

网络出版时间:2019-01-24 16:29

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.08.004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190124.1627.008.html>

乌蒙半细毛羊慢性铜中毒的研究

吴 婷¹, 霍 宾¹, 池永宽², 申小云^{1,2,3}

(1 西南科技大学 生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010; 2 贵州师范大学 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550025; 3 中国西南世界银行扶贫项目贵州办公室, 贵州 贵阳 550004)

【摘 要】【目的】探究近年来乌蒙半细毛羊出现贫血、黄疸及血尿等症状的病因, 为相关疾病防治提供参考。**【方法】**将出现患病羊的贵州省威宁县牛棚镇牧场作为试验牧场, 贵州省赫章县凉水沟种羊场作为对照牧场, 分别采集 2 个牧场的土壤、牧草样品, 以及患病乌蒙半细毛羊(20 只)与健康乌蒙半细毛羊(20 只)的颈静脉血及肝脏, 测定 Cu、Mo、Mn、Co、Se、P、Fe 和 Zn 含量, 同时测定试验羊血液中 SOD、CAT、GSH-Px、CPK、GOT 活性和 CP、MDA、Hb 含量及 RBC、MCHC、MCV、PCV、MCH、WBC 等指标; 然后将健康乌蒙半细毛羊转移到试验牧场上放牧, 10 d 后进行钼酸铵补充试验, 设 0、100、200、300 mg/kg 4 个处理, 测定乌蒙半细毛羊血液和肝脏中铜含量的变化情况, 分析钼元素的影响。**【结果】**试验牧场土壤中的铜含量极显著高于对照牧场($P < 0.01$), 属于铜污染土壤; 试验牧场牧草中的铜含量极显著高于对照牧场牧草($P < 0.01$), 且试验牧场牧草中铜钼比高于动物饲料中的铜钼比正常值; 患病乌蒙半细毛羊血液和肝脏中的铜含量极显著高于健康羊($P < 0.01$), 其他元素含量间无显著性差异; 患病乌蒙半细毛羊血液中的 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性极显著低于健康羊($P < 0.01$), CPK、GOT 活性和 CP、MDA 含量极显著高于健康羊($P < 0.01$); 患病乌蒙半细毛羊血液 Hb、RBC 和 MCHC 极显著低于健康羊($P < 0.01$), MCV 极显著高于健康羊($P < 0.01$), PCV、MCH 和 WBC 与健康羊无显著性差异($P > 0.05$)。将健康乌蒙半细毛羊在试验牧场饲养后, 出现了与患病乌蒙半细毛羊相同的症状, 补充钼元素后, 这些羊血液和肝脏中的铜含量明显降低, 到试验结束时, 体内铜含量恢复到正常范围, 病症消失, 且以每 10 d 补充 300 mg/kg 钼酸铵 2 次的效果最好。**【结论】**乌蒙半细毛羊的慢性铜中毒症状是采食含铜量过多的牧草造成的, 在饲料中补充 300 mg/kg 的钼酸铵, 可以有效缓解相关症状。

【关键词】 乌蒙半细毛羊; 生理生化指标; 矿物质元素; 慢性铜中毒

【中图分类号】 S859.81

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)08-0025-06

Chronic copper poisoning of Wumeng semi-fine wool sheep

WU Ting¹, HUO Bin¹, CHI Yongkuan², SHEN Xiaoyun^{1,2,3}

(1 College of Life Science, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China;

2 State Engineering Technology Institute for Kast Desertification Control, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

3 World Bank Poverty Alleviation Project Office in Guizhou, Southwest China, Guiyang, Guizhou 550004, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the etiology of anemia, jaundice, and hematuria symptoms in Wumeng semi-fine wool sheep in recent years for preventing diseases. 【Method】 The Wumeng semi-fine wool sheep from the experimental pasture in Niupeng town of Weining, Guizhou were selected using those in the Liangshuigou sheep farm of Hezhang, Guizhou as the control. Soil, forage, and jugular vein blood and liver of 20 sick sheep and 20 healthy sheep were collected. Contents of Cu, Mo, Mn, Co, Se, P, Fe and Zn, activities of SOD, CAT, GSH-Px, CPK, GOT and CP, contents of MDA and Hb, and blood indexes of RBC, MCHC, MCV, PCV, MCH and WBC were determined and compared. Then, healthy sheep were

