本试验旨在探讨饲粮不同氮水平对牦牛瘤胃发酵及营养物质消化代谢特征的影响。试验选择 4 头体重相近[(148.5 ± 9.2) kg] 的 3 岁去势天祝白牦牛, 采用 4 × 4 拉丁方设计, 试验共分 4 期, 每期 21 d, 4 个饲粮氮水平[干物质(DM)基础]分别为低氮[粗蛋白质(CP) 8.98%]、中低氮(CP 12.36%)、中高氮(CP 15.32%)和高氮(CP 18.12%)。结果显示, 不同氮水平下, 瘤胃内 pH 变化趋势均为“V”字型, 晨饲(08:00)后 4 h, 中低氮饲粮组牦牛瘤胃内 pH 最低。随饲粮氮水平的升高, 瘤胃液乙酸、丙酸、异丁酸、异戊酸和戊酸的含量均升高($P < 0.05$), 但丁酸含量及乙酸/丙酸的比值无显著变化($P > 0.05$)。饲粮氮水平对牦牛饲粮 DM、有机质(organic matter, OM)、非纤维性碳水化合物(non-fibrous carbohydrate, NFC)、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)等的消化率均无显著影响($P > 0.05$)。饲粮氮水平升高导致尿氮排量显著增加($P < 0.05$), 而粪氮排量无显著变化($P > 0.05$)。饲粮氮水平为中低氮时, NFC/NDF 为 4 组最高(0.38), 牦牛体内氮沉积量与可消化粗蛋白质(digestible crude protein, DCP)比值最高(47.36), 尿氮排量与 DCP 的比值最低(52.88); 同时瘤胃微生物蛋白质(microbial crude protein, MCP)合成量最高(226.39 g/d)。结果表明, 舍饲牦牛采食中低氮饲粮且能氮比(NFC/DCP)为 1.36 时, 动物对氮的利用效率最高。

关键词: 牦牛; 氮代谢; 氮水平; 瘤胃发酵

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)06-0956-09

牦牛(*Bos grunniens*)是青藏高原的关键物种^[1]。经长期的自然选择, 牦牛对高寒、缺氧、低压、强紫外线等逆境条件具有极强的适应能力^[2-3]。牦牛一年四季均主要通过采食天然牧草获取营养物质, 但高原气候导致牧草生长期仅有 120 多天, 其余时间牦牛只能通过啃食枯草获取有限的蛋白质和能量物质, 基本处于营养缺乏状态。即便如此, 牦牛除维持种群正常繁衍外, 还要生产奶、肉、毛、绒、皮等大量优质产品, 体现出了极高的营养生态适应特质和经济效益。在长期的营养

生态逆境选择压力下, 牦牛对低温和饥饿可能形成了一种有效的适应机制, 并通过生理和营养代谢加以调节^[4], 如在能量代谢方面, 牦牛代谢体重为 $BW^{0.52}$ ^[5-6], 表明牦牛为适应环境而形成了独特的能量代谢规律。同时, 近年来的研究表明, 牦牛比本地黄牛和其他低海拔反刍家畜能够更有效地利用饲粮中的氮^[7-11]。据此推断, 长期以来, 牦牛可能形成了一种比其他反刍动物能更有效地进行氮素循环利用的适应性机制, 以调节体内氮平衡和有效应对季节性营养匮乏。因此, 本试验拟

收稿日期: 2011-01-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30730069); 兰州大学“中央高校基本科研业务费专项资金”(lzujbky-2009-46)

作者简介: 张莹(1985—), 女, 河南洛阳人, 博士研究生, 研究方向为反刍动物营养。E-mail: zhangying85421@163.com

* 通讯作者: 龙瑞军, 教授, 博士生导师, E-mail: longrj@lzu.edu.cn

研究牦牛体内氮的消化及周转代谢,以期揭示在长期适应高寒营养胁迫条件下高原家畜的氮代谢适应机制,为科学饲养管理和改善牦牛生产性能提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点位于甘肃天祝藏族自治县安远镇乌鞘岭,北纬 37°12.479'、东经 102°51.695',海拔 3 154 m。

