

牦牛妊娠后期能量和蛋白质维持需要量的研究

潘浩¹ 聂召龙¹ 王通¹ 刘书杰¹ 孙璐¹ 杨其恩² 冯宇哲¹ 崔占鸿^{1*}

(1.青海大学畜牧兽医科学院,青海省牦牛工程技术研究中心,青海省高原放牧家畜动物营养与饲料科学重点实验室,西宁 810016;2.中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810008)

摘要: 本试验旨在研究牦牛妊娠后期能量和蛋白质的维持需要量,为牦牛饲养标准的建立提供基础参数。利用随机分组设计将 15 头体重相近、经同期发情处理并本交配种的妊娠牦牛随机分为 3 组(每组 5 头牛),分别按自由采食(AL 组)、80%采食量(IR80 组)和 60%采食量(IR60 组)3 个饲养水平进行饲喂。每组各选 3 头牦牛在妊娠 180~185 d 和 210~215 d 时进行 2 期消化代谢试验,在妊娠 186~190 d 和 216~220 d 时进行 2 期气体代谢试验,测定其碳代谢指标(食入碳、粪碳、尿碳、甲烷碳、二氧化碳碳)、能量代谢指标(食入总能、粪能、尿能、甲烷能)和氮代谢指标[食入氮(NI)、粪氮、尿氮],计算得出沉积氮(NR)、代谢能采食量(MEI)和能量沉积量(ER),通过回归分析得出牦牛妊娠后期维持净蛋白质和维持代谢能需要量。结果显示:牦牛妊娠 180 和 210 d 时 $NI[g/(kg W^{0.75} \cdot d)]$ 与 $NR[g/(kg W^{0.75} \cdot d)]$ 的回归方程分别为 $NR = 1.046_{(\pm 0.18)} NI - 0.600_{(\pm 0.09)}$ 和 $NR = 1.065_{(\pm 0.15)} NI - 0.611_{(\pm 0.07)}$,其纵坐标截距即为维持净氮需要量,乘以系数 6.25 即为维持净蛋白质需要量;牦牛妊娠 180 和 210 d 时 $MEI[kJ/(kg W^{0.75} \cdot d)]$ 与 $ER[kJ/(kg W^{0.75} \cdot d)]$ 的回归方程分别为 $ER = 1.722_{(\pm 0.55)} MEI - 755.760_{(\pm 184.19)}$ 和 $ER = 0.988_{(\pm 0.25)} MEI - 534.870_{(\pm 87.35)}$,当 $ER = 0$ 时的 MEI 即为其维持代谢能需要量。由回归方程得出,牦牛妊娠 180 和 210 d 时维持净蛋白质需要量分别为 3.75 和 3.82 $g/(kg W^{0.75} \cdot d)$,维持代谢能需要量分别为 438.81 和 541.64 $kJ/(kg W^{0.75} \cdot d)$ 。

关键词: 牦牛;妊娠后期;能量;蛋白质;维持需要量

中图分类号: S823.8⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)08-3750-10

妊娠是一个极其精密的孕育新生命的过程,这一过程的顺利进行需要良好的营养作为支撑。有相关研究表明,妊娠期营养状况不仅影响母体情期表现,也直接影响胚胎的生长发育和成年后的健康状况^[1-2],甚至通过基因的表现遗传彻底影响后代的健康^[3]。尽管妊娠期营养很重要,但生活在高寒地区的母牦牛在这一特殊时期由于要跨越长达半年的牧草枯草期,期间营养物质摄入量无法得到保证^[4],同时有关牦牛营养需要的相关研究大都集中于生长期^[5-6],对母牦牛妊娠期营养

需要的研究较少。为此,本研究选取妊娠期牦牛为研究对象,探究牦牛妊娠后期能量和蛋白质的维持需要量,为补充完善牦牛饲养标准提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

试验于 2018 年 9 月至 2019 年 4 月在青海省大通种牛场进行;样品测定工作在青海省高原放牧家畜动物营养与饲料科学重点实验室完成。

收稿日期:2020-02-24

基金项目:国家重点研发计划课题“典型高寒草地的适应性恢复原理及实现途径”子课题“牦牛和藏绵羊母畜能量与蛋白质营养需要量的研究”(2016YFC0501805);青海省科技厅项目(2020-ZJ-911);中国科学院“西部之光”西部青年学者 A 类(3-4)

作者简介:潘浩(1993—),男,河南三门峡人,硕士研究生,从事反刍动物营养研究。E-mail: 644826414@qq.com

*通信作者:崔占鸿,副研究员,硕士生导师,E-mail: cuizhanhong27@126.com

1.2 试验动物与设计

试验选取 15 头体况良好的妊娠牦牛(经同期发情处理并本交配种所得)为研究对象,体重为(220±15) kg。将 15 头妊娠牦牛随机分为 3 组(每组 5 头牛),分别按自由采食(AL 组)、80%采食量(IR80 组)和 60%采食量(IR60 组)3 个饲养水平进行饲喂。在妊娠 180 和 210 d 时,每组各选 3 头牦牛进行碳氮平衡试验(碳氮平衡试验是借助消化代谢试验和气体代谢试验计算出动物体氮沉积和能量沉积的一种基本的营养需要量的研究方法^[7]。动物体的能量主要以蛋白质和脂肪形式进行储存,碳氮平衡试验可以在不进行屠宰试验的前提下,对动物体氮沉积和能量组成进行分析并得出结果),以便得出牦牛妊娠后期能量和蛋白质的维持需要量。

1.3 试验饲粮与饲养管理

参照我国《肉牛饲养标准》(NY/T 815—2004)^[8]和生长期牦牛能量与蛋白质需要量^[5-6]配制体重为 220 kg 的妊娠期母牦牛试验饲粮。预混料由湟源县某饲料有限公司提供,试验饲粮由刚察县某生态饲料有限公司加工成颗粒饲料(直径 6 mm,长 10 mm)。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

