

引用格式:

黄天琪, 万发春, 沈维军, 王祚, 刘磊, 肖定福, 兰欣怡. 日粮磷水平对夏南牛生长性能和血清生化指标及瘤胃微生物区系的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(4): 70–75.

HUANG T Q, WAN F C, SHEN W J, WANG Z, LIU L, XIAO D F, LAN X Y. Effects of dietary phosphorus levels on growth performance, serum biochemical indices and rumen microbiota of Xianan cattle[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(4): 70–75.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



日粮磷水平对夏南牛生长性能和血清生化指标 及瘤胃微生物区系的影响

黄天琪¹, 万发春^{1*}, 沈维军¹, 王祚¹, 刘磊², 肖定福¹, 兰欣怡¹

(1.湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南长沙 410128; 2.湖南农业大学动物医学院, 湖南长沙 410128)

摘要: 选取 36 头遗传背景相似的 13~15 月龄、体质量为(332.8±49.9) kg 的夏南牛, 随机分成 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 3 头牛, 分别饲喂磷质量分数为 0.15%、0.18%、0.20%、0.23% 的日粮, 预试期 15 d, 试验期 60 d, 测定夏南牛生长性能和血清生化指标, 分析日粮磷水平对瘤胃微生物区系的影响。结果表明: 日粮磷质量分数 0.15% 组夏南牛日干物质采食量极显著低于其他各组的; 0.18% 和 0.20% 组牛平均日增重显著高于 0.15% 组的; 磷质量分数为 0.20% 时, 夏南牛的平均日增重最高, 达 0.92 kg; 不同磷质量分数日粮对夏南牛的干物质表观消化率、中性洗涤纤维表观消化率、酸性洗涤纤维表观消化率、粗蛋白表观消化率和钙表观消化率无显著影响, 磷的表观消化率随日粮中磷质量分数的提高呈线性增加; 日粮磷质量分数对夏南牛血清中钙、磷、尿素氮浓度和碱性磷酸酶活性无显著影响; 日粮磷质量分数对夏南牛瘤胃发酵参数无显著影响, 拟杆菌门(Bacteroidetes)、变形菌门(Proteobacteria)和厚壁菌门(Firmicutes)为瘤胃微生物的优势菌门。体质量为(332.8±49.9) kg 的 13~15 月龄夏南牛推荐日粮磷质量分数为 0.20%。

关键词: 夏南牛; 日粮磷; 生长性能; 瘤胃发酵; 血清生化指标

中图分类号: S823.8+15

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)04-0070-06

Effects of dietary phosphorus levels on growth performance, serum biochemical indices and rumen microbiota of Xianan cattle

HUANG Tianqi¹, WAN Fachun^{1*}, SHEN Weijun¹, WANG Zuo¹, LIU Lei², XIAO Dingfu¹, LAN Xinyi¹

(1.College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;
2.College of Veterinary Medicine, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: A total of 36 Xianan cattle aged 13-15 months and weighed (332.8±49.9) kg with similar genetic background were selected and randomly divided into 4 groups with 3 replicates in each group. Cattles in 4 groups were fed diets with phosphorus mass fractions of 0.15%, 0.18%, 0.20% and 0.23%, respectively, for a pretrial period of 15 days and a trial period of 60 days, to determine the growth performance of the Xianan cattle and the serum biochemical indicators, and to analyze the effects of dietary phosphorus levels on the rumen microbiota. The experiment results showed that dry matter intake in the 0.15% group was extremely significantly lower than that of the other three groups; average daily gain of the 0.18% and 0.20% groups was significantly higher than that of the 0.15% group, and the average daily gain of Xianan cattle was the highest, up to 0.92 kg at a phosphorus level of 0.20%. There was no significant difference in the apparent digestibility of dry matter, neutral detergent fiber, acidic detergent fiber, crude protein, and calcium among the groups of

收稿日期: 2023-09-07

修回日期: 2024-05-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(32172758); 国家重点研发计划(2022YFD1301101-1); 国家肉牛牦牛产业技术体系项目(CARS-37); 湖南省科学技术厅项目(2021RC4060); 湖南省自然科学基金项目(2019JJ50279、2021JJ30011)