1.2 试验动物与饲粮

选取 4 头体重相近[(148.5 ± 9.2) kg]的 3 岁去势公牦牛为试验动物。试验开始前,置牦牛于代谢笼内 20 d 以适应环境与饲养条件。试验饲

粮为预制的 4 种不同氮水平的颗粒饲料。饲粮配制以代谢能和中性洗涤纤维(NDF)含量基本不变、蛋白质水平各异为原则。饲粮最低氮含量的计算以生长牦牛维持需要的可消化氮水平(6.61 BW^{0.52} g/d^[6])为准。饲粮配制时,首先获得低氮和高氮 2 种颗粒饲料,即粗蛋白质(CP)分别为 8.98% (低氮)和 18.12% (高氮)的饲粮[干物质(DM)基础];再将其分别按 2:1 和 1:2 的质量比混合,获得 CP 为 12.36% (中低氮)和 15.32% (中高氮)的饲粮。分别以 A、B、C、D 代表低氮饲粮、中低氮饲粮、中高氮饲粮、高氮饲粮。饲粮饲喂量维持在牦牛体重的 1.5% ~ 2.0%。通过预试验确定饲喂量为 2.5 kg DM/d (此时饲粮没有剩余)。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	A	B	C	D
原料 Ingredients				
玉米秸秆 Maize straw	60.0	60.0	60.0	60.0
玉米 Corn	20.0	13.4	6.6	
次粉 Wheat middling	5.0	5.3	5.7	6.0
棉籽粕 Cottonseed meal		6.7	13.3	20.0
大豆粕 Soybean meal		3.3	6.7	10.0
麸皮 Wheat bran	11.0	7.3	3.7	0.0
食盐 NaCl	1.0	1.0	1.0	1.0
石粉 CaCO ₃	1.0	1.0	1.0	1.0
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.0	1.0	1.0	1.0
预混料 Premix ¹⁾	1.0	1.0	1.0	1.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
粗蛋白质 CP	8.98	12.36	15.32	18.12
代谢能 ME/(MJ/kg)	22.0	22.1	22.2	22.1
有机质 OM	90.0	89.6	89.4	89.2
非纤维性碳水化合物 NFC	24.8	20.7	18.8	16.9
中性洗涤纤维 NDF	55.2	55.2	54.0	53.0
酸性洗涤纤维 ADF	30.7	28.7	29.0	29.5
粗脂肪 EE	1.0	1.1	1.2	1.2
灰分 Ash	10.0	10.4	10.6	10.8
总可消化养分 TDN/(kg/d)	1.46	1.46	1.47	1.46
非纤维性碳水化合物/可消化粗蛋白质 NFC/DCP	2.34	1.36	0.90	0.66
非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维 NFC/NDF	0.34	0.38	0.35	0.32

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 The premix provides the following per kg of diets: Cu 84 g, Zn 260 g, Fe 250 g, Mn 250 g, I 230 mg, Se 120 mg, VA 1 650 000 IU, VE 620 IU, VD₃ 286 000 IU, VB₁₂ 1.2 mg, VB₅ 360 mg, VK₃ 120 mg, 叶酸 folic acid 12 mg。

²⁾ 代谢能 = 82% × 消化能, 消化能 = 18.455 MJ/kg × 总可消化养分, 总可消化养分 = 摄入粗蛋白质 + 摄入中性洗涤纤维 + 摄入非纤维性碳水化合物 + (2.25 × 摄入粗脂肪)^[12], 其他营养水平为测定值。ME = 82% × DE, DE = 18.455 MJ/kg × TDN, TDN = CP intake + NDF intake + NFC intake + (2.25 × EE intake)^[12], and the other nutrient levels are measured values.

1.3 试验设计与饲养管理

本试验采用 4 × 4 拉丁方试验设计,分为 4 期,每期 21 d,包括 15 d 预试期和 6 d 正试期。动物

每日 08:00 和 18:00 各饲喂 1 次,每次饲喂量为 1.25 kg DM(2.5 kg DM/d),自由饮水。试验牦牛于每期开始和结束时连续 2 d 空腹称重。

表 2 试验设计

Table 2 Experimental design

项目 Items	1 号牛 No. 1 cow	2 号牛 No. 2 cow	3 号牛 No. 3 cow	4 号牛 No. 4 cow
第 1 期 Period I	A	B	C	D
第 2 期 Period II	B	A	D	C
第 3 期 Period III	C	D	B	A
第 4 期 Period IV	D	C	A	B

