

川西北草原土壤及冷暖季牧草微量元素含量比较

文勇立^{1 2} 李辉¹ 李学伟² 杨雪¹ 王洪志¹ 朱刚¹

(1. 西南民族大学生命科学与技术学院, 四川成都 610041 2. 四川农业大学动物科学学院, 四川雅安 625014)

摘要 改善土壤的理化环境及提高牧草的营养水平必须了解草地土壤及牧草微量元素的分布与含量。试验从川西北草地的亚高山丘原草甸、亚高山平坝草甸和沼泽平坝草甸采集土样和冷暖季草样。土样采集深度范围是 0 ~ 10cm , 10 ~ 20cm , 20 ~ 30cm。应用火焰原子吸收光谱法测定了草样中铜、铁、锰、锌和钴的含量和土样中这些元素的有效态含量 ,应用氟离子选择电极法测定了土样中的氟离子浓度和草样中的氟含量。土壤 pH 高低顺序为草甸土 > 冲积土 > 泥炭草甸土 ,pH 随土壤深度变深而下降 ;土壤和牧草的钴含量都处于缺乏状态 ,分别为 0.64 mg/kg 和 0.26 mg/kg。牧草铁和锰含量都高于正常水平 ,铁为 414.51 ~ 565.06 mg/kg ,锰为 138.68 ~ 247.09 mg/kg。

关键词 土壤 ;牧草 ;微量元素 ;火焰原子吸收光谱法 ;氟离子选择电极法

文章编号 :1000-0933 (2007)07-2837-10 中图分类号 :Q948 Q581 文献标识码 :A

Research on caparison of the content of trace element in soil and forage in Northwest Sichuan Grassland

WEN Yong-Li^{1 2} ,LI Hui¹ ,LI Xue-Wei² ,YANG Xue¹ ,WANG Hong-Zhi¹ ,ZHU Gang¹

1 Life Science and Technology College of Southwest University for Nationalities ,Chengdu 610041 ,China

2 Animal Science College of Sichuan Agriculture University ,Yaan 625014 ,China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (7) :2837 ~ 2846.

Abstract :Fully understanding of the distribution and contents of trace elements in soil and forage is important in order to improve the physical and chemic environment of soil and enhance the nutritional value of forage. Forage in warm and cold season and soil samples were collected from subalpine hill meadow ,subalpine flat meadow and subalpine swampy meadow in northwest Sichuan grassland ,with the depth of soil in the ranges of 0 — 10cm ,10 — 20cm and 20 — 30cm. Contents of Cu ,Fe ,Mn ,Zn and Co in forages and valid contents of these trace elements in soils were determined with flame atomic absorption spectrometry. Concentrations of F⁻ in soils and F in forages were tested with fluoride-ion selective electrode method. The pH of soils displayed an order as hill meadow Soil > alluvium > turfy meadow Soil. Moreover ,soil pH decreased with the increasing depth of soil. Deficiency of Co in soil and forage was observed ,0.64 mg/kg in soil and 0.26 mg/kg in forage respectively. The forage contained higher normal level of Fe and Mn ,namely ,414.51 — 565.06 mg/kg of Fe ,and 138.68 — 247.09 mg/kg of Mn.

Key Words :soil ;forage ;trace element ;flame atomic absorption spectrometry ;fluorine-ion selective electrode method

微量元素 (trace elements ,TE)作为有机体酶、激素、维生素等生物活性物质的组成成分 ,TE 参与体内一

基金项目 :国家民委应用基础重点资助项目 (03N16)

收稿日期 :2006-09-25 ;修订日期 :2007-05-24

作者简介 :文勇立 (1959 ~) ,男 ,四川小金人 ,博士生 ,教授 ,主要从事家畜生态学研究与教学. E-mail :wansit99@163.com

Foundation item :The project was financially supported by Applied Basic Project of The State Ethnic Affairs Commission of PRC (No. 03N16)

Received date 2006-09-25 ;**Accepted date** 2007-05-24

Biography :WEN Yong-Li , Ph. D. candidate ,Professor ,mainly engaged in animal ecology. E-mail :wansit99@163.com

