doi:10.3969/j.issn.2095-3887.2023.02.002

模拟高草酸摄入对舍饲绵羊矿物质代谢的影响

曹雅楠[1,2],孙悠然[3],李青洋[1,2],唐云梦[1,2],孙海霞[1]
(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所,哈尔滨 150081;
2. 中国科学院大学,北京 100049;3.东北农业大学,哈尔滨 150030)

摘要:试验以绵羊为研究对象,通过添加不同浓度草酸的舍饲试验,探讨草酸对绵羊常量与微量矿物质元素代谢的影响,旨在为高草酸含量饲草利用与草酸盐中毒风险提供理论依据。试验采用单因素设计,随机将 24 只德国肉用美利奴绵羊(32.08 kg±3.43 kg)分成 3 个处理组,每个处理组 8 个重复,试验处理分别在 T1 组日粮中添加 1%草酸($H_2C_2O_4$),T2 组添加 2%草酸,对照组不添加。正式试验期共 60 d。结果表明,2%高草酸添加相较于 1%低草酸对于绵羊矿物质代谢的影响更大;添加 2%草酸显著降低了钙、磷、镁、硫吸收量、沉积量和表观消化率;与 1%草酸添加组相比,添加 2%草酸显著降低了铁和铜的吸收量、沉积量及铁的表观消化率;添加 1%草酸仅影响了磷沉积量、吸收量与镁沉积量;两种浓度草酸均不同程度地降低了瘤胃内锌、铁和锰元素浓度,是否会改变瘤胃微生物发酵功能还需深入研究。因此,当家畜日粮草酸浓度高于 2%时,应该更加关注家畜体内矿物元素平衡与缺乏的问题。

关键词:草酸;绵羊;矿物质代谢
中图分类号:S826.5 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-3887(2023)02-0009-07

Effects of Simulated High Oxalic Acid Intake on Mineral Metabolism of Sheep by House Feeding

CAO Yanan[1,2],SUN Youran[3],LI Qingyang[1,2],TANG Yunmeng[1,2],SUN Haixia[1]
(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology,Chinese Academy of Sciences,Harbin 150081,China;
2. University of Chinese Academy of Sciences,Beijing 100049,China;3. Northeast Agricultural University, Harbin 150030,China)

Abstract:Sheep were used as the research object in this experiment, and the effects of oxalic acid on the metabolism of major and trace mineral elements of sheep were evaluated through the experiment of feeding oxalic acid with different concentrations in the house, aiming to provide theoretical basis for the utilization of forage with high oxalic acid content and the risk of oxalate poisoning. Twenty-four German Merino sheep(32.08 kg±3.43 kg BW) were randomly divided into three treatment groups with 8 replicates per group. T1 group was supplemented 1% oxalic acid($H_2C_2O_4$) in the diet,T2 group was supplemented 2% oxalic acid, and control group was not supplemented. The formal trial lasted for 60 days. The results showed that 2% high oxalic acid had greater effect on mineral metabolism of sheep than 1% low oxalic acid. The absorption, deposition and apparent digestibility of calcium, phosphorus, magnesium and sulfur were significantly reduced by 2% oxalic acid. Compared with 1% oxalic acid addition group, the absorption, deposition and apparent digestibility of iron and copper were significantly decreased. 1% oxalic acid only affects the amount of phosphorus deposition, absorption and magnesium deposition. Both oxalic acid concentrations reduced the concentrations of zinc, iron and manganese in the rumen to varying degrees, and whether they would change the microbial fermentation function in the rumen needs further study. Therefore, more attention should be paid to the balance and deficiency of mineral elements in livestock when the dietary oxalic acid concentration is higher than 2%.

Keywords:oxalic acid;sheep;mineral metabolism

收稿日期:2023-02-06
基金项目:国家自然科学基金(31973001);国家重点研发计划(2022YFF1300604)
作者简介:曹雅楠(2000-),女,硕士研究生,研究方向为草地放牧家畜营养
通信作者:孙海霞(1974-),女,研究员,研究方向为草地放牧家畜营养及饲草营养价值评价

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

草酸(Oxalate,$H_2C_2O_4$)是植物中最常见的二元酸之一,在多数植物中其含量占干重的 3%~10%[1],在某些仙人掌属植物中可高达 80%~90%[2]。植物细胞中草酸以游离酸的形式存在,常与细胞内矿物元素形成可溶性的钠盐、钾盐与不可溶的钙盐、镁盐[3]。在动物饲料中草酸常以草酸盐的形式存在。

草酸盐对于动物有着潜在隐患,影响动物正常生长发育。长期采食含有草酸盐的牧草,或饲草中草酸盐超过 20 g/kg 干物质时,会导致家畜组织损伤、甚至死亡[4]。草酸盐在反刍动物瘤胃内大部分会被分解成碳酸盐和甲酸盐,或沉淀成钙盐。当含量过高时,草酸盐将会被吸收,同时使钙离子浓度降低,吸收草酸盐不仅会损伤毛细血管,引起肺水肿以及肾内草酸盐结晶沉淀,重度还会引起动物蹒跚[5]。大量的研究表明,草酸盐在进入动物体内后可以与多种矿物元素结合,如 Na^+、K^+、Ca^{2+}、Fe^{2+} 和 Mg^{2+},从而会降低动物生长必需营养元素的生物利用率,对动物产生不良影响[6]。龙芳羽等[7]研究发现,草酸会对五龙鹅体内的钙消化吸收产生影响,在实验周期内钙元素的利用率下降。Mckenzie 等[8]给 6 匹马喂食添加 2.6% 或 4.3%草酸的日粮后发现,马体内的钙和磷出现负平衡且主要损失在粪便中。除此之外,草酸在瘤胃内也会通过结合矿物质而改变瘤胃环境,使瘤胃微生物的生存与组成发生变化[9],影响瘤胃对矿物质的吸收利用[10]。因此,了解矿物质元素在动物机体与瘤胃内的变化情况对于了解草酸毒理作用十分重要。