1.4 样品采集与分析

正试期连续 5 d 每天在晨饲前采用全收粪法采集粪样和尿样并定量。尿样通过集样袋装入塑料容器,并加入 50% 硫酸(V/V)至 pH < 3.0。待每期试验完毕后取每日尿样的 1% 和粪样的 3% 分别制成混合样,置于 -20 °C 贮存以供实验室分析。同时,另备 1 份每日尿样,稀释 10 倍(2 mL 尿样加 8 mL 蒸馏水)后于 -20 °C 保存,以供测定尿素氮(Urea-N)和嘌呤衍生物(PD)。在第 21 天晨饲前和饲喂后 2、4、6、8 h(即 08:00 前,10:00,12:00,14:00,16:00)分别用胃管抽取约 200 mL 的瘤胃液,即刻测定 pH 之后,取 2 管(每管 10 mL)瘤胃液放入液氮罐中保存,而后放入 -80 °C 冰箱保存,用于挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)的测定。饲料成分参照《饲料分析与检测》^[13]中方法测定;粪样、尿样中总氮采用经典凯氏定氮法^[14]测定;铵态氮和游离氨基氮依据 Broderick 等^[15]的方法进行分析;尿素氮的测定参考王继贵^[16]的方法;用 PD 法^[17]估测瘤胃微生物蛋白质的产量;采用高效液相色谱(HPLC)法^[18]测定尿样中嘌呤衍生物及肌酸酐;挥发性脂肪酸的测定参照 Erwin 等^[19]的方法进行。

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 软件进行初步处理统计及图表绘制,用 SPSS 17.0 统计软件的 Mixed Model 模块进行差异显著性($P < 0.05$)分析和多重比较。

2 结果

2.1 牦牛瘤胃发酵特征

2.1.1 瘤胃内 pH 的动态变化

由图 1 可知,在饲喂 4 种不同氮水平的饲料

后,牦牛瘤胃内 pH 变化均为“V”字型,即采食后 pH 逐渐下降,经 3~4 h 降至最低,随后逐渐回升。至 12:00 时采食中低氮和中高氮水平饲料的牦牛其瘤胃 pH 均低于饲喂低氮和高氮水平饲料的牦牛,且以饲喂中低氮水平饲料的牦牛的瘤胃内 pH 最低,但各组间差异不显著($P > 0.05$)。由此推断,采食中低氮水平饲料的牦牛,在瘤胃发酵过程中至 12:00 产生的挥发性脂肪酸可能最多。不同氮水平组在各时间点的瘤胃 pH 差异均不显著($P > 0.05$)。

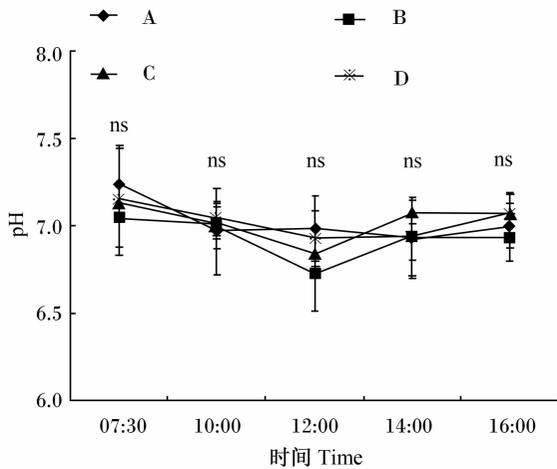
2.1.2 瘤胃液中 VFA 的变化

由表 3 可知,饲料氮水平对总挥发性脂肪酸(total volatile fatty acid, TVFA)有显著影响($P < 0.05$)。随氮水平的升高,乙酸、丙酸、异丁酸、异戊酸和戊酸的含量均升高($P < 0.05$),而丁酸含量基本保持不变($P > 0.05$)。乙酸/丙酸比值在各氮水平下差异不显著($P > 0.05$)。可见饲料代谢能和 NDF 相同时,氮水平对乙酸/丙酸比值没有影响($P > 0.05$)。

2.2 饲料消化代谢特征

2.2.1 饲料营养物质消化率

由表 4 可知,DM、有机质(OM)、非纤维性碳水化合物(NFC)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)消化率均不受饲料氮水平影响($P > 0.05$)。低氮组的 CP 消化率显著低于其他 3 组($P < 0.05$),中高氮组与高氮组的 CP 消化率差异不显著($P > 0.05$)。粗脂肪(EE)消化率以低氮组最低,与高氮组差异显著($P < 0.05$),与其余 2 组均无显著差异($P > 0.05$)。灰分消化率以低氮组最低,显著低于中高氮组和高氮组($P < 0.05$),而后 2 组间差异不显著($P > 0.05$)。



ns 表示同一时间点各组 pH 差异不显著 ($P > 0.05$)。

ns means no significant difference was observed among the four groups at the same time ($P > 0.05$).

07:30 为饲喂前采样时间,其他为饲喂后采样时间。

Samples were collected at 07:30 pre-feeding and at the other time post-feeding.