【收稿日期】 2018-07-25

【基金项目】 国家“十三五”重点研发计划项目(2016YFC0502601); 西南科技大学博士基金项目(17zx7146)

【作者简介】 吴 婷(1994—), 女, 四川都江堰人, 在读硕士, 主要从事动物营养研究。E-mail: 18380592044@163.com

【通信作者】 申小云(1971—), 男, 湖南邵东人, 教授, 博士, 主要从事环境科学与畜牧学研究。E-mail: kjxyshenxy@163.com

moved to the experimental pasture for grazing. After 10 days, the ammonium molybdate supplement (0, 100, 200, and 300 mg/kg) tests were conducted and the changes of copper contents in blood and liver were analyzed to determine the effects of molybdenum. 【Result】 The soil in the experimental pasture was copper contaminated with content of copper significantly higher than that of the control pasture ($P<0.01$). The content of Cu in the forage of the experimental group was significantly higher than that in the control group ($P<0.01$), and the ratio of Cu to Mo in the forage of the experimental group was higher than that in animal diet. The concentrations of Cu in blood and liver of sick group were significantly higher than those of the health group, while there was no significant difference in contents of other elements between the two groups. SOD, CAT and GSH-Px activities in the blood of sick sheep were significantly lower than those of the health group ($P<0.01$), while activities of CPK and GOT and contents of CP and MDA were significantly higher than those of the health group ($P<0.01$). Hb, RBC, and MCHC in blood of sick sheep were significantly lower than those of the health sheep ($P<0.01$), and MCV was significantly higher than health sheep ($P<0.01$). The contents of PCV, MCH and WBC showed no significant differences ($P>0.05$). When the healthy sheep were stocked in experimental pasture, the same symptoms as sick sheep appeared. After supplementing Mo with ammonium molybdate, the contents of Cu in the blood and liver reduced and the symptoms gradually disappeared. At the end of the experiment, the contents of Cu in sheep changed to normal level and the treatment with 300 mg/kg ammonium molybdate twice every 10 days was the best. 【Conclusion】 The symptoms of chronic copper poisoning in Wumeng semi-fine wool sheep were caused by long-term living on copper-contaminated land. Supplementing 300 mg/kg ammonium molybdate to diet could effectively alleviate the symptoms.

Key words: Wumeng semi-fine wool sheep; physiological and biochemical indexes; mineral element; chronic copper poisoning

乌蒙半细毛羊原名贵州半细毛羊, 主要分布于云、贵、川三省交界的乌蒙山区, 是利用本地绵羊(藏系山谷型粗毛羊即威宁绵羊)导入肉毛兼用的考力代血液杂交育成的毛肉兼用型羊种。成年公羊平均体质量(61.62 ± 5.38) kg/只, 成年母羊平均体质量(52.76 ± 5.93) kg/只, 产羔率 119.59%; 成年公羊平均产毛量(5.86 ± 1.27) kg, 成年母羊平均产毛量(4.72 ± 1.13) kg, 净毛率 57.72%, 羊毛主体细度 $25.0\sim29.0\ \mu\text{m}^{[1]}$ 。乌蒙半细毛羊是乌蒙山区最主要的绵羊品种, 在当地草地生态畜牧业发展中发挥着不可替代的经济作用, 是当地少数民族群众赖以生存的经济来源^[2]。然而, 近年来乌蒙半细毛羊常表现出食欲减退、生长缓慢、黄疸、尿液呈红色或暗红色、呼吸困难、卧地不起等与羊慢性铜中毒相似的临床症状, 且尚未找到有效的治疗方法, 严重影响了养殖乌蒙半细毛羊的经济效益, 对当地的经济发展造成了影响。

家畜铜中毒分为急性铜中毒和慢性铜中毒, 其中急性铜中毒是因一次误食大剂量铜化合物所致, 在自然条件下并不多见; 而慢性铜中毒则可能因长期食入过量铜引起, 较为常见。慢性铜中毒发生于

