

# 高镁对诱发山羊尿石症的作用研究

王金勇<sup>1,2</sup>, 孙卫东<sup>1</sup>, 王小龙<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学动物医学院, 南京 210095; <sup>2</sup>河北工程大学农学院, 河北邯郸 056038)

**摘要:**【目的】模拟中国棉区传统饲喂模式, 应用富含磷、钾、镁的棉饼稻草日粮饲喂阉割山羊, 继而比较分别在添加高钾、磷和高镁在诱发尿石症时的作用差异。【方法】18只山羊均分为A、B、C3组, 饲喂3个月含磷、钾、镁分别为0.40%、1.24%、0.32%的试验日粮, 从第3个月开始在B组山羊饮水中添加钾、磷, 相当于日粮中钾、磷含量分别提高到1.74%和0.75%; 在C组饮水中加氧化镁, 相当于镁含量提高到0.56%。观察参试山羊临床症状和病理变化, 记录尿石症发病率; 定期采集血液和尿液, 检测血液和尿液中钾、镁、磷、钙离子含量变化以及尿液磷酸钾镁离子积变化。应用化学定性分析、X-射线衍射分析、X-射线能谱和红外光谱方法分析尿沉渣晶体和结石的主要组分。【结果】A、B、C组分别有1、1、6只山羊发生尿石症,  $\chi^2$ 检验表明C组与A、B组发病率差异显著( $\chi^2=5.49$ ,  $P<0.05$ )。结石主要组分是磷酸氨镁和磷酸钾镁, 尿液磷酸钾镁离子积在结石发生后显著降低。【结论】相对于日粮中的高磷、高钾来说, 日粮中过量的镁是采食棉饼饲料的山羊尿石症发生的重要因素。高镁诱发尿石症的原因可能与尿液中结石抑制因子的抑制能力降低有关。

**关键词:** 尿石症; 镁; 棉饼; 山羊

## Effect of High Magnesium on Urolithiasis in Goat

WANG Jin-yong<sup>1,2</sup>, SUN Wei-dong<sup>1</sup>, WANG Xiao-long<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

<sup>2</sup>College of Agriculture, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei)

**Abstract:** 【Objective】 The effect of high dietary magnesium on urolithiasis in feedlot wethers was compared with high potassium and phosphate under the Chinese traditional feeding style with cotton seed meal and rice straw diet. 【Method】 Eighteen wethers of 3-4-months-old were randomly allotted to A, B, C three groups, and they were feeding for three months with cotton seed meal and rice straw diet comprised of P 0.40%, K 1.24%, Mg 0.32%, respectively. From the third month,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  and  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  were provided to goats in group B via drinking water and so did MgO to goats in group C, goats in group A still drank tap water, which means dietary P, K in group B was added up to 1.74% and 0.75%, and dietary Mg in group C to 0.56%. The clinical signs and postmortem were observed and incidence of urolithiasis was recorded. Blood and urine samples were collected to analyze the concentration of P, K, Mg and Ca ions, and the activity product of potassium magnesium phosphate was calculated to evaluate the supersaturation of urine before and after urolith formation. The composition of urinary sediments and stones was studied by chemical qualitative analysis, X-ray diffraction, X-ray energy dispersive spectrometry (EDS) and fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. 【Result】 The urolithiasis was found on day 5-8 in all 6 goats of group C after drinking water contains MgO, one urolithiasis case was found in groups A and B on day 25, 28 of the third month, respectively. The aggregate analysis showed that the chemical composition of urinary stones and urinary sedimentary crystals was magnesium ammonium phosphate and potassium magnesium phosphate and P, K, Mg ion concentrations of urine decreased significantly, so did the activity product of potassium magnesium phosphate. 【Conclusion】 High dietary level of magnesium is a more important factor of urolithiasis in wethers compared with feeding with high P, K containing diets, and the effect of magnesium induced urolithiasis might be associated with the change of

收稿日期: 2006-09-11; 接受日期: 2007-05-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30371061, 30571366)

作者简介: 王金勇 (1972-), 男, 河北盐山人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为畜禽营养代谢疾病。Tel: 13675126372; E-mail: jyw321@tom.com.  
通讯作者王小龙 (1941-), 男, 浙江绍兴人, 教授, 研究方向为畜禽营养代谢疾病和兽医临床病理学。Tel: 025-84395507; E-mail: wangxiaolong888@sohu.com

inhibitory activity of some inhibitors in urine.