图1 饲喂前后瘤胃内 pH 动态变化

Fig.1 Dynamic changes of ruminal pH pre- and post-feeding

2.2.2 氮平衡

由表 5 可知,随着 4 种饲料能氮比 (NFC/DCP) 值依次降低、氮水平依次升高,尿氮排量显著增加 ($P < 0.05$),粪氮排量无显著差异 ($P > 0.05$)。可消化粗蛋白质 (DCP) 随饲料氮水平升高而升高 ($P < 0.05$),中低氮水平时,NFC/NDF 为 4 组最高 (0.38),尿氮排量与 DCP 的比值最低 (52.88),氮的沉积量与 DCP 的比值最高 (47.36)。氮表观消化率和氮的沉积量也随 NFC/DCP 的降低而升高,低氮组的表观消化率最低 ($P < 0.05$),中高氮组和高氮组差异不显著 ($P > 0.05$);低氮组的氮沉积量也最低 ($P < 0.05$)。在中低氮水平下,瘤胃 MCP 产量最高 (226.39 g/d, $P < 0.05$)。尿中尿素氮含量随氮水平升高而升高且差异显著 ($P < 0.05$);尿中氨态氮含量趋势与尿素氮相同,低氮组与高氮组差异显著 ($P < 0.05$),其他 2 组无显著差异 ($P > 0.05$)。4 组总可消化养分 (total digestible nutrient, TDN) 大致相同,符合配制饲料时代谢能相同的原则。

3 讨论

3.1 饲料不同氮水平对牦牛瘤胃发酵特征的影响

3.1.1 瘤胃内 pH 的动态变化

瘤胃内 pH 在饲喂前后呈现“V”字型趋势,主要是由于饲料中的非结构性碳水化合物在瘤胃内快速发酵产生有机酸致使 pH 下降,随着有机酸被瘤胃内的微生物用于合成微生物蛋白质 (MCP) 及吸收后用于体组织合成,使得有机酸减少,pH 上升。赵国琦等^[20]认为 pH 是瘤胃发酵过程的综合反应,唾液分泌、VFA 及其他有机酸生成、吸收和排出等因素都会直接影响 pH,饲料结构是其波动的根本原因。与其他 3 种饲料相比,中低氮饲料在瘤胃发酵过程中可能产酸最多,在 12:00 时中低氮水平的 pH 为“V”字型的谷底,为 4 个饲料水平中 pH 下降阶段的最低值。胡红莲等^[21]试验结果表明,瘤胃 pH 下降速率和下降幅度随着饲料 NFC/NDF 比值的增大而随之加大,其下降原因主要是由于瘤胃 TVFA 增多,而非乳酸。由此可见,中低氮水平 pH 下降速率最大。

3.1.2 饲料不同氮水平对瘤胃液中 VFA 的影响

近年来,通过瘤胃发酵调控提高饲料利用效率和反刍动物生产性能成为动物营养学关注的焦点之一^[22]。瘤胃液中 VFA 为家畜能量的主要供体,占反刍动物食入可消化能的 70%~80%^[23]。因此,饲料 VFA 的潜在产量及其乙酸、丙酸和丁酸的摩尔比例组成至关重要。研究表明,脂肪合成中有效利用乙酸的前提是满足相对于乙酸而言的丙酸最低需要量,若乙酸与丙酸的比例失调,可能限制乙酸的潜在沉积能力^[24]。本试验中高氮水平氮沉积并非最高,可能因中高氮和高氮饲料发酵时,乙酸、丙酸生成量彼此匹配失调,进而影响动物的氮沉积能力。因此,瘤胃发酵过程中乙酸、丙酸生成比例对氮素利用率影响很大。韩兴泰等^[25]研究表明牦牛瘤胃呈丙酸发酵特征,且具有高丁酸特点。本试验中发现,丁酸不受氮水平影响,且维持一个较高值,其余各 VFA 产量均随氮水平升高而升高,变幅明显。Hristov 等^[26]研究发现,高瘤胃可降解蛋白质水平 (HRDP) 与低瘤胃可降解蛋白质水平 (ARDP) 相比,异丁酸和异戊酸含量增加 ($P = 0.04$, $P = 0.07$),与本试验结果一致。本试验还发现当饲料代谢能和 NDF 保持不变时,

饲料氮水平的提高和 NFC 水平的降低并没有对乙 酸/丙酸比值产生影响。随着饲料氮水平的提高, VFA(丁酸除外)随之增加。

表 3 不同氮水平下瘤胃液中 VFA 含量
Table 3 Contents of VFA in rumen fluid at different nitrogen levels