各种畜禽, 其中绵羊对铜的毒性最为敏感, 发病率更高。针对羊慢性铜中毒的治疗已有研究, 崔焕忠等^[3]通过静脉注射三硫钼酸钠治愈了绵羊的慢性铜中毒, 减少了绵羊的死亡率。

乌蒙山区是乌蒙半细毛羊的主要产地, 近几年因经济发展需要, 对矿产资源的开采规模不断扩大, 而采矿和矿石利用过程中产生了大量的废石尾砂、废水及废气浮尘, 其附着的重金属元素随灌溉、大气降尘进入土壤生态系统, 导致土壤重金属污染^[4], 且可能通过土壤-植物-动物系统影响动物健康^[5]。

为了探讨乌蒙山区患病乌蒙半细毛羊的病因, 本试验比对了患病与健康乌蒙半细毛羊的相关指标, 以及放牧牧场土壤和牧草的矿物质元素含量, 并通过向饲料中加入钼酸铵, 寻找适合的治疗方法, 以期控制当地乌蒙半细毛羊慢性铜中毒病症提供参考, 减少乌蒙半细毛羊养殖业的损失。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

乌蒙半细毛羊主要分布在乌蒙山区贵州省威宁县和赫章县, 所处区域属亚热带和暖温带湿润季风

气候区,冬无严寒,夏无酷暑,平均海拔 1 550~2 200 m,年平均气温 11.5~11.8℃,无霜期 180~257 d,年平均降雨量 890~1 150 mm,年平均日照时数 1 400~1 800 h。

1.2 试验设计

在乌蒙山区贵州省威宁县牛棚镇牧场选取 20 只出现黄疸、血尿等症状的 1~2 岁乌蒙半细毛羊,同时在威宁县凉水沟种羊场选取 20 只健康的 1~2 岁乌蒙半细毛羊,测定血液生理生化指标、血液和肝脏矿物质元素含量及放牧牧场土壤和牧草中的矿物质元素含量。然后将健康乌蒙半细毛羊随机分成 4 组,转移至牛棚镇牧场隔离放养,10 d 后结合关海峰^[6]的试验结果,在 3 组羊饲料中分别补充钼酸铵 $((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_7)$ 100, 200, 300 mg/kg,每 10 d 补饲 2 次,连续饲喂 50 d;另一组不加钼酸铵(药物对照 CK)。饲喂期间每 10 d 检测 1 次试验羊血液和肝脏中的铜含量。在 60 d 饲喂试验期,患病组乌蒙半细毛羊维持原生长环境和饲喂水平,作为临床症状参照。

1.3 样品采集

1.3.1 牧场土壤样品采集 于 2017 年 8 月,在牛棚镇牧场(试验牧场)和凉水沟种羊场(对照牧场)天然草地随机采集 10 个 0~30 cm 的表层土壤样品,每个样品 200 g。晾干后于 60~80℃ 高温下烘干处理 48 h,过孔径 0.154 mm 筛除去土壤中细沙后备用。

1.3.2 牧草样品采集 在试验牧场和对照牧场采用蛇形法选取 10 个 1 m² 样方,样方间隔 200 m。在每个样方内用对角线法采集 3 处地上部分牧草,混合后,用四分法去除多余牧草,每个样本 200 g,去表面泥土后送实验室,于 65℃ 干燥箱中烘干 48 h,过 0.071 mm 筛除去牧草中细沙后备用。

1.3.3 血液及肝脏样品采集 用无菌真空采血管采集所有供试乌蒙半细毛羊颈静脉血,每只羊 20 mL,其中 10 mL 用于生理生化指标测定,另外 10 mL 用于血液矿物质含量的测定。肝脏样品参照姚立等^[7]的方法采集,利用快速活检枪在羊右侧壁肝区与皮肤呈 45°角向尾端方向进针 6 cm 穿刺获取肝脏样品。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 矿物质元素含量 土壤、牧草、血液和肝脏样品用微波辐射法消解,测定其中矿物质元素含量。其中,Cu、Mo、Mn、Co、Se、Fe 和 Zn 等矿物质元素含量的测定用 XDY-2A 型(Perkin-Elmer, Nor-

walk, USA)原子吸收光谱分析法,P 含量测定用钼酸铵分光光度法。

1.4.2 生化酶 应用全自动生化分析仪(Olympus AU 640, Olympus Optical Co., Tokyo, Japan)测定血液中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、磷酸肌酸激酶(CPK)、谷草转氨酶(GOT)活性和血浆铜蓝蛋白(CP)、丙二醛(MDA)含量,所有样品均重复测试 3 次。