对于放牧家畜,尤其是盐碱化草地放牧家畜更面临草酸过量的风险。盐碱化草地生长的盐生植物为了维持体内正负电荷平衡和细胞内 pH 值的稳定, 会在体内积累大量草酸,例如典型的盐碱地先锋植物碱地肤,草酸的含量高达总酸含量的 90%[11]。盐生植物中的草酸对家畜是否产生不良影响值得人们关注。研究表明,不同动物对于草酸的耐受性不同[12]。过往研究草酸对矿物质的影响多集中于钙磷元素,对于其他元素关注较少。基于此,本研究以绵羊为研究对象,通过舍饲试验,控制日粮中的草酸含量,探讨草酸对绵羊体内、瘤胃内常量和微量共 10 种矿物质元素代谢的影响,旨在为高草酸含量饲草利用与草酸盐中毒风险提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验动物

材料:草酸,符合 GB1886.235—2016 标准,食品级($C_2H_2O_4$,纯度≥99.6%)。

动物:选择体况良好、体重 32.08 kg±3.43 kg 的德国肉用美利奴羊公羔 24 只。

1.2 试验设计与日粮配方

1.2.1 试验设计 采用单因素方差设计将 24 只德国肉用美利奴羊公羔随机分为 3 组,每组 8 只羊,分别为对照组(基础日粮)、T1 组(基础日粮 +1%草酸)、T2 组(基础日粮 +2%草酸)。

1.2.2 日粮配方及试羊饲养管理 本试验在黑龙江省农科院畜牧研究所试验基地进行,试验基础日粮配方参照 NRC(2007)饲养标准配制。试验开始前对圈舍进行消毒通风,保证环境适宜,按照 0.02 mL/kg 的体重标准对每只羊皮下注射伊维菌素驱虫。试验从 2019 年 9 月 1 日开始,至 11 月 13 日结束,其中预饲期 14 d,正试期 60 d。每天 7:30 和 16:30 给试羊喂食。基础日粮配方及营养水平见表 1。

表 1 基础日粮配方及营养水平(风干基础) %

项目	含量
配方组成	
羊草	50.000
玉米	28.855
豆粕	18.000
糖蜜	2.000
食盐	0.880
石粉	0.200
微量元素预混料	0.050
维生素预混料	0.015
合计	100
营养水平	
消化能/(MJ·kg^{-1})	12.05
干物质	93.22
有机物	95.47
粗蛋白	13.50
粗脂肪	1.82
中性洗涤纤维	46.67
酸性洗涤纤维	27.39
钙	0.41
磷	0.21

注:微量元素预混料为每千克日粮含 Cu 10 mg,Fe 190 mg,Zn 40 mg,Mn 40.5 mg,I 1.312 5 mg,Se 0.15 mg,Co 0.512 5 mg

1.3 样品采集与处理

正式试验期每天按时记录羊只的采食量和剩料量,在第 50 天时使用全收粪法开展一周的消化代谢试验,用自制装置从代谢笼内收集粪尿。混匀每日粪样后称重,用五点法收集 20%样品,冷冻于 -20℃;集尿桶内按比例加入浓硫酸固氮,记录体积后混匀,取样 10%后冷冻储存,用于后续体内矿物质代谢的测定。将试验第 60 天晨饲前时间定为 0 h,在进食后 0、2、4、8 h 抽取瘤胃液。使

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用自制的胃液采集设备采集瘤胃液，抽取 50 mL，经 4 层纱布过滤、混匀后用大容量低速离心机离心 15 min，转速 4 800 r/min，后每只采集 3 份上清液并分装，冷冻保存、待测。

1.4 测定指标与方法

体内矿物质消化代谢指标测定：饲料样、粪样和剩料样品均采用灰化法处理，各取 2 g，尿样取 1 mL，前者经高温电炉灼烧 5 h 后取出冷却，加入 5 mL 浓硝酸低温加热，溶解灰化后定容至 100 mL 容量瓶中，尿样加入 5 mL 浓硝酸低温加热，溶解定容至 100 mL 容量瓶中，最后用电感耦合等离子体发射光谱仪测定样品中的矿物质含量。

瘤胃矿物质代谢指标测定：和尿样采用同样的方法测定。

1.5 数据统计与分析

使用 Excel 2019 对数据进行初步整理，SPSS 26.0 统计软件进行单因素方差分析（One-way ANOVA），Turkey 法进行多重比较，结果以平均值 ± 标准差表示，$P < 0.05$ 为差异显著性判断标准。后续作图在 Excel 2019 中完成。