整个试验期从牦牛妊娠 150 d 开始至妊娠 220 d 结束。试验期间牦牛单栏饲养,每天 08:00 和 18:00 各饲喂 1 次,AL 组饲喂量根据前 1 天牦牛进食量进行调整,确保饲槽内有不少于 10% 的饲粮,2 个限饲组(IR80 组和 IR60 组)饲喂量根据前 1 天 AL 组采食量计算而定^[7]。试验期间准确记录牦牛的采食量,每周收集饲粮样品保存于 -20 ℃ 冰箱中待测,在每期消化代谢试验的始末对牦牛进行称重并记录。

表 1 试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
燕麦青干草 Oat green hay	50.00	代谢能 Metabolic energy/(MJ/kg)	8.99
玉米 Corn	41.50	干物质 Dry matter	91.50
小麦麸 Wheat bran	2.50	有机物质 Organic matter	85.10
菜籽油 Rapeseed oil	2.00	粗蛋白质 Crude protein	7.70
豆粕 Soybean meal	0.50	粗脂肪 Ether extract	5.00
菜粕粕 Rapeseed meal	0.50	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	32.40
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.00	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	17.20
食盐 NaCl	0.50	钙 Calcium	0.64
膨润土 Bentonite	0.50	磷 Phosphorus	0.46
预混料 Premix ¹⁾	1.00		
合计 Total	100.00		

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 3 000 IU, VD 300 IU, VE 50 IU, 烟酸 niacin 50 mg, Fe 48 mg, Cu 12 mg, Mn 20 mg, Zn 20 mg, Se 0.30 mg。

2) 营养水平均为实测值。Nutrient levels were all measured values.

1.4 消化代谢试验与气体代谢试验

2 期消化代谢试验开展的时间分别为牦牛妊娠 180~185 d 和 210~215 d。消化代谢试验采用全收粪尿法,每天测定每头牦牛的总排粪量并取 10% 的粪样装于自封袋中加入 10% 硫酸(H₂SO₄) 溶液(每 100 g 粪样加 20 mL 10% H₂SO₄ 溶液)固氮,保存待测。每天测定每头牦牛总排尿量并取 10% 尿液样品加 10% H₂SO₄ 溶液使 pH 低于 3 进行固氮,保存待测。

2 期气体代谢试验开展的时间分别为牦牛妊娠 186~190 d 和 216~220 d。采用美国 FMS 便携式动物呼吸代谢测量系统进行气体代谢试验。每期气体代谢试验有 2 d 的适应期和 3 d 的测试期。具体方法为:在动物采食前与采食后 2、4、6 和 8 h 5 个时间点收集牦牛呼出的气体(每头牦牛每次气体收集 8 min)进行测定,通过计算机分析并得出每头牦牛不同时间段 1 min 的甲烷(CH₄)、二氧化碳(CO₂)的排放量和氧气(O₂)的消耗量,最后估

算出牦牛 1 d 的气体代谢各指标数值。

1.5 测定指标与方法

饲料和粪便总能 (GE) 与干物质 (DM)、有机物 (OM)、粗蛋白质 (CP) 含量以及尿液中总能、氮含量的测定参考张丽英^[9]编写的《饲料分析及检测技术》。饲料和粪便中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量的测定参考 Van Soest 等^[10]的方法。采用 Foss 半自动凯氏定氮仪测定粗蛋白质含量; 采用 Paa-6100 氧弹式能量测定仪 (燃烧法) 测定总能; 采用 EA-3000 碳元素分析仪 (燃烧法) 测定碳含量; 采用美国 FMS 便携式动物呼吸代谢测量系统测定甲烷、二氧化碳的排放量和氧气的消耗量。

1.6 计算公式

$$\text{食入氮 (g/d)} = \text{试验动物每日采食量} \times \text{饲料氮含量};$$

$$\text{可消化氮 (g/d)} = \text{食入氮} - \text{粪氮};$$

$$\text{沉积氮 (g/d)} = \text{食入氮} - (\text{粪氮} + \text{尿氮});$$

$$\text{氮表观消化率 (\%)} = (\text{可消化氮} / \text{食入氮}) \times 100;$$

$$\text{食入总能 (MJ/d)} = \text{试验动物每日采食量} \times \text{饲料总能};$$

$$\text{消化能 (MJ/d)} = \text{食入总能} - \text{粪能};$$

$$\text{代谢能 (MJ/d)} = \text{食入总能} - \text{粪能} - \text{尿能} - \text{甲烷能};$$

$$\text{总能表观消化率 (\%)} = (\text{消化能} / \text{食入总能}) \times 100;$$

$$\text{总能表观代谢率 (\%)} = (\text{代谢能} / \text{食入总能}) \times 100;$$

$$\text{消化能代谢率 (\%)} = (\text{代谢能} / \text{消化能}) \times 100;$$

$$\text{食入总碳 (g/d)} = \text{试验动物每日采食量} \times$$

饲料总碳;

$$\text{消化碳 (g/d)} = \text{食入总碳} - \text{粪碳};$$

$$\text{碳表观消化率 (\%)} = (\text{消化碳} / \text{食入总碳}) \times 100;$$

$$\text{沉积碳 (g/d)} = \text{食入总碳} - (\text{粪碳} + \text{尿碳} + \text{甲烷碳} + \text{二氧化碳碳});$$

$$\text{蛋白质沉积量 (g/d)} = \text{沉积氮} \times 6.25;$$

$$\text{蛋白质沉积碳 (g/d)} = \text{蛋白质沉积量} \times 0.82;$$

$$\text{蛋白质沉积能 (kJ/d)} = \text{蛋白质沉积量} \times 23.85;$$

$$\text{脂肪沉积碳 (g/d)} = \text{沉积碳} - \text{蛋白质沉积碳};$$

$$\text{脂肪沉积能 (kJ/d)} = (\text{脂肪沉积碳} \times 100 / 76.7) \times 39.75;$$

$$\text{能量沉积量 (kJ/d)} = \text{蛋白质沉积能} + \text{脂肪沉积能}。$$

1.7 数据统计与分析

采用 Excel 2007 进行数据整理, SPSS 20.0 软件进行数据独立性、正态性和方差齐性检验, 满足方差分析条件后, 进行单因素方差分析, 差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 饲喂水平对妊娠后期牦牛养分表观消化率的影响