作者简介: 黄天琪(1998—), 女, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要从事反刍动物营养与饲料科学研究, 1606293070@qq.com; *通信作者, 万发春, 博士, 教授, 主要从事反刍动物营养与肉牛育种研究, wanfc@sina.com

Xianan cattle, and the apparent digestibility of phosphorus increased linearly with increasing dietary phosphorus levels. Dietary phosphorus levels did not affect the concentrations of serum calcium, phosphorus, urea nitrogen, or the activity of alkaline phosphatase. There were no significant effects of dietary phosphorus levels on ruminal fermentation parameters in Xianan cattle. Bacteroidetes, Proteobacteria and Firmicutes remained the dominant phyla in the rumen. In conclusion, the recommended dietary phosphorus level for 13- to 15-month-old Xianan cattle with a body mass of (332.8±49.9) kg is 0.20%.

Keywords: Xianan cattle; dietary phosphorus; growth performance; rumen fermentation; serum biochemical indices

磷元素对肉牛的生长发育及生产繁殖有重要影响。日粮中磷供给不足会导致反刍动物采食量降低,影响其生长性能^[1],但长期饲喂高磷日粮,则会影响钙、镁等矿物质元素的吸收和代谢^[2],未被消化利用的磷随动物粪尿排出也会造成环境污染^[3]。已有多项研究表明,适当降低日粮磷质量分数不会影响奶牛、山羊和绵羊的生产性能和瘤胃发酵,且可显著降低磷的排放^[4-6]。对夏南牛能量、蛋白和钙需要量的研究已见报道^[7-9],但其磷需要量的研究较少。笔者根据 NY/T 815—2004《肉牛饲养标准》中关于生长期育肥牛的饲养标准,配制 4 组不同磷质量分数的日粮,研究日粮磷质量分数对夏南牛生长性能、血清生化指标、瘤胃发酵参数及微生物区系的影响,旨在确定夏南牛日粮中磷的适宜水平,为夏南牛养殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试夏南牛为 13~15 月龄公牛,36 头,体质量为(332.8±49.9) kg,由河南省泌阳县夏南牛科技开发有限公司提供。

1.2 试验设计

试验在泌阳县夏南牛科技开发有限公司进行。将夏南牛公牛随机分成 4 组,每组 3 个重复,每个重复 3 头牛。根据 NY/T 815—2004《肉牛饲养标准》磷质量分数 0.24% 的建议,配制精、粗粮质量比为 4:6、不同磷质量分数(0.23%、0.20%、0.18%、0.15%)的试验日粮(表 1)。预试期为 15 d,正试期为 60 d。对试验牛进行散栏饲养,自由饮水。采用全混合日粮(TMR)于每日 8:30 和 16:30 各投料 1 次。

表 1 夏南牛基础日粮组成及营养水平

Table 1 Basal composition and nutrient levels of diets for Xianan cattle

磷质量 分数/%	饲料组分质量分数/%									综合净能/ (MJ kg ⁻¹)	营养水平/%				钙磷比
	玉米青贮	小麦秸秆	玉米	花生粕	石粉	磷酸氢钙	脂肪粉	稻壳粉	预混料		粗蛋白	粗脂肪	钙	磷	
0.23	38.00	22.00	25.40	7.68	1.02	0.21	2.30	0.09	3.30	6.27	13.61	8.09	0.68	0.23	2.98
0.20	35.00	25.00	25.09	8.21	0.90	0.11	2.20	0.11	3.30	6.22	13.60	8.08	0.60	0.20	2.92
0.18	32.00	28.00	25.00	8.10	0.82	0.06	2.50	0.24	3.30	6.23	13.60	8.08	0.53	0.18	2.92
0.15	30.00	30.00	25.65	7.50	0.75	0.00	2.50	0.30	3.30	6.26	13.61	8.09	0.45	0.15	2.95

预混料为每 kg 日粮提供 1.6 g 氯化钠、V-A 13 000 0.00 IU、V-D₃ 4 000 IU、V-E 40 mg、锰 3.339 g、锌 4.574 g、铜 1.749 g、碘 1.96 mg、铁 2.497 mg、硒 0.72 mg、钴 0.04 mg。