**Key words:** Urolithiasis; Magnesium; Cotton seed meal; Goat

## 0 引言

【研究意义】泌尿系统结石是下尿路疾病中最主要的一种, 在牛羊犬猫上经常发生<sup>[1]</sup>。在中国的许多产棉区由于广大养殖户素有用棉饼喂羊和牛的习惯, 羊和牛尿石症发生的报道较多, 在某些特定情况下发病率甚至达到了 17%~33.4%<sup>[2,3]</sup>, 尤其是玻尔山羊引进中国后, 种羊的尿结石发生报道更是频见报端, 亟待解决。【前人研究进展】磷酸铵镁结石在反刍动物公畜很常见, 尤其是阉割动物更容易发生<sup>[4]</sup>, 磷酸钾镁作为磷酸铵镁的类似物, 也被王小龙等学者在饲喂棉饼导致的水牛结石中首次发现<sup>[5]</sup>, 并定名为“罗清生石”。一般认为日粮矿物质不平衡和高精料日粮是反刍动物结石症的发病原因<sup>[4,6]</sup>, 由于磷酸铵(钾)镁结石主要成分就是矿物质, 所以日粮中磷、镁、钾元素在磷酸铵(钾)镁结石发生中的作用研究较多, 据报道高磷、钾日粮尤其是钙磷比例低于 1 的日粮容易诱发尿石症<sup>[7,8]</sup>, 但是对高镁日粮诱发尿石症则评价不一, Kallfelz 等学者认为高镁是诱发反刍动物尿石症的重要因素<sup>[9,10]</sup>, 然而在 Cuddeford 等研究中高镁并未出现明显的诱石效应<sup>[11,12]</sup>。【本研究切入点】鉴于对日粮矿物质不平衡的认识还存在争议, 这也明显影响着结石发生机理探讨与预防措施的制定, 所以有必要探讨诱发结石的重要因素。【拟解决的关键问题】本试验在应用含高磷、钾、镁的棉饼稻草日粮模式饲喂阉割山羊的基础上, 分别再添加磷、钾、镁来比较高钾磷和高镁在诱发尿石症中的作用差异, 以便于人们更深入地认识尿石症的发生原因和机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物及其分组

3~4 月龄雄性杂交山羊(波尔×海门) 18 只, 体重均在 15 kg 左右。购进后整群用丙硫咪唑和伊维菌素驱虫, 羊三联疫苗免疫, 阉割。1 周后将羊随机等分为 A、B、C 3 组, 单栏饲养。以羊用颗粒饲料与稻草预试 15 d 后, 开始为期 3 个月的正式试验。试验日粮模拟中国棉区传统饲喂模式由棉饼稻草组成, 精粗比为 4:6, 按山羊 2% 体重提供精料, 日粮粗蛋白及矿物质组成见表 1。在第 1、2、3 个月, 饮水供应分别为 1 300、1 400、1 500 ml, 每头每天分两次供给。

所有山羊均采食试验日粮, 从第 3 个月开始, 按精料量比例分两次在 B 组饮水中添加 2%  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (AR) 和 2%  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (AR); 在 C 组饮水中只添加 1%  $\text{MgO}$  (AR) 直到试验结束。预试期日粮和试验日粮中矿物质含量见表 1。从第 3 个月开始, B 组饮水中添加 K、P 后, 相当于日粮中 K、P 含量分别提高到 1.74% 和 0.75%; C 组日粮 Mg 含量提高到 0.56%。试验期间每月称重山羊以调整日粮用量。

表 1 试验与预试日粮组成成分

Table 1 Composition of pretesting diet and experimental diet

成分 Contents (%)	预试期日粮 Pretesting diet	试验日粮 Experimental diet
粗蛋白 CP	13.5	17.8
钙 Ca	0.52	0.30
磷 P	0.29	0.40
镁 Mg	0.17	0.32
钾 K	0.70	1.24

### 1.2 观测项目和测定项目

1.2.1 样品采集与临床检查 每周定期收集尿液(结合不定期收集尿液)<sup>[13]</sup>, 测定 pH, 1 000 r/min 离心 10 min, 取尿液上清及尿沉渣分别-20℃冻存; 定期采集血样, 肝素抗凝, 3 000 r/min 离心 10 min 分离血浆, -20℃保存。每天观察羊的临床表现, 尤其是观察有无尿闭的症状出现, 尿闭出现 1~2 d 后, 自膀胱抽取尿液冻存, 剖杀山羊, 收集尿沉渣和结石。其余山羊在试验期满全部剖杀, 检查泌尿道有无结石。

1.2.2 结石和尿沉渣分析 取所有结石样品和试验第 60 天时的尿沉渣进行化学定性分析<sup>[14]</sup>, 钾离子采用火焰光度法定性分析。每组随机抽检 3 份经过化学定性分析的尿沉渣样品和所有结石样品进行 X-射线衍射分析、X-射线能谱分析、红外光谱分析<sup>[15,16]</sup>。

其中, 红外光谱分析方法如下, 取研碎的尿结石样品 1 mg 与溴化钾(光谱纯) 100 mg 混合, 在玛瑙乳钵研匀至 200 目, 移入压模机内压制成直径 13 mm 锭片, 迅速放入 NEXUS 870 型傅立叶变换红外光谱仪中测试, 设置光谱范围 4 000~400  $\text{cm}^{-1}$ , 分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ 。将测得的红外光谱图用计算机进行检索, 与标准红外光谱图“峰-峰”比对, 从而鉴定尿结石成

分。

1.2.3 血浆、尿样无机离子测定 血浆、尿液中钾离子测定采用火焰光度计法，钙的测定采用核固红法，镁的测定采用达旦黄法，无机磷的测定采用硫酸亚铁磷钼蓝法。比较 C 组山羊结石发生前后尿液中磷酸钾镁离子积 (struvite activity product, SAP) 变化。

SAP=[Mg<sup>2+</sup>]×[K<sup>+</sup>]×[PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>]，参照 Buffington 所用方法，以无机磷浓度计算磷酸根离子浓度<sup>[17]</sup>。

