

代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛生长性能和能氮代谢的影响

刘云龙¹ 杨 磊^{1,2} 马延鑫³ 付 彤³ 郭江鹏⁴ 孔路欣¹

毕研亮¹ 刁其玉¹ 屠 焰^{1*}

(1.中国农业科学院饲料研究所,奶牛营养学北京市重点实验室,北京 100081;2.甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070;3.河南农业大学牧医工程学院,郑州 450002;4.北京市畜牧总站,北京 100107)

摘 要: 本试验旨在研究代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛生长性能和能氮代谢的影响。选取 64 头初生荷斯坦公犊牛,随机分成 4 组(每组 16 头),分别饲喂 4 种代乳品,代乳品中的总蛋白质由乳源蛋白(MP)和植物蛋白按照 3:7 的比例提供,植物蛋白分别为大豆分离蛋白(SP)、小麦水解蛋白(WP)和大米分离蛋白(RP)。各组代乳品中蛋白质源组成如下:A 组,30% MP+70% SP;B 组,30% MP+40% SP+10% WP+20% RP;C 组,30% MP+10% SP+40% WP+20% RP;D 组,30% MP+10% SP+20% WP+40% RP。试验期 63 d。结果显示:1)14~63 日龄,B 组犊牛体重、平均日增重显著高于 A 组($P<0.05$),各组之间开食料采食量、干物质采食量及饲料转化率没有显著差异($P>0.05$)。2)14~63 日龄,各组犊牛的腰角宽、胸围和体斜长差异不显著($P>0.05$),但 B 组犊牛的体高、十字部高显著高于 A 组($P<0.05$)。3)28 日龄时,C 组犊牛的总能消化率、总能代谢率和消化能代谢率显著低于 A 组和 B 组($P<0.05$);各组之间粪氮和氮消化率差异显著($P<0.05$),但是氮沉积率差异不显著($P>0.05$)。56 日龄时,各组之间在能氮代谢方面差异不显著($P>0.05$)。4)28~56 日龄,B 组、C 组和 D 组犊牛血清中生长激素(GH)水平均高于 A 组,其中 D 组与 A 组的差异达到显著水平($P<0.05$);B 组、C 组和 D 组犊牛血清中胰岛素样生长因子-1(IGF-1)水平均显著高于 A 组($P<0.05$)。综上所述,饲喂复合植物蛋白代乳品能够影响哺乳期犊牛的生长性能及能氮代谢,且综合来看 B 组饲喂效果最佳。

关键词: 哺乳期犊牛;植物蛋白;代乳品;生长性能;能氮代谢

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)03-1227-11

哺乳期犊牛饲喂代乳品不仅可降低培育成本、提高养殖效益,还可依据犊牛生理阶段而调整配方,根据犊牛的营养需要而做到精准饲喂,对犊牛的生长和健康具有重要意义^[1]。代乳品中的蛋白质来源和水平是幼畜培育过程中决定培育效果和经济效益的重要因素^[2],随着对代乳品研究的不断深入和加工工艺的发展,目前代乳品中蛋白

质源主要由乳源蛋白和大豆蛋白组成。但我国大豆产量远不能满足国家内需,需要高度依赖美国进口来弥补缺口,由于近年来受经济贸易的波动,严重破坏了大豆市场的平衡^[3]。大豆价格波动能够通过产业链垂直传导至养殖行业中,若要恢复并维持大豆市场的平衡状态,除了在全球寻找替代市场外,也应降低我国对大豆的需求,在保证动

收稿日期:2019-08-31

基金项目:奶牛产业技术体系北京市创新团队(BAIC06-2019);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2017-FRI-04);中国农业科学院基本科研业务费专项“基于双蛋白应用的犊牛羔羊配方代乳品关键技术开发与应用”(Y2018YJ08-3)

作者简介:刘云龙(1994—),男,河南周口人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: liuyunlong0308@qq.com

* 通信作者:屠 焰,研究员,博士生导师,E-mail: tuyan@caas.cn

物生长性能的前提下,结合我国国情寻求大豆替代品是一项重要且极具意义的事情。

植物蛋白由不同的蛋白质组分构成,根据溶解度的不同可分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白^[4]。不同的蛋白质组分具有不同的功能特性,如清蛋白和球蛋白作为可溶性蛋白质,氨基酸组成平衡,具有优良的溶解性和可消化性。醇溶蛋白中半胱氨酸和疏水性氨基酸含量较高,较强的疏水性与二硫键结合作用会积存在由内质网形成的蛋白质体内^[5],不易被消化酶解,但醇溶蛋白中含有丰富的谷氨酸与谷氨酰胺,谷氨酰胺作为肠道细胞重要的供能物质,能够参与肠道细胞核酸和蛋白质合成代谢,对肠黏膜细胞更新再生及维持肠道健康具有重要作用^[6]。谷蛋白作为大米蛋白中的主要贮藏蛋白质,其消化性要优于醇溶蛋白,易被动物机体内源酶分解利用,且具有抗氧化和调控脂质代谢的作用^[7]。植物蛋白中氨基酸组成和蛋白质组分的含量直接影响其利用效率,但有关蛋白质组分功能特性的研究主要集中在体外试验上。

传统双蛋白质源代乳品的研究主要集中在用单一植物蛋白替代部分乳源蛋白的量效关系和蛋白质来源上,但有关代乳品中不同植物蛋白组合对哺乳期犊牛影响的研究较少。本试验通过配制不同蛋白质源组合的代乳品,探讨其对哺乳期犊牛生长性能、能氮代谢及血清激素水平的影响,旨在开发出复合植物蛋白来替代大豆蛋白,从畜牧

养殖业上降低对大豆进口的依赖,并进一步揭示植物蛋白的作用机制。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