由表 2 可知, 饲喂水平对妊娠后期牦牛干物质、有机物、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维表观消化率的影响均不显著 ($P > 0.05$), 但上述各养分表观消化率均随饲喂水平的降低而升高。妊娠 210 d 时牦牛各养分表观消化率高于妊娠 180 d 时。

表 2 饲喂水平对妊娠后期牦牛养分表观消化率的影响

Table 2 Effects of feeding level on nutrient apparent digestibility of yaks during late pregnancy

项目 Items	妊娠天数 Days of pregnancy/d	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
		AL	IR80	IR60		
干物质	180	52.14	54.46	57.55	1.48	0.196
DM	210	53.04	54.22	57.59	0.54	0.526
有机物	180	55.73	58.05	59.64	1.50	0.152
OM	210	57.34	58.42	61.06	1.21	0.126
中性洗涤纤维	180	53.76	54.22	58.96	1.20	0.148
NDF	210	54.07	56.15	59.03	1.52	0.167
酸性洗涤纤维	180	53.51	55.76	58.77	1.04	0.148
ADF	210	54.73	55.87	59.07	2.17	0.167

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 饲喂水平对妊娠后期牦牛氮代谢的影响

由表 3 可知,妊娠后期牦牛食入氮随饲喂水平的下降而下降,且 AL 组与 2 个限饲组之间差异显著 ($P < 0.05$); 饲喂水平对妊娠后期牦牛粪氮的影响不显著 ($P > 0.05$); 尿氮随饲喂水平的降低而升高,IR60 组牦牛尿氮显著高于 AL 组 ($P < 0.05$); 3 组牦牛可消化氮、沉积氮和氮表观消化率均随饲

喂水平的降低而降低,其中 AL 组牦牛可消化氮显著高于 2 个限饲组 ($P < 0.05$),氮表观消化率显著高于 IR60 组 ($P < 0.05$)。本试验由于食入氮和氮表观消化率均处于较低水平,妊娠 180 d 时 2 个限饲组和妊娠 210 d 时 3 个试验组牦牛的氮沉积均出现负值,并表现为 AL 组沉积氮显著高于 2 个限饲组 ($P < 0.05$)。

表 3 饲喂水平对妊娠后期牦牛氮代谢的影响

Table 3 Effects of feeding level on nitrogen metabolism of yaks during late pregnancy

项目 Items	妊娠天数 Days of pregnancy/d	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
		AL	IR80	IR60		
食入氮 NI/(g/d)	180	36.83 ^a	28.31 ^b	23.08 ^b	2.20	0.005
	210	33.82 ^a	25.47 ^b	20.05 ^b	2.36	0.002
代谢体重 W ^{0.75} /kg	180	64.71	60.05	58.91	1.44	0.241
	210	60.82	61.29	61.25	1.11	0.986
粪氮 FN/(g/d)	180	25.19	23.22	21.44	0.72	0.061
	210	21.97	19.89	17.51	1.03	0.227
尿氮 UN/(g/d)	180	10.07 ^b	11.62 ^b	17.81 ^a	1.30	0.004
	210	11.94 ^b	18.18 ^a	18.53 ^a	0.08	0.006
可消化氮 DN/(g/d)	180	11.64 ^a	5.09 ^b	1.64 ^b	1.63	0.003
	210	11.85 ^a	5.58 ^b	2.54 ^b	1.65	0.028
氮表观消化率 N apparent digestibility/%	180	31.60 ^a	17.98 ^a	7.11 ^b	0.04	0.002
	210	35.04 ^a	21.91 ^{ab}	12.67 ^b	0.04	0.047
沉积氮 NR/(g/d)	180	1.57 ^a	-6.53 ^b	-16.17 ^c	2.78	0.003
	210	-0.09 ^a	-12.60 ^b	-15.99 ^b	2.59	0.002

2.3 牦牛妊娠后期维持净氮需要量

图 1 和图 2 分别表明了牦牛妊娠 180 和 210 d 时食入氮 [$\text{g}/(\text{kg W}^{0.75} \cdot \text{d})$] 和沉积氮 [$\text{g}/(\text{kg W}^{0.75} \cdot \text{d})$] 的关系。表 4 为妊娠 180 和 210 d 时食入氮和沉积氮的回归方程,其纵坐标截距即为维持净氮需要量,即牦牛妊娠 180 和 210 d 时维持净氮需要量分别为 599.6 和 610.8 $\text{mg}/(\text{kg W}^{0.75} \cdot \text{d})$,乘以系数 6.25 即为其维持净蛋白质需要量,分别为 3.747 5 和 3.817 5 $\text{g}/(\text{kg W}^{0.75} \cdot \text{d})$ 。