1.3 指标测定

所有牛在正试期开始前和结束后连续 2 d 空腹称体质量,每天记录饲料添加量和剩余量,计算平均日增重(ADG)、日干物质采食量(DMI)及料重比(FCR)。在正试期第 57 至第 59 天,每个重复挑选 2 头牛,连续 3 d 于 8:00 和 15:00 采集直肠粪样,将其混合均匀后均分成 2 份,其中 1 份加入稀盐酸固氮,另 1 份制备成风干样,同时收集饲料

样本。参照文献[10]的方法分别测定饲料与粪便样品中干物质(DM)、粗脂肪(EE)、粗蛋白质(CP)、钙(Ca)、总磷(TP)、总能(GE)和盐酸不溶灰分(AIA)含量;参照 VAN SOEST 等^[11]的方法测定酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)含量,以 AIA 为内源性指示剂计算营养物质表观消化率。正试期第 60 天晨饲前,从牛颈静脉采血,3 000 r/min 离心 10 min 分离血清,-20 °C 保存。按照试剂盒说明书,使用酶标分析仪(Rayto-RT6100)分别

测定血清甲状旁腺素(PTH)、1,25-二羟基维生素-D₃(1,25-(OH)₂D₃)、降钙素(CT)、钙(Ca)、磷(P)、碱性磷酸酶(AKP)、尿素氮(BUN)等含量。从口腔采集瘤胃液,经4层纱布过滤后立即用LE438-2M型pH计测定其pH,分装至离心管,液氮速冻后放入-80℃冰箱冻存。参照文献[12]中的方法测定氨态氮(NH₃-N)含量,采用气相色谱GC8860测定挥发性脂肪酸(VFA)含量,参照文献[13]中的方法使用酶标仪(1530-801186)和BCA蛋白检测试剂盒测定微生物蛋白(MCP)含量。瘤胃液微生物区系测定委托北京百迈客生物科技有限公司完成。

1.4 数据分析

用SPSS 22.0软件对试验数据进行单因素方差分析;选用Duncan法进行多重比较,通过多项式

比较分析线性、二次效应。

2 结果与分析

2.1 日粮磷水平对夏南牛生长性能的影响

供试夏南牛的生长性能的测定结果列于表2。结果表明:随着日粮磷质量分数的降低,ADG呈先增高后降低的二次效应,0.20%磷质量分数的日增重最高,为0.92 kg,0.15%组ADG显著低于0.20%组和0.18%组的;DMI呈线性和二次降低效应,0.15%组DMI显著低于其他3组的,磷质量分数的降低对FCR没有显著影响;各组夏南牛DM、NDF、ADF、CP、Ca和TP的表观消化率均差异不显著,随着磷质量分数的降低,TP的表观消化率呈线性降低,CP表观消化率在0.20%组最低,随后逐渐升高。

表2 饲喂不同磷水平日粮的夏南牛的生长性能和营养物质表观消化率

Table 2 Growth performance and apparent digestibility of nutrients in Xianan cattle fed diets with different phosphorus levels

磷质量分数/%	ADG 含量/kg	DMI 含量/kg	FCR	营养物质表观消化率/%					
				DM	CP	NDF	ADF	Ca	TP
0.23	(0.86±0.11)ab	(9.23±0.22)A	10.73±1.38	88.43±0.92	66.78±1.81	65.30±1.46	61.08±1.93	45.93±10.52	47.50±6.31
0.20	(0.92±0.13)a	(9.18±0.21)A	9.98±1.26	83.95±5.92	63.84±4.65	70.00±5.87	62.78±1.47	40.85±6.61	42.79±2.42
0.18	(0.89±0.10)a	(8.93±0.43)A	10.03±1.47	83.53±3.04	64.15±1.11	60.34±5.20	57.37±6.67	33.94±7.32	37.68±8.74
0.15	(0.76±0.08)b	(8.16±0.38)B	10.74±1.24	87.70±0.70	70.02±2.08	61.80±5.03	58.08±6.86	39.56±3.59	36.67±4.59
P(处理)	0.036	0.001	0.566	0.249	0.081	0.134	0.529	0.334	0.179
P(线性)	0.093	0.001	0.865	0.799	0.288	0.173	0.263	0.207	0.024
P(二次)	0.013	0.001	0.365	0.112	0.029	0.366	0.545	0.222	0.077