系列物质代谢过程起着很关键的生理生化作用。人、动植物以及土壤之间 TE 水平的依存关系 20 世纪 30 年代就有研究^[1]。土壤 TE 测试已从过去的全量分析发展到后来的有效态含量测定^[2]再发展到当前的库源研究阶段^[3]。我国土壤 TE 研究已获得 61 种元素的背景值^[4]。任继周等研究我国 8 个草地类型中硒、钼的分布,查明多数地区土壤、牧草、饲料缺硒^[5-6]。近年来有学者以土-草-畜为研究对象,分析各环节 TE 的流动态,为调控环境化学质量提供了依据^[7-10]。川西北草地土壤和牧草 TE 的研究报道较少,任文福研究河滩草地、草甸草地和半沼泽草地 6~11 月份牧草 TE 的变化,认为钙、镁等元素的含量随季节变化而减少,硅、铝等的含量变化则相反^[11]。杨定国研究川西北草地高山草原类、草甸类表层土壤 TE 的含量,指出有效硼和锰的含量普遍很低,有效锌含量不高^[12]。但土壤 TE 具有地域性特征,其含量和分布由成土母质的成土过程所决定^[13],因此基于土壤类型来研究 TE 的含量更为重要。此外,判断生态系统 TE 的丰缺,单独以动植物或土壤为研究对象是不够的,因为影响 TE 含量及有效性的因素复杂,需要多个环节同时研究^[14-16]。本试验从川西北草地亚高山丘原草甸、亚高山平坝草甸和沼泽平坝草甸采集不同深度土样和冷暖季草样,测定草样中动物或植物必需微量元素铜、铁、锰、锌、钴、氟的含量和土样中这些元素的有效态含量及 pH 值,并分析土壤与牧草 TE 盈亏状况,旨在准确掌握各类草甸土壤有效态 TE 以及牧草 TE 含量,为改善土壤理化性状和牧草 TE 营养水平提供依据。

1 试验地区概况

川西北草地位于青藏高原东南缘,海拔 3000~4700m,幅员面积 16.3 万多 km²,是我国五大牧区之一,属高寒半湿润、湿润草地区。位于川西北草地的红原县气候寒冷,无绝对无霜期。1 月份均温 -9.3℃,7 月份均温 11.2℃,降水量 899.7mm。土壤以亚高山草甸土为主,有明显的生草层,呈微酸性,常见牧草有 400 余种,多为禾本科、莎草科、菊科、蓼科和豆科等,建群种多为莎草科、禾本科和杂类草构成^[17]。草地以亚高山草甸类和沼泽草甸类为主^[18]。

2 材料与方法

2.1 研究方法

2.1.1 样地设置

在红原县龙日种畜场、安曲乡和龙壤乡分别选择 3 种适度放牧的不同类型草甸即亚高山草甸类丘原草甸、亚高山草甸类平坝草甸和沼泽草甸类平坝草甸作为取样地,每块样地面积约 1000m²,其土壤及植被类型见表 1。在每个样地内随机取 3 个样点采集土样和草样。借助 GPSmap76 进行样地及样点的设置并记录样地的地理坐标及海拔(表 2)。

表 1 3 种草甸的植被、土壤类型

Table 1 Vegetation and soil type of three meadows		
草甸类型 Meadow type	土壤类型 Soil type	植被类型 Vegetation type
亚高山丘原草甸 SDM	亚高山草甸土 Subalpine downy meadow soil	四川蒿草 + 禾草 + 杂类草 Kobresia Sichuan + Gramineae + Ruderal
亚高山平坝草甸 SFM	冲积土 Alluvium	垂穗披碱草 + 禾草 + 杂类草 Elymus hutans + Gramineae + Ruderal
沼泽平坝草甸 SSM	泥炭草甸土 Turfy meadow soil	发草 + 苔草 + 杂类草 Deschampsia + Carex + Ruderal

SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

2.1.2 样品采集

草样的采集分两次进行,分别在 2005 年冷季(1 月份)和暖季(7 月份),每个采样点的样方面积为 1.0m × 1.0m,齐地剪取地上部分,除去杂草,洗涤,剪碎,制成半干样,粉碎,过 80 目尼龙筛,制成绝干样,土样的采集于同年 7 月与草样的采集同时进行,用壕沟法在草样采集点取深度 0~30cm 土样(第 1 层 0~10cm,第 2 层 10~20cm,第 3 层 20~30cm)。每点取土面积 20cm × 20cm,重量 2.0kg。土样经打碎,除去杂质,充分拌匀,然后将 3 个点的土样分层混合、拌匀,摊成圆形,反复用四分法缩分,直到剩下 2.0kg 为止,制成风干样,碾压,