2.4 饲喂水平对妊娠后期牦牛碳代谢的影响

由表 5 可知,饲喂水平对妊娠后期牦牛粪碳和二氧化碳碳的影响不显著 ($P > 0.05$); 妊娠后期牦牛食入碳、甲烷碳、沉积碳均随饲喂水平的下降而下降,且 AL 组与 2 个限饲组之间差异显著 ($P < 0.05$); 妊娠 180 d 时随饲喂水平的下降而升高,IR60 组显著高于 AL 组和 IR80 组 ($P < 0.05$); 碳表观消化率随着饲喂水平的降低而下降的趋势,其

变化范围在 47.33% ~ 61.26%,但 3 组之间不存在显著差异 ($P > 0.05$)。

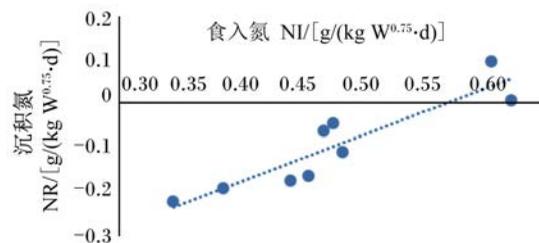


图 1 牦牛妊娠 180 d 时食入氮与沉积氮的关系

Fig.1 Relationship between NI and NR of yaks on 180 d of pregnancy

2.5 饲喂水平对妊娠后期牦牛能量代谢的影响

由表 6 可知,妊娠后期牦牛食入总能、粪能和甲烷能均随饲喂水平的降低而降低,AL 组与 2 个限饲组之间差异显著 ($P < 0.05$),并且随妊娠天数的增加这些指标有降低的趋势;甲烷能占食入总

能比例在 1.46% ~ 5.29%, 且随饲喂水平的升高而增大; AL 组妊娠 180 d 时的代谢能和消化能以及妊娠 180 d 时的消化能显著高于 IR60 组 ($P < 0.05$); 妊娠 180 d 时 3 组牦牛总能表观消化率和总能代谢率随饲喂水平的下降而升高, 且 IR60 组显著高于 AL 组 ($P < 0.05$), 妊娠 210 d 时 3 组之间总能表观消化率和总能代谢率差异均不显著 ($P > 0.05$); IR60 组妊娠 180 和 210 d 时的消化能代谢率均显著高于 AL 组 ($P < 0.05$)。3 组牦牛妊娠后期总能表观消化率、总能代谢率、消化能代谢率变化范围分别为 54.93% ~ 60.14%、44.76% ~ 54.09%、81.49% ~ 91.69%。

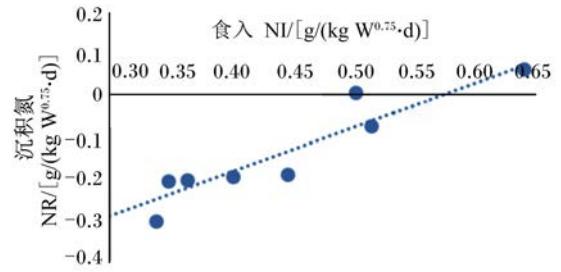


图 2 牦牛妊娠 210 d 时食入氮与沉积氮的关系
Fig.2 Relationship between NI and NR of yaks on 210 d of pregnancy

表 4 牦牛妊娠后期维持净氮需要量预测方程

Table 4 Predicted equations of net nitrogen requirement for yaks during late pregnancy

妊娠天数 Days of pregnancy/d	回归方程 Regression equation	RMSE	R ²	n	P 值 P-value
180	NR = 1.046 _(±0.18) NI - 0.600 _(±0.09)	0.046 3	0.831 0	9	<0.000 1
210	NR = 1.065 _(±0.15) NI - 0.611 _(±0.07)	0.046 7	0.875 0	9	<0.000 1

NR: 沉积氮 nitrogen retention; NI: 食入氮 nitrogen intake。

表 5 饲喂水平对妊娠后期牦牛碳代谢的影响

Table 5 Effects of feeding level on carbon metabolism of yaks during late pregnancy

项目 Items	妊娠天数 Day of pregnancy/d	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
		AL	IR80	IR60		
食入碳 C intake/(g/d)	180	1 173.16 ^a	901.73 ^b	735.16 ^b	70.11	0.005
	210	1 077.56 ^a	811.36 ^b	638.69 ^b	75.33	0.002
粪碳 Fecal-C/(g/d)	180	454.45	418.08	386.62	13.44	0.103
	210	438.15	379.51	321.64	25.70	0.187
尿碳 Urinary-C/(g/d)	180	28.40 ^b	29.87 ^b	35.11 ^a	1.14	0.009
	210	25.84	25.56	29.66	1.58	0.563
甲烷碳 Methane-C/(g/d)	180	38.57 ^a	20.28 ^b	13.06 ^b	3.95	0.001
	210	30.81 ^a	14.46 ^b	5.75 ^c	3.72	<0.001
二氧化碳碳 Carbon dioxide-C/(g/d)	180	713.44	675.87	640.23	40.91	0.413
	210	626.23	742.62	620.10	39.31	0.410
沉积碳 C retention/(g/d)	180	-66.79 ^a	-242.37 ^b	-339.86 ^c	42.53	0.001
	210	-43.47 ^a	-350.79 ^b	-338.46 ^b	56.72	0.010
碳表观消化率 C apparent digestibility/%	180	61.26	53.64	47.41	0.02	0.138
	210	59.34	53.23	49.64	0.02	0.138
粪碳/食入碳 Fecal-C/C intake	180	0.39 ^c	0.46 ^b	0.53 ^a	0.02	0.001
	210	0.41	0.47	0.50	0.02	0.138
尿碳/食入碳 Urinary-C/C intake	180	0.02 ^c	0.03 ^b	0.05 ^a	0.01	<0.001
	210	0.02 ^b	0.03 ^b	0.05 ^a	0.01	0.004
甲烷碳/食入碳 Methane-C/C intake	180	0.03 ^a	0.02 ^b	0.02 ^b	0.01	<0.001
	210	0.03 ^a	0.02 ^b	0.01 ^c	0.01	<0.001
二氧化碳碳/食入碳 Carbon dioxide-C/C intake	180	0.61 ^b	0.75 ^a	0.87 ^a	0.04	0.002
	210	0.58 ^b	0.92 ^a	0.97 ^a	0.07	0.008