项目 Items	A	B	C	D	SE	P 值 P-value
乙酸 Acetate/(mmol/L)	44.05 ^a	51.50 ^b	49.93 ^{ab}	55.07 ^{bc}	2.92	0.028
丙酸 Propionate/(mmol/L)	8.84 ^a	10.38 ^b	10.04 ^{ab}	11.36 ^{bc}	0.61	0.031
异丁酸 Isobutyrate/(mmol/L)	0.57 ^A	0.76 ^B	0.92 ^C	1.11 ^D	0.04	0.000
丁酸 Butyrate/(mmol/L)	6.80 ^a	7.09 ^a	6.77 ^a	6.74 ^a	0.67	0.923
异戊酸 Isovalerate/(mmol/L)	0.59 ^a	0.70 ^{ab}	0.83 ^{bc}	0.99 ^c	0.07	0.006
戊酸 Valerate/(mmol/L)	0.44 ^a	0.57 ^b	0.64 ^{bc}	0.72 ^c	0.04	0.002
总挥发性脂肪酸 Total volatile fatty acids/(mmol/L)	61.30 ^A	71.00 ^B	69.13 ^{AB}	95.09 ^C	4.36	0.001
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	5.00 ^a	4.98 ^a	4.97 ^a	4.84 ^a	0.11	0.406

同行肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。表 5 同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$). The same as Table 5.

表 4 不同氮水平下饲料营养物质消化率
Table 4 Digestibility of dietary nutrients at different nitrogen levels

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	有机质 OM	非纤维性 碳水化合物 NFC	中性洗涤 纤维 NDF	酸性洗涤 纤维 ADF	粗脂肪 EE	灰分 Ash
A	57.90 ^a	48.11 ^A	63.61 ^a	90.18 ^a	57.23 ^a	55.56 ^a	61.51 ^a	6.48 ^a
B	59.20 ^a	61.42 ^B	64.25 ^a	90.65 ^a	55.38 ^a	52.92 ^a	70.10 ^{ab}	15.90 ^{ab}
C	59.57 ^a	67.98 ^C	64.34 ^a	85.53 ^a	56.51 ^a	55.95 ^a	67.66 ^{ab}	18.83 ^b
D	59.49 ^a	71.31 ^C	64.13 ^a	90.03 ^a	53.90 ^a	52.81 ^a	74.93 ^b	21.24 ^b
SE	0.594	0.773	0.522	1.409	0.558	0.587	1.543	1.587
P 值 P-value	0.743	0.000	0.958	0.575	0.267	0.209	0.101	0.065

同列肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$).

3.2 饲料不同氮水平下牦牛对饲料营养物质消化代谢特征

3.2.1 饲料营养成分消化率

本研究中, 饲料氮水平对 DM、OM、NFC、NDF 和 ADF 消化率无显著影响, 这与 Hristov 等^[26] 的试验结果一致。Hristov 等^[26] 研究发现, 给肉牛饲

喂 HRDP 和 ARDP 2 种饲料时, 瘤胃内 DM、OM、NDF 和氮的表观消化率和真消化率均无显著差异, 整个消化道的 DM、OM 和 NDF 的表观消化率也不受 2 种饲料处理影响, 而对于整个消化道的氮消化率, HRDP 显著高于 ARDP ($P = 0.02$)。研究发现, 饲喂不同饲料蛋白质水平的梅花鹿, 其

DM 表观消化率随饲料蛋白质水平的提高有上升趋势,但差异不显著 ($P > 0.05$),而 CP 消化率随氮水平的增加显著升高 ($P < 0.01$)^[27],这与本试

验中结果相同。可见 DM 采食量相近,饲料蛋白质水平对 DM 表观消化率影响不大。

表 5 不同氮水平下牦牛对饲料氮的消化代谢特征

Table 5 Digestible and metabolic characterization of dietary nitrogen in yak under different nitrogen level