过 80 目尼龙筛 ,烘干至恒重。

表 2 3 个采样地 3 种类型草甸采样点的地理坐标
Table 2 Geography coordinate of sampling point in three meadows in three areas

取样地 Sample collection areas	草地类型 Meadow type	海拔 (m) Altitude	经纬度 Longitude-latitude
龙日种畜场 Longri Farm	亚高山丘原草甸 SDM	3705	N32°21.55′ ~ E102°26.20′
	亚高山平坝草甸 SFM	3595	N32°25.04′ ~ E102°23.95′
	沼泽平坝草甸 SSM	3553	N32°27.02′ ~ E102°22.01′
安曲乡 Anqu Country	亚高山丘原草甸 SDM	3612	N32°39.95′ ~ E102°20.73′
	亚高山平坝草甸 SFM	3512	N32°39.91′ ~ E102°20.21′
	沼泽平坝草甸 SSM	3521	N32°38.05′ ~ E102°19.63′
龙壤乡 Longrang Country	亚高山丘原草甸 SDM	3529	N32°48.75′ ~ E102°32.01′
	亚高山平坝草甸 SFM	3511	N32°52.38′ ~ E102°36.91′
	沼泽平坝草甸 SDM	3487	N32°52.80′ ~ E102°35.97′

SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

2.1.3 测试方法

土壤、牧草氟元素测定 氟离子选择电极法测定土壤、牧草氟元素。(1)配 TISAB 和 F⁻ 标准贮备液 ;(2)取土 2g、草 1.5g ,置于镍坩埚 ,加 10mol·L⁻¹KOH 2.5ml ,补滴 H₂O 至 5ml ,马弗炉灼烧 2h ,冷却 ,温热水浸取 ,加 1:1HCl 调节 pH =6 ,加 TISAB 10ml ,水定容至 50ml ,摇匀 ;(3)将 F⁻ 选择电极于 10⁻³ mol·L⁻¹ F⁻ 溶液中浸泡半天 ,水洗至空白电位为 -150mV 左右 ;(4)配 F⁻ 标准液系列和测定曲线电位 ;(5)水洗电极至空白电位 -150mV ,样品液置于 50ml 杯 ,加 10.0mlTISAB ,按标准曲线步骤测定。

土壤样品预处理 (1)配制 NH₄ OAc 溶液和 DTPA 浸提剂 ;(2)土壤交换性锰的浸提 :取 5.0g 鲜土样于 100ml 瓶 ,加 50ml 1mol/L 中性 NH₄ OAc 液 ,振荡 0.5h ,放置 6h ,摇动 ,过滤 ;(3)土壤易还原锰的浸提 :取 5.0g 鲜土样于 100ml 瓶 ,加 50ml 1mol/L 中性 NH₄ OAc 液和 0.1g 对苯二酚 ,振荡 0.5h ,放置 6h ,摇动 ,过滤 ;(4)土壤有效铜、锌的浸提 :取 5.0g 过 80 目筛的风干土样于 50ml 瓶 ,加 25.0ml 0.1 mol/LHCl 液 ,振荡 1.5h ,过滤 ;(5)土壤有效铁、钴的浸提 :取 25.0g 过 80 目筛的风干土样于 50ml 瓶 ,加 50.0ml DTPA 浸提剂 ,25℃振荡 2h ,过滤。

牧草样品预处理 (1)配铜、铁、锰、锌、钴标准溶液 ;(2)取草样 5.0g 于瓷坩埚 ,马弗炉灼烧 4h ,冷却 ,加去离子水 2 滴润湿。残渣用 1:5 HClO₄ + HNO₃ 混合液加热溶解至无色 ,补加 1:1HCl 10 滴 ,以水浸取 ,定容至 25ml。

牧草和土壤微量元素及 pH 测定与数据处理 采用火焰原子吸收光谱法测定铜、铁、锰、锌、钴 ,仪器为美国热电公司 S4 型原子吸收分光光度计 ,工作条件见表 3 ;风干土样经常规方法处理 ,用 pHs-3D 酸度计测定 pH ,采用 SPSS11 软件处理数据和进行单因子方差分析及 LSD 多重比较。