表 6 饲喂水平对妊娠后期牦牛能量代谢的影响
Table 6 Effects of feeding level on energy metabolism of yaks during late pregnancy

项目 Items	妊娠天数 Day of pregnancy/d	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
		AL	IR80	IR60		
食入总能	180	54.09 ^a	41.57 ^b	33.89 ^b	3.23	0.005
GE intake/(MJ/d)	210	51.25 ^a	37.41 ^b	29.45 ^b	0.20	0.002
粪能	180	24.38 ^a	18.20 ^b	14.38 ^b	1.59	0.005
FE/(MJ/d)	210	20.43 ^a	15.72 ^b	13.21 ^b	1.16	0.004
尿能	180	2.64 ^a	1.69 ^b	1.82 ^b	0.16	0.003
UE/(MJ/d)	210	1.03 ^a	1.21 ^{ab}	0.92 ^b	0.08	0.031
甲烷能	180	2.86 ^a	1.50 ^b	0.97 ^b	0.32	0.001
ECH ₄ /(MJ/d)	210	2.07 ^a	1.07 ^b	0.43 ^c	0.26	<0.001
甲烷能占食入总能比例	180	5.29 ^a	3.61 ^b	2.86 ^c	0.42	<0.001
Proportion of ECH ₄ in GE intake/%	210	4.04 ^a	2.86 ^{ab}	1.46 ^b	0.01	0.010
消化能	180	29.71 ^a	23.37 ^{ab}	19.51 ^b	1.65	0.006
DE/(MJ/d)	210	30.82 ^a	21.69 ^{ab}	16.24 ^b	2.56	0.031
代谢能	180	24.21 ^a	20.18 ^{ab}	16.72 ^b	1.24	0.014
ME/(MJ/d)	210	27.72	19.41	14.89	2.34	0.064
总能表观消化率	180	54.93 ^b	56.22 ^{ab}	57.57 ^a	0.43	0.021
GE apparent digestibility/%	210	60.14	57.98	55.14	0.40	0.467
总能代谢率	180	44.76 ^b	48.54 ^a	49.34 ^a	0.78	0.009
GE metabolic rate/%	210	54.09	51.88	50.56	0.01	0.865
消化能代谢率	180	81.49 ^b	86.35 ^a	85.70 ^a	0.83	0.007
DE metabolic rate/%	210	89.94 ^b	89.49 ^b	91.69 ^a	0.62	0.019
能量沉积量	180	-3.23 ^a	-12.43 ^b	-17.30 ^c	2.15	<0.001
ER/(MJ/d)	210	-2.25 ^a	-17.94 ^b	-17.23 ^b	2.90	0.011

2.6 维持代谢能需要量

建立代谢能采食量[MEI, kJ/(kg W^{0.75} · d)]与能量沉积量[ER, kJ/(kg W^{0.75} · d)]的线性关系来计算能量需要量; ER = aMEI + b, 其中当能量沉积量 = 0 时的代谢能采食量即为其维持代谢能需要量。图 3 和图 4 分别表明了牦牛妊娠 180 和 210 d 时代谢能采食量和能量沉积量的回归关系, 表 7 为牦牛妊娠后期维持代谢能需要量预测方程, 经计算可知, 牦牛妊娠 180 和 210 d 时维持代谢能需要量分别为 438.81 和 541.64 kJ/(kg W^{0.75} · d)。

3 讨论

3.1 氮代谢

黄牛的妊娠天数一般为 280 d 左右, 有研究表明在妊娠 185 d 时, 黄牛胎儿的发育明显加快^[11-12], 牦牛妊娠天数一般为 255 d^[13], 本研究开展时期正是牦牛胎儿生长的高速期, 此时母体需

摄入更多的营养物质以满足妊娠需要。Bauman 等^[14]研究表明妊娠期母牛的总营养需要量比空怀期母牛提高 75%, 这可能是本研究出现氮负沉积的主要原因。Aguiler 等^[15]的研究表明尿氮会随妊娠期的延长而增加, 这与本研究结果一致。本研究中, 在妊娠 210 d 时, IR80 组牦牛尿氮增加明显, 这可能是因为妊娠后期饲料中的氮无法满足母畜维持与妊娠需要, 母体分解自身氮源缓解营养不足而造成尿氮增加。影响氮表观消化率的因素有很多, 如饲料组成、动物采食量及瘤胃微生物活性等。董世魁等^[16]有关干奶期牦牛的研究表明不同饲喂水平下牦牛氮表观消化率变化范围为 53.30%~57.00%, 高于本试验结果。同时, 董世魁等^[17]有关泌乳期牦牛的研究表明, 不同饲料组成情况下牦牛食入氮为 21.89~30.93 g/d 时, 氮表观消化率变化范围为 10.00%~40.40%, 这与本研究结果相似。产生不同结果的原因可能是牦牛妊娠期和泌乳期都是营养需要量的高峰期, 较低的饲