同列不同大小写字母分别表示组间的差异有统计学意义($P<0.01$ 、 $P<0.05$)。

2.2 日粮磷水平对夏南牛血清生化指标的影响

供试夏南牛的血清生化指标的测定结果列于表3。结果表明:日粮磷质量分数不影响夏南牛血清Ca、P、BUN含量和AKP活性;随着磷质量分数的降低,1,25-(OH)₂D₃含量呈现出先升高后降低

的二次效应,其中0.20%组的1,25-(OH)₂D₃含量最高,且显著高于0.15%组的;PTH含量呈线性降低,0.23%组和0.20%组PTH含量显著高于0.15%组的;CT含量呈线性升高,0.23%组的CT含量显著低于0.18%组和0.15%组的。

表3 饲喂不同磷水平日粮的夏南牛的血清生化指标

Table 3 Serum biochemical indices in Xianan cattle fed diets with different phosphorus levels

磷质量分数/%	Ca 含量/(mmol L ⁻¹)	P 含量/(mmol L ⁻¹)	AKP 活性/(U L ⁻¹)	BUN 含量/(mmol L ⁻¹)	1,25-(OH) ₂ D ₃ 含量/(ng L ⁻¹)	PTH 含量/(pg mL ⁻¹)	CT 含量/(pg mL ⁻¹)
0.23	2.90±0.15	2.30±0.13	83.54±20.67	3.49±0.68	(24.89±4.48)ab	(495.97±76.11)a	(220.85±57.99)b
0.20	2.97±0.04	2.22±0.18	92.47±18.39	3.49±0.55	(29.03±3.51)a	(498.85±82.20)a	(266.13±37.88)ab
0.18	2.94±0.11	2.46±0.27	94.83±13.25	3.42±0.59	(27.49±4.61)a	(434.30±59.92)ab	(314.09±53.49)a
0.15	2.95±0.11	2.39±0.30	82.51±17.67	3.61±0.58	(20.69±4.81)b	(370.65±47.46)b	(315.09±53.89)a
P(处理)	0.794	0.077	0.550	0.962	0.019	0.011	0.013
P(线性)	0.594	0.112	0.983	0.780	0.140	0.002	0.002
P(二次)	0.730	0.289	0.351	0.897	0.006	0.004	0.005

同列不同字母表示组间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 日粮磷水平对夏南牛瘤胃发酵指标的影响

供试夏南牛的瘤胃发酵指标的测定结果列于表

4。结果表明，磷质量分数对夏南牛瘤胃液的 pH 以

及 NH₃-N、MCP 和总挥发性脂肪酸含量等没有显著影响。

表 4 饲喂不同磷水平日粮的夏南牛的瘤胃发酵指标

Table 4 Ruminal fermentation indices in Xianan cattle fed diets with different phosphorus levels

磷质量分数/%	pH	NH ₃ -N 含量/(mg (100 mL) ⁻¹)	MCP 含量/(mg (100 mL) ⁻¹)	总 VFAs 含量/(mmol L ⁻¹)	乙酸含量/%	丙酸含量/%	丁酸含量/%	异戊酸含量/%	异丁酸含量/%	戊酸含量/%	乙丙比
0.23	6.88±0.13	7.04±0.19	248.92±20.46	55.44±2.59	71.83±1.23	17.16±0.45	9.00±1.27	1.06±0.15	0.68±0.22	0.28±0.13	4.18±0.11
0.20	6.87±0.10	6.73±0.35	264.75±35.17	55.37±2.32	71.42±1.19	17.93±1.92	8.58±1.13	1.18±0.15	0.77±0.24	0.13±0.12	4.02±0.46
0.18	6.82±0.08	6.84±0.69	265.46±25.51	54.91±2.67	72.14±1.06	17.82±0.89	8.20±0.67	0.98±0.23	0.66±0.19	0.21±0.09	4.06±0.27
0.15	6.82±0.14	6.67±0.40	259.19±34.01	55.07±1.30	72.64±1.84	17.39±0.61	8.25±1.32	0.98±0.24	0.59±0.15	0.16±0.06	4.18±0.23
P(处理)	0.723	0.503	0.752	0.980	0.479	0.613	0.594	0.286	0.493	0.104	0.707
P(线性)	0.277	0.221	0.553	0.722	0.208	0.785	0.196	0.253	0.314	0.189	0.946
P(二次)	0.560	0.451	0.546	0.934	0.327	0.411	0.386	0.420	0.354	0.216	0.500