表 3 原子吸收分光光度计工作条件
Table 3 Working conditions of atom absorb spectrophotometer

元素 Elements	分析线 Analytical line (nm)	灯电流 Lamp current (mA)	通带 Bandwidth (nm)	燃烧器高度 Burner height (mm)	燃气流量 Flow rate of acetylene (L/min)
铜 Cu	324.8	5	0.5	7.0	1.1
铁 Fe	248.3	8	0.2	7.0	1.0
锰 Mn	279.5	10	0.2	7.0	1.0
锌 Zn	213.9	6	0.5	7.0	1.2
钴 Co	240.7	10	0.2	7.0	1.0

3 结果与讨论

3.1 不同草甸土壤 pH

土壤 pH 见表 4。丘原草甸土壤 pH 分别大于平坝草甸和沼泽平坝草甸 ($p < 0.01$),平坝草甸大于沼泽平坝草甸 ($p < 0.05$),即丘原 > 平坝 > 沼泽平坝。丘原草甸第 1 层土壤 pH 分别大于平坝草甸和沼泽平坝草甸第 1 层土壤 pH ($p < 0.05$)。丘原草甸、平坝草甸土壤第 3 层 pH 均大于沼泽平坝草甸土壤第 3 层 pH ($p < 0.01$) ;土壤各深度 pH 比较,土壤第 1 层 pH 分别大于第 2 层和第 3 层 ($p < 0.01$),第 2 层大于第 3 层 ($p < 0.05$) ,因此有第 1 层 > 第 2 层 > 第 3 层。丘原草甸土壤第 1、2 层都分别大于第 3 层 ($p < 0.05$)。平坝草甸土壤第 1 层分别大于第 2 和第 3 层 ($p < 0.01$),第 2 层大于第 3 层 ($p < 0.01$)。

表 4 不同草甸土壤 pH、有效氟含量 (mg/kg)

Table 4 The contents of pH and Valid F in different meadows soil (mg/kg)

草甸 Meadow	pH				氟 F			
	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 Average	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 Average
亚高山丘原草甸 SDM	6.21a (a)	5.93a (a)	5.98A (b)	6.04A	20.08 (A)	61.61 (A)	79.00 (B)	53.65
亚高山平坝草甸 SFM	6.04b (A)	5.86a (B)	5.67A (C)	5.86Ba	37.39 (a)	45.86 (a)	78.73 (a)	53.99
沼泽平坝草甸 SSM	5.65b (a)	5.72a (a)	5.75B (a)	5.71Bb	30.54 (A)	67.94 (A)	67.43 (B)	55.30
平均 Average	5.97 (A)	5.84 (Bb)	5.80 (Bc)	5.87	29.34 (A)	58.47 (A)	75.05 (B)	54.29

同列数据字母或同行数据圆括号内的字母不同,表示差异显著 ($p < 0.05$,小写字母表示)或差异极显著 ($p < 0.01$,大写字母表示) Means with the different letter in the same row or same column in the parenthesis are significant different ($p < 0.05$,small letter) or extremely significant different ($p < 0.01$,capital letter);SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

土壤 pH 为 5.71 ~ 6.04 ,呈微酸性,与杨定国测定同类草甸土壤 pH5.50 ~ 8.80 基本接近^[12]。土壤中 TE 的有效性与土壤 pH 及有机质含量密切相关^[8,16,19]。前者影响土壤中 TE 的存在形态和溶解性或有效性,后者则对有效态 TE 具积累作用和保持作用^[20,21]。土壤中许多有效态元素如 F、Fe、Mn、Cu、Zn、Co 等随土壤 pH 下降而活性增加^[22~25]。

3.2 不同草甸土壤、牧草氟

3.2.1 土壤有效氟

土壤有效氟见表 4。土壤中的氟与人体健康及动植物生长关系密切,是人畜所必需的元素。从表 4 看出,3 种草甸土壤不同深度有效氟含量第 3 层分别高于第 1 层和第 2 层 ($p < 0.01$)。丘原草甸和沼泽平坝草甸土壤第 3 层分别高于第 1 和第 2 层 ($p < 0.01$),符合土壤 pH 变化(表 4)^[22]。土壤中特别是植物根际,存在着大量的低分子有机酸,土壤随酸度增加对氟的吸附量增大^[26],这是由于氧化物表面与中心离子配位的碱性最强的 A 型羟基 ($-OH^{-1/2}$)或水合基 ($-OH_2^{+1/2}$)均可与 F^{-} 发生配位体交换吸附而不受胶体表面电荷的限制,使溶液中 F^{-} 取代了土壤胶体上的 OH^{-} ^[22]。但平坝草甸土壤不同深度之间有效氟的变化却没有表现出这种关系,其原因有待进一步研究。

