



稀土对林麝采食量、 血液指标和粪便微生物的影响

罗雄¹, 吴杰², 陈凤², 蒋桂梅^{2*}

(1. 成都蜀星饲料有限公司, 成都, 611600;
2. 四川省食品药品学校, 峨眉山, 614201)

稿件运行过程

收稿日期: 2023-06-02
修回日期: 2023-07-08



关键词: 林麝;
稀土;
采食量;
血液指标;
粪便微生物

Key words: Forest musk deer
(*Moschus berezovskii*);
Rare earth;
Feed intake;
Blood parameters;
Faecal microbiota

中图分类号: S865.41
文献标识码: A
文章编号:
2310-1490(2024)-01-0067-08
DOI: 10.12375/ysdwx.20240109

摘要

为探究稀土作为饲料添加剂对林麝(*Moschus berezovskii*)采食量、血液指标和粪便微生物的影响,选取12只年龄相同、体况良好的育成期林麝,随机分为2组,每组6只(3♀,3♂),对照组饲喂常规日粮,试验组饲喂常规日粮和稀土添加剂(150 mg/kg精补料),预饲期15 d,正试期25 d。结果表明:(1)添加稀土对林麝基础饲料的采食量没有显著影响($p>0.05$),但试验组树叶采食量和总采食量显著高于对照组($p<0.05$)。(2)添加稀土对林麝的体质量和体增质量没有显著影响($p>0.05$)。(3)添加稀土后林麝血清尿素(UREA)和总胆固醇(TCH)含量较对照组低($p<0.05$),其他血液指标差异不显著($p>0.05$)。(4)试验组和对照组粪便微生物的Chao1指数、Simpson指数、Shannon指数和基于ANOSIM分析的Beta多样性没有显著差异($p>0.05$)。由此可见,本试验条件下添加稀土提高了林麝采食量,降低了血清UREA和TCH含量,对林麝体质量和粪便微生物多样性没有显著影响。

Effects of Rare Earth on Feed Intake, Blood Parameters and Faecal Microbiota of Forest Musk Deer

LUO Xiong¹, WU Jie², CHEN Feng², JIANG Guimei^{2*}

(1. Chengdu Sustar Feed Co., Ltd., Chengdu, 611600, China;
2. Sichuan Food and Drug School, Emeishan, 614201, China)

基金项目: 四川省科技计划项目(2022JDZH0026); 四川省级基本科研业务费项目(2022JDKY0003)

第一作者简介: 罗雄(1981—),男,助理畜牧师;主要从事微量元素添加剂研究。E-mail:79102467@qq.com

*通信作者: 蒋桂梅, E-mail:46133214@qq.com

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of rare earth on feed intake, blood parameters and faecal microbiota of forest musk deer (*Moschus berezovskii*). Twelve forest musk deers with the similar age and good health were randomly divided into two groups (trial and control), six for each group (3♀, 3♂). The trial group was fed conventional diet and rare earth additive (150 mg/kg concentrate supplement). The experiment had 15 days pre-feeding period and 25 days formal period. (1) There was no significant effect of adding rare earth on the feed intake of basal diet ($p>0.05$), but the intake of leaf and total ration in the trial group were significantly higher than the control group ($p<0.05$). (2) The addition of rare earth had no significant effect on body weight and weight gain of forest musk deer ($p>0.05$). (3) The contents of UREA and TCH in serum of forest musk deer in trial group were lower than those of control group ($p<0.05$), but other blood indexes were not significantly different ($p>0.05$). (4) There was no significant difference between the trial and control groups in Chao1 index, Simpson index, Shannon index and Beta diversity of ANOSIM results ($p>0.05$). It is concluded that the addition of rare earth increased feed intake of forest musk deer and decreased serum UREA and TCH levels, but had no significant effect on forest musk deer's body weight and faecal microbial diversity.

稀土(rare earth, RE)是15种镧系元素和与之性质十分相似的钪、钇共17种元素的总称。稀土对动物有较强的生理活性,能促进动物对饲料的消化吸收,增加蛋白质和核酸的合成,从而促进生长发育、增强抗病力、提高饲料利用率和生产性能^[1]。我国研究人员发现稀土有提高动物日增体质量的作用^[2-3]。胡忠泽等^[4]研究证明,稀土可显著促进猪生长,同时提高饲料利用率、能量、粗蛋白质和氨基酸的表现消化率,且剂量与促生长作用呈正相关。胡爱武^[5]研究发现给大鼠长期灌饲硝酸镧,可使大鼠血清中胰岛素水平显著上升,但对三碘甲腺原氨酸(T3)、甲状腺素(T4)水平没有显著影响。稀土作为一种新型饲料添加剂,在家畜中的应用研究较多,但在林麝(*Moschus berezovskii*)中的应用未见报道。林麝是麝科(Moschidae)麝属(*Moschus*)的小型反刍动物,为国家一级重点保护野生动物^[6]。本研究选用林麝作为试验动物,探究稀土对林麝采食量、血液指标和粪便微生物的影响,相关研究结果可以为稀土在林麝饲养中的应用提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用稀土添加剂为商品添加剂(江西春江科技有限公司),产品为白色粉末状,主要成分为稀土、壳糖胺和柠檬酸盐,其中,稀土元素 $\geq 36.0000\%$,砷 $< 0.0004\%$ 、铅 $< 0.0010\%$ 和镉 $< 0.0010\%$ 。