喂水平会抑制瘤胃微生物的活性,使饲粮在瘤胃中无法得到充分分解,最终造成牦牛氮表观消化率较低。

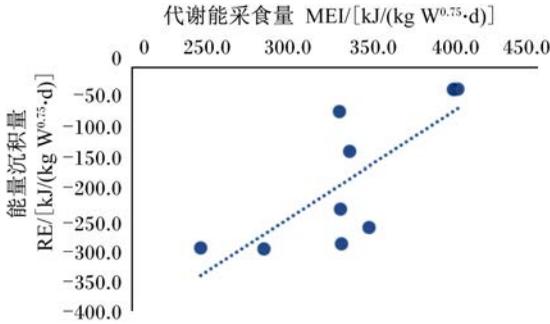


图3 牦牛妊娠 180 d 时代谢能采食量与能量沉积量的关系

Fig.3 Relationship between MEI and ER of yaks on 180 d of pregnancy

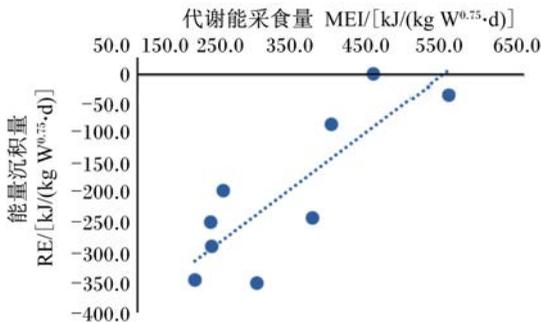


图4 牦牛妊娠 210 d 时代谢能采食量与能量沉积量的关系

Fig.4 Relationship between MEI and ER of yaks on 210 d of pregnancy

3.2 牦牛妊娠后期维持净蛋白质需要量

反刍动物维持净氮需要量主要由内源尿氮和代谢粪氮组成。薛白等^[5]推荐的生长期牦牛维持净蛋白质需要量为 3.35 g/(kg W^{0.52}·d),本研究得出的妊娠后期牦牛的维持净蛋白质需要量为 3.75 (妊娠 180 d) 和 3.82 g/(kg W^{0.75}·d) (妊娠 210 d),远高于生长期结果。已有大量研究表明成年牛的维持蛋白质需要量要高于生长期时,妊娠期和泌乳期母牛维持蛋白质需要量要高于空怀期。穆阿丽^[18]和张晓明^[19]的试验推荐的生长期和成年后肉牛的维持粗蛋白质需要量分别为 5.82 和 5.94 g/(kg W^{0.75}·d),我国《奶牛饲养标准》^[20]推荐的生长期和成年后奶牛的维持小肠可消化蛋白质需要量分别为 2.20 和 2.30 g/(kg W^{0.75}·d),Paul 等^[21]和徐如海^[22]推荐的生长期水牛和泌乳水牛维持粗蛋白质需要量分别为 5.89 和 8.23 g/(kg W^{0.75}·d)。楼灿^[23]关于妊娠期绵羊的试验结果表明妊娠期绵羊维持净蛋白质需要量随妊娠天数的延长而增加,这与本研究结果一致,妊娠期母体由于妊娠产物(胎儿与胎盘)的生长,维持需要也随之增加。NRC 使用的是可代谢蛋白质体系,可代谢蛋白质指的是被小肠吸收的真蛋白质,主要由微生物蛋白、瘤胃非降解蛋白质和内源性蛋白质组成。本研究中蛋白质需要量由净蛋白质表示,可代谢蛋白质和净蛋白质两者表述方式不同,但概念基本相同。NRC 推荐的肉牛维持可代谢蛋白质的需要量为 3.80 g/(kg W^{0.75}·d)^[24],这与本研究得出的牦牛妊娠后期净蛋白质需要量的结果基本一致。

表 7 牦牛妊娠后期维持代谢能需要量预测方程

Table 7 Prediction equations for maintaining metabolic energy requirement for yaks during late pregnancy

妊娠天数 Days of pregnancy/d	回归方程 Regression equation	RMSE	R ²	n	P 值 P-value
180	ER = 1.722 _(±0.55) MEI - 755.760 _(±184.19)	77.791 4	0.583 9	9	0.005 0
210	ER = 0.988 _(±0.25) MEI - 534.870 _(±87.35)	77.787 0	0.875 0	9	<0.000 1

ER: 能量沉积量 energy retention; MEI: 代谢能采食量 metabolic energy intake。

3.3 碳代谢

碳水化合物在动物体内的总量较为稳定,动物碳水化合物的消耗与积累主要通过脂肪和蛋白质的消耗与积累来完成,因此可将反刍动物碳代谢作为能量代谢和氮代谢的连接点,用来探究能

量、氮、蛋白质和脂肪间的相互关系。碳损失的途径主要为粪尿和气体(甲烷与二氧化碳)的排出,Chandramoni 等^[25]在绵羊上的研究表明绵羊粪碳和尿碳分别占食入碳的 38.3%~41.3% 和 2.62%~3.04%,楼灿^[23]在妊娠绵羊上的研究结果为

26.16%~44.25%和2.94%~4.55%,本研究中牦牛粪碳和尿碳分别占食入碳的39%~53%和2%~5%,与上述研究结果相似。本研究中牦牛二氧化碳碳占食入碳的比例高于上述研究结果,甲烷碳占食入碳的比例低于上述研究结果,这可能是因为在本研究中所用牦牛饲料精料比例较高,瘤胃发酵产生了更多的丙酸,有研究表明当反刍动物采食的饲料中纤维含量升高时或可溶性碳水化合物含量降低时,瘤胃乙酸与丙酸的比值会上升,瘤胃在乙酸发酵模式下会产生大量的甲烷,而瘤胃在丙酸发酵模式下会产生二氧化碳而不产生甲烷^[26-27]。在本研究中,牦牛碳表观消化率在47.33%~61.26%,与楼灿等^[28]的试验结果(55.75%~73.84%)较接近。