3.2.2 牧草氟

牧草氟见表 5。冷季平坝草甸牧草氟含量分别高于丘原草甸 ($p < 0.01$)和沼泽平坝草甸 ($p < 0.05$)。3 种草甸牧草氟平均含量暖季低于冷季 ($p < 0.01$),表明牧草氟含量随季节变化而增加。冷季平坝草甸牧草氟高于丘原草甸牧草 ($p < 0.01$)和沼泽平坝草甸牧草 ($p < 0.05$)。

丘原、平坝和沼泽平坝草甸土壤有效氟的含量分别为 53.65 mg/kg、53.99 mg/kg、55.30 mg/kg,均高于全国土壤氟平均含量 44mg/kg^[27]。但是,牧草氟含量冷季 3.14 mg/kg,暖季 1.42 mg/kg,而据报导植物体内氟的背景浓度一般小于 10 mg/kg^[28]。因此认为川西北草地 3 种草甸土壤氟的含量未超出正常范围。

3.3 不同草甸土壤、牧草铁

3.3.1 土壤有效铁

土壤有效铁见表 6。沼泽平坝草甸土壤有效铁高于另两种草甸土壤 ($p < 0.01$),沼泽平坝草甸土壤各层

铁含量分别高于丘原草甸土壤和平坝草甸土壤相应层 ($p < 0.01$) ,这些变化都符合土壤 pH 的变化 (表 4)^[29] ;土壤各深度之间有效铁含量第 3 层均高于另外两层 ($p < 0.01$) 。丘原第 3 层高于第 1 层 ($p < 0.01$) ,平坝第 3 层高于第 1、2 层 ($p < 0.01$) ,也符合土壤 pH 的变化 (表 4)^[29]

表 5 不同草甸、季节混合牧草氟、铜、铁、锰、锌、钴含量

Table 5 The contents of F , Cu , Fe , Mn , Zn , and Co in different meadows grazing (mg/kg)

季节 Season	草甸 Meadow	氟 F	铜 Cu	铁 Fe	锰 Mn	锌 Zn	钴 Co
冷季 Cold	亚高山丘原草甸 SDM	2.60A (A)	5.33a (a)	688.16A (A)	100.18A	18.86 (A)	0.18A
	亚高山平坝草甸 SFM	3.73Bb (A)	2.71a (A)	559.96Bb (A)	87.69A	19.94 (A)	0.38B (A)
	沼泽平坝草甸 SSM	3.09Bc (A)	2.12b (A)	447.06c	228.18B (A)	19.41 (A)	0.21A (A)
	平均 Average	3.14 (A)	3.39 (A)	565.06 (A)	138.68 (A)	19.40 (A)	0.26
暖季 Warm	亚高山丘原草甸 SDM	1.29 (B)	9.35 (b)	478.80a (B)	135.40A	33.95 (B)	0.20A
	亚高山平坝草甸 SFM	1.51 (B)	7.64 (B)	409.23b (B)	121.42A	32.59 (B)	0.15A (B)
	沼泽平坝草甸 SSM	1.47 (B)	8.16 (B)	370.26c	484.43B (B)	34.30 (B)	0.39B (B)
	平均 Average	1.42 (B)	8.38 (B)	414.51 (B)	247.09 (B)	33.61 (B)	0.25

同列同季节数据字母或季节间草甸类型圆括号内的字母不同 表示差异显著 ($p < 0.05$,小写字母表示)或差异极显著 ($p < 0.01$,大写字母表示) Means with the different letter in the same column and season or in the parenthesis between same meadow and season are significant different ($p < 0.05$,small letter) or extremely significant different ($p < 0.01$,capital letter) ;SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

3.3.2 牧草铁

牧草铁见表 5。在冷季 ,丘原草甸牧草铁含量分别高于平坝草甸 ($p < 0.05$)和沼泽平坝草甸 ($p < 0.01$) ,而平坝草甸高于沼泽平坝草甸 ($p < 0.05$) ,即 :丘原 > 平坝 > 沼泽平坝。暖季各草甸间牧草铁的变化与冷季相同。这种变化与土壤有效铁的变化不同 ,土壤有效铁含量的变化是沼泽土壤大于丘原和平坝 (表 6) 。表明虽然沼泽平坝土壤有效铁含量较高 ,但其牧草铁含量却较低 ,这是否是沼泽平坝土壤中诸如湿度、通气状况等的作用 ,影响了铁的生物可给性 ,从而影响牧草铁的含量 ,尚需进一步研究。3 种草甸牧草铁含量冷季高于暖季 ($p < 0.01$) ,具体而言 ,丘原、平坝草甸暖季分别低于冷季 ($p < 0.01$) ,同样 ,沼泽平坝草甸暖季低于冷季 ($p < 0.05$) ,表明牧草铁随季节变化而增加。