1.2 试验动物及试验设计

选取12只年龄相同、体况良好和体质量(5.5 ± 0.8)kg差异不显著的育成期林麝,随机分为2组,即对照组和试验组,每组6只(3♀, 3♂),对照组饲喂常规日粮,试验组饲喂试验日粮。预饲期15 d,正试期25 d。

1.3 试验日粮及饲养管理

试验日粮由常规日粮和稀土添加剂(150 mg/kg精补料)组成,其中常规日粮由基础饲料和树叶组成。基础饲料由多汁料(南瓜和莴笋,鲜质量)与精补料(风干基础)按4:1配成,日喂量600 g/(只·d),树叶日喂量100 g/(只·d)。饲料营养成分为粗蛋白质15.94%、粗脂肪2.16%、粗纤维5.45%、粗灰分6.01%、总能10.64%、钙1.02%和磷0.48%,基础饲料组成见表1。试验林麝每日08:00和15:00饲喂,自由饮水。

1.4 样品采集

1.4.1 饲料样品采集

在正试期,每8 d的最后3 d采集饲料样和剩料样,记录采食量。样品置于烘箱(65 ± 2)°C干燥至恒质量,制成风干样。

1.4.2 血液样品采集

在正试期最后1 d早晨饲喂前,空腹采集林麝血液,3 000 r/min离心取血清,−20 °C保存。采用ELISA方法测定血液免疫指标和抗氧化酶含量,采用深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司的BS-190全自动生化分析仪测定血液生化指标。

表1 基础饲料组成(风干基础)

Tab. 1 Composition of basal diets (air-dry basis)

基础饲料组成 Basal diet composition	原料 Ingredients	占比(%) Proportion
精补料 Concentrate	玉米 Corn	42.38
	豆粕 Soybean meal	15.14
	麸皮 Wheat bran	12.11
	鱼粉 Fishmeal	1.51
	食盐 NaCl	0.45
	酵母 Yeast brewery	1.90
	小苏打 Sodium bicarbonate	1.13
	预混料 Premix	0.88
多汁料 Succulent feed		24.49
合计 Total		100.00

1.4.3 粪便样品的采集和测定

在正试期最后2 d,每天采集林麝新鲜粪样2 g/只,装入EP管中,-80 °C保存,通过16S rRNA高通量测序测定粪便微生物多样性。

粪便样品DNA的提取:使用MagPure Stool DNA KF Kit B试剂盒(MAGEN)提取林麝粪便微生物基因组DNA样本,采用KingFisher Flex磁珠提取仪(Thermo Fisher)处理后将DNA溶液转移至1.5 mL离心管中保存;使用MGIEasy通用DNA制备试剂套装(MGI)处理提取的林麝粪便微生物DNA以构建测序文库;使用MGISEQ-2000测序平台的PE150策略测序对文库进行测序。

数据过滤:使用SOAPnuke(v2.2.1)对数据过滤,剔除含有10%不确定碱基(N碱基)的reads、含有测序接头序列的reads和含有50%以上的低质量碱基(Q<20的碱基)的reads。

宏基因组组装:对通过质控的clean data,使用组装软件MEGAHIT对样品进行denovo组装,过滤掉

长度小于300 bp的组装序列。

基因预测及丰度信息:首先采用MetaGeneMark进行宏基因组基因的从头预测,然后利用CD-HIT软件对各样品的基因预测结果进行去冗余处理。根据序列相似性(设定identity阈值为95%,coverage阈值为90%)将其归为其中的一类或成为新的一个聚类的代表序列,如此遍历所有序列完成聚类过程。最后,采用Salmon软件定量,获得的TPM值即为标准化后的基因丰度。

物种注释及物种丰度计算:使用Kraken2默认参数进行物种注释,同时通过Bracken使用贝叶斯算法和Kraken分类结果估计宏基因组样本的物种水平丰度。

物种多样性分析:利用R计算物种的Alpha多样性,包括Chao1指数、Shannon指数和Simpson指数。同时通过ANOSIM分析来衡量样本或组间差异,即Beta多样性,反映样本(组)间是否具有显著的微生物群落组成差异。