### 1.3 统计分析

各组山羊尿石症发病率的比较应用  $\chi^2$  检验进行。其它数据结果以 means±SE 表示，应用 SPSS (12.0) 软件进行数据统计，对尿液离子积的比较应用配对 *t* 检验来进行；对血液、尿液中离子含量的比较应用 Duncan's 检验进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验羊的临床症状、病理变化以及尿石症发病率

通过临床观察结合剖检验证，A、B 组在第 3 个月的第 25、28 天各有 1 只山羊出现尿石症、C 组 6 只山羊在饮用溶有氧化镁饮水后的 5~8 d 全部出现尿石症。尿石症的发病临床症状表现为食欲废绝，前肢刨地，回头顾腹，四肢向外伸展、尾上翘并来回摆动，屡屡做出排尿姿势，尿淋漓或尿闭，伴有磨牙，鸣叫等。用手指触诊其会阴部和阴茎的“S”状弯曲部时病羊反抗。

发生尿闭的山羊剖检时多在膀胱颈、阴茎“S”状弯曲处、尿道突处发现结石，膀胱底壁弥散着大量的细砂样和少量绿豆及米粒大小的结石覆盖，C 组有一只山羊在肾盂处也出现黄豆大小结石。其它未出现尿闭的山羊剖检未发现结石，有的山羊在膀胱底壁有少量粉样沉渣。在试验期间，除发生尿石症外，山羊未见到其它明显的临床症状。

经  $\chi^2$  检验，C 组与 A 组、B 组相比尿石症发病率差异显著 ( $\chi^2=5.49, P<0.05$ )；A、B 组间尿石症发病率无显著差异。

### 2.2 尿结石和尿沉渣分析

2.2.1 化学定性分析 8 份结石样品的磷酸盐、镁、铵、钾离子均为阳性反应；来自 3 个组的 18 份尿沉渣样品的磷酸盐、镁、钾离子均为阳性反应，铵离子在 10 份尿沉渣样品呈阳性反应，在其余 8 份样品中为阴性反应，铵离子的阴性反应在每组尿沉渣样品都有 2~3 份出现，未见明显的组间分布差异趋势。其中，来自 C 组的 3 份结石样品和 2 份尿沉渣样品钙离子还

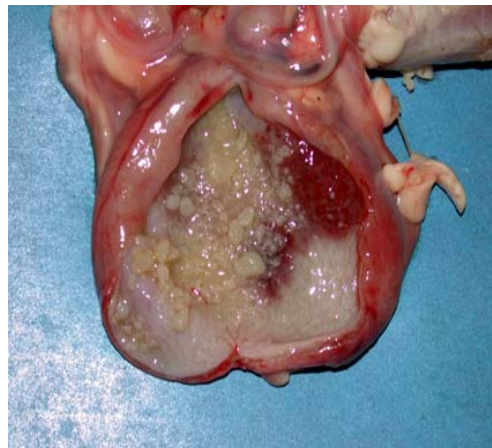


图 1 山羊膀胱中的结石颗粒  
Fig. 1 Uroliths in bladder of a goat

呈弱阳性反应。

2.2.2 X-射线能谱分析 在扫描电子显微镜下，每份样品选取 10 个不同的区域来进行能谱分析。结果每份结石样品的组成元素都既有磷、镁、钾组成形式，又有磷、镁组成形式。9 份尿沉渣样品有 6 份主要组成元素为磷、镁和钾，3 份为磷、镁和钾或磷、镁组成形式。这提示结石样品可能是磷酸铵镁和磷酸钾镁的混合物，尿沉渣晶体可能以单一的磷酸钾镁晶体存在也可能以混合体形式存在。能谱分析图例见图 2。

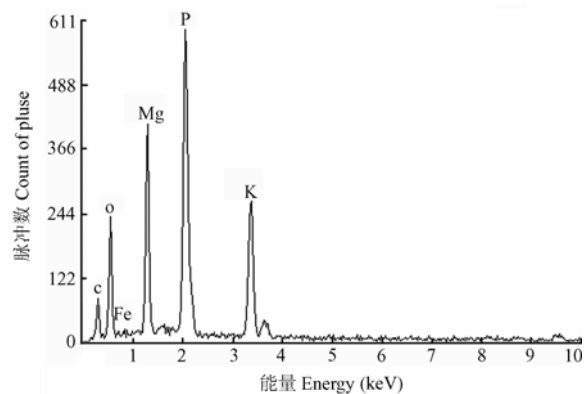


图 2 尿结石能谱分析显示其主要元素为磷、镁和钾  
Fig. 2 EDS showed that the calculi were mainly composed of phosphorus, potassium and magnesium

2.2.3 X-射线衍射分析 上面提及的 8 份结石和 9 份尿沉渣晶体分别用 X-射线衍射仪进行衍射，所得 X-射线衍射谱线数据与国际衍射数据中心 (The

International Centre for Diffraction Data, ICDD) 中磷酸铵镁、磷酸钾镁的数据进行比对, 尿沉渣样品数据更接近磷酸钾镁; 7 份结石样品的数据更接近磷酸铵镁, 1 份来自 C 组的结石样品的数据更接近磷酸钾镁。其衍射分析数据表例见表 4, 其中 C 组 3 号山羊尿沉渣晶体更接近磷酸钾镁, 3 号山羊结石样品更接近磷酸铵镁。