2 结果与分析

2.1 日粮草酸含量对绵羊体内矿物质代谢的影响

2.1.1 日粮草酸含量对绵羊体内常量矿物元素消化代谢的影响　由表 2 可知，草酸添加对钙、磷、钠、镁和硫代谢都产生明显影响。与对照组相比，日粮中添加 2%草酸显著降低了钙的吸收、沉积和表观消化率（$P < 0.05$），添加 1%草酸显著降低了钙的吸收和沉积量（$P < 0.05$）。日粮中添加 2%草酸也显著增加了总磷排泄量（$P < 0.05$），但 1%草酸添加组与对照组相比无显著差异（$P > 0.05$）。添加 1%草酸和 2%草酸对磷的吸收和沉积量都有显著降低作用（$P < 0.05$），但磷的表观消化率仅 2%添加组显著降低（$P < 0.05$）。绵羊对钠的吸收和沉积量随草酸的添加均显著增加（$P < 0.05$），但对钾代谢无显著影响（$P > 0.05$）。添加 2%草酸显著增加了粪镁与总镁的排泄量（$P < 0.05$），同时，吸收镁、沉积镁与镁表观消化率均显著降低（$P < 0.05$）。添加 1%草酸仅显著降低了镁沉积量，对镁的排泄量、吸收量和表观消化率无显著影响（$P > 0.05$）。添加 2%草酸显著降低了硫吸收量、沉积量和表观消化率（$P < 0.05$），但添加 1%草酸则无显著影响（$P > 0.05$）。

表 2　日粮草酸含量对绵羊体内常量矿物元素消化代谢的影响

项目	对照组	T1 组	T2 组
钙摄入量/(g·d⁻¹)	3.97±1.14[a]	2.92±4.17[b]	2.96±1.58[b]
粪钙排泄量/(g·d⁻¹)	1.26±1.76[ab]	1.14±2.25[b]	1.38±2.09[a]
尿钙排泄量/(g·d⁻¹)	0.01±0.07	0.01±0.07	0.07±0.18
总钙排泄量/(g·d⁻¹)	1.28±1.80[ab]	1.15±2.26[b]	1.45±2.19[a]
吸收钙/(g·d⁻¹)	2.70±1.84[a]	1.78±3.94[b]	1.58±2.99[b]
沉积钙/(g·d⁻¹)	2.69±1.88[a]	1.77±3.96[b]	1.52±3.06[b]
钙表观消化率/%	68.16±4.56[a]	60.65±8.12[ab]	53.20±8.18[b]
钙的表观生物学效价/%	99.52±1.36	99.31±1.46	95.02±1.26
磷摄入量/(g·d⁻¹)	2.60±0.38[a]	2.35±1.11[b]	2.50±0.85[a]
粪磷排泄量/(g·d⁻¹)	0.75±1.33	0.79±1.32	0.89±1.13
尿磷排泄量/(g·d⁻¹)	0.006±0.03	0.004±0.02	0.006±0.03
总磷排泄量/(g·d⁻¹)	0.75±1.32[b]	0.79±1.32[ab]	0.90±1.13[a]
吸收磷/(g·d⁻¹)	1.85±1.18[a]	1.56±1.50[b]	1.61±0.95[b]
沉积磷/(g·d⁻¹)	1.84±1.17[a]	1.56±1.50[b]	1.60±0.95[b]
磷表观消化率/%	71.23±5.46[a]	66.34±6.57[ab]	64.38±4.12[b]
磷的表观生物学效价/%	99.70±1.78	99.73±0.01	99.59±0.01
钠摄入量/(g·d⁻¹)	3.66±0.72[b]	3.90±0.94[a]	3.86±0.75[a]
粪钠排泄量/(g·d⁻¹)	0.39±1.40	0.36±0.66	0.41±1.23
尿钠排泄量/(g·d⁻¹)	1.24±5.36	1.21±4.95	1.14±6.39
总钠排泄量/(g·d⁻¹)	1.63±5.65	1.57±5.46	1.55±7.17
吸收钠/(g·d⁻¹)	3.27±1.28[b]	3.55±1.47[a]	3.45±1.16[a]
沉积钠/(g·d⁻¹)	2.03±5.25[b]	2.33±6.05[a]	2.30±7.43[a]
钠表观消化率/%	89.45±4.74	90.92±2.78	89.40±3.23
钠的表观生物学效价/%	62.06±16.34	65.58±15.23	66.21±20.12
钾摄入量/(g·d⁻¹)	7.53±2.31	7.88±3.11	7.79±3.60
粪钾排泄量/(g·d⁻¹)	0.66±1.73	0.79±1.86	0.81±1.28
尿钾排泄量/(g·d⁻¹)	2.67±15.70	2.16±8.80	2.84±18.35
总钾排泄量/(g·d⁻¹)	3.33±15.88	2.95±9.51	3.64±19.22
吸收钾/(g·d⁻¹)	6.92±2.12	7.09±4.19	6.98±3.95
沉积钾/(g·d⁻¹)	4.25±15.90	4.93±11.94	4.14±20.46
钾表观消化率/%	91.25±2.22	89.96±3.45	89.66±2.56
钾的表观生物学效价/%	61.37±23.67	68.96±14.93	66.32±27.12
镁摄入量/(g·d⁻¹)	1.34±5.07	1.26±0.54	1.30±0.57
粪镁排泄量/(g·d⁻¹)	0.34±0.33[b]	0.35±0.60[b]	0.42±0.63[a]
尿镁排泄量/(g·d⁻¹)	0.04±0.25	0.09±0.94	0.07±0.44
总镁排泄量/(g·d⁻¹)	0.37±0.20[b]	0.44±0.90[ab]	0.48±0.40[a]
吸收镁/(g·d⁻¹)	1.00±0.31[a]	0.91±0.89[a]	0.88±0.95[b]
沉积镁/(g·d⁻¹)	0.97±0.26[a]	0.82±1.29[b]	0.81±0.62[b]
镁表观消化率/%	74.90±2.12[a]	72.23±5.34[ab]	67.62±5.92[b]
镁的表观生物学效价/%	96.58±2.91	90.37±11.23	92.79±4.22
硫摄入量/(g·d⁻¹)	1.00±0.28[a]	0.99±0.57[a]	0.78±1.08[b]
粪硫排泄量/(g·d⁻¹)	0.18±0.27[ab]	0.16±0.20[b]	0.20±0.19[a]
尿硫排泄量/(g·d⁻¹)	0.23±1.36	0.20±0.83	0.25±1.62
总硫排放量/(g·d⁻¹)	0.41±1.48	0.36±0.95	0.45±1.59
吸收硫/(g·d⁻¹)	0.82±0.16[a]	0.83±0.69[a]	0.58±1.08[b]
沉积硫/(g·d⁻¹)	0.59±1.49[a]	0.63±1.21[a]	0.37±1.97[b]
硫表观消化率/%	82.22±2.55[a]	83.51±3.56[a]	73.92±3.45[b]
硫的表观生物学效价/%	71.82±17.98	75.55±11.22	63.94±27.09