1.5 数据处理及统计分析

试验数据使用Microsoft Excel 2007整理,采用SPSS 22.0中的独立样本t检验进行均值的差异分析,以 $\alpha=0.05$ 为差异显著性判断标准。试验结果以平均值 \pm 标准误表示。

2 结果

2.1 稀土对林麝采食量的影响

日粮添加稀土对林麝基础饲料的采食量没有显著影响($p>0.05$),但试验组树叶采食量和总采食量显著高于对照组($p<0.05$)(表2),说明日粮添加稀土能提高林麝采食量。

2.2 稀土对林麝体质量的影响

日粮添加稀土对林麝的体质量和体增质量没有显著影响($p>0.05$)(表3)。

表2 日粮添加稀土对林麝采食量的影响(风干基础)

Tab. 2 Effects of rare earth on feed intake of forest musk deer(air-dry basis)

饲料类型 Diets type	对照组/(g·d ⁻¹) Control group	试验组/(g·d ⁻¹) Trial group	<i>P</i>
基础饲料 Basal diet	139.07 \pm 2.06	137.05 \pm 9.24	0.344
树叶 Leaves	40.52 \pm 14.41	59.52 \pm 11.62	<0.001
总采食量 Total feed intake	179.59 \pm 14.30	196.57 \pm 15.24	0.001

表3 日粮添加稀土对林麝体质量的影响

Tab. 3 Effects of rare earth on body weight of forest musk deer

体质量指标 Body weight	对照组/kg Control group	试验组/kg Trial group	<i>p</i>
初始体质量 Initial weight	5.62±0.55	5.50±0.46	0.697
结束体质量 End weight	6.09±0.50	6.02±0.46	0.815
体增质量 Weight gain	0.47±0.21	0.52±0.07	0.581

2.3 稀土对林麝血液指标的影响

日粮添加稀土后林麝血清尿素(UREA)和总胆固醇(TCH)含量较对照组低($p < 0.05$),其他血液指标不受影响($p > 0.05$)(表4)。日粮添加稀土后对林麝血液过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)、免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白M(IgM)、免疫球蛋白G(IgG)、生长激素(GH)、胰岛素(INS)和甲状腺素(TH)没有显著影响($p > 0.05$)。

表4 日粮添加稀土对林麝血液生化指标的影响

Tab. 4 Effects of rare earth on blood parameters of forest musk deer

血液指标 Blood parameters	单位 Unit	对照组 Control group	试验组 Trial group	<i>p</i>
丙氨酸氨基转移酶 ALT	U/L	22.73±7.66	36.10±29.98	0.315
天冬氨酸氨基转移酶 AST	U/L	292.75±65.69	312.90±169.97	0.792
碱性磷酸酶 ALP	U/L	977.23±196.81	937.43±152.58	0.704
总蛋白 TP	g/L	68.58±7.51	61.32±4.77	0.073
白蛋白 ALB	g/L	37.98±1.79	36.78±2.83	0.400
球蛋白 GLOB	g/L	30.60±7.72	24.53±3.14	0.105
γ -谷氨酰转移酶 γ -GT	U/L	35.12±8.77	49.18±40.99	0.430
胆碱酯酶 CHE	U/L	200.17±17.02	189.50±10.09	0.216
尿酸 UA	μ mol/L	7.07±4.60	8.18±1.75	0.591
肌酐 CRE	μ mol/L	77.80±38.13	71.17±7.98	0.182
尿素 UREA	mmol/L	8.72±0.94	7.65±0.38	0.038
葡萄糖 GLU	mmol/L	5.79±0.88	4.80±0.77	0.065
甘油三酯 TG	mmol/L	0.17±0.06	0.18±0.05	0.682
总胆固醇 TCH	mmol/L	2.11±0.28	1.66±0.28	0.021
肌酸激酶 CK	U/L	246.43±72.01	336.80±105.91	0.115
α -羟丁酸脱氢酶 α -HBDH	U/L	901.90±73.99	847.92±78.53	0.248
乳酸脱氢酶 LDH	U/L	953.95±75.25	904.42±91.65	0.330
α -淀粉酶 α -AMY	U/L	54.58±11.30	44.75±9.95	0.141
钙 Ca	mmol/L	2.35±0.10	2.23±0.17	0.172
镁 Mg	mmol/L	1.12±0.19	1.01±0.10	0.226
总磷 IP	mmol/L	2.65±0.40	2.70±0.46	0.860
过氧化氢酶 CAT	U/mL	0.90±0.42	0.90±0.78	0.986
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px	μ mol/L	349.57±111.60	273.91±168.39	0.443
超氧化物歧化酶 SOD	U/mL	64.88±6.99	64.17±3.06	0.824
免疫球蛋白 A IgA	μ g/mL	417.26±158.80	450.34±199.69	0.757
免疫球蛋白 M IgM	μ g/mL	733.08±183.29	754.70±72.78	0.797
免疫球蛋白 G IgG	μ g/mL	6195.43±525.33	6476.89±319.71	0.301
生长激素 GH	ng/mL	26.32±2.40	25.40±3.60	0.613
胰岛素 INS	μ IU/mL	6.80±0.28	7.33±1.33	0.379
甲状腺素 TH	ng/mL	67.27±9.36	61.72±3.78	0.223