2.2.4 红外光谱分析 光谱分析图例见图 3。从尿结石的红外分析图谱可见, 在 1 468 cm<sup>-1</sup> 和 1 435 cm<sup>-1</sup> 处有吸收峰, 这是镁离子在红外光谱上的典型表现,

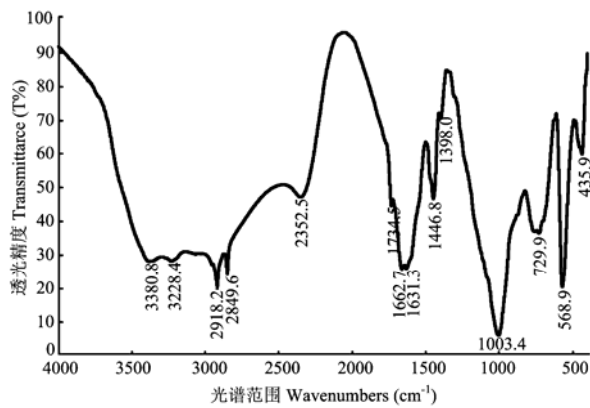


图 3 山羊尿结石的红外光谱图

Fig. 3 The FTIR picture of uroliths of goat

而在 1 004 cm<sup>-1</sup> 处的强吸收峰, 这是磷酸盐基团在红外光谱上的典型表现, 此种波型经与计算机中的标准矿物红外图谱比对, 符合六水磷酸铵镁型盐类的特征。

2.3 血浆、尿液无机离子含量测定

2.3.1 血浆无机离子含量 在试验第 60 天, 各组血镁含量都显著高于第 0 天水平 (P<0.05), 第 60 天各组血磷有升高趋势但变化不显著; 在第 0 天或 60 天的相同时期比较, A、B、C 3 组间血镁血磷水平未见显著差异。在第 90 天时, A 组血镁血磷与第 60 天无显著差异, B 组血镁有下降趋势, C 组出现血镁含量显著升高而血磷则显著下降 (P<0.05)。血钙、血钾浓度各组间以及不同时期都未出现显著变化, 具体变化见表 2。

2.3.2 尿液无机离子含量 在试验第 60 天, 各组尿镁、尿钾浓度显著高于第 0 天水平 (P<0.05), 尿磷升高趋势但变化不显著; 在第 0 天或 60 天的相同时期比较, A、B、C 3 组间尿液镁、磷、钾水平未见显著差异。在第 90 天时, A 组尿液镁、磷、钾含量与 60 天相比无显著差异, B 组山羊出现尿磷、尿钾含量显著升高而尿镁显著降低 (P<0.05), C 组山羊尿液镁、磷、钾含量显著下降 (P<0.05)。尿钙浓度在各组间以及不同时期都未出现显著变化。尿石症发生后 C 组山羊尿液中磷酸钾镁离子积显著降低 (P<0.01), 具体变化见表 3。

表 2 不同时期血浆镁、磷、钾、钙离子的含量 (n=6) <sup>1)</sup>

Table 2 Serum magnesium, phosphorus, potassium and calcium in different periods

日期	组别	镁	磷	钾	钙
Day	Groups	Magnesium (mmol·L <sup>-1</sup> )	Phosphorus (mol·L <sup>-1</sup> )	Potassium (mmol·L <sup>-1</sup> )	Calcium (mmol·L <sup>-1</sup> )
0	A	0.68±0.08c	3.36±0.32ab	4.42±0.21	1.75±0.16
	B	0.65±0.06c	3.42±0.41ab	4.46±0.13	1.69±0.19
	C	0.68±0.07c	3.28±0.27ab	4.61±0.17	1.72±0.20
60	A	0.85±0.05b	3.74±0.40a	4.51±0.14	1.88±0.27
	B	0.91±0.12b	3.67±0.43a	4.76±0.18	1.73±0.09
	C	0.84±0.09b	3.82±0.58a	4.82±0.19	1.68±0.15
90	A	0.94±0.09b	3.75±0.29a	4.55±0.17	1.85±0.11
	B	0.71±0.03bc	3.91±0.52a	4.81±0.23	1.64±0.12
	C <sup>2)</sup>	1.89±0.18a	2.55±0.53b	4.32±0.18	1.77±0.18

<sup>1)</sup> 同列数据中不同字母表示差异显著 (P<0.05); <sup>2)</sup> C 组测试样品在山羊尿闭发生后 1~2 d 采集。下同

<sup>1)</sup> Values with different letters in the same line indicate significant statistical differences (P<0.05); <sup>2)</sup> Samples in group C was gotten 1-2 days after anuresis. The same as bellow

表 3 不同时期尿液镁、磷、钾、钙离子含量及磷酸钾镁离子积变化 (n=6)

Table 3 Urine magnesium, phosphorus, potassium, calcium and SAP in different periods