3.4 能量代谢

能量是动物生命活动(如生长、发育、繁殖和生产产品等)的基础,动物所需的能量主要来自于饲料中三大养分(碳水化合物、蛋白质和脂肪)的氧化分解。本研究中牦牛粪能随食入总能增加而增加,这与Tyrrell等^[29]报道的总能摄入量与粪能排出量呈正相关的结果一致。有研究表明肉牛自由采食情况下甲烷能量损失量占食入总能的4%~9%,而改变饲料精粗比会使这一范围扩大到2%~12%^[30],本研究结果与之相似,但整体偏低。樊霞等^[31]的研究指出甲烷的产生量与饲料精料的类型、饲料精粗比和能量摄入量有关,本研究中所用饲料较高的精料比例和较低的饲喂水平可能是导致牦牛甲烷能占食入总能比例偏低的主要原因。杨在宾等^[32]的研究结果显示,饲料能量水平对大尾寒羊的能量表观消化率、总能代谢率和消化能代谢率无显著影响。本研究结果与上述学者所得结果存在差异,这可能是本研究中IR60组牦牛限饲程度较大造成的。穆阿丽^[18]报道了生长牛能量表观消化率、能量代谢率和消化能代谢率分别在64.12%~67.51%、54.20%~58.05%、84.53%~85.92%;赵峰^[33]和邹彩霞^[34]报道的母水牛总能表观消化率和总能代谢率分别在67.11%~71.37%和55.07%~59.23%;本研究中牦牛总能表观消化率低于上述报道,总能代谢率与上述报道接近,消化能代谢率高于上述报道,这样的结果可能是物种差异以及生理阶段不同造成的。

3.5 牦牛妊娠后期维持代谢能需要量

影响动物维持能量需要量的因素主要有体

重、品种、性别、年龄、季节、温度、生理状态等。张晓明^[19]研究表明,秦川牛维持代谢能需要量为668 kJ/(kg W^{0.75}·d);刘道杨^[35]研究表明,生长期湘中黑牛和夏楠牛维持代谢能需要量分别为506和402 kJ/(kg W^{0.75}·d);王微等^[36]研究表明,生长期锦江黄牛维持代谢能需要量为627 kJ/(kg W^{0.75}·d);韩兴泰等^[6]研究表明,生长期牦牛维持代谢能需要量为458 kJ/(kg W^{0.75}·d);本研究通过碳氮平衡试验得出的妊娠180和210 d时牦牛维持代谢能需要量分别为438.81和541.64 kJ/(kg W^{0.75}·d)。

4 结论

妊娠后期牦牛自由采食精粗比为1:1的饲料时,甲烷能损失量占食入总能的4.04%~5.29%,当饲喂水平降低后,这一比例也会随之降低,为1.46%~3.61%。牦牛妊娠180和210 d时维持净蛋白质需要量分别为3.75和3.82 g/(kg W^{0.75}·d),对应的维持代谢能需要量分别为438.81和541.64 kJ/(kg W^{0.75}·d)。

参考文献:

- [1] 刘学敏,杜鹃.妊娠期营养与妊娠结局关系的研究进展[J].中国实用妇科与产科杂志,2014,30(8):639-642.
- [2] 殷雨洋,郭良勇,李玉峰.浅谈妊娠期湖羊营养不良对后代的影响[J].上海畜牧兽医通讯,2019(1):63-64.
- [3] BARKER D J,HALES C N,FALL C H D,et al.Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus, hypertension and hyperlipidaemia (syndrome X): relation to reduced fetal growth[J].Diabetologia,1993,36(1):62-67.
- [4] 郝力壮,王万邦,王迅,等.三江源区嵩草草地枯草期牧草营养价值评定及载畜量研究[J].草地学报,2013,21(1):56-64.
- [5] 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,1994,24(4):1-4,45.
- [6] 韩兴泰,谢放云.生长牦牛维持能量需要量验证报告[J].青海畜牧兽医杂志,1991(1):10-11.
- [7] 冯仰廉,等.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.
- [8] 中华人民共和国农业部.NY/T 815—2004 肉牛饲养标准[S].北京:中国标准出版社,2004.