本试验于2018年9—12月在河南农业大学教学实践基地完成。

1.2 试验设计

本试验采用单因素试验设计,将3种植物蛋白(大豆分离蛋白、小麦水解蛋白和大米分离蛋白)按照不同比例与乳源蛋白组合作为代乳品中的蛋白质源,且设定代乳品的总蛋白质由乳源蛋白和植物蛋白按照的3:7的比例提供,共设计4种代乳品,各组代乳品中蛋白质源组成如下:A组,30%乳源蛋白+70%大豆分离蛋白;B组,30%乳源蛋白+40%大豆分离蛋白+10%小麦水解蛋白+20%大米分离蛋白;C组,30%乳源蛋白+10%大豆分离蛋白+40%小麦水解蛋白+20%大米分离蛋白;D组,30%乳源蛋白+10%大豆分离蛋白+20%小麦水解蛋白+40%大米分离蛋白。根据 Osborne^[4]的方法分离提取各植物蛋白的蛋白质组分,计算得出代乳品的植物蛋白中各蛋白质组分占总蛋白质的比例,见表1。各组代乳品的粗蛋白质、粗脂肪含量和总能一致,且满足犊牛哺乳期阶段的营养需要。各组犊牛饲喂同一种开食料,代乳品的营养水平见表2,开食料组成及营养水平见表3。

表 1 代乳品的植物蛋白中各蛋白质组分占总蛋白质的比例

Table 1 Ratio of each protein component to total protein in vegetable proteins of milk replacers %

组别 Groups	球蛋白 Globulin	醇溶蛋白 Prolamin	谷蛋白 Gluten	清蛋白 Albumin	其他 Others
A	55			7	9
B	34	4	18	9	7
C	13	11	25	17	5
D	13	7	35	11	5

表 2 代乳品的营养水平(风干基础)

Table 2 Nutrient levels of milk replacers (air-dry basis) %

营养水平 Nutrient levels	组别 Groups			
	A	B	C	D
干物质 DM	94.46	94.53	94.76	94.90
粗蛋白质 CP	25.02	24.79	25.01	24.83

续表 2

营养水平 Nutrient levels	组别 Groups			
	A	B	C	D
综合净能 NE _{mf} /(MJ/kg)	9.97	9.51	8.81	9.41
粗脂肪 EE	12.68	12.46	12.74	13.12
粗灰分 Ash	4.68	4.60	4.35	4.34
钙 Ca	0.87	0.96	1.07	0.98
磷 P	1.81	1.85	1.78	1.77
赖氨酸 Lys	1.48	1.31	1.43	1.34
苏氨酸 Thr	1.21	1.20	1.24	1.18
蛋氨酸 Met	0.83	0.85	0.91	0.87
必需氨基酸 EAA	9.72	9.87	9.91	10.24
非必需氨基酸 NEAA	13.33	14.68	15.59	16.09

综合净能参照文献[8]计算,其余均为实测值。表 3 同。

NE_{mf} was calculated according to reference[8], while the others were measured values. The same as Table 3.

表 3 开食料组成及营养水平(风干基础)

Table 3 Composition and nutrient levels of the starter (air-dry basis)		%
项目 Items	含量 Content	
原料 Ingredients		
蒸汽压片玉米 Steam-flaked corn	20.0	
玉米 Corn	30.0	
豆粕 Soybean meal	20.0	
麸皮 Wheat bran	14.0	
糖蜜 Molasses	3.2	
大豆皮 Soybean hulls	4.8	
干酒糟及其可溶物 DDGS	4.0	
预混料 Premix	4.0	
合计 Total	100.0	
营养水平 Nutrient levels		
干物质 DM	89.59	
粗蛋白质 CP	16.93	
综合净能 NE _{mf} /(MJ/kg)	7.62	
粗脂肪 EE	3.39	
粗灰分 Ash	5.18	
钙 Ca	1.12	
磷 P	1.73	
中性洗涤纤维 NDF	14.44	
酸性洗涤纤维 ADF	4.71	

预混料为每千克开食料提供 The premix provided the following per kg of the starter: VA 15 000 IU, VD 5 000 IU, VE 50 mg, Cu 12.5 mg, Fe 90 mg, Mn 30 mg, Zn 90 mg, Se 0.3 mg, I 1.0 mg。

1.3 试验动物和饲养管理

选取 64 头健康的荷斯坦公犊牛,按照体重一

致的原则随机分为 4 组,每组 16 头。犊牛在出生后 2 h 内饲喂足量的初乳,随后犊牛饲喂初乳和常乳,在 7 日龄时运输到试验基地,开始全部饲喂代乳品。试验犊牛单栏饲养,犊牛岛(4.5 m×1.5 m)每周进行 1 次清理粪便和消毒。

代乳品使用煮沸后冷却至 50~60 ℃ 的温水冲泡并搅拌均匀成乳液(代乳品质量:水体积=1:7),待温度降至 39.5 ℃ 左右时饲喂犊牛。代乳品按犊牛体重的 1.2%(干物质基础)饲喂,每 2 周按体重调整 1 次。犊牛在 21 日龄前每日饲喂 3 次(07:00、12:30、18:00),21 日龄后每日饲喂 2 次(07:00、18:00)。在 14 日龄时饲喂开食料,每天记录投喂量和剩料量,饲喂至 63 日龄。试验期间自由采食和饮水,每天记录环境最高温度和最低温度,试验全期温度记录见图 1。