日期 Day	组别 Groups	镁 Magnesium (mmol·L <sup>-1</sup> )	磷 Phosphorus (mmol·L <sup>-1</sup> )	钾 Potassium (mmol·L <sup>-1</sup> )	钙 Calcium (mmol·L <sup>-1</sup> )	SAP
0	A	3.59±0.62b	3.02±0.85b	135.45±11.85c	4.63±0.53	
	B	3.28±0.48b	2.76±0.61b	122.38±12.46c	4.38±0.47	
	C	3.46±0.71b	3.16±0.79b	138.32±10.09c	4.76±0.39	
60	A	4.55±0.72a	3.63±0.74ab	165.95±15.49b	4.50±0.46	
	B	4.70±0.89a	3.48±0.81ab	158.70±19.46b	4.90±0.84	
	C	5.08±1.23a	3.50±0.59ab	172.74±12.41b	4.70±0.78	(2.75±0.32)×10 <sup>-9</sup> a
90	A	4.62±0.81a	3.84±0.72 ab	170.24±12.41b	4.27±0.79	
	B	3.83±1.01b	4.53±0.53 a	192.70±26.86a	3.97±1.07	
	C	1.90±0.44c	1.12±0.13c	93.60±17.99d	3.21±0.92	(1.90±0.17)×10 <sup>-10</sup> b

表 4 尿结石、尿沉渣晶体 X-射线衍射数据表

Table 4 Data of X-ray diffraction of calculus and urinary sedimentary crystals

六水磷酸氢镁 NH <sub>4</sub> MgPO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O ICDD 15-0762		C 组 3 号羊尿结石 Calculus sample 3 of group C		C 组 3 号羊尿沉渣晶体 Urinary sedimentary crystals sample 3 of group C		六水硫酸钾镁 KMg PO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O ICDD 35-0812	
D <sup>1)</sup>	Int <sup>2)</sup>	d <sup>1)</sup>	Int <sup>2)</sup>	d <sup>1)</sup>	Int <sup>2)</sup>	D <sup>1)</sup>	Int <sup>2)</sup>
6.1400	8	6.1264	5.93				
5.9050	40	5.8996	6.70	5.8575	6.5	5.8465	10
5.6010	60	5.5911	100.00	5.5568	33.72	5.5514	25
5.3780	25	5.3767	16.70	5.3806	41.45	5.3896	18
4.6000	6	4.5950	1.12	4.5870	12.34	4.5884	17
4.2570	100	4.2510	31.20	4.2417	84.52	4.2405	100
4.1390	40	4.1341	21.47	4.1239	89.11	4.1226	60
3.5570	4	3.5557	0.49	3.5403	2.68	3.5414	6
3.4750	12	3.4676	2.14	3.4482	4.34	3.4361	20
3.2890	25	3.2876	6.59	3.2653	21.88	3.2579	39
3.1920	2	3.1877	0.47	3.1727	4.00	3.1720	6
3.0670	4	3.0670	1.91	3.0759	3.87	3.0808	3
3.0220	14	3.0196	1.87	3.0076	3.15	3.0038	7
2.9580	25	2.9544	5.34	2.9633	35.08	2.9692	18
		2.9155	8.54	2.9022	28.74	2.9235	16
2.9190	55	2.7987	55.12			2.8994	64
		2.721	6.00			2.8125	7
2.8020	35	2.6902	62.57	2.7807	26.31	2.7744	37
2.7220	16	2.6569	58.17	2.7230	10.59	2.7255	10
2.6900	50	2.5482	1.29	2.6915	100.00	2.6946	55
2.6600	45	2.5075	2.22	2.6430	30.84	2.6417	45
2.5480	4	2.3914	0.59	2.5314	3.47	2.5310	6
2.5510	8	2.3479	2.06	2.5068	13.48	2.5085	8
2.3940	6	2.2492	0.53	2.3766	5.36	2.3743	8
						2.3673	8
2.3520	12	2.1801	1.36	2.3357	5.65	2.3318	12
2.3000	2					2.2946	1
2.2530	4			2.2478	3.92	2.2471	7

续表 4 Continued table 4

六水磷酸氨镁 NH <sub>4</sub> MgPO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O ICDD 15-0762		C 组 3 号羊尿结石 Calculus sample 3 of group C		C 组 3 号羊尿沉渣晶体 Urinary sedimentary crystals sample 3 of group C		六水硫酸钾镁 KMg PO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O ICDD 35-0812	
2.1800	4	2.1275	1.32			2.1593	2
		2.0675	0.84	2.1218	2.21	2.1199	5
2.1670	4	2.0523	1.36				
2.1330	6						
2.1270	8	2.0143	2.25				
2.0690	6	1.9835	0.67				
2.0540	12	1.9580	2.49				
2.0460	12			2.0450	4.80	2.0540	4
		1.9206				2.0386	6
		1.8678	0.88			2.0207	1
2.0140	10	1.8473	1.08	2.0012	7.74	1.9987	14
1.9830	6						
1.9600	14			1.9662	8.19	1.9687	8
				1.9516	9.14	1.9503	18
1.9320	2						
1.9210	4			1.9244	9.55	1.9268	7
1.8730	6						
1.8510	4					1.8561	6
						1.8503	2
						1.8398	4
						1.8152	1
						1.8007	11
				1.7950	15.83	1.7960	10
						1.7853	8
				1.7630	9.89	1.7640	8
				1.7383	6.48	1.7382	6
				1.7239	4.18	1.7197	9
						1.7165	5
				1.7017	2.97	1.6996	4
				1.6804	2.06	1.6815	2
						1.6473	2
				1.5855	4.25	1.5855	6
						1.5756	5
						1.5449	5
				1.4889	3.24	1.4990	2
				1.4746	3.67	1.4901	4
						1.4498	3