1.4.3 血液指标 血红蛋白(Hb)、红细胞(RBC)、白细胞(WBC)含量用动物专用全自动血液分析仪(SF-3000, Sysmex-Toa Medical Electronics, Kobe, Japan)测定。计算平均血红蛋白浓度(MCHC)、平均红细胞容积(MCV)、红细胞比积(PCV)、平均红细胞血红蛋白量(MCH)。

1.5 数据分析

应用程序 SPSS 20.0 (version 20.0 for windows, Chicago, Illinois, USA)分析数据。所有数据均以“平均值±标准差”表示,使用 *t* 检验评定其差异性。

2 结果与分析

2.1 土壤、牧草和乌蒙半细毛羊血液、肝脏中的矿物质元素含量

由表 1 可见,试验牧场土壤和牧草中的铜含量极显著高于对照牧场($P<0.01$),其他元素含量与对照牧场没有显著差异($P>0.05$)。试验牧场牧草中的铜含量超过绵羊对铜的需要量(7~11 mg/kg),铜钼比为 14:1,高于饲料中铜钼比的正常值(6:1~10:1)。患病乌蒙半细毛羊血液和肝脏中的铜含量极显著高于健康羊($P<0.01$),其他元素含量两组羊之间无显著差异($P>0.05$)。据王伟霞等^[8]报道,肝脏中铜含量超过 500 mg 时即可视为铜中毒。结合患病乌蒙半细毛羊贫血、黄疸和血尿等症状表现,认为试验地区乌蒙半细毛羊的患病症状与铜中毒有关,且是因为长期生活在铜污染环境,采食铜含量过高的牧草造成的。

2.2 乌蒙半细毛羊的血液生理生化指标

表 2 显示,患病乌蒙半细毛羊血液中的 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性极显著低于健康羊($P<0.01$),说明患病羊机体的抗氧化功能降低;CPK、GOT 活性和 CP、MDA 含量均极显著高于健康羊($P<0.01$),说明患病羊的膜系统和肝功能可能受损且存在再生障碍性贫血等症状。患病乌蒙半细毛

羊血液中的 Hb、RBC 和 MCHC 极显著低于健康羊 ($P<0.01$),MCV 极显著高于健康羊 ($P<0.01$),PCV、MCH 和 WBC 与健康羊无显著差异 ($P>0.05$),降低的血液指标说明患病羊确实存在贫血现象。

表 1 土壤、牧草及乌蒙半细毛羊血液和肝脏中的矿物质元素含量

Table 1 Contents of mineral elements in soil,forage,blood and liver of Wumeng semi-fine sheep μg/g									
来源 Source	处理 Treatment	Cu	Mo	Mn	Co	Se	Zn	P	Fe
土壤 Soil	试验牧场 Experimental pasture	73.84±7.72 a	1.86±0.53	302.56±27.32	6.25±1.37	0.12±0.02	49.14±11.23	447.64±37.16	4 102.31±377.57
	对照牧场 Control pasture	11.71±7.67 b	1.96±0.57	293.12±25.36	6.23±1.15	0.13±0.02	44.10±9.56	438.71±34.60	4 837.51±631.31
牧草 Forage	试验牧场 Experimental pasture	17.83±5.32 a	1.27±0.16	62.83±13.97	1.50±0.67	0.11±0.03	85.63±13.61	467.81±33.73	329.37±36.17
	对照牧场 Control pasture	8.27±2.94 b	1.21±0.13	57.92±5.95	1.47±0.62	0.12±0.03	88.67±7.86	463.24±31.71	323.76±25.62
血液 Blood	患病羊 Sick sheep	6.57±0.87 a	0.09±0.11	0.53±0.80	0.67±0.12	0.16±0.06	7.73±0.13	243.69±23.74	389.95±27.14
	健康羊 Healthy sheep	0.37±0.01 b	0.11±0.03	0.56±0.27	0.65±0.15	0.15±0.03	7.91±1.89	251.81±21.73	387.87±66.91
肝脏 Liver	患病羊 Sick sheep	1 102.67±52.74 a	3.11±1.21	4.38±0.67	7.15±1.27	1.19±0.06	76.43±13.21	613.87±37.72	375.64±32.22
	健康羊 Healthy sheep	93.16±21.19 b	3.57±1.23	3.92±1.31	7.03±1.21	1.18±0.31	72.34±17.16	611.98±35.96	323.74±37.67