2.4 日粮磷水平对夏南牛瘤胃微生物区系的影响

供试夏南牛的瘤胃菌群门和属的相对丰度列于表 5。结果表明：拟杆菌门(Bacteroidetes)、变形菌门(Proteobacteria)和厚壁菌门(Firmicutes)是夏南牛瘤胃微生物的优势菌门；随着磷质量分数的升高，变形菌门的相对丰度呈二次曲线变化，厚壁菌门的相对丰度呈线性增加，其中 0.23%组变形菌门的相对丰度极显著低于其他组的，厚壁菌门的相对丰度极显著高于其他组的。

供试夏南牛的瘤胃微生物中，以琥珀酸弧菌科 UCG-002 菌属(*Succinivibrionaceae_UCG-002*)、普雷沃氏菌属_1(*Prevotella_1*)以及琥珀酸菌属(*Succiniclasticum*)的相对丰度较高。随着磷质量分数的升高，琥珀酸弧菌科 UCG-002 菌属呈线性降低，而琥珀酸菌属的相对丰度呈线性升高；0.23%组琥珀酸弧菌科 UCG-002 菌属的相对丰度极显著低于其他 3 组的；0.20%组普雷沃氏菌属_1 的相对丰度极显著低于其他 3 组的；0.23%组和 0.20%组琥珀酸菌属的相对丰度显著高于 0.18%和 0.15%组的。

表 5 饲喂不同磷水平日粮的夏南牛的瘤胃菌群的相对丰度

Table 5 Relative abundance of rumen microflora at phylum and genus levels in Xianan cattle fed diets with different phosphorus levels

磷质量分数/%	菌门相对丰度/%				
	拟杆菌门	变形菌门	厚壁菌门	圣诞岛盐菌门	软壁菌门
0.23	(33.69±1.73)A	(10.54±2.23)C	(28.81±4.90)A	10.72±1.87	7.87±2.64
0.20	(23.70±1.09)B	(35.32±4.52)A	(24.41±3.30)B	8.57±3.26	3.24±1.66
0.18	(32.03±5.65)A	(25.72±6.23)B	(20.88±2.08)BC	6.95±3.31	6.26±3.32
0.15	(26.45±2.31)B	(34.64±6.30)A	(18.62±3.15)C	9.97±5.57	4.90±2.68
P(处理)	<0.001	0.001	<0.001	0.325	0.050
P(线性)	0.158	0.001	<0.001	0.451	0.317
P(二次)	0.203	0.001	<0.001	0.208	0.264

磷质量分数/%	菌属相对丰度/%				
	琥珀酸弧菌科 UCG-002 菌属	普雷沃氏菌属_1	琥珀酸菌属	未培养的细菌 WCHB1-41	理研菌科 RC9 肠道菌群
0.23	(8.52±1.94)C	(13.96±1.20)AB	(13.44±4.30)a	10.72±1.87	9.42±2.20
0.20	(28.58±3.83)A	(9.08±0.87)C	(12.80±2.37)a	8.57±3.26	7.19±0.94
0.18	(22.61±5.98)B	(14.89±3.77)A	(8.92±1.58)b	6.95±3.31	8.33±2.34
0.15	(29.77±6.69)A	(11.79±1.87)B	(8.64±3.40)b	9.97±5.57	7.09±0.80
P(处理)	0.001	0.001	0.016	0.325	0.113
P(线性)	0.001	0.899	0.002	0.451	0.093
P(二次)	0.001	0.702	0.011	0.208	0.201