ICDD 国家衍射数据中心, The International Centre for Diffraction Data

<sup>1)</sup>d: 晶面间距 Interval of crystal facet; <sup>2)</sup>Int: 衍射峰强度 Intensity of diffraction peak

### 3 讨论

#### 3.1 本试验中高镁摄入是山羊尿石症发生的重要诱发因素

高精料日粮一直被认为是结石发生的主要因素之一, Munakata 通过试验发现, 当饲喂的精料量达到阉牛、羔羊体重的 1.5% 时, 尿中就会出现尿沉渣晶体; 而当精料量为体重的 2.5% 时, 饲喂 2 个月便出现大量尿沉渣, 并开始形成结石<sup>[18]</sup>。棉饼稻草日粮模式是中国棉区应用较多的舍饲育肥反刍动物的模式, 本试验中试验日粮精粗比为 4 : 6, 按山羊 2% 体重提供精料已经是高精料日粮, 其蛋白质、磷、钾、镁都超过山羊营养需要上限<sup>[19]</sup>, 0.3% 的钙虽能满足营养需要, 但钙磷比小于 1, 是容易诱发反刍动物结石的日粮<sup>[3]</sup>。虽然高磷、钾被报道容易诱发结石<sup>[7,8]</sup>, 试验中在已经是高磷、高钾、高镁的日粮中通过饮水继续增加磷、钾添加量, 钙磷比值进一步偏离营养需要, 而结石发病率并未见增加; 而在饮水中继续增加镁的用量导致了结石发病率明显增加。这表明对于饲喂高磷、钾、镁日粮的山羊来说, 日粮中过量的镁是尿石症发生的重要因素。这一结果与 Kallfelz 等对镁在牛羊尿结石发生中起着重要作用的观点相似<sup>[9,10]</sup>。

高精料日粮应用中容易引起瘤胃酸中毒等代谢性疾病, 常用添加瘤胃缓冲剂来解决这一问题, 瘤胃缓冲剂多用碳酸氢钠和氧化镁配制, 这也相当于增加了日粮中镁的含量。在防止青草搐搦和抗应激时, 多有镁的应用。但在人们一般认识上, 由于高镁引起的中毒对反刍动物影响又不大, 所以饲养者倾向于在日粮中多加镁而不至于因为镁缺乏引起生产上的疾病。而这些加镁的措施有可能就成了公畜尤其是阉割反刍动物结石发生的关键因素, 所以舍饲育肥反刍动物或饲养公畜应该注意到日粮中镁的问题, 尤其是在应用棉饼、向日葵饼、亚麻仁饼、小麦麸、米糠等<sup>[19]</sup>这些常见的高镁饲料时更应该注意镁的用量。当然, 当动物饮水中镁的含量较高时, 也应该注意调整饲料中镁的用量。

#### 3.2 高镁诱发山羊尿石症的可能发病机理—高浓度离子的排泄

综合化学定性分析、X-射线物相分析、X-射线能谱分析和红外光谱结果, 表明尿沉渣晶体和结石化学组成主要是磷酸钾镁和磷酸铵镁, 这一结果与王小龙在牛羊尿石成分分析的结果相似<sup>[20]</sup>。既然在尿液中形成尿沉渣晶体和结石的主要元素是磷、钾、镁和铵离

子, 那就需要从这些相应的离子的排泄角度来理解结石的形成。

草食动物吸收的磷主要是通过粪便排出, 通过尿液排出量较少<sup>[21]</sup>。钾主要是通过尿液排出, 镁通过粪便、尿液、泌乳排出, 其中尿液是镁的主要排出途径之一<sup>[19]</sup>。增加日粮 P、Mg、K 含量会在一定程度上提高其血浆离子浓度, 也会引起从尿路排 P、K、Mg 量的增加<sup>[22,23]</sup>。本试验中棉饼稻草日粮中矿物质含量为 P 0.40%、Mg 0.30%、K 1.24%, 都超过饲养标准中推荐的营养需要量上限 P 0.38%、Mg 0.18%、K 0.80%<sup>[19]</sup>, 山羊血浆 P、Mg 离子浓度已经处于一个高水平状态, 导致 P、K、Mg 离子以高浓度状态从尿中排泄。棉饼作为高蛋白质日粮, 其体内代谢会产生多量的氨从尿中排泄。当这些高浓度的磷、钾、镁、铵离子在尿液中同时出现时, 就形成了不溶性的磷酸钾镁和磷酸铵镁与磷酸钾镁结晶析出, 结晶进一步生长聚集就可形成结石。