注:同列数据后标不同小写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note:Different little letters show extremely significant difference ($P<0.01$),The same below.

表 2 患病与健康乌蒙半细毛羊血液生理生化指标的比较

Table 2 Physiological and biochemistry indexes in blood of Wumeng semi-fine sheep							
处理 Treatment	SOD/ (U · mL ⁻¹)	CAT/ (U · mL ⁻¹)	GSH-Px/ (U · mL ⁻¹)	CPK/ (U · mL ⁻¹)	GOT/ (U · mL ⁻¹)	CP/ (mg · dL ⁻¹)	MDA/ (nmol · mL ⁻¹)
患病羊 Sick sheep	33.82±8.97 a	0.73±0.25 a	14.26±6.32 a	101.21±21.36 a	47.87±3.31 a	8.86±1.38 a	35.45±3.37 a
健康羊 Healthy sheep	72.64±7.59 b	1.25±0.37 b	33.28±4.76 b	35.14±37.31 b	7.46±3.81 b	4.39±1.63 b	26.13±5.76 b
处理 Treatment	Hb/ (g · L ⁻¹)	RBC/ (10 ¹² · L ⁻¹)	MCHC/ (g · L ⁻¹)	MCV/fL	PCV/%	MCH/pg	WBC/ (10 ⁹ · L ⁻¹)
患病羊 Sick sheep	83.64±13.12 a	6.85±2.91 a	2.57±0.37 a	4.78±0.39 a	32.59±2.35	12.34±2.67	10.77±1.73
健康羊 Healthy sheep	121.37±11.52 b	11.65±1.33 b	3.32±0.37 b	3.18±0.44 b	36.80±5.33	10.62±3.19	9.26±2.34