2.4 稀土对林麝粪便微生物的影响

试验组和对照组的粪便微生物 Chao1 指数、Simpson 指数和 Shannon 指数没有显著差异($p>0.05$)

(图1)。ANOSIM 结果显示,两组间的 Beta 多样性没有显著差异($p>0.05$)(图2)。

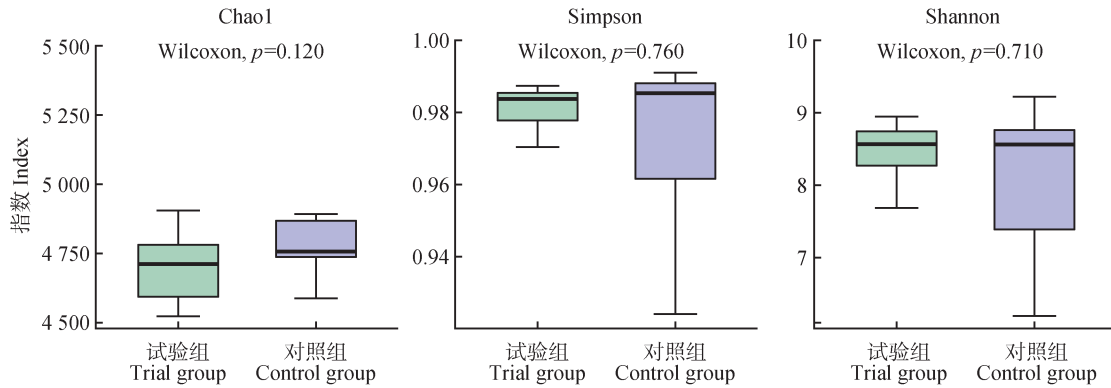


图1 粪便微生物物种 Alpha 多样性

Fig.1 Alpha diversity analysis of faecal microbial species

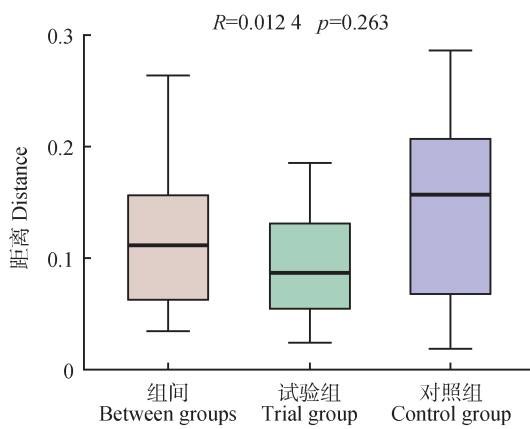


图2 试验组和对照组粪便微生物 Beta 多样性

Fig. 2 Beta diversity analysis of faecal microbiota in trial group and control group

在属水平上,试验组相对丰度前18(相对丰度>1%)的物种除普氏菌属(*Prevotella*)的相对丰度显著高于对照组($p<0.01$)外,其他17种与对照组差异不显著($p>0.05$)(图3)。

3 讨论与结论

3.1 稀土调节胃肠道消化,影响采食量和体增质量

林麝采食量是指林麝在一定时间内采食饲料的总量,决定着林麝从环境中获得营养物质的多少,是影响林麝生长和生产性能的关键因素。本试验日粮添加稀土对林麝的基础饲料采食量没有显著影响,但提高了林麝的树叶采食量和总采食量。其他研究也表明,饲料添加一定量的稀土元素可提高动物采食量,如于静^[7]研究发现添加稀土能显著提高绵羊