注：同行数据肩标不同字母表示差异显著（$P < 0.05$），相同字母或无字母表示差异不显著（$P > 0.05$）。下同

2.1.2 日粮草酸含量对绵羊体内微量矿物元素消化代谢的影响　由表 3 可知，草酸添加对铁和铜代谢有明显影响，对锌和锰代谢无显著影响。2%草酸组绵羊的粪铁排

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

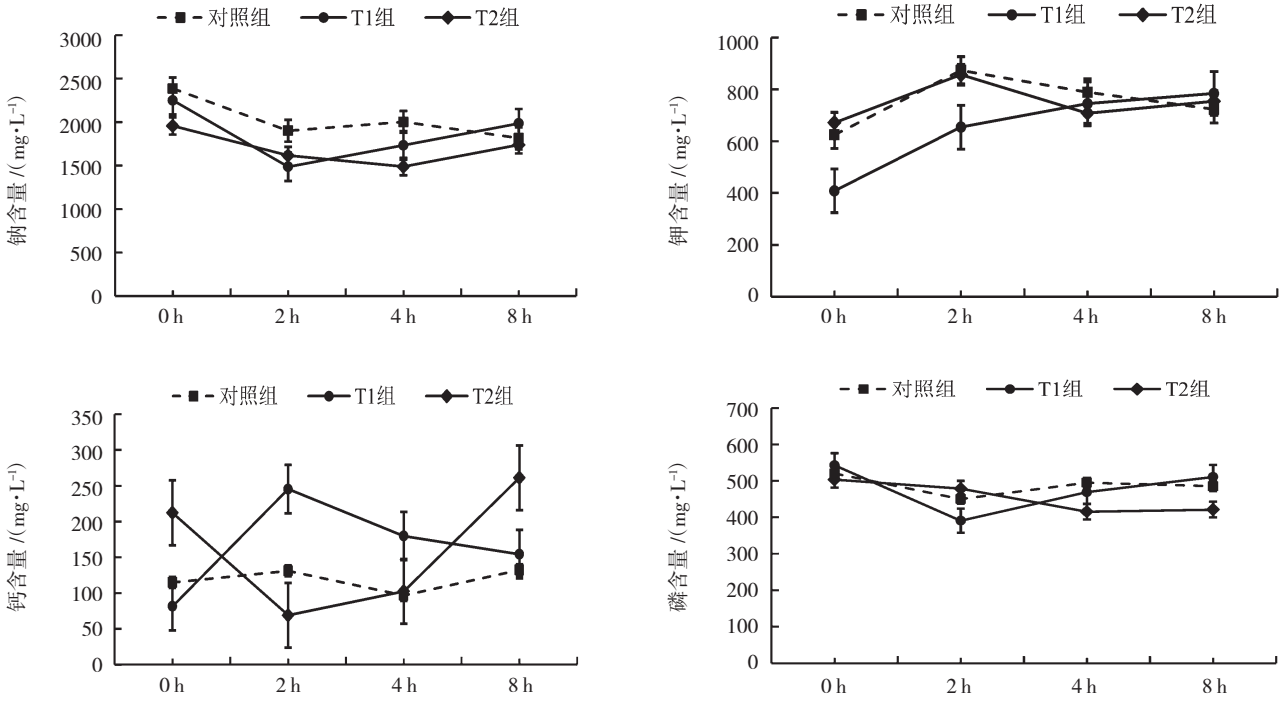
泄量、总铁排泄量显著高于1%草酸添加组($P<0.05$),但与对照组无显著差异($P>0.05$),同样,吸收铁、沉积铁、铁表观消化率和铁的表观生物学效价显著低于1%草酸添加组($P<0.05$),但与对照组均无显著差异($P>0.05$)。对照组和2%草酸添加组铜的吸收和沉积量显著低于1%草酸添加组($P<0.05$)。