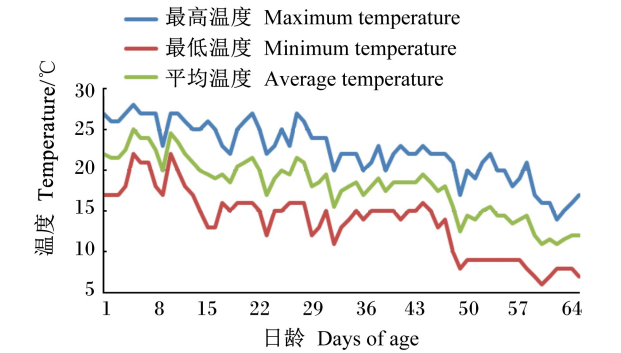


图 1 试验全期环境温度

Fig.1 Environment temperature during whole period

1.4 样品采集与指标测定

1.4.1 饲料样品采集

试验期间每天采集代乳品和开食料样品,试验结束后混匀所有样品, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存待测。

1.4.2 消化代谢试验样品采集

分别在 28 和 56 日龄时每组选取 6 头接近平均体重的犊牛,采用全收粪尿法进行 2 期消化代谢试验,每期包含预试期 3 d、正试期 3 d。第 1 期只饲喂代乳品,第 2 期饲喂代乳品和开食料。在消化代谢试验期内每天详细记录每头犊牛的采食量、排粪量和排尿量。每天收集粪便总量的 10% 制成混合样,每 100 g 鲜粪中加入 10 mL 10% 的稀硫酸固氮。收集尿液总量的 1% 制成混合样,并用稀硫酸调整尿样的 pH。粪样和尿样于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存待测。

1.4.3 血液样品采集

分别在犊牛 28、56 日龄时采集血样。每组选取健康、体重相近的 6 头试验牛,晨饲前颈静脉采血 10 mL, $1\ 500\times g$ 离心 20 min,收集血清于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻保存待测。

1.4.4 指标测定

分别在 14、42 和 63 日龄晨饲前称量每头试验牛体重,并分别测定体高、体斜长、十字部高、胸围、腹围和腰角宽。每天详细记录代乳品和开食料的采食量和剩料量,计算平均日增重和饲料转化率。

饲料样品、粪样和尿样的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙、磷含量参照 AOAC (2000) [9] 的方法测定。干物质含量是将风干样品在 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中干燥 2 h 测定 (AOAC Official Method 930.15),粗蛋白质含量使用 Kjeltac-8420 FOSS 自动蛋白质测定仪测定 (AOAC Official Method 942.05),粗脂肪含量使用 ANKOM-XT15i 全自动脂肪分析仪测定 (AOAC Official Method 920.39),粗灰分含量使用马弗炉测定 (AOAC Official Method 938.08),中性洗涤纤维 (AOAC Official Method 2002.04) 和酸性洗涤纤维含量 (AOAC Official Method 973.18) 使用纤维消煮炉测定,钙含量使用 TAS-986S 型原子吸收光谱仪测定 (AOAC Official Method 927.02),磷含量使用 MA-PADA UV-6100PC 紫外可见分光光度计测定 (AOAC Official Method 965.17)。总能 (GE)、粪能 (FE) 和尿能 (UE) 采用

PARR-6400 全自动氧弹量热仪进行测定。

代乳品氨基酸组成参照《饲料中氨基酸的测定》(GB/T 18246—2000) [10],使用氨基酸自动分析仪 (S-433D, SYKAM) 进行测定。

采用标准试剂盒 (南京建成生物工程研究所),通过酶联免疫吸附测定法使用全自动酶标仪 (科华 ST-360) 测定血清中生长激素 (GH) 和胰岛素样生长因子-1 (IGF-1) 的水平。

1.5 计算公式

1.5.1 能量代谢指标

消化能 $[\text{MJ}/(\text{kg W}^{0.75} \cdot \text{d})] = \text{摄入总能} - \text{粪能};$

代谢能 $[\text{MJ}/(\text{kg W}^{0.75} \cdot \text{d})] =$

摄入总能 - 粪能 - 尿能;

总能消化率 (%) = $100 \times \text{消化能} / \text{摄入总能};$

总能代谢率 (%) = $100 \times \text{代谢能} / \text{摄入总能};$

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

1.5.2 氮代谢指标

氮消化率 (%) = $100 \times (\text{摄入总氮} -$

粪氮) / 摄入总氮;

氮沉积率 (%) = $100 \times (\text{摄入总氮} - \text{粪氮} -$

尿氮) / 摄入总氮。

1.6 统计方法

通过 Excel 2010 对试验原始数据进行初步整理,然后采用 SAS 9.4 进行统计分析,体重、平均日增重、开食料采食量、干物质采食量、饲料转化率、体尺及血清指标使用 MIXED 模型分析,并采用最小二乘法 (LSD) 进行多重比较,统计模型如下:

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

式中: μ 为总平均值; T 为处理 ($i=1, 2, 3, 4$), 固定效应; D 为日龄 ($j=14, 28, 42, 56, 63$), 固定效应; C 为犊牛 ($k=1, 2, 3 \cdots 64$), 随机效应; ε 为残差。

消化代谢试验中能氮代谢数据采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 进行分析,差异显著时采用 Duncan 氏法进行多重比较。 $P < 0.05$ 表示差异显著, $0.05 \leq P \leq 0.10$ 表示有升高或降低的趋势。

2 结 果

2.1 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛生长性能的影响

2.1.1 体重、采食量和平均日增重

由表 4 可以看出,42 日龄、14~63 日龄时, B

组犊牛体重显著高于 A 组 ($P<0.05$), C 组和 D 组与其他各组差异不显著 ($P>0.05$); 63 日龄时, B 组犊牛体重显著高于其他组 ($P<0.05$), C 组、D 组与 A 组之间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛体重的影响