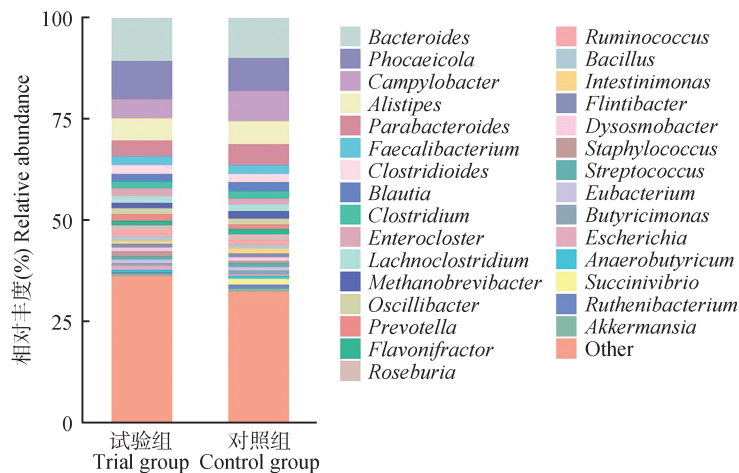


图3 粪便微生物属水平分布差异

Fig. 3 Differences in genus level distribution of faecal microbiota

的自由采食量,文露华等^[8]在饲料中添加柠檬酸稀土提高了锦江黄牛日自由采食量。采食量与中性洗涤纤维(NDF)在瘤胃内的滞留时间有关,饲料在瘤胃内滞留时间越短或通过瘤胃的速度越快,动物对饲料的采食量就越多。稀土可以改善反刍动物瘤胃微生物区系,促进瘤胃有益菌的生长繁殖,抑制有害菌的生长^[9],使瘤胃的酸性环境保持稳定,有利于对养分的消化利用。另外,稀土可促进纤维素降解酶与纤维素的结合,提高纤维物质的消化率^[10],使胃肠道的排空速度增加,动物需要采食更多饲料以满足饱腹感,从而提高采食量。

稀土对瘤胃微生物的正向影响有利于微生物对纤维物质的消化,提高瘤胃微生物利用氮合成瘤胃微生物蛋白的比例,从而提高反刍动物的日增体质量^[11]。研究表明,饲料中添加一定量的稀土元素能有效提高饲料利用率和日增体质量,提高生产性能^[12-13]。刘江波^[14]在试验中发现,在日粮中添加稀土显著提高了南江黄羊的日增体质量,显示稀土添加物具有明显的促生长作用。文露华等^[8]在饲料中添加400 mg/kg柠檬酸稀土显著提高了锦江黄牛的日增体质量。He等^[15]在平均体质量为17.5 kg的杂交猪的饲料中添加300 mg/kg的氯化稀土混合物,发现添加组杂交猪的日增体质量比对照组提高了19%,饲料转化率提高了11%。本研究中,林麝日粮添加稀土后,试验组体增质量与对照组差异不显著,但在数值上高于对照组,其原因可能是日粮添加稀土后林麝的采食量提高,稀土改善了林麝的瘤胃微生物区系,提高了微生物的生长繁殖速度,加快了微生物对氮氮的利用速度^[9],增加了瘤胃微生物蛋白的合成和氮沉积,但日粮中非蛋白氮的含量较低,使蛋白原料在瘤胃中被降解利用的程度不足以达到显著水平。

3.2 稀土对林麝血液生化指标和免疫的影响

血清总蛋白(TP)和尿素氮(BUN)含量是动物机体蛋白质代谢情况的重要衡量指标。TP很大程度上可以反映饲料中蛋白质水平的高低和品质的优劣,以及动物对蛋白质的消化吸收水平。BUN作为日粮蛋白质降解的产物,其浓度高低可以反映动物体内蛋白质与氨基酸代谢之间的平衡状况,是推断蛋白质沉积状况的一个重要指标^[16]。郑宗云^[17]研究发现,稀土添加组的仔猪血清TP、白蛋白(ALB)和球蛋白(GLOB)含量高于对照组,血清BUN含量低于对照组。张仔堃等^[18]研究发现,奶牛饲料中添加过

瘤胃蛋氨酸和稀土后,添加组的血清BUN含量降低,可能是添加稀土后平衡了奶牛体内氨基酸水平,提高了蛋白质利用率,增强了氮代谢^[19]。当血清BUN维持在较低水平时,说明机体内蛋白质代谢状况良好,氮的利用率提高;而当血清中BUN浓度升高时,通常说明蛋白质的分解代谢增加,合成代谢降低,氮的沉积减少。本试验日粮添加稀土后,林麝血清UREA较对照组显著降低,说明稀土的添加提高了瘤胃菌群活性,促进了瘤胃微生物对NH₃-N的利用^[20-21],使机体对氮的合成代谢增加,氮沉积增加,排泄减少,改善了林麝体内蛋白质的代谢水平。

葡萄糖(GLU)作为动物机体的主要供能物质,与机体内的脂肪和蛋白质等多种代谢途径存在密切关系。血清胆固醇和甘油三酯(TG)含量是反映动物机体脂类代谢的重要指标。正常情况下,血糖和血脂含量是稳定的,过高或过低都对机体不利。刘江波等^[22]在饲料中添加稀土混合物后,发现各试验组南江黄羊的血糖高于对照组,但差异不显著。刘含威^[23]研究发现,饲料中添加200 mg/kg和300 mg/kg的稀土壳糖胺螯合盐后,试验I组和试验II组的血糖和甘油三酯含量均显著低于对照组。本试验添加稀土后,林麝血清GLU和TG水平与对照组没有显著差异,但TCH水平显著低于对照组,说明本试验条件下添加稀土对林麝的机体供能没有影响,但改善了机体脂类代谢,加快了胆固醇的降解,使血清TCH降低,更利于林麝健康。