2.3 补充钼对乌蒙半细毛羊血液和肝脏中铜元素含量的影响

将健康乌蒙半细毛羊转移至牛棚镇铜污染草地上放牧后,其体内铜元素含量增加并出现食欲减弱、

精神不佳的临床表现,补充钼元素后,乌蒙半细毛羊的病症不断减弱,到试验结束时,患病症状完全消失。且不同补充剂量的治疗效果不同,如图 1 所示。

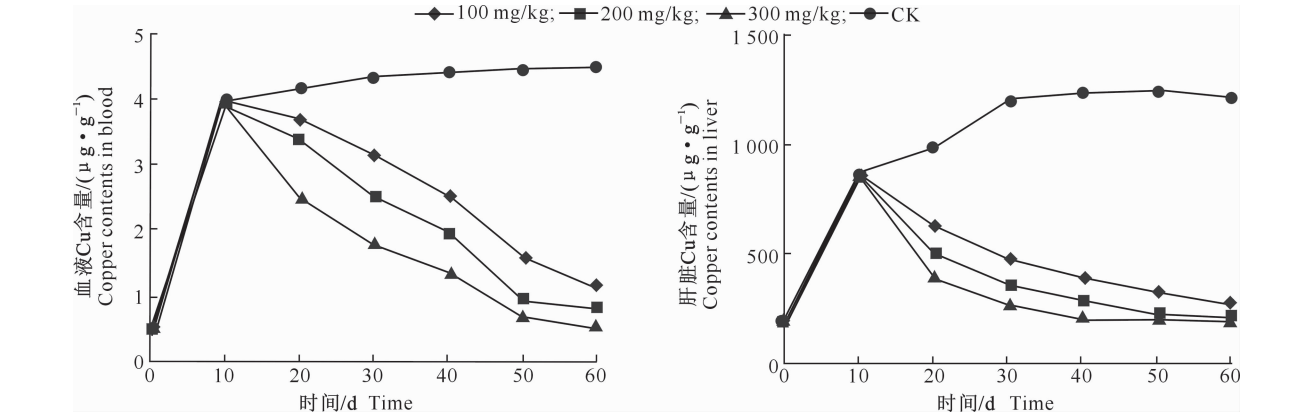


图 1 补充钼酸铵对乌蒙半细毛羊血液和肝脏中铜含量的影响

Fig. 1 Effect of ammonium molybdate on copper contents in blood and liver of Wumeng semi-fine sheep

由图1可知,未加钼组(CK)乌蒙半细毛羊血液和肝脏中的铜含量没有显著变化,并出现呼吸困难、黄疸和血红蛋白尿症状。3个加钼组以补充300 mg/kg 钼酸铵见效最快,饲喂20 d后(即试验30 d时)血液中的铜含量减少50%以上,连续饲喂30 d时血液中的铜含量为 $1.28\text{ }\mu\text{g/g}$,恢复至 $0.7\sim 1.3\text{ }\mu\text{g/g}$ 的正常范围;而100和200 mg/kg 加钼组分别需要40和30 d才能使血液中的铜含量减少50%以上,血铜含量降到正常范围所需时间更长。可见每10 d补钼钼酸铵2次,每次补充300 mg/kg 是快速解决乌蒙半细毛羊铜中毒的最好方案。

3 讨 论

铜是动物必需的营养元素,对动物的生长发育和繁殖有十分重要的作用,但体内的铜含量过高时,会表现出一定的毒性。肝脏中的铜含量超过其耐受限度时,会引起肝功能障碍^[9],使铜的代谢受阻。在一定诱因作用下,肝脏中蓄积的铜会释放进血液,导致红细胞中谷胱甘肽浓度降低、脆性增大,发生管内溶血^[10];溶血会加速肝坏死,周而复始,引起溶血性贫血^[11-13]。试验地区患病乌蒙半细毛羊也有溶血和贫血症状。体内过量的铜还会促使丙二醛(MDA)等脂质过氧化物的产生,导致自由基损伤,引发并发症^[14-15],这可能也是患病羊有其他症状表现的原因之一。因此,试验地区乌蒙半细毛羊患病是因为放牧地区土壤和牧草的铜含量超标,导致血液和肝脏中铜含量超常引起的。

钼与铜在代谢上存在着拮抗作用,补充钼元素可抑制机体对铜的吸收和利用。钼在动物胃肠道中形成的硫钼酸盐可与铜形成硫代钼酸铜和Cu-Mo-S-蛋白质复合物^[16-17]。硫代钼酸铜难溶解,从肠道直接排泄;Cu-Mo-S-蛋白复合物在血液中较稳定,不易为组织所利用,使铜吸收利用受阻。肝脏中的硫钼酸盐能直接将铜从金属硫蛋白上剥离下来,以小分子物质进入血液和胆汁,金属硫蛋白则又从其他蛋白上对铜进行转移补充,然后再被剥离,使得动物体内铜的贮备逐渐减少^[16-18]。本研究中,在饲料中补充钼酸铵可以使患病乌蒙半细毛羊血液和肝脏中的铜含量恢复到正常范围,临床症状消失,这与他人研究结果^[18-20]基本一致,且在同样的治疗效果下,饲料中补充钼元素对动物造成的应激比注射治疗小^[21]。饲料中铜和钼的适宜比例为6:1~10:1,当铜钼比例小于2:1时,既会增加对钼源的吸收,也会增强肾小管对代谢钼的重吸收,从而引起钼中