表3 日粮草酸含量对绵羊体内微量矿物元素消化代谢的影响

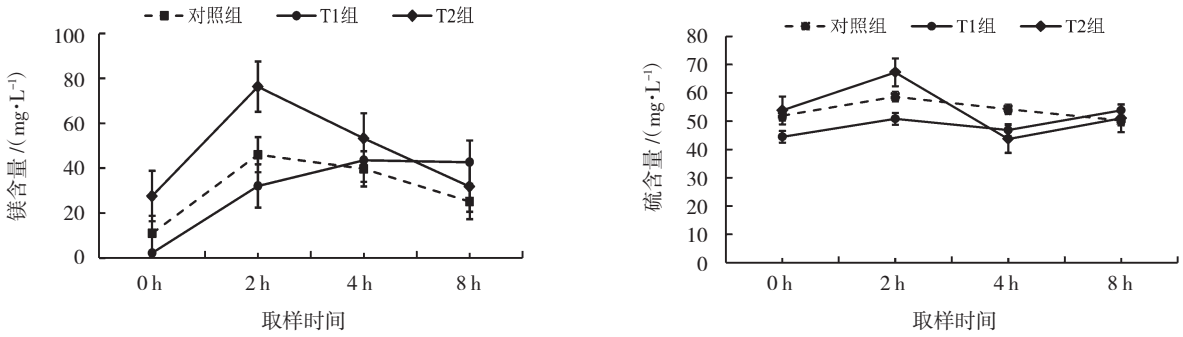
项目	对照组	T1组	T2组	项目	对照组	T1组	T2组
锌摄入量/(mg·d^{-1})	27.24±4.90	25.31±8.03	26.40±5.03	铜摄入量/(mg·d^{-1})	7.56±0.04^{c}	8.65±0.09^{a}	7.89±0.14^{b}
粪锌排泄量/(mg·d^{-1})	11.91±2.54	9.33±2.47	10.72±2.15	粪铜排泄量/(mg·d^{-1})	2.08±0.615	2.20±0.35	2.35±0.37
尿锌排泄量(mg·d^{-1})	0.67±0.47	0.49±0.23	0.51±0.25	尿铜排泄量/(mg·d^{-1})	0.36±0.14	0.32±0.11	0.42±0.17
总锌排泄量/(mg·d^{-1})	12.58±2.65	9.83±2.44	11.22±2.12	总铜排泄量/(mg·d^{-1})	2.44±0.62	2.52±0.31	2.77±0.40
吸收锌/(mg·d^{-1})	15.33±6.54	15.98±8.73	15.68±5.90	吸收铜/(mg·d^{-1})	5.49±0.61^{b}	6.45±0.40^{a}	5.55±0.36^{b}
沉积锌/(mg·d^{-1})	14.66±6.53	15.48±8.65	15.18±6.03	沉积铜/(mg·d^{-1})	5.13±0.62^{b}	6.13±0.37^{a}	5.12±0.41^{b}
锌表观消化率/%	53.77±18.75	53.27±32.61	57.86±12.68	铜表观消化率/%	72.55±8.14	74.56±4.27	70.25±4.61
锌的表观生物学效价/%	94.21±4.72	97.13±7.51	96.07±2.58	铜的表观生物学效价/%	93.41±2.67	95.03±1.73	92.37±3.21
铁摄入量/(mg·d^{-1})	176.90±3.46	170.78±6.34	191.09±4.23	锰摄入量/(mg·d^{-1})	41.16±1.92^{a}	36.91±3.43^{b}	40.71±3.86^{ab}
粪铁排泄量/(mg·d^{-1})	145.80±29.70^{ab}	117.76±23.18^{b}	178.96±22.04^{a}	粪锰排泄量/(mg·d^{-1})	18.33±3.22	16.33±3.00	20.18±2.91
尿铁排泄量/(mg·d^{-1})	12.38±5.53^{a}	9.68±3.76^{b}	10.90±4.54^{ab}	尿锰排泄量/(mg·d^{-1})	0.20±0.10	0.17±0.06	0.19±0.07
总铁排泄量/(mg·d^{-1})	158.18±30.60^{ab}	127.43±24.73^{b}	189.86±20.78^{a}	总锰排泄量/(mg·d^{-1})	18.53±3.21	16.50±2.99	20.37±2.91
吸收铁/(mg·d^{-1})	31.10±29.79^{ab}	53.02±23.18^{a}	12.13±22.04^{b}	吸收锰/(mg·d^{-1})	22.83±2.97	20.58±4.85	20.53±4.21
沉积铁/(mg·d^{-1})	18.73±30.60^{ab}	43.35±24.73^{a}	1.23±20.78^{b}	沉积锰/(mg·d^{-1})	22.62±2.97	20.41±4.84	20.34±4.23
铁表观消化率/%	17.58±0.16^{ab}	31.05±0.13^{a}	6.35±0.11^{b}	锰表观消化率/%	55.82±7.33	55.35±10.20	50.15±7.67
铁的表观生物学效价/%	10.58±0.17^{ab}	25.38±0.14^{a}	0.64±0.11^{b}	锰的表观生物学效价/%	99.09±0.48	99.12±0.50	99.00±0.50