同列不同大小写字母分别表示组间的差异有统计学意义(P<0.01、P<0.05)。

3 结论与讨论

研究表明,日粮中缺磷会导致肉牛采食量降低,进一步影响其体质量^[4]。本试验中,当日粮磷质量分数为0.15%时,夏南牛的DMI和ADG显著降低,这说明夏南牛日粮中的磷质量分数不能低于0.15%,否则会影响其正常发育。ERICKSON等^[14]发现将育肥阉牛的日常磷质量分数从0.40%降低到0.16%时,未对其DMI、ADG和FCR产生显著影响。本研究中,磷质量分数从0.23%降到0.18%后,夏南牛的生长性能未受到影响,但是当磷质量分数为0.23%时,ADG较其他2组呈下降趋势,这可能与试验动物及试验期不一致有关。本试验的结果显示,日粮磷质量分数对DM、CP、NDF、ADF、Ca和P的表观消化率没有显著影响,但随着日粮磷质量分数降低,P的表观消化率与日粮磷质量分数呈正相关。这与赵恒聚^[15]发现泌乳中期荷斯坦奶牛P的表观消化率与日粮磷质量分数呈负相关的结果不太一致,这可能与试验动物品种不同有关,处于泌乳中期的奶牛需要更多的磷来满足自身需要;另一方面也可能与本试验日粮中钙水平增加有关。

肉牛机体内具有精准的钙、磷稳态调节系统,除了长期采食钙、磷缺乏或钙磷比例不当的饲料会造成血清钙、磷含量不正常外,一般肉牛血清中的钙、磷含量都在正常生理范围内^[16-17]。本研究也得出了相似的结论。研究^[18]表明,长期缺磷的奶牛血液AKP活性会显著升高,并极显著高于正常动物的。本研究中,0.15%组的AKP活性与其他组的并未呈现显著差异,可能是试验时间未达到长期的标准,需要后续更长的试验时间去验证。PTH、 $1,25-(OH)_2D_3$ 和CT是调控机体钙磷稳态恒定的三类主要激素。在本试验中,随着日粮中磷质量分数降低,PTH和 $1,25-(OH)_2D_3$ 的含量呈先升高后稳定的趋势,而CT的含量逐渐降低并趋于稳定,这与前人在奶水牛^[19]和泌乳奶牛^[20]研究中的结论一致。总之,夏南牛机体内的钙磷调节系统相对稳定,并未因磷质量分数的降低而改变,因此仅通过血液生化指标并不能确定夏南牛对磷的最佳需要量。

反刍动物瘤胃液pH过高或过低均会影响瘤胃微生物活性。微生物可以利用碳水化合物产生的挥

发性脂肪酸为机体提供能量;也可以利用蛋白质和非蛋白氮生成 NH_3-N 和MCP,为微生物自身提供适宜的生存环境。本试验中各处理组夏南牛瘤胃发酵指标随着日粮磷质量分数的降低无显著影响。这表明日粮磷质量分数的变化不会影响瘤胃微生物对饲料中碳水化合物和含氮物质的消化效率。

本试验中,采食不同磷质量分数日粮的夏南牛瘤胃优势菌门为拟杆菌门、变形菌门和厚壁菌门,这表明日粮磷质量分数的变化不影响夏南牛的瘤胃优势菌群。厚壁菌门的相对丰度随着日粮磷水平的降低而下降,而ADF的表观消化率和NDF的表观消化率无显著变化,这与BURROUGHS等^[21]的结论不一致,这可能与体外研究和体内研究的差异性有关。琥珀酸弧菌科UCG-002菌属主要通过分解葡萄糖等碳水化合物产生琥珀酸盐和乙酸^[22],随后在琥珀酸菌属^[23]的作用下代谢琥珀酸生成丙酸。在本试验中,琥珀酸弧菌科相对丰度的增加有利于瘤胃对淀粉的利用与转化,促进了乙酸和丙酸的生成,但各组夏南牛的瘤胃VFA的含量差异不显著,这可能是各种微生物相互制约的结果。在本试验中,0.20%组的普雷沃氏菌属_1的相对丰度低于其他组的,这可能是夏南牛对CP的表观消化率呈先降低后升高的二次效应的原因。这表明随着日粮中磷质量分数的升高,夏南牛的瘤胃菌群相对丰度发生了相应的变化,但并不影响其瘤胃优势菌群。