毒^[22-23],表现出厌食、生长停滞、贫血、脱毛、皮炎和毛色减退等症状,还可能出现自发性骨折^[24-25]。因此,在铜污染牧区通过补充钼元素防治铜中毒前,须先了解动物饲料中铜和钼的含量,再确定钼的补充量,防止出现因过量补充钼对动物造成不良影响的情况。

4 结 论

贵州省威宁县乌蒙半细毛羊出现黄疸、血尿、贫血等症状,是由于长期采食含铜量过高的牧草所致。在饲料中补充钼酸铵,每10 d补充2次,每次300 mg/kg,可以治疗此类羊的病症。对于未发病的羊群应注意饲料的合理配制,避免因营养成分过量或缺乏而引发疾病。

[参考文献]

- [1] 李丽娟,申小云. 贵州半细毛羊的培育历程与养殖现状 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38(11): 182-184.
Li L J, Shen X Y. Development progress and breeding status of Guizhou semi-fine wool sheep [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(11): 182-184.
- [2] 宋德荣,周大荣,彭 华,等. 贵州半细毛羊选育前后部分性状的对比分析 [J]. 西北农业学报, 2014, 23(11): 1-7.
Song D R, Zhou D R, Peng H, et al. Analysis on some characters of Guizhou semi-fine wool sheep before and after breeding [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2014, 23(11): 1-7.
- [3] 崔焕忠,于艳涛,冯宇新,等. 绵羊慢性铜中毒的诊治 [J]. 中国兽医杂志, 2007, 43(10): 39.
Cui H Z, Yu Y T, Feng Y X, et al. Diagnosis and treatment of chronic copper poisoning in sheep [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2007, 43(10): 39.
- [4] 薛喜成,陈 菲. 小峪河金矿区土壤、植被重金属污染研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(8): 141-148.
Xue X C, Chen F. Heavy metal pollution on soil and vegetation in Xiaoyu gold mining area [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2013, 41(8): 141-148.
- [5] 李晓彤,岳田利,胡仲秋,等. 陕西省猕猴桃园土壤重金属含量及污染风险评价 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(2): 173-178.
Li X T, Yue T L, Hu Z Q, et al. Concentrations of soil heavy metals in kiwi fruit orchards in Shaanxi and risk evaluation [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2015, 43(2): 173-178.
- [6] 关海峰. 羊铜中毒的诊断与防治措施 [J]. 现代畜牧科技, 2013(7): 128.
Guan H F. Diagnosis and control measures of sheep copper poisoning [J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology,