2.2 日粮草酸含量对绵羊瘤胃液矿物质代谢的影响

2.2.1 日粮草酸含量对绵羊瘤胃液常量矿物元素消化代谢的影响 由图1可知,不同浓度草酸对绵羊瘤胃液各种常量矿物元素在同一时间的含量影响均无显著差异($P>0.05$)。但不同常量矿物元素在瘤胃内的变化趋势有所不同,钠、钾、磷和硫浓度相对保持稳定,钙和镁浓度变幅较大。绵羊采食后,瘤胃液中钠和磷浓度在2 h前呈降低趋势,而镁、硫和钾浓度在2 h前呈增高趋势,添加2%草酸组钙浓度在2 h前降低,而1%草酸组的钙浓度2 h前增加。



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



注:数据点旁不同字母表示显著差异($P<0.05$),相同字母或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同

图 1　绵羊瘤胃液中钠、钾、钙、磷、镁、硫含量的变化

2.2.2　日粮草酸含量对绵羊瘤胃液微量矿物元素消化代谢的影响　由图 2 可知,瘤胃液中铁、铜和锰浓度在各时间点差异均不显著($P>0.05$),但对照组在 8 h 时瘤胃液铁和锰浓度有高于两个草酸添加组的趋势。对照组瘤胃液锌的浓度在 4 h 时显著高于两个草酸添加组($P<0.05$),且 0~8 h 内对照组的锌浓度整体均高于两个草酸添加组。

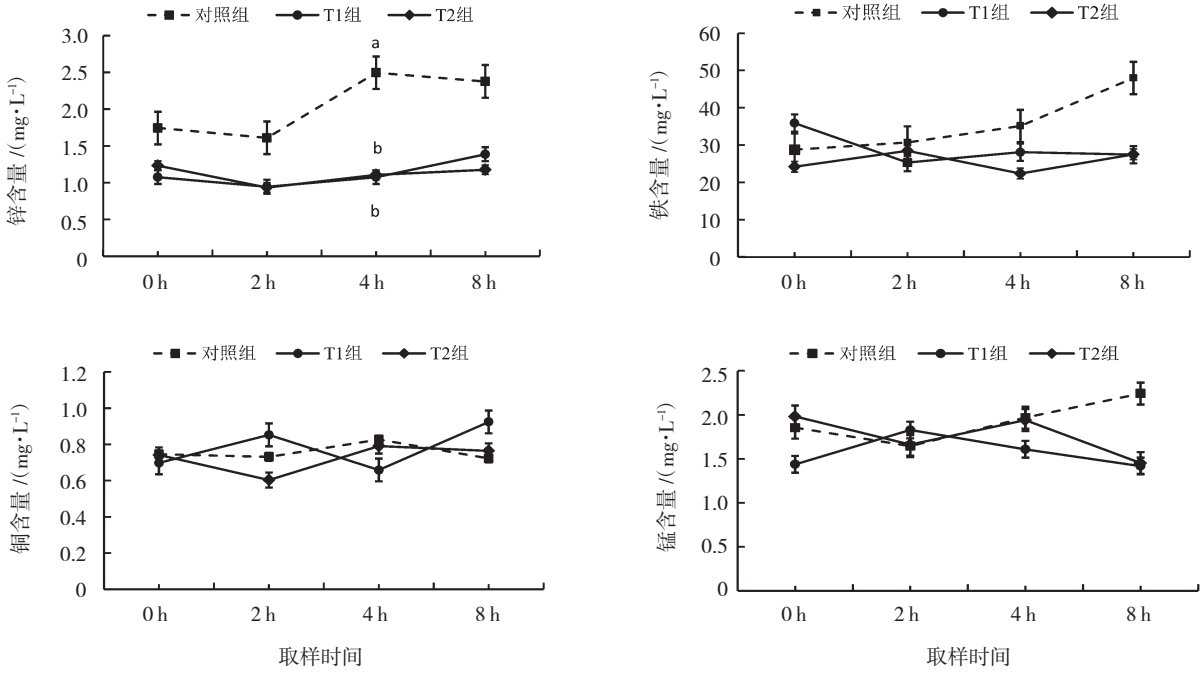


图 2　绵羊瘤胃液中锌、铁、铜、锰含量变化

3　讨论

3.1　日粮草酸含量对绵羊体内矿物质代谢的影响

研究证明,可溶性草酸盐可以与 Ca^{2+}、Mg^{2+} 等离子结合,导致这些矿物质可利用性降低[12]。当反刍动物摄入钙离子、镁离子浓度较高的含草酸盐饲粮时,瘤胃或肠道中的草酸离子会与 Ca^{2+} 或 Mg^{2+} 结合形成不溶性草酸晶体,然后从粪便中排出。当饲粮中钙、镁含量较低时,可溶性草酸盐仍可溶于肠道内容物的液体部分,并从肠道吸收进入血液,如果被肾脏过滤的血液中草酸离子的浓度较高,它也可能与 Ca^{2+} 或 Mg^{2+} 结合形成不溶性草酸晶体[10,13]。本试验结果表明,总钙与总镁排泄量在添加 2%草酸时达到最高,但钙、磷的吸收和沉积及其表观消化率均随着草酸添加显著下降,表明钙离子与镁离子受到草酸盐的影响,在绵羊体内形成不溶性草酸盐晶体,随后主要从粪便排出,导致可利用性降低。与钙镁元素变化相似,绵羊体内磷元素在草酸影响下吸收、沉积量下降,这与 Mckenzie 等[8]研究添加草酸日粮改变马体内磷含量的结果一致。值得关注的是,硫元素同样受到草