表 6 不同草甸土壤有效铁、锌含量

Table 6 The contents of Valid Fe and Zn in different meadows soil (mg/kg)

草甸 Meadow	铁 Fe				锌 Zn			
	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 aver	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 aver
亚高山丘原草甸 SDM	186.16A (A)	200.20A (A)	302.03A (B)	229.46A	5.05	4.62	7.99	5.89
亚高山平坝草甸 SFM	204.42A (A)	308.75A (A)	344.88A (B)	286.12A	6.74	5.99	7.11	6.62
沼泽平坝草甸 SSM	427.14B	448.27B	539.77B	471.73B	7.75	6.56	8.26	7.52
平均 Average	272.57 (A)	319.07 (A)	395.56 (B)	329.07	6.51	5.72	7.79	6.68

同列数据字母或同行数据圆括号内的字母不同 表示差异显著 ($p < 0.05$,小写字母表示)或差异极显著 ($p < 0.01$,大写字母表示) Means with the different letter in the same row or same column in the parenthesis are significant different ($p < 0.05$,small letter) or extremely significant different ($p < 0.01$,capital letter) ;SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

土壤有效铁平均含量为 395.56 mg/kg ,青海省环湖地区土壤铁含量在 808.5 ~ 13085mg/kg 之间^[10] ,可见 ,本试验土壤铁含量低于青海省环湖地区土壤值。但是 ,牧草铁含量冷季 565.06 mg/kg ,暖季 414.51 mg/kg ,与牧草铁的适宜水平为 25 ~ 30mg/kg^[29]相比 ,高于适宜水平 13 倍以上 ,是否过高应给予关注。

3.4 不同草甸土壤、牧草锌

3.4.1 土壤有效锌

土壤有效锌见表 6。从中看出 ,在 3 种草甸土壤之间以及 3 种土壤深度之间土壤有效锌含量差异均不

显著。

3.4.2 牧草锌

牧草锌见表 5。暖季牧草锌高于冷季 ($p < 0.01$) ,表明从暖季到冷季牧草锌含量随季节变化而降低。全国土壤锌背景值为 68.0mg/kg ^[30] ,与本试验土壤有效锌平均为 6.685mg/kg 相比 ,处于低水平。但是牧草锌平均含量冷季为 19.40mg/kg ,暖季为 33.615mg/kg ,而据报导植物含锌量一般在 $20 \sim 200\text{mg/kg}$ 之间 ^[29] ,因此尽管土壤锌含量处于低水平 ,但牧草锌含量属于正常值范围。

3.5 不同草甸土壤、牧草锰

3.5.1 不同草甸土壤有效锰

土壤有效锰包括交换性、易还原性以及水溶性锰 ^[31] 。本试验对土壤还原性锰和交换性锰进行了测定 (见表 7)。

表 7 不同草甸土壤还原性锰、交换性锰含量

Table 7 The contents of reductive Mn and commutative Mn in different meadows soil (mg/kg)

草甸 Meadow	易还原性锰 reductive Mn				交换性锰 commutative Mn			
	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 aver	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 aver
亚高山丘原草甸 SDM	151.85a (A)	157.77A	194.61A (B)	168.07A	10.06A (A)	11.40a (A)	23.39 (B)	14.95Aa
亚高山平坝草甸 SFM	201.11bB (a)	219.21B	223.07B (b)	214.46B	56.95Bb (a)	21.36a	23.52 (b)	33.94b
沼泽平坝草甸 SSM	122.88aA (B)	213.92B (A)	95.26A (A)	177.35A	22.78a	48.99b	33.24	35.00B
平均 Average	158.61 (B)	196.97 (A)	204.31 (A)	186.63	26.72	27.25	29.93	27.97

同列数据字母或同行数据圆括号内的字母不同 表示差异显著 ($p < 0.05$,小写字母表示)或差异极显著 ($p < 0.01$,大写字母表示) Means with the different letter in the same row or same column in the parenthesis are significant different ($p < 0.05$,small letter) or extremely significant different ($p < 0.01$,capital letter) ;SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