项目 Items	A	B	C	D	SE	P 值 P-value	
						一次方程 Linear	二次方程 Quadratic
氮采食量 N intake/(g/d)	34.82 ^a	48.97 ^b	61.07 ^c	72.09 ^d	4.19	0.000	0.03
可消化粗蛋白质 DCP/(g/d)	17.23 ^a	30.26 ^b	41.56 ^c	51.50 ^d	1.09	0.000	0.08
粪氮排量 N in feces/(g/d)	18.07 ^a	18.64 ^a	18.81 ^a	19.45 ^a	0.81	0.334	0.86
尿氮排量 N in urine/(g/d)	10.24 ^a	16.00 ^b	25.79 ^c	32.29 ^d	1.26	0.000	0.63
氮沉积量 N retention/(g/d)	6.51 ^a	14.33 ^b	16.47 ^b	20.35 ^c	1.08	0.001	0.06
尿中尿素氮 Urinary urea-N/(g/d)	4.67 ^a	8.70 ^b	14.23 ^c	18.56 ^d	0.45	0.000	0.63
尿中氨态氮 Urinary ammonia/(g/d)	0.13 ^a	0.31 ^a	0.34 ^{ab}	0.62 ^b	0.08	0.007	0.56
微生物蛋白质 MCP/(g/d)	167.66 ^a	226.39 ^c	199.13 ^b	189.48 ^{ab}	0.87	0.650	0.00
氮表观消化率 Apparent N digestibility/%	48.11 ^a	61.42 ^b	67.98 ^c	71.31 ^c	2.09	0.003	0.20
氮沉积量/可消化粗蛋白质 N retention/DCP/%	38.42 ^a	47.36 ^a	38.71 ^a	38.65 ^a	2.45	0.733	0.11
尿中尿素氮/尿氮排量 Urinary urea-N/N in urine/%	45.61 ^a	54.38 ^b	55.18 ^b	57.48 ^b	1.43	0.003	0.05
尿中氨态氮/尿氮排量 Urinary ammonia/N in urine/%	1.27 ^a	1.94 ^a	1.32 ^a	1.92 ^a	0.21	0.150	0.81
尿氮排量/可消化粗蛋白质 N in urine/DCP/%	59.43 ^a	52.88 ^a	62.05 ^a	62.70 ^a	2.45	0.731	0.11

3.2.2 氮平衡与能氮平衡

反刍动物对饲料蛋白质的利用率很低,其转化为畜产品的效率最高不到 20%^[28]。研究表明,饲料氮水平对饲料蛋白质利用效率影响很大^[26,29-30]。本试验结果显示,随着饲料氮水平的提高,动物粪氮排量波动较小,而尿氮排量有显著升高 ($P < 0.05$),与贾青等^[31]和 Marini 等^[32]研究结果一致。

贾青等^[31]发现氮的表观消化率随氮采食量的增加而升高但不显著 ($P > 0.05$)。然而,本试验结果表明,随着饲料氮水平的升高,其表观消化率极

显著增加 ($P < 0.01$),可能由于试验动物不同所致。贾青等^[31]还发现,山羊体内氮沉积量受饲料 CP 水平影响显著 ($P < 0.05$),当饲料 CP 水平为 11.0% 时,获得最大氮沉积为 0.36 g/BW^{0.75},本试验中,牦牛饲喂中低氮水平饲料时 (CP 12.36%) 获得了最大氮沉积率 47.36%,尿氮排量与 DCP 的比例最低 (52.88),此时 NFC/DCP 比值为 1.36。Hoover 等^[33]研究表明,在 pH 受控制的连续培养发酵罐中,NFC 与瘤胃可降解粗蛋白质 (RDP) 比例为 2:1 时微生物生长最佳。瘤胃微生物合成过程中需要各种能量、碳架、氮源以及矿物

元素等营养素,只有这些营养素的有效数量与供给速度相匹配时,才能达到最大的瘤胃 MCP 合成量^[34]。提高能氮同步释放程度能有效提高氮的利用率,降低尿氮和粪氮排量,减少浪费^[35-36]。饲料中的氮水平能够影响内源尿素氮用于合成瘤胃 MCP 的效率。当饲料氮水平降低时,内源尿素氮合成微生物氮的效率会增加^[37],前提是饲料中必须要有足够的可发酵碳水化合物,否则,内源氮用于合成微生物氮的效率可能会受到影响。本试验中随饲料氮水平的提高,非纤维性碳水化合物呈下降趋势,虽然中低氮水平饲料的氮水平较低,但瘤胃 MCP 的合成效率却最高(226.39 g/d),可能由于饲喂此饲料,能氮同步释放达到了最适比例。Hoover 等^[33]认为,影响瘤胃 MCP 合成的重要因素是非结构性碳水化合物(NSC)和结构性碳水化合物(SC)的比例。在本试验中,中低氮水平饲料中 NFC/NDF 比例最高(0.38),瘤胃 MCP 合成量也最高,由此也进一步证明了碳水化合物中 NSC(淀粉和糖等)能提高饲料蛋白质利用率和微生物的生长效率^[38-39]。

4 结论

在舍饲条件下,饲料氮水平为 1.97% (DM 基础)、NFC/DCP 为 1.36、NFC/NDF 为 0.38 时,成年牦牛体内氮的利用效率最高,瘤胃微生物氮的产量也最高。

参考文献:

- [1] 张容昶. 中国的牦牛[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1989:1.
- [2] 欧阳熙. 牦牛季节性适应的研究进展[J]. 西南民族学院学报:畜牧兽医版,1989(2):69-74.
- [3] 张容昶. 牦牛适应寒冷环境的生态生理特征[J]. 草食家畜,1992(4):13-16.
- [4] 董世魁,龙瑞军,胡自治. 不同采食水平下舍饲干奶牦牛能量转化、氮、钙、磷代谢的研究[J]. 草业学报,2000(2):32-37.
- [5] 韩兴泰,胡令浩,谢敖云,等. 粗饲条件下生长牦牛能量代谢的估测[J]. 青海畜牧兽医杂志,1992(2):21-22.
- [6] 胡令浩,谢敖云,韩兴泰. 生长牦牛与生长黄牛体表面积的研究[J]. 中国畜牧杂志,1994(6):9-10.
- [7] 龙瑞军,董世魁,胡自治. 同一日粮下泌乳牦牛与干奶牦牛消化代谢能力的比较研究[J]. 草业学报,1998(3):51-55.
- [8] LONG R J, DONG S K, CHEN X B, et al. Preliminary studies on urinary excretion of purine derivatives and creatinine in yaks[J]. The Journal of Agricultural Science, 1999, 133:427-431.
- [9] 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, 88:27-32.
- [10] LONG R J, DONG S K, WEI X H, et al. The effect of supplementary feeds on the bodyweight of yaks in cold season[J]. Livestock Production Science, 2005, 129:133-137.
- [11] WANG H C, LONG R J, ZHOU W, et al. LA comparative study on urinary purine derivative excretion for yak (*Bos grunniens*), indigenous cattle (*Bos taurus*) and crossbred (*Bos grunniens* × *Bos taurus*) in Qing-hai Tibetan plateau, China[J]. Journal of Animal Science, 2009, 87:2355-2362.
- [12] SNIFFEN C J, O'CONNOR J D, VAN SOEST P J, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability[J]. Journal of Animal Science, 1992, 70:3562-3577.
- [13] 陈桂银. 饲料分析与检测[M]. 北京:中国农业大学出版社,2008.
- [14] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M]. 15th ed. Washington, D. C.: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- [15] BRODERICK G A, KANG J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acid in ruminal fluid and *in vitro* media[J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63:64-75.
- [16] 王继贵. 临床生化检验[M]. 2版. 长沙:湖南科学技术出版社,1996:562-563.
- [17] CHEN X B, GOMES M J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives-an overview of the technical detail[EB/OL]. [2010-11-01]. <http://www.macaulay.ac.uk/IFRU/pdf/chema.pdf>.
- [18] SHINGFIELD K J, OFFER N W. Simultaneous determination of purine metabolites, creatinine and pseudouridine in ruminant urine by reversed-phase high performance liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography B, 1999, 723:81-94.