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	A	B	C	D		处理 T	日龄 D	处理×日龄 T×D
14 日龄 14 days of age	39.78	39.81	39.41	39.81	1.551	0.935		
42 日龄 42 days of age	54.54 ^b	59.79 ^a	56.92 ^{ab}	56.50 ^{ab}	1.929	0.019		
63 日龄 63 days of age	74.00 ^b	80.11 ^a	76.00 ^b	76.46 ^b	2.193	0.006		
14~63 日龄 14 to 63 days of age	55.73 ^b	59.99 ^a	57.27 ^{ab}	57.74 ^{ab}	1.364	0.032	<0.001	0.811

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。
Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

由表 5 可知, 14~63 日龄时, 不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛的开食料采食量、干物质采食量及饲料转化率没有显著影响 ($P>0.05$); B 组犊牛的平均日增重显著高于 A 组 ($P<0.05$), C 组和 D 组与其他各组差异不显著 ($P>0.05$), 但 C 组和 D 组的平均日增重在数值上均高于 A 组, 分别提高了 35.72 和 17.50 g/d。

表 5 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛平均日增重和采食量的影响 (14~63 日龄)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	A	B	C	D		处理 T	日龄 D	处理×日龄 T×D
平均日增重 ADG/(g/d)	721.57 ^b	817.06 ^a	757.29 ^{ab}	739.07 ^{ab}	88.640	0.036	0.001	0.824
开食料采食量 Starter intake/(g/d)	921.46	1 050.98	950.72	902.54	98.720	0.848	0.001	0.626
干物质采食量 DMI/(g/d)	1 462.31	1 578.88	1 488.64	1 445.29	65.160	0.640	0.001	0.776
饲料转化率 FCR	2.07	1.93	1.99	1.97	0.120	0.274	0.001	0.878

干物质采食量包括代乳品的干物质采食量和开食料的干物质采食量。
DMI included the DMI of milk replacer and starter.

2.1.2 体尺指标

由表 6 可知, 14~63 日龄时, 各组犊牛的腰角宽、胸围、体斜长差异不显著 ($P>0.05$); B 组犊牛的体高、十字部高显著高于 A 组 ($P<0.05$), C 组和 D 组与其他各组差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛能氮代谢的影响

由表 7 可知, 28 日龄时, C 组和 D 组的粪能显著高于 A 组和 B 组 ($P<0.05$); C 组的总能消化率、总能代谢率和消化能代谢率显著低于 A 组和

B 组 ($P<0.05$), 同时 D 组显著低于 A 组 ($P<0.05$), 与 B 组和 C 组差异不显著 ($P>0.05$)。56 日龄时, 各组之间能量代谢指标差异不显著 ($P>0.05$)。

由表 8 可知, 28 日龄时, 各组之间粪氮和氮消化率差异显著 ($P<0.05$), C 组粪氮最高, 其次是 D 组、B 组, A 组最低, 氮消化率与粪氮的结果则刚好相反; 各组之间氮沉积率差异不显著 ($P>0.05$)。56 日龄时, 各组之间氮代谢指标差异不显著 ($P>0.05$)。

表 6 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛体尺指标的影响

Table 6 Effects of different protein source combinations in milk replacer on body size of sucking calves

cm

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	A	B	C	D		处理 T	日龄 D	处理×日龄 T×D
14~63 日龄								
体高 Wither height	80.98 ^b	82.46 ^a	81.89 ^{ab}	82.18 ^{ab}	0.503	0.041	0.001	0.689
十字部高 Hip height	85.27 ^b	87.20 ^a	86.13 ^{ab}	86.18 ^{ab}	0.570	0.020	0.001	0.953
腰角宽 Hip width	18.60	18.87	18.44	18.71	0.257	0.244	0.001	0.672
胸围 Heart girth	90.98	92.33	91.69	91.98	0.994	0.339	0.001	0.649
腹围 Abdominal circumference	96.21	99.48	97.95	96.79	1.316	0.086	0.001	0.760
体斜长 Body length	84.55	86.10	85.29	85.12	0.712	0.130	0.001	0.869

表 7 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛能量代谢的影响

Table 7 Effects of different protein source combinations in milk replacer on energy metabolism of sucking calves

项目	组别 Groups				SEM	<i>P</i> 值
Items	A	B	C	D		<i>P</i> -value
28 日龄 28 days of age						
摄入总能 GE intake/[MJ/(kg W ^{0.75} · d)]	0.64	0.59	0.63	0.64	0.007	0.090
粪能 FE/[MJ/(kg W ^{0.75} · d)]	0.06 ^b	0.08 ^b	0.12 ^a	0.10 ^a	0.005	<0.001
尿能 UE/[MJ/(kg W ^{0.75} · d)]	0.39	0.45	0.41	0.34	0.029	0.578
总能消化率 GE digestibility/%	88.98 ^a	86.18 ^{ab}	81.37 ^c	83.74 ^{bc}	0.008	0.001
总能代谢率 GE metabolic rate/%	82.48 ^a	79.68 ^{ab}	74.87 ^c	77.24 ^{bc}	0.008	0.001
消化能代谢率 DE metabolic rate/%	92.69 ^a	92.45 ^{ab}	91.99 ^c	92.24 ^{bc}	0.001	0.001
56 日龄 56 days of age						
摄入总能 GE intake/[MJ/(kg W ^{0.75} · d)]	1.58	1.53	1.55	1.55	0.026	0.919
粪能 FE/[MJ/(kg W ^{0.75} · d)]	0.26	0.30	0.32	0.30	0.008	0.157
尿能 UE/[MJ/(kg W ^{0.75} · d)]	0.18	0.19	0.27	0.20	0.015	0.130
总能消化率 GE digestibility/%	83.48	80.56	79.82	80.42	0.006	0.268
总能代谢率 GE metabolic rate/%	76.98	74.06	72.32	73.92	0.008	0.157
消化能代谢率 DE metabolic rate/%	92.21	91.92	91.41	91.91	0.001	0.168