饲料中添加一定剂量的稀土有利于激活动物体内的生长因子,提高酶活性,增强机体免疫力^[18]。稀土的添加具有双向作用,低剂量的稀土抑制过氧化作用,但当稀土超过一定剂量时则会促进过氧化作用^[24]。也有研究^[25-27]发现,一定量的稀土能有效提高NK细胞活力,稀土和瘤胃保护性赖氨酸能增强奶牛机体体液免疫能力,提高免疫球蛋白IgG、IgM等的水平,且能促进蛋白质的合成代谢,从而对血清TP、ALB和GLOB含量的升高有积极作用。林仕欣^[28]研究发现,随着稀土添加水平的提高,血清ALB含量显著增加。本试验添加稀土后,除UREA和TCH外,对林麝血液TP、ALB和GLOB等生化指标与CAT、GSH-Px、SOD、IgA、IgM和IgG均没有显著影响,但IgA、IgM和IgG有提高的趋势。稀土可以选择性地影响肠道细菌,从而提高动物对饲料的利用率,提高自然杀伤细胞和T淋巴细胞的数量和活性,增

强体液免疫力, 进而提高机体的抗病能力^[29]。本试验条件下添加稀土对林麝的抗氧化能力和肝、肾功能没有影响, 但有提高免疫能力的趋势。试验动物和使用的稀土添加物不同, 使试验结果不尽一致。

稀土元素可以刺激胰岛 β 细胞分泌胰岛素, 降低血糖浓度, 从而对高血糖有缓解作用, 还能降低血液中胆固醇含量, 影响三羧酸循环, 调节脂类代谢^[30]。周莉等^[31]用放射免疫法, 以腹腔、灌胃及尾静脉注射3种不同途径, 隔日给大鼠(0.05 mg/kg) SmCl_3 , 30 d后发现大鼠血液中的生长激素和胰岛素水平明显提高。王聪等^[32]报道, 西门塔尔阉牛饲料中添加氯化镧后, 生长激素浓度升高, 表明一定剂量的稀土有刺激作用。本试验中添加稀土对林麝血液GH、INS和TH没有显著影响, 没有引起GLU和TG的显著降低, 与前人研究结果的不一致可能与试验使用的稀土元素、剂量和动物品种不同有关, 这有待进一步研究。

3.3 稀土调控肠道微生物菌群

稀土元素对细菌生长有调控作用, 从而影响动物健康和生长。郑宗云^[17]研究发现, 在断奶仔猪饲料中添加稀土硝酸盐可显著促进乳酸杆菌(*Lactobacillus*)等有益微生物的大量增殖, 抑制沙门氏菌(*Salmonella*)等有害微生物的繁殖, 从而有效维持仔猪胃肠道内微生物菌群的平衡, 降低断奶仔猪的腹泻率。本试验日粮添加稀土后, 试验组和对照组的Chao1指数、Simpson指数、Shannon指数和ANOSIM结果的Beta多样性没有显著差异, 说明日粮添加稀土对林麝粪便微生物的物种数量、物种丰富度和均匀度以及群落多样性没有显著影响。普氏菌属(*Prevotella*)可降解淀粉、植物细胞壁多糖和蛋白质, 参与肽的吸收, 本试验添加稀土后林麝粪便普氏菌属的丰度增加, 促进了微生物对淀粉和蛋白质的降解与肽的吸收, 改善了机体碳水化合物和蛋白质的代谢水平。

参考文献:

- [1] 李艳果, 王光明, 权约海, 等. 稀土元素在动物营养中的作用[J]. 中国饲料, 2014(3): 18-21;41.
- LI Y G, WANG G M, QUAN Y H, *et al.* The role of rare earth elements in animal nutrition[J]. China Feed, 2014(3): 18-21;41.
- [2] 王清义, 李明彦, 郭彬, 等. 肉用仔鸡日粮中添加稀土效果研究[J]. 河南农业科学, 1989, 18(1):28-29.
- WANG Q Y, LI M Y, GUO B, *et al.* Effect of adding rare earth elements to diets of broilers[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 1989, 18(1):28-29.
- [3] 杨生栋. 稀土对生长育肥猪生产性能的影响[J]. 饲料研究, 2010(11): 27-28.
- YANG S D. Effect of rare earth on performance of growing and finishing pigs[J]. Feed Research, 2010(11): 27-28.
- [4] 胡忠泽, 汪建飞, 杨元敬, 等. 生长猪日粮中添加稀土对养分消化性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 1998(12): 37-39.
- HU Z Z, WANG J F, YANG Y J, *et al.* Effects of rare earth elements on nutrient digestion of growing pigs' diet [J]. Cereal & Feed Industry, 1998(12): 37-39.
- [5] 胡爱武. 元素镧和氟对动物免疫和内分泌的影响[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2007.
- HU A W. Effect of lanthanum and fluorine on the immunity and incretion in animals [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2007.
- [6] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订)[J]. 野生动物学报, 2021, 42(2): 605-640.
- National Forestry and Grassland Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. List of national key protected wild animals (revised on February 1, 2021)[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(2): 605-640.
- [7] 于静. 添喂稀土对绵羊消化代谢的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.
- YU J. The effect of supplement of rare earth on the digestion and metabolism in sheep [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009.
- [8] 文露华, 陈作栋, 赵向辉, 等. 柠檬酸稀土对锦江黄牛屠宰性能、肉质及脂肪代谢的影响[J]. 中国兽医学报, 2019, 39(3): 541-546;555.
- WEN L H, CHEN Z D, ZHAO X H, *et al.* Effects of rare earth citrate on the slaughter performance, meat quality and fat metabolism in Jinjiang cattle [J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2019, 39(3): 541-546;555.
- [9] LIU Q, WANG C, HUANG Y X, *et al.* Effects of lanthanum on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and digestibility in steers [J]. Animal Feed Science and Technology, 2008, 142(1/2): 121-132.
- [10] 余兴莲. 稀土离子对纤维酶活性的影响及其机理[D]. 宁波: 宁波大学, 2008.
- YU X L. The effect of rare on the activity of cellulase and its mechanis [D]. Ningbo: Ningbo University, 2008.
- [11] 吴丹丹, 程志伟, 李金林, 等. 稀土对奶牛尿中嘌呤衍生物排出量、奶牛产奶性能和氮排泄的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(15): 42-47.
- WU D D, CHENG Z W, LI J L, *et al.* Effects of rare earth on purine derivatives excretion, milk, milk performance and nitrogen excretion of dairy cows [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2016, 52(15): 42-47.
- [12] 刘禹辰, 宋凤格, 盖伯舜, 等. 饲料添加复合稀土制剂对产蛋后期蛋鸡生产性能、表观消化率以及小肠黏膜形态的影响[J]. 中国家禽, 2018, 40(19): 28-31.
- LIU Y C, SONG F G, GAI B S, *et al.* Effects of dietary composite rare earth on performance, apparent digestibility and intestinal mucosal morphology of laying hens during later laying period [J]. China Poultry, 2018, 40(19): 28-31.
- [13] 刘满仔, 冷向军, 李小勤, 等. 艾佐迈对草鱼生长、肠道消化