- 2013(7):128.
- [7] 姚立,彭涛,李姣,等.围产期山羊肝脏穿刺采样对血常规和肝功能的影响[J].动物医学进展,2017,38(6):128-131.
Yao L, Peng T, Li J, et al. Effect of liver biopsy on blood routine and liver function in peripartum goats [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2017, 38(6): 128-131.
- [8] 王伟霞,李信涛,郭立民,等.绵羊慢性铜中毒病的发生与诊治[J].现代畜牧科技,2015(10):140.
Wang W X, Li X T, Guo L M, et al. Occurrence, diagnosis and treatment of chronic copper poisoning in sheep [J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2015(10): 140.
- [9] 李斌,黄艳,邵晨,等.铜离子急性胁迫对虎纹蛙肝脏中三羧酸循环及自由基代谢的影响[J].水生生物学报,2015,39(6):1160-1168.
Li B, Huang Y, Shao C, et al. Construction of trace copper ion detection strategies and lateral flow biosensor for histone methylation detection [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(6): 1160-1168.
- [10] Mendel M, Chłopecka M, Dziekan N. Haemolytic crisis in sheep as a result of chronic exposure to copper [J]. Polish Journal of Veterinary Sciences, 2007, 10(1): 51-56.
- [11] Giadinis N D, Papaioannou N, Kritsepikonstantinou M, et al. Acute encephalopathy and clinical pathology findings in a sheep with chronic copper poisoning [J]. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 2009, 33(4): 363-366.
- [12] 许汉荣,李斌,顾国庆.畜禽铜中毒及诊治[J].现代畜牧科技,2017(4):120.
Xu H R, Li B, Gu G Q. Livestock and poultry copper poisoning and diagnosis and treatment [J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2017(4): 120.
- [13] 王明根,张明,徐济梅,等.日粮中添加铜对小鼠血清和肝脏中铜、锌、锰的影响[J].安徽技术师范学院学报,2005,19(1):8-10.
Wang M G, Zhang M, Xu J M, et al. Effects of copper added to diets on copper, zinc and manganese of mice's livers and serum [J]. Journal of Anhui Technical Teachers College, 2005, 19(1): 8-10.
- [14] Salaramoli J, Yazdani S, Aliesfahani T, et al. An evaluation of some oxidative and enzymatic biomarkers in different stages of naturally occurring copper poisoning in sheep [J]. Iranian Journal of Veterinary Medicine, 2015, 9(1): 13-18.
- [15] Meng H Z, Ni X F, Yu S S, et al. Effects of astaxanthin on oxidative stress induced by Cu^{2+} in prostate cells [J]. Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology), 2017, 18(2): 161-171.
- [16] Minervino A H, Barrêto Júnior R A, Ferreira R N, et al. Clinical observations of cattle and buffalos with experimentally induced chronic copper poisoning [J]. Research in Veterinary Science, 2009, 87(3): 473-478.
- [17] 张亨山,赵金垣,刘彩云,等.不同形式金属硫蛋白异构体对小鼠免疫效果的观察[J].大同医学专科学校学报,2000(3):1-3.
Zhang H S, Zhao J Y, Liu C Y, et al. Observation of the immunoeffects on the mice immunized by different isoforms of metallothionein [J]. Journal of Datong Medical College, 2000(3): 1-3.
- [18] Suttle N F. Responsiveness of prehaemolytic copper poisoning in sheep from a specific pathogen-free environment to a relatively high dose of tetrathiomolybdate [J]. Veterinary Record, 2012, 171(10): 246.
- [19] 王利,汪开毓.动物铜中毒及防治[J].四川畜牧兽医,2002,29(11):21-23.
Wang L, Wang K Y. The intoxication of copper in animals and preventive measures [J]. Sichuan Animal & Veterinary Sciences, 2002, 29(11): 21-23.
- [20] 黄爱芳.产蛋鸡铜中毒的临床病理学研究[J].畜牧兽医杂志,2011,30(3):1-3.
Huang A F. Clinicopathological study of layer copper poisoning [J]. Journal of Animal Science & Veterinary Medicine, 2011, 30(3): 1-3.
- [21] 夏瑞阳,徐新龙,董明娣,等.微囊化大肠杆菌口服灭活疫苗对大鼠免疫效果的研究[J].畜牧兽医学报,2017,48(2):307-315.
Xia R Y, Xu X L, Dong M D, et al. Evaluation of the immune effect of microencapsulated *E. coli* inactivated oral vaccine in rats [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2017, 48(2): 307-315.
- [22] 杨自军,张才,王宏伟,等.锌、铜对实验性钼中毒绵羊肝脏、肾脏中钼含量的影响[J].中国兽医学报,2011,31(6):895-898.
Yang Z J, Zhang C, Wang H W, et al. Effect of copper and zinc on the level of molybdenum in liver and kidney of sheep with experimental molybdenum poisoning [J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2011, 31(6): 895-898.
- [23] Minervino A H, Barrêto Júnior R A, Ferreira R N, et al. Clinical observations of cattle and buffalos with experimentally induced chronic copper poisoning [J]. Research in Veterinary Science, 2009, 87(3): 473-478.
- [24] 金艳华,朱晓萍,贾志海,等.日粮铜钼水平对辽宁绒山羊营养物质消化代谢的影响[J].中国农业大学学报,2010,15(4):76-81.
Jin Y H, Zhu X P, Jia Z H, et al. Influence of copper and molybdenum supplementation on nutrient digestion and metabolism in Liaoning cashmere goats [J]. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(4): 76-81.
- [25] Minervino A H, Barrêto Júnior R A, Ferreira R N, et al. Clinical observations of cattle and buffalos with experimentally induced chronic copper poisoning [J]. Research in Veterinary Science, 2009, 87(3): 473-478.