表 8 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛氮代谢的影响

Table 8 Effects of different protein source combinations in milk replacer on nitrogen metabolism of sucking calves

项目	组别 Groups				SEM	<i>P</i> 值
Items	A	B	C	D		<i>P</i> -value
28 日龄 28 days of age						
摄入总氮 TN intake/[g/(kg W ^{0.75} · d)]	1.30	1.24	1.32	1.31	0.015	0.209
粪氮 FN/[g/(kg W ^{0.75} · d)]	0.23 ^d	0.31 ^c	0.48 ^a	0.39 ^b	0.021	<0.001
尿氮 UN/[g/(kg W ^{0.75} · d)]	0.64	0.63	0.53	0.56	0.028	0.456
氮消化率 N digestibility/%	82.36 ^a	75.05 ^b	63.93 ^d	70.41 ^c	0.015	<0.001
氮沉积率 N retained rate/%	33.15	24.39	23.41	28.03	0.020	0.331
56 日龄 56 days of age						
摄入总氮 TN intake/[g/(kg W ^{0.75} · d)]	3.14	3.01	3.04	3.03	0.048	0.815

续表 8

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	A	B	C	D		
粪氮 FN/[g/(kg W ^{0.75} · d)]	0.59	0.63	0.70	0.66	0.018	0.145
尿氮 UN/[g/(kg W ^{0.75} · d)]	0.77	0.71	0.74	0.67	0.023	0.474
氮消化率 N digestibility/%	81.18	79.11	76.58	78.30	0.006	0.076
氮沉积率 N retained rate/%	56.46	55.45	52.09	56.33	0.010	0.407

2.3 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛血清激素水平的影响

由表 9 可知,28~56 日龄,B 组、C 组和 D 组犊牛血清中 GH 水平均高于 A 组,其中 D 组显著

高于 A 组 ($P<0.05$),与 B 组和 C 组差异不显著 ($P>0.05$)。B 组、C 组和 D 组犊牛血清中 IGF-1 水平均显著高于 A 组 ($P<0.05$)。

表 9 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛血清激素水平的影响

Table 9 Effects of different protein source combinations in milk replacer on serum hormone levels of sucking calves								
ng/mL								
项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	A	B	C	D		处理 T	日龄 D	处理×日龄 T×D
生长激素 GH								
28 日龄 28 days of age	3.48	3.61	3.69	3.62	0.172	0.555		
56 日龄 56 days of age	3.56 ^b	3.89 ^{ab}	3.85 ^{ab}	4.30 ^a	0.156	0.008		
28~56 日龄 28 to 56 days of age	3.52 ^b	3.75 ^{ab}	3.77 ^{ab}	3.96 ^a	0.102	0.006	0.001	0.615
胰岛素样生长因子-1 IGF-1								
28 日龄 28 days of age	44.50 ^b	46.35 ^a	47.05 ^a	45.46 ^{ab}	1.618	0.036		
56 日龄 56 days of age	45.75 ^b	49.05 ^a	48.03 ^a	52.39 ^a	1.591	0.030		
28~56 日龄 28 to 56 days of age	45.12 ^b	47.70 ^a	47.54 ^a	48.92 ^a	1.063	0.041	0.001	0.537

3 讨 论

3.1 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛生长性能的影响

蛋白质作为犊牛代乳品中重要的营养素之一,其来源和水平直接影响着哺乳期犊牛的培育效果^[11]。目前有关犊牛代乳品中蛋白质来源的研究在国内外已经有较多报道,过去研究认为植物蛋白因为存在消化利用率低、含有抗原致敏因子及氨基酸平衡状态差等不良因素^[12],当植物蛋白部分替代乳源蛋白后,很难达到与乳源蛋白相同的饲喂效果。但随着对植物蛋白改性技术的研究及饲料配方中氨基酸的平衡调控,以大豆分离蛋白、小麦水解蛋白及大米分离蛋白为代乳品蛋白质源部分替代乳源蛋白饲喂犊牛后,能够达到与乳源蛋白相近的饲喂效果^[13]。但不同的植物蛋白

因为其蛋白质组分及氨基酸组成各异而发挥不同的功能特性^[7],有关不同植物蛋白组合后对哺乳期犊牛生长性能影响的研究较少,本试验通过将大豆分离蛋白、小麦水解蛋白和大米分离蛋白以不同比例组合后作为代乳品饲喂犊牛,结果表明,复合植物蛋白较单一植物蛋白能够提高犊牛的体重及平均日增重,其中以 30%乳源蛋白+40%大豆分离蛋白+10%小麦水解蛋白+20%大米分离蛋白组合的效果最好。产生这种结果的主要原因可能有:1)大豆分离蛋白中主要含有球蛋白和清蛋白^[14],而小麦水解蛋白和大米分离蛋白主要由球蛋白、清蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白组成^[15-16],复合植物蛋白相对于单一植物蛋白其蛋白质组分组成更加多元化,不同蛋白质组分具有不同的功能特性,如以谷蛋白为主的大米分离蛋白能够增强动物机体的抗氧化能力^[7],以醇溶蛋白为主的小麦

水解蛋白富含谷氨酰胺,对幼畜维持肠道健康具有重要作用^[17],所以不同植物蛋白组合后能更加全面地发挥植物蛋白的功能特性。2)不同蛋白质组分在动物体内的消化利用率不同,因为球蛋白和清蛋白作为水溶性蛋白,易被消化酶解利用,醇溶蛋白不易被消化酶解利用,所以对于蛋白质来源相同但比例组合不同的代乳品,其被动物内源酶分解成小肽和游离氨基酸的速率和数量不同,在本试验条件下,以30%乳源蛋白+40%大豆分离蛋白+10%小麦水解蛋白+20%大米分离蛋白组合的效果最好。