- 酶活性和血清非特异性免疫的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(3): 312-318.
- LIU M Z, LENG X J, LI X Q, *et al.* Effects of azomite on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and serum nonspecific immune of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 2011, 37(3): 312-318.
- [14] 刘江波. 稀土元素对南江黄羊瘤胃发酵、生长性能及血液指标的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- LIU J B. The effects of rare earth elements on rumen fermentation, growth performance and blood parameters in Nanjiang brown goat[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [15] HE M L, RANZ D, RAMBECK W A. Study on the performance enhancing effect of rare earth elements in growing and fattening pigs [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2001, 85(7/8): 263-270.
- [16] 周勤飞, 王永才, 王金勇, 等. 能量水平对生长猪生产性能、养分消化率和血清生化指标的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(23): 44-47.
- ZHOU Q F, WANG Y C, WANG J Y, *et al.* Effects of energy level on performance, nutrient digestibility and serum biochemical indexes of growing pigs [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2010, 46(23): 44-47.
- [17] 郑宗云. 稀土添加剂对断奶仔猪生长性能及血液生化指标的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- ZHENG Z Y. Effect of rare-earth element on growth performance and blood biochemical indexes of weaned piglets [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2011.
- [18] 张仔堃, 刘洪, 刘晓, 等. 稀土和过瘤胃蛋氨酸不同组合对奶牛血液生化指标的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(6): 15-18.
- ZHANG Z K, LIU H, LIU X, *et al.* Effect of combination of rare earth and rumen-protected methionine on blood biochemical parameter of dairy cows[J]. Feed Research, 2020, 43(6): 15-18.
- [19] 张建华, 李文浩. 探究饲料中添加有机稀土对秦川牛瘤胃体外发酵特性的影响[J]. 饲料研究, 2017(21): 32-35.
- ZHANG J H, LI W H. To explore the effect of adding organic rare earth in feed on rumen fermentation characteristics of Qinchuan cattle *in vitro* [J]. Feed Research, 2017(21): 32-35.
- [20] 张婷婷. 稀土元素镧、铈、镨对体外瘤胃发酵、甲烷生成及微生物区系的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- ZHANG T T. Effects of rare earth elements lanthanum, cerium, praseodymium on *in vitro* rumen fermentation, methane production and microbial flora[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [21] YANG W Z, LAARMAN A, HE M L, *et al.* Effect of rare earth elements on *in vitro* rumen microbial fermentation and feed digestion [J]. Animal Feed Science and Technology, 2009, 148(2/3/4): 227-240.
- [22] 刘江波, 薛白, 阎天海, 等. 不同添加水平稀土混合物对南江黄羊生长性能及血液指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(3): 60-63.
- LIU J B, XUE B, YAN T H, *et al.* Effects of rare earth mixture with different addition levels on growth performance and blood indexes of Nanjiang yellow sheep [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2013, 49(3): 60-63.
- [23] 刘含威. 饲料中添加稀土壳糖胺螯合盐对猪血清学的影响 [J]. 养殖与饲料, 2021, 20(7): 15-16.
- LIU H W. Effect of adding rare earth chitosan chelate salt to diet on pig serology [J]. Animals Breeding and Feed, 2021, 20(7): 15-16.
- [24] 郝述霞, 吕慧敏. 稀土在生物体内抗氧化作用的研究进展 [J]. 稀土, 2006, 27(3): 79-84.
- HAO S X, LÜ H M. Advance in studies on rare earth against oxidation in organism [J]. Chinese Rare Earths, 2006, 27(3): 79-84.
- [25] 王宗惠, 苏芙, 庞新民, 等. 稀土防癌实验及对NK细胞活力影响的观察 [J]. 卫生毒理学杂志, 1994, 8(3): 200.
- WANG Z H, SU J, PANG X M, *et al.* Effect of rare earth on cancer prevention and NK cell viability [J]. Journal of Health Toxicology, 1994, 8(3): 200.
- [26] 栗建林, 张丽帼, 刘建中, 等. 轻稀土对小鼠肺腺癌的抑制作用 [J]. 中国稀土学报, 1998, 16(2): 184-187.
- LI J L, ZHANG L G, LIU J Z, *et al.* Inhibiting effect of light rare earth on pulmonary Adenomas [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 1998, 16(2): 184-187.
- [27] 张仔堃, 滕乐帮, 李美玉, 等. 稀土和过瘤胃赖氨酸对奶牛瘤胃微生物蛋白产量及血液生化指标的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(6): 86-90.
- ZHANG Z K, TENG L B, LI M Y, *et al.* Effects of combination of rare earth and rumen-protected lysine on rumen mcp production and blood biochemical parameter of dairy cows [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2020, 56(6): 86-90.
- [28] 林仕欣. 稀土元素镧、铈、镨对肉牛瘤胃发酵、营养物质消化及血浆生化指标的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- LIN S X. Effects of rare earth elements lanthanum, cerium, praseodymium on rumen fermentation, nutrient digestion and plasma biochemical parameters of beef cattle [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [29] 张欣荣, 杨峰, 李武宏. 稀土在医药领域的研究概况 [J]. 药学实践杂志, 2007, 25(1): 1-4.
- ZHANG X R, YANG F, LI W H. Research survey of rare earth in medicine field [J]. Journal of Pharmaceutical Practice, 2007, 25(1): 1-4.
- [30] 江振莹. 稀土元素对动物生长及抗病力影响的研究 [J]. 华北农学报, 2004, 19(增刊1): 64-68.
- JIANG Z Y. Effects of rare-earth elements on growth and disease resistance of animals [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2004, 19(Suppl. 1): 64-68.
- [31] 周莉, 黄可欣, 聂毓秀, 等. 低剂量氯化钆、氯化镨对大鼠腺垂体生长激素细胞超微结构和功能的影响 [J]. 解剖学杂志, 1996, 19(1): 68-70.
- ZHOU L, HUANG K X, NIE Y X, *et al.* Effects of low dose samarium chloride and praseodymium chloride on ultrastructure and function of adenohypophyseal somatotroph in rat [J]. Chinese Journal of Anatomy, 1996, 19(1): 68-70.
- [32] 王聪, 岳文斌, 刘强, 等. 氯化镧对西门塔尔牛瘤胃发酵及尿嘌呤衍生物的影响 [J]. 激光生物学报, 2007, 16(3): 286-292.
- WANG C, YUE W B, LIU Q, *et al.* Effects of different lanthanum chloride levels on rumen fermentation and purine derivatives of urine in simmental steer [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2007, 16(3): 286-292.