#### 3.3 高镁诱发山羊尿石症的可能发病机理—镁对尿液中某些结石抑制因子的活性的影响

尿液是一种过饱和和胶体溶液, 尿结石的形成与尿液中过饱和离子的结晶、聚集, 晶体聚合抑制因子的抑制能力降低等因素有关, 当尿液中晶体与抑制物质的平衡被打破, 晶体大量析出聚集形成结石。离子积是溶液中某溶质各离子浓度的乘积, 当离子积超过溶度积, 溶质就会结晶析出, 尿液中尿结石组成成分的离子积可在一定程度上反映尿液中成结石离子的过饱和状态以及抑制因子的抑制能力, 这种尿石成因的理论在草酸钙和磷酸铵镁结石研究中都有应用<sup>[24, 25]</sup>。

磷酸钾镁作为尿沉渣晶体的主体成分之一, 在水体系中其溶度积为  $2.4 \times 10^{-11}$ <sup>[26]</sup>, 在未成结石尿液中其离子积达到了  $2.75 \times 10^{-9}$ , 使其保持如此高的过饱和状态而不继续析出结晶沉淀的原因是尿液中存在一些结石抑制因子。据报道结石抑制因子 (如 Tamm-Horsfall 蛋白) 及其抑制活性在结石的发生中起着重要作用<sup>[24]</sup>, 抑制因子抑制着过饱和离子的结晶、聚集过程, 当尿液中晶体与这些抑制因子的平衡被打破, 晶体大量析出聚集形成结石。试验中, 在 C 组发生结石后, 可以看到磷酸钾镁离子积显著降低, 这提示结石抑制因子的抑制能力大大降低, 已经不能再保持结石发生以前那样高的过饱和状态, 这可能与尿液高浓度的镁离子有关。据报道, 高镁可以导致 Tamm-Horsfall 蛋白变性由单体变为聚体<sup>[27]</sup>, 使其对结石的抑制效应发生改变。当尿液中结石抑制因子的

抑制能力因某些因素降低后, 离子过饱和平衡状态发生改变, 参与形成晶体的离子由于进一步结晶成石因而出现浓度下降现象。

本试验中继续增加 P、K 用量, B 组山羊血浆 P、K 也未见明显变化, 可能是由于 P、K 的吸收排泄已经达到平衡。结石发生后, 肾脏泌尿功能障碍, 排泄离子以及代谢废物减少, 此时 C 组山羊已经无食欲但仍饮用含有氧化镁的水, 血浆 Mg 离子浓度的升高可能是由于能持续的从饮水中获得镁, 镁的吸收量大于排泄量所致。磷主要通过粪便排出, 尿液排泄障碍对 P 的总排泄量影响不大, 由于山羊已经不再从饲料中获取 P、K, 所以血浆 P 离子浓度有明显降低; K 主要通过尿液排泄, 结石发生后尿液排泄障碍, 通过尿液排泄 K 减少, 由于发生尿闭后 1~2 d 山羊就被剖杀, 时间较短 K 排泄量不大。所以血浆 K 虽有降低趋势尚不明显。