犊牛的体型取决于骨骼的长期发育,体尺指标包括体高、十字部高、体斜长、胸围、腹围和腰角宽,能够准确反映生长发育情况。虽然体尺的发育程度主要由遗传力决定,但营养物质的摄入能够影响其遗传潜力的发挥。在本试验中,不同蛋白质源组合的代乳品对哺乳期犊牛的体斜长、胸围、腹围及腰角宽均没有显著影响,表明各组代乳品均能够正常维持动物的生长发育,但是在体高、十字部高方面,饲喂30%乳源蛋白+40%大豆分离蛋白+10%小麦水解蛋白+20%大米分离蛋白组合的犊牛显著高于其他组合,主要原因可能是体尺指标与犊牛体重之间存在较强的相关性^[18],在本研究中,体高、十字部高与体重表现出相同的结果。

3.2 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛能量代谢的影响

哺乳期犊牛处于快速生长发育阶段,除了从饲料中获取能量用于维持需要外,同时还需为生长摄入能量,动物摄入的能量水平直接影响机体的生长速率和营养代谢,确保适宜的能量供给对哺乳期犊牛至关重要^[19]。不同蛋白质来源的代乳品在动物体内的能量利用率不同,饲喂犊牛时,以全乳牛奶为蛋白质源的代乳品消化能代谢率为96%^[20];以乳清蛋白、酪蛋白为蛋白质来源的代乳品消化能代谢率为95%^[11];以大豆分离蛋白为蛋白质源的代乳品总能为消化率为87%、消化能代谢率为67%,以小麦水解蛋白为蛋白质源的代乳品总能为消化率为81%、消化能代谢率为61%,以大米分离蛋白为蛋白质源的代乳品总能为消化率为85%、消化能代谢率为65%^[21]。本试验研究结果表明,在28日龄时,以单一植物蛋白为蛋白质源的代乳品(A组)饲喂犊牛后总能为消化率为

88.98%,与B组(86.18%)差异不显著,但是显著高于C组(81.37%)和D组(83.74%),与前人研究结果一致。但不同的是,在本研究中各组的消化能代谢率均在91%以上,高于黄开武等^[21]以不同单一植物蛋白为蛋白质源时的消化能代谢率,与乳源蛋白更为接近。56日龄时,犊牛的营养需要由代乳粉和开食料共同提供,各组之间的各能量代谢指标没有显著差异。造成以上结果的原因主要是:植物蛋白不能在皱胃中形成凝乳,较乳源蛋白在动物体内停留时间短,未消化营养物质的排出量高,增加了粪便中能量的排放量,所以以植物蛋白作为蛋白质源的代乳品的总能为消化率低于以乳源蛋白作为蛋白质源的代乳品^[22]。以不同植物蛋白为蛋白质源的代乳品的总能为消化率也不同,以小麦水解蛋白为蛋白质源的代乳品的总能为消化率显著低于以大豆分离蛋白和以大米分离蛋白为蛋白质源的代乳品^[21]。在本试验中,不同植物蛋白以不同比例组合饲喂犊牛后,其总能为消化率的表现受植物蛋白比例的影响,结果与前人研究结果一致。在28日龄时,总能为消化率较低的C组和D组在体重方面与总能为消化率高的A组之间并没有显著差异,可能与犊牛的生理状态有关,7~21日龄时为犊牛的腹泻发生期,代乳品中植物蛋白仅为大豆分离蛋白的A组,其腹泻发生率及腹泻天数均高于其他组,影响了其正常的生长发育速率。

另外,本试验研究发现,日龄及饲料结构也能够影响犊牛对代乳品的能量利用,28日龄只饲喂代乳品时影响代乳品能量利用的主要因素是代乳品中复合植物蛋白的组成,而在56日龄饲喂代乳品和开食料时,由于犊牛胃肠道器官发育及功能相对完善,干物质采食量主要由开食料提供,犊牛对饲料的能量利用主要受代乳品来源的影响减弱。

3.3 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛氮代谢的影响

过去研究认为,影响氮素利用的因素主要有饲料蛋白质水平及氨基酸平衡状态,粪氮的排放量与饲料中蛋白质水平呈显著正相关性^[23],但是在蛋白质水平一致、氨基酸平衡的条件下,不同蛋白质源也能够影响犊牛对氮的利用效率。对于代乳品,以全乳作为蛋白质源时,氮的表观消化率为93%^[20];以乳清蛋白作为蛋白质源时为90%^[11];

以大豆分离蛋白作为蛋白质源时为 75% ~ 85%^[24];以小麦水解蛋白作为蛋白质源时 73%;以大米浓缩蛋白作为蛋白质源时为 81%^[21]。由此可见,代乳品以植物蛋白为蛋白质源时的氮表观消化率低于以乳源蛋白为蛋白质源时,其中以小麦水解蛋白最低。在本试验中,28 日龄时,各组之间的氮消化率差异显著,C 组最低,A 组最高;氮沉积率在各组之间差异不显著;56 日龄时,各组之间氮代谢指标没有显著差异。造成以上结果的原因主要与犊牛粪氮的排放量有关,将不同植物蛋白组合作为代乳品饲喂犊牛后,增加了粪氮的排放量,降低了氮的利用率。影响粪氮排放量的主要因素与植物蛋白的蛋白质组分有关,球蛋白和清蛋白作为可溶性蛋白质,具有优良的溶解性和消化性^[14],A 组代乳品的蛋白质由清蛋白和球蛋白组成,粪氮排放量最低,氮消化率最高;谷蛋白是由氢键和二硫键聚集而成的大分子蛋白质聚合体,溶解度较低,但作为一种 II 型蛋白体(PB-II),在动物胃肠道内易被胃蛋白酶和胰蛋白酶等蛋白酶酶解为小肽和氨基酸被机体利用;醇溶蛋白作为 I 型蛋白体(PB-I),含有大量的疏水性氨基酸,因其具有一些特殊的物化特性,很难被胃蛋白酶和胰蛋白酶等内源消化酶酶解,在动物机体内很难被利用^[25]。所以,醇溶蛋白含量较高的 C 组粪氮排放量最高,氮消化率最低。不同植物蛋白组合后虽然会降低氮消化率,但对氮沉积率没有显著影响。综上所述,不同植物蛋白由不同的蛋白质组分组成,而不同的蛋白质组分在动物体内的利用效率不同,醇溶蛋白含量较高的代乳品饲喂犊牛后会增加粪氮的排放量,降低氮消化率,在饲料配方中可通过改变蛋白质组分组成来实现对氮排放量的调控,提高氮的利用效率。