- [9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3版.北京:中国农业大学出版社,2007.
- [10] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [11] 蔡立.中国的牦牛[J].西南民族学院学报(畜牧兽医版),1980(2):1-5,7-12.
- [12] 秦鹏春.哺乳动物胚胎学[M].北京:科学出版社,2001:4.
- [13] 霍生东.牦牛妊娠早期胚胎及胎儿形态发育的研究[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2006.
- [14] BAUMAN D E, CURRIE W B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis[J]. *Journal of Dairy Science*, 1980, 63(9): 1514-1529.
- [15] AGUILER J F, PRIETO C, FONOLLÁ J. Protein and energy metabolism of lactating Granadina goats[J]. *British Journal of Nutrition*, 1990, 63(2): 165-175.
- [16] 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,2000,9(2):32-37.
- [17] 董世魁,龙瑞军,胡自治,等.舍饲条件下泌乳牦牛能量转化、氮、钙、磷代谢的研究(英文)[J].草业学报,2000,9(4):20-27.
- [18] 穆阿丽.肉牛生长期能量和蛋白质代谢规律及其需要量的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2006.
- [19] 张晓明.秦川牛能量和蛋白质需要量研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2014.
- [20] 中华人民共和国农业部.NY/T 816—2004 肉羊饲养标准[S].北京:中国农业出版社,2004.
- [21] PAUL S S, PATIL N V. Energy and protein requirements of growing Nili-Ravi buffalo heifers in tropical environment[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(12): 2286-2293.
- [22] 徐如海.泌乳水牛泌乳期能量、蛋白质、钙磷需要量的研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2001.
- [23] 楼灿.杜寒杂交肉用绵羊妊娠期和哺乳期能量和蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.
- [24] 伊涛,熊本海.我国肉牛饲养标准与NRC肉牛营养需要的比较分析[J].饲料研究,2010(4):68-71.
- [25] CHANDRAMONI X X, JADHAO S B, TIWARI C M, et al. Carbon and nitrogen balance studies in Muzaffarnagari sheep fed diets varying in roughage and concentrate ratio[J]. *Small Ruminant Research*, 1999, 31(3): 221-227.
- [26] PETRIE K J, BOLAND T M, HART K J, et al. Effect of level of dietary soy oil supplementation and concentrate to forage ratio on feed intake, methane production and rumen fermentation variables of beef steers[J]. *Advances in Animal Biosciences*, 2010, 1(1): 50.
- [27] POLYORACH S, WANAPAT M, CHERDTHONG A. Influence of yeast fermented cassava chip protein (YEFECAP) and roughage to concentrate ratio on ruminal fermentation and microorganisms using *in vitro* gas production technique[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014, 27(1): 36-45.
- [28] 楼灿,姜成钢,马涛,等.不同饲喂水平对杜寒杂交妊娠母羊气体代谢的影响[C]//2014年全国养羊生产与学术研讨会论文集.聊城:中国畜牧兽医学会养羊学分会,2014:227-231.
- [29] TYRRELL H, MOE P W. Effect of intake on digestive efficiency[J]. *Journal of Dairy Science*, 1975, 58(8): 1151-1163.
- [30] 董红敏,杨其长.反刍动物甲烷排放研究进展[J].农村生态环境,1993(增刊):48-51,60.
- [31] 樊霞,董红敏,韩鲁佳,等.肉牛甲烷排放影响因素的试验研究[J].农业工程学报,2006,22(8):179-183.
- [32] 杨在宾,杨维仁,张崇玉,等.小尾寒羊和大尾寒羊能量与蛋白质代谢规律研究[J].中国草食动物,2004,24(5):11-13.
- [33] 赵峰.后备母水牛能量需要及其代谢规律的研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2007.
- [34] 邹彩霞.生长水牛能量代谢及其需要量研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2009.
- [35] 刘道杨.湘中黑牛、夏南牛能量和蛋白质需要量研究[D].硕士学位论文.南昌:江西农业大学,2013.
- [36] 王微,王自蕊,瞿明仁,等.6~7月龄锦江黄牛能量需要量及其代谢规律研究[J].饲料工业,2012,33(22):36-39.

A Study on Energy and Protein Maintenance Requirements of Yaks during Late Pregnancy

PAN Hao¹ NIE Zhaolong¹ WANG Tong¹ LIU Shujie¹ SUN Lu¹ YANG Qien²
FENG Yuzhe¹ CUI Zhanhong^{1*}

(1. Key Laboratory of Plateau Grazing Animal Nutrition and Feed Science of Qinghai Province, Yak Engineering Technology Research Center in Qinghai Province, Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences in Qinghai University, Xining 810016, China; 2. China Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the energy and protein maintenance requirements of yak during late pregnancy, and the results were provided to supplement and perfect basic parameters of yak feeding standard. Fifteen healthy pregnancy yaks treated for estrus synchronization and natural service, and then randomly divided into 3 groups with 5 yaks in each group. The feeding levels of the 3 groups were ad libitum (AL group), 80% ad libitum intake (IR80 group) and 60% ad libitum intake (IR60 group), respectively. Three yaks were selected in each group to conduct the digestion and metabolism test and gas exchange test. Two periods of digestion and metabolism test in yaks were studied on 180 to 185 d and 210 to 215 d of pregnancy and two periods of gas exchange test in yaks were studied on 186 to 190 d and 216 to 220 d of pregnancy. The carbon metabolism indicators (carbon intake, fecal carbon, urinary carbon, methane carbon and carbon dioxide carbon), energy metabolism indicators (total energy intake, fecal energy, urine energy and methane energy) and nitrogen metabolism indicators [nitrogen intake (NI), fecal nitrogen, urine nitrogen] were measured to calculate nitrogen retention (NR), metabolic energy intake (MEI) and energy retention (ER). Through regression analysis, the net protein requirement and metabolic energy requirement for maintenance of yaks during late pregnancy could be calculated. The results showed as follows: the regression equations between NI [$\text{g}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot \text{d})$] and NR [$\text{g}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot \text{d})$] on the 180 and 210 d of pregnancy were $\text{NR} = 1.046_{(\pm 0.18)} \text{NI} - 0.600_{(\pm 0.09)}$ and $\text{NR} = 1.065_{(\pm 0.15)} \text{NI} - 0.611_{(\pm 0.07)}$, respectively. The ordinate intercept was the maintenance net nitrogen requirement of yaks, and the maintenance net protein requirement could be calculated by multiplying the factor 6.25. The regression equations between MEI [$\text{kJ}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot \text{d})$] and ER [$\text{kJ}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot \text{d})$] on the 180 and 210 d of pregnancy were $\text{ER} = 1.722_{(\pm 0.55)} \text{MEI} - 755.760_{(\pm 184.19)}$ and $\text{ER} = 0.988_{(\pm 0.25)} \text{MEI} - 534.870_{(\pm 87.35)}$, respectively. When $\text{ER} = 0$, the value of MEI was the requirement of maintenance metabolic energy for yaks. From the above regression equations, we can conclude that the requirements of maintenance net protein for yaks on the 180 and 210 d of pregnancy are 3.75 and 3.82 $\text{g}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot \text{d})$, respectively, and the requirements of maintenance metabolic energy for yaks on the 180 and 210 d of pregnancy are 438.81 and 541.64 $\text{kJ}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot \text{d})$, respectively. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (8): 3750-3759]

Key words: yaks; late pregnancy; energy; protein; maintenance requirement

* Corresponding author, associate professor, E-mail: cuizhanhong27@126.com

(责任编辑 菅景颖)