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

酸的显著影响。研究表明,羊体内含 0.15%的硫,少量以硫酸盐的形式存在于血液中,大部分以有机硫形式存在于肌肉、皮肤、毛发和骨骼中,常见的如含硫氨酸[14]。日粮中的粗蛋白为动物提供蛋白质与硫源,因此影响蛋白质利用的因素可能同样会影响硫元素的利用率[15]。孙悠然[16]研究发现, 日粮中添加浓度为 2%的草酸会显著降低绵羊体内的氮沉积率,影响绵羊体内蛋白质的利用。因此,在本试验中,硫元素利用率低可能主要与草酸添加影响了氮的利用有关。本研究发现,添加草酸后绵羊对钠元素的吸收量与沉积量反而显著增加,推测可能是因为草酸降低了 Ca^{2+}、Mg^{2+} 等阳离子的吸收利用,绵羊为维持体内阴阳离子的电荷平衡,从而促进了钠元素的吸收。

研究表明,多种因素会影响动物体内铁的吸收及利用,肠道保持低 pH 值有利于可溶性铁的吸收[17],但饲料中多种强螯合剂如草酸、植酸等又会降低铁的溶解性而抑制铁的吸收[18]。在本试验中,随着草酸的添加,铁元素的排泄量表现出先下降后上升的趋势,而吸收量和沉积量的变化则相反,且仅两个草酸处理组间这些指标有显著差异。其原因可能是在添加 1%草酸后,一定程度上降低了绵羊肠道内的 pH 值,增加了铁吸收量,但添加 2%草酸后,草酸与铁元素结合效果明显,降低了铁元素的吸收和沉积量,影响了铁的利用率。本试验发现,1%草酸添加促进了铜的吸收和沉积。Pino 等[19]同样发现,反刍动物体内 pH 值较低时,铜元素可溶性增加,从而会提高小肠对其的吸收与利用。孙悠然[16]研究结果表明,日粮中添加 1%和 2%草酸可以显著降低采食 2 h 后的 pH 值。因此,低 pH 值可能是促进 1%草酸添加组铜和铁元素吸收的内在机制。

3.2 日粮草酸含量对绵羊瘤胃液矿物质代谢的影响

矿物元素在瘤胃中的溶解性和浓度会影响瘤胃微生物的发酵和纤维素的消化,是家畜日粮应该考虑的重要因素[20]。有资料表明,为了获得最大纤维消化,瘤胃中磷水平应维持在 20~80 mg/L[21]。瘤胃内矿物元素浓度由矿物质溶解性、瘤胃 pH 值,矿物元素之间相互作用、家畜饮水量以及外源干扰因子等多种方式影响[22-24]。例如,草酸可作为螯合剂与多种微量元素结合[25]。本试验发现,尽管草酸添加对锌、铜和锰的表观消化率没有显著影响,仅铁在 1%草酸添加下增加了表观消化率,2%草酸添加降低了表观消化率, 但从绵羊瘤胃液中的含量来看,锰、铁和锌的含量草酸添加组的浓度在趋势上低于对照组,这表明草酸作为螯合剂,可能与微量元素形成了螯合物,从而降低了其在瘤胃内的浓度。此外,矿物元素作为纤维素酶的关键活性部分,对瘤胃内纤维消化降解起重要作用[26]。Martinez 等[27]的研究结果表明,添加 2~10 mg/L 的锌可以促进瘤胃微生物对纤维素的降解,5 mg/L 浓度时降解率最高。在本试验中,草酸组的锌浓度远低于这个水平。孙悠然[16]也发现,绵羊日粮中添加高草酸降低了纤维消化率,改变了瘤胃微生物组成。因此,日粮中高浓度草酸会降低瘤胃中某些微量元素的浓度,进而可能改变瘤胃环境,影响瘤胃微生物的组成,最终会影响瘤胃发酵与纤维消化功能。

4 结论

(1)模拟添加 2%高草酸相较于 1%低草酸对舍饲绵羊矿物质代谢的影响更大。

(2)日粮中添加 2%草酸显著降低了钙、磷、镁、硫的吸收量、沉积量和表观消化率。与 1%草酸添加组相比,日粮中添加 2%草酸显著降低了铁与铜的吸收量、沉积量及铁的表观消化率。两种浓度草酸的添加均不同程度地降低了瘤胃内锌、铁和锰元素的浓度。因此,当家畜日粮草酸浓度高于 2%时, 应该更加关注家畜体内矿物元素平衡与缺乏的问题。

参考文献

[1] Franceschi V R,Nakata P A. Calcium oxalate in plants:formation and Function[J]. Annual Review of Plant Biology, 2005, 56(1): 41-71.

[2] Zindler-Frank E. Oxalate biosynthesis in relation to photosynthetic pathway and plant productivity-a survey[J]. Zeitschrift für Pflanzen-physiologie,1976,80(1):1-13.