3.4 代乳品中不同蛋白质源组合对哺乳期犊牛血清激素水平的影响

GH 是一类由垂体分泌,能够控制动物生长和营养物质代谢的关键激素^[26];IGF-1 作为一种促细胞分裂素,能够促进机体器官和组织的生长发育,GH 的合成代谢是通过在肝脏、骨骼和肌肉中诱导 IGF-1 实现的^[27]。通过测定血清中 GH 和 IGF-1 水平能够直观反映出动物机体所处的生理状态。在本试验中,复合植物蛋白代乳品较单一植物蛋白代乳品饲喂犊牛后能够显著提高血清中 GH 和 IGF-1 水平,与 Huang 等^[13]研究结果不同,

Huang 等^[13]研究得出单一植物蛋白代乳品饲喂犊牛后对犊牛血清中 GH 和 IGF-1 水平均没有显著影响。造成此结果的原因可能是,不同植物蛋白因具有不同的蛋白质组分而发挥不同的功能特性,单一植物蛋白以高比例替代乳源蛋白时因为其功能特性的局限性,很难达到与全乳蛋白相同的饲喂效果,而复合植物蛋白在平衡饲料氨基酸的条件下能更加全面地发挥其功能特性,促进 GH 和 IGF-1 的分泌。GH 能够作用于犊牛肝脏、肌肉等细胞,促进蛋白质的合成代谢和脂肪的分解,将养分分配于各组织间吸收利用,促进机体组织和骨骼的生长^[28]。另外,GH 能够通过 IGF-1 的介导,促进机体组织对循环系统中氨基酸的摄取和利用,提高蛋白质的合成,抑制蛋白质的分解,增加机体氮沉积能力^[29]。在本试验中,虽然复合植物蛋白代乳品的氮消化率较低,但氮沉积率与单一植物蛋白代乳品相比并没有显著差异,从试验全期看反而提高了哺乳期犊牛的体高、十字部高及平均日增重,表明复合植物蛋白能够通过提高血清中 GH 和 IGF-1 水平来增加机体对氮的沉积,提高组织生长发育能力。单一植物蛋白代乳品有较高的总能消化率和氮消化率,但在表观性能方面没有表现出优势,主要可能与其试验前期的生理状态有关。综上所述,以复合植物蛋白代乳品饲喂犊牛能够提高血清中 GH 和 IGF-1 水平,与前文所述生长性能及氮代谢的结果表现一致,但不同植物蛋白组合后提高犊牛血清中 GH 和 IGF-1 水平的机制有待进一步研究。

4 结 论

综上所述,在本试验条件下,以 30% 乳源蛋白+40% 大豆分离蛋白+10% 小麦水解蛋白+20% 大米分离蛋白组合作为代乳品对哺乳期犊牛的饲喂效果较好,该组合能够在不影响哺乳期犊牛生长性能的条件下减少大豆蛋白的用量,降低对大豆的依赖。

参考文献:

- [1] SHIVLEY C B, LOMBARD J E, URIE N J, et al. Preweaned heifer management on US dairy operations: part VI. Factors associated with average daily gain in preweaned dairy heifer calves [J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(10): 9245-9258.