综上,针对体质量为330 kg左右的夏南牛,推荐日粮中磷质量分数为0.20%,相较于NY/T 815—2004《肉牛饲养标准》的推荐值(0.24%)低16.7%。在正常情况下,依靠饲料原料中的磷即可完全满足夏南牛生长发育的需要。

参考文献:

- [1] DIXON R M, FLETCHER M T, GOODWIN K L, et al. Learned behaviours lead to bone ingestion by phosphorus-deficient cattle[J]. *Animal Production Science*, 2019, 59(5): 921-932.
- [2] SATO H, OMORI S. Incidence of urinary calculi in goats fed a high phosphorus diet[J]. *Nihon Juigaku Zasshi. the Japanese Journal of Veterinary Science*, 1977, 39(5): 531-537.
- [3] SUGIURA S H. Phosphorus, aquaculture, and the environment[J]. *Reviews in Fisheries Science & Aqua-*

- culture, 2018, 26(4): 515–521.
- [4] 宋范成. 日粮磷质量分数对奶牛瘤胃发酵、产奶性能及磷消化代谢的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [5] YAN Q X, TANG S X, BAMIKOLE M A, et al. Influences of dietary phosphorus variation on nutrient digestion, fecal endogenous phosphorus output and plasma parameters of goats[J]. *Livestock Science*, 2011, 142(1/2/3): 63–69.
- [6] KÖHLER O M, GRÜNBERG W, SCHNEPEL N, et al. Dietary phosphorus restriction affects bone metabolism, vitamin D metabolism and rumen fermentation traits in sheep[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2021, 105(1): 35–50.
- [7] 李美发. 育肥前期能量水平对夏南牛中、后期育肥性能及相关指标的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- [8] 陈跃凤. 精料中高蛋白和淀粉水平对肉牛肠道甲烷、氮磷排放和瘤胃菌群影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [9] 张相伦, 祁兴磊, 林凤鹏, 等. 饲料钙水平对夏南牛生长性能、钙磷代谢、养分利用及血液指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2023, 35(2): 922–932.
- [10] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 5版. 北京: 中国农业大学出版社, 2021: 47–69.
- [11] 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.
- [12] 冯宗慈, 高民. 通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J]. *畜牧与饲料科学*, 2010, 31(6): 37.
- [13] CONE J W, VAN GELDER A H, DRIEHUIS F. Description of gas production profiles with a three-phasic model[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1997, 66(1/2/3/4): 31–45.
- [14] ERICKSON G E, KLOPFENSTEIN T J, MILTON C T, et al. Phosphorus requirement of finishing feedlot calves[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(6): 1690–1695.
- [15] 赵恒聚. 日粮磷质量分数对泌乳中期奶牛生产性能及磷排放的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [16] PAYNE M G, CLARK A G. Blood levels of calcium and inorganic phosphorus in Hemford cattle[J]. *Journal of Agricultural Research*, 1946, 72: 357–363.
- [17] GOFF J P. Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 126(3/4): 237–257.
- [18] WÄCHTER S, COHRS I, GOLBECK L, et al. Effects of restricted dietary phosphorus supply during the dry period on productivity and metabolism in dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2022, 105(5): 4370–4392.
- [19] 孙国强, 王书芝, 吕永艳, 等. 饲料磷含量对11~15月龄青年奶牛生长性能、血液指标和磷排泄的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(12): 3912–3919.
- [20] 张玉诚, 薛白, 肖俊, 等. 饲料磷质量分数对热应激奶牛生产性能和血液指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(3): 749–755.
- [21] BURROUGHS W, LATONA A, DEPAUL P, et al. Mineral Influences upon urea utilization and cellulose digestion by rumen microorganisms using the artificial rumen technique[J]. *Journal of Animal Science*, 1951, 10(3): 693–705.
- [22] CHOI J Y, PARK J E, CHOI S H, et al. *Succinivibrio faecicola* sp. nov., isolated from cow faeces[J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2022, 72(12): 005631.
- [23] VAN GYLSWYK N O. *Succiniclasticum ruminis* gen. nov., sp. nov., a ruminal bacterium converting succinate to propionate as the sole energy-yielding mechanism[J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1995, 45(2): 297–300.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维