## 4 结论

对于饲喂棉饼稻草日粮的山羊来说, 日粮中过量的镁是尿石症发生的重要因素。高镁诱发尿石症的原因可能与尿液中结石抑制因子的抑制能力降低有关。

## References

- [1] Megavin M D, Zachary J F. *Pathologic Basis of Veterinary Disease (4th edition)*. Mosby, Inc., 2007: 680-681.
- [2] 张高轩, 李玉瑛, 濮方德, 王洪江. 新疆石河子垦区绵羊尿石症 (calculosis) 的调查与研究. 石河子农学院学报, 1989, 2: 77-83.  
Zhang G X, Li Y Y, Pu F D, Wang H J. Survey and investigation of sheep calculosis in Xinjiang cultivate land. *Journal of Shihezi Agricultural College*, 1989, 2: 77-83. (in Chinese)
- [3] 黄克和, 高金宝, 王小龙, 郁者华. 牛羊饲喂棉饼所致尿石症的调查研究. 中国兽医杂志, 1993, 19(3): 11-12.  
Huang K H, Gao J B, Wang X L, Yu Z H. Investigation of bovine and ovine urolith induced by cotton seed meal feeding. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 1993, 19(3): 11-12. (in Chinese)
- [4] Blood D C, Radostits O M, Arundel J H, Gay C C. *Veterinary Medicine (7th edition)*. London: Bailliere Tindall, 1989: 402-409.
- [5] Wang X L, Huang K H, Gao J B, Shen X Z. Chemical composition and microstructure of uroliths and urinary sediment crystals associated with the feeding of high-level cottonseed meal diet to water buffalo calves. *Research in Veterinary Science*, 1997, 62(3): 275-280.
- [6] Huang K H, Wang X L, Yu Z H, Zhou D D, Gao J B, Li H Q, Shen X Z, Xu J, Huang Y C, Ji Y S, Qiu X, Yang J B. Pathogenesis of urolithiasis in Chinese swamp buffalo calves caused by feeding high-level cottonseed meal diets. *Buffalo Journal*, 1999, 3:291-302.
- [7] Petersson K H, Warner R G, Kallfelz F A, Crosetti C F. Influence of magnesium, water, and sodium chloride on urolithiasis in veal calves. *Journal of Dairy Science*, 1988, 71(12): 3369-77.
- [8] Jubb K V F, Kennedy P C, Palmer N. *Pathology of Domestic Animals (4th edition)*. Academic Press Inc. 1993: 523-531.
- [9] Kallfelz F A, Ahmed A S, Wallace R J, Sasangka B H, Warner R G. Dietary magnesium and urolithiasis in growing calves. *Cornell Veterinarian*, 1987, 77(1): 33-45.
- [10] Poole D B R. Observations on the role of magnesium and phosphorus in the aetiology of urolithiasis in male sheep. *Irish Veterinary Journal*, 1989, 42:60-63.
- [11] Cuddeford D. Role of magnesium in the aetiology of ovine urolithiasis in fattening store lambs and intensively fattened lambs. *Veterinary Record*, 1987, 121(9):194-197.
- [12] Chester-Jones H, Fontenot J P, Veit H P, Webb K E Jr. Physiological effects of feeding high levels of magnesium to sheep. *Journal of Animal Science*, 1989, 67(4): 1070-1081.
- [13] 王金勇, 孙卫东, 王小龙. 羊、猪、犬等雄性动物接尿器的制备及临床应用. 畜牧与兽医, 2006, (1): 43-44.  
Wang J Y, Sun W D, Wang X L. Preparation and clinical application of urine collection appliance used in male animals (goat, pig and dog, etc). *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2006, (1): 43-44. (in Chinese)
- [14] 叶章群, 邓耀良, 董诚主编. 泌尿系结石. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 213-232.  
Ye Z Q, Deng Y L, Dong C. *Urolithiasis*. Beijing: People's Medical Press, 2003: 213-232. (in Chinese)
- [15] Manning R A, Blaney B J. Identification of uroliths by infrared spectroscopy. *Australian Veterinary Journal*, 1986, 63(12): 393-396.
- [16] 孙卫东, 王金勇, 叶承荣, 王小龙. 傅立叶变换红外光谱对动物尿结石成分的分析研究. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2006, 27(2): 56-58.  
Sun W D, Wang J Y, Ye C R, Wang X L. Study on analysis of animal urinary stones by FTIR. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2006, 27(2): 56-58. (in Chinese)
- [17] Buffington C A, Rogers Q R, Morris J G. Effect of diet on struvite activity product in feline urine. *American Journal of Veterinary Research*, 1990, 51(12): 2025-30.
- [18] Munakata K, Suda H, Ikeda K. Induction of the urolithiasis syndrome



- in cattle. *National Institute of Animal Health Quarterly*, 1974, 14(1): 31-32.
- [19] McDowell L R. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, Inc.1992: 27-490.
- [20] 王小龙, 陆天水, 汤艾非, 高金宝, 林承毅, 张根嫌. 牛羊尿结石化学组成和显微结构的分析研究. *畜牧兽医学报*, 1994, 25(5): 469-478.  
Wang X L, Lu T S, Tang A F, Gao J B, Lin C Y, Zhang G D. Chemical composition and microstructure of bovine and ovine urolith from china. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 1994, 25(5): 469-478. (in Chinese)
- [21] George J W, Hird D W, George L W. Serum biochemical abnormalities in goats with uroliths:107 cases (1992-2003). *Journal of Americal Veterinary Medicine Association*, 2007, 203 (1): 101-106.
- [22] Robbins J D, Kunkel H O, Crookshank H R. Relationship of dietary mineral intake to urinary mineral level and the incidence of urinary calculi in lambs. *Journal of Animal Science*, 1965, 24(1): 76-82.
- [23] Crookshank H R, Robbins J D, Kunkel H O. Relationship of dietary mineral intake to serum mineral level and the incidence of urinary calculi in lambs. *Journal of Animal Science*, 1967, 26(5): 1179-1185.
- [24] Bichler K H. Thirty-eight years of stone meetings in Europe. *Urology Research*, 2006, 34(2): 70-78.
- [25] Laube N, Hergarten S, Hoppe B, Schmidt M, Hesse A. Determination of the calcium oxalate crystallization risk from urine samples: the BONN Risk Index in comparison to other risk formulas. *Journal of Urology*, 2004, 172(1): 355-359.
- [26] Singh D, Mandalika V R, Parulekar S J, Wagh A S. Magnesium potassium phosphate ceramic for <sup>99</sup>Tc immobilization. *Journal of Nuclear Materials*, 2006, 348(3): 272-282.
- [27] Stevenson F K, Cleave A J, Kent P W. The effect of ions on the viscometric and ultracentrifugal behaviour of Tamm-Horsfall glycoprotein. *Biochemistry Biophysiology Acta*, 1971, 236(1): 59-66.

(责任编辑 林鉴非)

## 更正

本刊 2008 年第 41 卷第 1 期第 53~62 页“小麦灌浆过程中旗叶光合及抗氧化代谢与氮素营养关系研究”一文页脚作者简介处, 王振林前, 漏登“通讯作者”四字。作者简介中有关王振林的内容更正为: 通讯作者王振林(1959-), 男, 山东汶上人, 教授, 研究方向为作物产量、品质形成的生理机制与调控。Tel: 0538-8241359; E-mail: zlwang@sdau.edu.cn

特此更正, 并向作者及读者诚致歉意。

编辑部