- [2] HILL T M, QUIGLEY J D, BATEMAN II H G, et al. Source of carbohydrate and protein in the diet of recently weaned dairy calves[M]//OLTJEN J W, KEBREAB E, LAPIERRE H. Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2013.
- [3] 崔宁波, 刘望. 全球大豆贸易格局变化对我国大豆产业的影响及对策选择[J]. 大豆科学, 2019, 38(4): 629-634.
- [4] OSBORNE T B. Scientific books: the vegetable proteins[J]. Science, 1910, 32(821): 409-410.
- [5] 王洪伟, 武菁菁, 阚建全. 青稞和小麦醇溶蛋白和谷蛋白结构性质的比较研究[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 43-48.
- [6] 李瑞瑞, 牛月景. 醇溶蛋白及其在饲料行业中的应用[J]. 饲料研究, 2014(1): 4-5.
- [7] WANG Z X, HUI L, LIANG M C, et al. Glutelin and prolamin, different components of rice protein, exert differently *in vitro* antioxidant activities[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 72: 108-116.
- [8] 中华人民共和国农业部. NY/T 815—2004 肉牛饲养标准[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [9] HORWITZ W. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists [M]. 13th ed. Rome: FAO, 1980.
- [10] 国家质量技术监督局. GB/T 18246—2000 饲料中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [11] BLOME R M, DRACKLEY J K, MCKEITH F K, et al. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(6): 1641-1655.
- [12] LONG H, HAN M, QIAO S Y, et al. Soybean antigen proteins and their intestinal sensitization activities[J]. Current Protein & Peptide Science, 2015, 16(7): 613-621.
- [13] HUANG K W, TU Y, SI B W, et al. Effects of protein sources for milk replacers on growth performance and serum biochemical indexes of suckling calves[J]. Animal Nutrition, 2015, 1(4): 349-355.
- [14] 曲家妮, 杨晓泉. 大豆蛋白组分功能性质的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(6): 26-30.
- [15] 李亦蔚. 大米蛋白提取与分离纯化技术的研究[D]. 硕士学位论文. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
- [16] 孙媛. 改良 Osborne 法分级分离四种小麦蛋白的研究[D]. 硕士学位论文. 成都: 华南理工大学, 2015.
- [17] 高正义, 王志祥, 陈道付, 等. 谷氨酰胺的生理功能及其在幼龄动物营养中的应用[J]. 中国畜牧兽医, 2007, 34(8): 16-19.
- [18] HEINRICHS A J, ROGERS G W, COOPER J B. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements[J]. Journal of Dairy Science, 1992, 75(12): 3576-3581.
- [19] BROWN E G, VANDEHAAR M J, DANIELS K M, et al. Effect of increasing energy and protein intake on mammary development in heifer calves[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(2): 595-603.
- [20] NRC. Nutrient requirements of dairy cattle[S]. 7th ed. Washington, D.C.: United States: National Academies Press, 2001.
- [21] 黄开武, 屠焰, 司丙文, 等. 代乳品中不同来源蛋白质对哺乳期犊牛能氮代谢和免疫状况的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2016, 47(9): 1868-1878.
- [22] BURGSTALLER J, WITTEK T, SMITH G W. Invited review: abomasal emptying in calves and its potential influence on gastrointestinal disease [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(1): 17-35.
- [23] BARROS T, QUAASSDORFF M A, AGUERRE M J, et al. Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(7): 5434-5448.
- [24] LI H, DIAO Q Y, ZHANG N F, et al. Growth, nutrient utilization and amino acid digestibility of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein in the preruminant period[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2008, 21(8): 1151-1158.
- [25] 刘云龙, 刁其玉, 屠焰. 哺乳期犊牛代乳品中蛋白质来源的研究进展[J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 536-543.
- [26] SMITH J M, VAN AMBURGH M E, DÍAZ M C, et al. Effect of nutrient intake on the development of the somatotrophic axis and its responsiveness to GH in Holstein bull calves[J]. Journal of Animal Science, 2002, 80(6): 1528-1537.
- [27] NIKOLIĆ J A, BEGOVIĆ J, RESANOVIĆ V, et al. Serum hormones and insulin-like growth factor-1 in male and female calves and their possible relation to growth[J]. Acta Veterinaria, 1996, 46(1): 17-26.
- [28] 刘守仁. 生长激素作用的分子机制[J]. 新疆农业科学, 2001(增刊): 51-53.
- [29] TORRENTERA N, CERDA R, CERVANTES M, et

al. Relationship between blood plasma IGF-1 and GH concentrations and growth of Holstein steers [J]. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 2009, 17 (1/2): 37-41.

Effects of Different Protein Source Combinations in Milk Replacer on Growth Performance, Energy and Nitrogen Metabolism of Sucking Calves

LIU Yunlong¹ YANG Lei^{1,2} MA Yanxin³ FU Tong³ GUO Jiangpeng⁴ KONG Luxin¹
BI Yanliang¹ DIAO Qiyu¹ TU Yan^{1*}

(1. *Beijing Key Laboratory of Dairy Cow Nutrition, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*; 3. *College of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China*; 4. *Beijing Municipal Animal Husbandry Station, Beijing 100107, China*)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of different protein source combinations in milk replacer on growth performance, energy and nitrogen metabolism of sucking calves. In this experiment, sixty-four newborn Holstein calves were randomly assigned to one of four groups with 16 calves per group, which were fed with milk replacer whose proteins contained 30% milk protein (MP) and 70% vegetable protein. Vegetable proteins were soybean protein isolate (SP), wheat hydrolyzed protein (WP) and rice protein isolate (RP), respectively. Calves in different groups were fed four replacers, which were as follows: group A, 30%MP+70%SP; group B, 30%MP+40%SP+10%WP+20%RP; group C, 30%MP+10%SP+40%WP+20%RP; group D, 30%MP+10%SP+20%WP+40%RP. The trial lasted for 63 days. The results showed as follows: 1) at 14 to 63 days of age, calves' body weight and average daily gain of group B were significantly higher than those of group A ($P<0.05$). However, there were no significant effects on starter intake, dry matter intake and feed conversion ratio among all groups ($P>0.05$). 2) At 14 to 63 days of age, calves' hip width, heart girth and body length were not significant difference among all groups ($P>0.05$), but calves' wither height and hip height of group B were significantly higher than those of group A ($P<0.05$). 3) At 28 days of age, calves' gross energy digestibility, gross energy metabolic rate and digestible energy metabolic rate of group C were significantly lower than those of groups A and B ($P<0.05$). The differences in fecal nitrogen and nitrogen digestibility among all groups were significant ($P<0.05$), but the difference in nitrogen retained rate was not significant ($P>0.05$). At 56 days of age, the differences of energy and nitrogen metabolism among all groups were not significant ($P>0.05$). 4) At 28 to 56 days of age, the growth hormone (GH) level in serum of groups B, C and D was higher than that of group A, and the difference was significant between groups D and A ($P<0.05$); the insulin-like growth factor-1 (IGF-1) level in serum of groups B, C and D was significantly higher than that of group A ($P<0.05$). In summary, feeding the compound vegetable protein milk replacer can affect the growth performance and nitrogen metabolism of the sucking calves, and the B group has the best feeding effect. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(3):1227-1237]

Key words: sucking calf; vegetable protein; milk replacer; growth performance; energy and nitrogen metabolism