[3] Prasad R,Shivay Y S.Oxalic acid/oxalates in plants:from self-defence to phytoremediation[J]. Current Science,2017,112(8):1665.

[4] Mckenzie R A,Bell A M,Storie G J,et al. Acute oxalate poisoning of sheep by buffel grass (*Cenchrus ciliaris*)[J]. Australian Veterinary Journal,1988,65(1):26-26.

[5] Freer M,Dove H.Sheep nutrition[M]. Wallingford,U K:CABI,2002.

[6] Israr B,Frazier R A,Gordon M H. Effects of phytate and minerals on the bioavailability of oxalate from food [J]. Food Chemistry,2013, 141(3):1690-1693.

[7] 龙芳羽,王宝维,魏笑笑,等. 牧草饲粮中草酸含量对五龙鹅钙磷代谢的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2006(5):735-739.

[8] Mckenzie R A,Blaney B J,Gartner R J W. The effect of dietary oxalate on calcium,phosphorus and magnesium balances in horses[J]. The Journal of Agricultural Science,1981,97(1):69-74.

[9] Duncan A J,Frutos P,Young S A. The effect of rumen adaptation to oxalic acid on selection of oxalic-acid-rich plants by goats[J]. British Journal of Nutrition,2000,83(1):59-65.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[10] Blaney B J, Gartner R J W, Head T A. The effects of oxalate in tropical grasses on calcium, phosphorus and magnesium availability to cattle [J]. The Journal of Agricultural Science, 1982, 99(3): 533-539.

[11] 麻莹,曲冰冰,郭立泉,等. 盐碱混合胁迫下抗碱盐生植物碱地肤的生长及其茎叶中溶质积累特点[J].草业学报,2007(4):25-33.

[12] Rahman M M, Abdullah R B, Wan Khadijah W E. A review of oxalate poisoning in domestic animals: tolerance and performance aspects: oxalate poisoning in animals [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2013, 97(4): 605-614.

[13] Lincoln S D, Black B. Halogeton poisoning in range cattle[J]. Journal of the American Veterinary Medical Association, 1980, 176(8): 717-718.

[14] 郭宝林. 羊的硫营养研究进展[J]. 中国畜牧杂志,2004(1):42-44.

[15] 章保萍,王长梅. 羊的硫营养研究进展[J]. 畜牧与饲料科学,2007(6):44-46.

[16] 孙悠然. 日粮草酸含量对绵羊生长消化、血液指标以及瘤胃功能的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2020.

[17] Salovaara S, Sandberg A S, Andlid T. Combined impact of pH and organic acids on iron uptake by Caco-2 cells[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(26): 7820-7824.

[18] Glahn R P, Wortley G M, South P K, et al. Inhibition of iron uptake by phytic acid, tannic acid, and $ZnCl_2$: studies using an *in vitro* digestion/Caco-2 cell model[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(2): 390-395.

[19] Pino F, Heinrichs A J. Effect of trace minerals and starch on digestibility and rumen fermentation in diets for dairy heifers1 [J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(4): 2797-2810.

[20] Guimaraes O, Jalali S, Wagner J J, et al. Trace mineral source impacts rumen trace mineral metabolism and fiber digestion in steers fed a medium-quality grass hay diet[J]. Journal of Animal Science, 2021, 99(9): skab220.

[21] Nutrient requirements of beef cattle[M]. Washington D C: National Academies Press, 2015.

[22] 郭杨. 日粮锌源及水平对奶牛瘤胃物质发酵及体内矿物质代谢的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2008.

[23] Nejad J G, Lee B H, Kim J Y, et al.Effect of water scarcity during thermal-humidity exposure on the mineral footprint of sheep[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2020, 33(12): 1940-1947.

[24] Dua K, Care A D. The role of phosphate on the rates of mineral absorption from the forestomach of sheep[J]. The Veterinary Journal, 1999, 157(1): 51-55.

[25] Savenko A V, Savenko V S, Dubinin A V. Leaching of trace elements from rocks under the action of organic acids[J]. Moscow University Geology Bulletin, 2018, 73(1): 66-73.

[26] 唐琳. 微量元素对木霉菌 T23 遗传稳定性及其生防效果的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2008.

[27] Martinez A, Church D C. Effect of various mineral elements on *in vitro* rumen cellulose digestion[J]. Journal of Animal Science, 1970, 31(5): 982-990.

投 稿 须 知

1. 稿件应具有科学性、先进性和实用性,论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字通顺。

2. 论文 6 000~10 000 字符数为宜,文章标题字数在 20 字以内;摘要、关键词、参考文献(按引用的先后顺序列于文末)等要素齐全。

3. 计量单位以国际计量单位为准;统计学符号须按国家标准《统计学名词及符号》的规定书写;标点符号使用准确;表格设计合理,推荐使用三线表;图片清晰,注明图题图号。

4. 来稿请使用 Word 排版,并请注明作者姓名、联系电话、工作单位、通讯地址、邮编、电子邮箱。

5. 本刊编辑部有权对所投稿件进行修改。

6. 本刊已被相关电子期刊等网络媒体所收录,不愿通过网络媒体发布者,请在来稿中注明。

7. 严禁一稿多投,剽窃或抄袭行为,否则一切后果由作者本人负责。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net