还原性锰 从表 7 看出 ,平坝草甸土壤还原性锰含量高于另外两种草甸 ($p < 0.01$) ,在土壤第 1 层和第 3 层 ,平坝草甸分别高于沼泽草甸 ($p < 0.01$)和丘原草甸 ($p < 0.05$)。在第 2 层 ,平坝草甸和沼泽平坝草甸分别高于丘原草甸 ($p < 0.01$)。土壤有效锰受 pH、Eh、湿度、有机质等因素影响 ,其中最直接的是 pH 和 Eh ^[32] ,土壤锰的有效性随 pH 降低而升高 ^[32] 。对于平坝草甸土壤易还原锰含量高于丘原草甸来说 ,与 pH 变化吻合 (表 4)。但对于平坝草甸土壤还原锰高于沼泽平坝草甸土壤来说 (表 7) ,由于前者 pH 也大于后者 (表 4) ,与过去研究不吻合 ,这是否因沼泽平坝草甸土壤理化及生物因素较复杂 ,还需进一步研究 ,还原性锰含量随土壤深度变深而增高 ,第 1 层含量分别低于第 2、第 3 层 ($p < 0.01$)。丘原第 1 层低于第 3 层 ($p < 0.01$) ,第 2 层低于第 3 层 ($p < 0.05$)。平坝第 1 层低于第 3 层 ($p < 0.05$)。沼泽平坝草甸第 1 层分别低于第 2、3 层 ($p < 0.01$)。符合土壤 pH 的变化 (表 4) ^[32] 。

交换性锰 从表 7 看出 ,平坝草甸土壤交换性锰含量高于丘原草甸 ($p < 0.05$) ,沼泽平坝草甸土壤交换性锰含量也高于丘原草甸 ($p < 0.01$) ,符合土壤 pH 的变化 (表 4) ^[33] 。土壤第 1 层 ,平坝草甸交换性锌含量分别高于丘原草甸 ($p < 0.01$)和沼泽平坝草甸 ($p < 0.05$) ,但前者的 pH 也高于后二者 (表 4) ,与土壤易还原锰情况类似 ,需进一步研究。而土壤第 2 层 ,沼泽平坝草甸土壤交换性锌含量分别高于平坝草甸和丘原草甸 ($p < 0.05$) ,这与土壤 pH 的变化吻合 (表 4) ;丘原草甸土壤第 1、2 层分别低于第 3 层 ($p < 0.01$) ,同样符合土壤 pH 的变化 (表 4)。然而平坝草甸土壤交换性锰含量第 1 层高于第 3 层 ($p < 0.05$) ,不符合土壤 pH 的变化 (表 4)。易还原锰在向交换性锰转化时 ,要经过一种中间形态 ,在酸性土壤中可能是一种专性吸附态 ,这种专性吸附态锰在质子增多时得以解吸 ,成为交换性锰。所以在原土壤中 ,锰主要以易还原锰存在 ,交换性锰含量极少 ^[34] 。本试验土壤易还原锰为 186.63mg/kg ,交换性锰平均含量为 27.97mg/kg ,前者为后者的 6.67 倍 ,与过去的研究一致。

3.5.2 牧草锰

牧草锰见表 5。无论是冷季还是暖季 ,沼泽平坝草甸牧草锰含量都分别高于丘原草甸和平坝草甸 ($p <$

0.01)。3 种草甸牧草锰平均含量都表现为暖季高于冷季 ($p < 0.01$)。沼泽平坝草甸牧草锰含量暖季高于冷季 ($p < 0.01$) ,而丘原、平坝草甸牧草锰也是暖季高于冷季 ($p < 0.05$)。表明牧草锰随季节变化而降低 ,但此结果与任文福的报导不吻合^[11]。

土壤易还原锰和交换性锰分别为 186.63 mg/kg 和 27.97 mg/kg ,同全国土壤锰背景值 583mg/kg^[29]比较 ,显示本试验土壤锰含量较低。据杨定国在 1989 年的判断 ,川西北草地土壤有效锰平均含量低于土壤缺锰临界值 ,而接近于土壤严重缺锰的浓度^[12] ,与本试验结果比较一致。然而 ,牧草锰平均含量为 138.68mg/kg (冷季)和 247.09mg/kg (暖季) ,与牧草锰的适宜水平 20 ~ 60mg/kg^[29]比较 ,牧草锰高适宜水平 2.3 倍以上 ,处于丰盈状态。表明虽然土壤有效锰含量偏低 ,但其生物可给性较高 ,从而使得牧草锰含量较高^[32]。