- [19] ERWIN E S, MARCO G J, EMERY E M, et al. Volatile fatty acid analyses of food and rumen fluid by gas chromatography [J]. *Journal of Dairy Science*, 1961, 44:1768 - 1771.
- [20] 赵国琦, 贾亚红, 陈小连, 等. 不同 NDF/NFE 比的日粮对山羊瘤胃发酵参数影响的研究 [J]. *中国畜牧杂志*, 2006, 42(13):29 - 33.
- [21] 胡红莲, 卢德勋, 刘大程, 等. 日粮不同 NFC/NDF 比对奶山羊瘤胃 pH、挥发性脂肪酸及乳酸含量的影响 [J]. *动物营养学报*, 2010, 22(3):595 - 601.
- [22] 邓露芳, 王加启, 卜登攀, 等. 2007 ~ 2008 年国际反刍动物营养研究进展 II. 瘤胃发酵调控 [J]. *中国畜牧兽医*, 2009, 36(1):12 - 18.
- [23] BARCROFT J, MCANALLY R A, PHILLIPSON A T, et al. Absorption of volatile acids from the alimentary tract of the sheep and other animals [J]. *Journal of Experimental Biology*, 1944, 20:120 - 129.
- [24] 熊本海, 卢德勋, 张子仪. 瘤胃乙酸与丙酸摩尔比例的改变对瘤胃发酵及血液指标的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2002, 33(6):537 - 543.
- [25] 韩兴泰, 陈杰, 韩正康. 饲喂不同蛋白水平日粮的牦牛瘤胃氮代谢与十二指肠各氮组分流量 [J]. *动物营养学报*, 1998, 10(1):34 - 43.
- [26] HRISTOV A N, ETTER R P, ROPP J K, et al. Effect of dietary crude protein level and degradability on ruminal fermentation and nitrogen utilization in lactating dairy cows [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82:3219 - 3229.
- [27] 高秀华, 李光玉, 郜玉钢, 等. 日粮蛋白质水平对梅花鹿营养物质消化代谢的影响 [J]. *动物营养学报*, 2001, 13(3):52 - 55.
- [28] MACREA J C. Advancing our understanding amino acid utilization and metabolism in ruminant [M]// KORNEGAY E T. Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment. Boca Raton: CRC Press Inc., 1996:73 - 89.
- [29] KEBREAB E, FRANCE J, MILLS J A N, et al. A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80:248 - 259.
- [30] 翟少伟. 中国荷斯坦牛乳尿素氮与蛋白质营养关系的研究 [D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2006: 45 - 49.
- [31] 贾青, 康红, 徐红蕊, 等. 结合 ^{15}N 示踪法研究日粮蛋白水平对山羊氮代谢的影响 [J]. *饲料工业*, 2008(23):48 - 51.
- [32] MARINI J C, VAN AMBURGH M E. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81:545 - 552.
- [33] HOOVER W H, STOKES S R. Balancing carbohydrate and protein for optimum rumen microbial yield [J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74:3630 - 3644.
- [34] 齐智利. 玉米的不同加工处理对泌乳奶牛瘤胃发酵和小肠消化以及能氮同步代谢影响的研究 [D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004: 34 - 36.
- [35] 张莹, 郭旭生, 丁路明, 等. 反刍动物尿素氮再循环利用的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2009, 21(5):609 - 616.
- [36] BACH A, CALSAMIGLIA S, STERN M D. Nitrogen metabolism in the rumen [J]. *Journal of Dairy Science*, 1995, 88:E9 - E21.
- [37] FIRKINS J L, YU Z, MORRISON M. Ruminal nitrogen metabolism: perspectives for integration of microbiology and nutrition for dairy [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(Suppl. E):E1 - E16.
- [38] MCDONALD I W. The extent of conversion of food protein to microbial protein in the rumen of sheep [J]. *Biochemical Journal*, 1954, 56:120 - 125.
- [39] OFFER N W, AXFORD R F E, EVANS R A. The effect of dietary energy source on nitrogen metabolism in the rumen of sheep [J]. *British Journal of Nutrition*, 1978, 40:35 - 44.

Effects of Dietary Nitrogen Level on Ruminal Fermentation, Digestibility and Metabolism of Nutrients in Yaks

ZHANG Ying^{1,2} GUO Xusheng^{1,3} LONG Ruijun^{1,2,3*}

ZHOU Jianwei^{1,2} ZHU Yuhuan^{1,2} MI Jiandui^{1,2}

(1. *International Centre for Tibetan Plateau Ecosystem Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*

2. *College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China;*

3. *Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology of Ministry of Education, School of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)*

Abstract: The experiment was conducted to investigate the effects of dietary nitrogen level on ruminal fermentation, digestibility and metabolism of nutrients in yaks. Four 3-year-old castrated yaks with a similar body weight of (148.5 ± 9.2) kg were used in a 4×4 Latin square design. The experiment included four periods, and four different diets [crude protein (CP) levels on dry matter (DM) basis were 8.98%, 12.36%, 15.32% and 18.12%, respectively] were fed to the animals for 21 days in each period. The results showed that changes of ruminal pH at different time were similar to a “V” shape after feeding in all of the four dietary groups. The lowest pH was observed in the 12.36% CP diet four hours after feeding (08:00 in the morning). With the increase of dietary nitrogen level, contents of acetate, propionate, isobutyrate, isovalerate and valerate were increased correspondingly ($P < 0.05$), but no differences were observed in butyrate content and the ratio of acetate to propionate ($P > 0.05$). Dietary nitrogen level did not affect the digestibility of DM, organic matter (OM), nonfibrous carbohydrate (NFC), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) ($P < 0.05$). Dietary nitrogen level had no influence on the amount of N excreted in the feces ($P > 0.05$). In contrast, the amount of N excreted in the urine was increased remarkably with the elevation of dietary nitrogen level ($P < 0.05$). When the yaks were fed the 12.36% CP diet with the ratio of NFC to NDF at 0.38, the proportion of urinary nitrogen to digestible crude protein (DCP) was the lowest (52.88%), and the ratio of nitrogen retention to DCP was the highest (47.36%) among the four groups. Meanwhile, the highest microbial protein production was also obtained when yaks were fed the 12.36% CP diet. All these results suggest that the most efficiency in nitrogen utilization was obtained in yaks fed the 12.36% CP diet with the ratio of NFC to DCP at 1.36. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(6):956-964]

Key words: yak; nitrogen metabolism; nitrogen level; ruminal fermentation