3.6 不同草甸土壤、牧草钴

3.6.1 不同草甸土壤有效钴

土壤有效钴见表 8。沼泽平坝草甸土壤钴含量分别高于丘原草甸和平坝草甸 ($p < 0.01$) ,符合土壤 pH 的变化 (表 4)^[25]。在土壤第 1 层 ,沼泽平坝草甸土壤钴含量高于平坝草甸 ($p < 0.05$)。第 2 层 ,沼泽平坝草甸高于丘原草甸 ($p < 0.05$)。第 3 层 ,沼泽平坝草甸分别高于平坝草甸和丘原草甸 ($p < 0.05$)。在土壤第 1 层 ,丘原草甸有效钴含量分别低于第 2 和 3 层 ($p < 0.01$)。平坝草甸第 1、2 层均低于第 3 层 ($p < 0.01$)。土壤 pH 是影响土壤中钴存在状态、转化和植物有效性的重要因素^[35]。土壤钴的这些变化均符合土壤 pH 的变化 (表 4)。

3.6.2 牧草钴

牧草钴见表 5。冷季平坝草甸牧草钴含量分别高于丘原草甸和沼泽平坝草甸 ($p < 0.01$)。而暖季沼泽平坝草甸则分别高于丘原草甸和平坝草甸 ($p < 0.01$)。平坝草甸牧草钴含量冷季高于暖季 ($p < 0.01$) ,而沼泽平坝草甸则冷季低于暖季 ($p < 0.01$)。有研究者认为是牧草从根部吸收钴元素 ,随时间推移 ,由于植物组织不断生长使叶子有限的钴稀释或转移到储存组织中 ,叶片钴含量下降 ,从而产生牧草钴含量的季节性变化^[36]。过去对牧草钴含量在不同时期与土壤理化特性关系的研究表明 ,牧草钴与土壤 pH、粘粒含量等为负相关 ,与土壤有机质为正相关。土壤 pH 是牧草吸收钴的主要土壤化学因素 ,但一般认为决定土壤钴有效性的首要因素是排水状况 ,其次是土壤特性 pH^[24 37]。因此平坝和沼泽草甸牧草钴呈现不同的变化 ,有可能与这两种草甸土壤 pH、Eh 等季节上的不同变化有关。

表 8 不同草甸土壤有效钴、铜含量

Table 8 The contents of Valid Co and Cu in different meadows soil (mg/kg)								
草甸 Meadow	钴 Co				铜 Cu			
	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 Average	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	平均 Average
亚高山丘原草甸 SDM	0.26 (A)	0.26a (B)	0.66a (B)	0.39A	0.58	0.51	0.45	0.51a
亚高山平坝草甸 SFM	0.30a (A)	0.46 (A)	0.51a (B)	0.43A	0.82	0.59	0.50	0.63a
沼泽平坝草甸 SSM	0.87b	0.91b	0.73b	0.84B	0.66	0.59	0.57	0.61a
平均 Average	0.55	0.48	0.54	0.64	0.69	0.56	0.51	0.58

同列数据字母或同行数据圆括号内的字母不同 ,表示差异显著 ($p < 0.05$,小写字母表示)或差异极显著 ($p < 0.01$,大写字母表示) 。 Means with the different letter in the same row or same column in the parenthesis are significant different ($p < 0.05$,small letter) or extremely significant different ($p < 0.01$,capital letter) ;SDM :Subalpine downy meadow ;SFM :Subalpine flat meadow ;SSM :Subalpine swampy meadow

据记载世界土壤钴含量范围为 1 ~ 40mg/kg^[38] ,全国土壤钴背景值为 12.7mg/kg^[39] ,Rosbrook 认为土壤中含钴 4 ~ 40 mg/kg 最适宜 ,低于 4mg/kg 对植物生长发育有明显抑制作用^[40] ,本试验土壤有效钴平均含量为 0.64 mg/kg (表 8) ,可见处于缺乏状态。一般存在于原始土壤母体物质中的钴只有极少一部分保留可溶态 ,被植物利用^[36]。有人认为植物叶中钴含量为 2 ~ 29mg/kg^[30] ,而本试验牧草钴平均含量冷季 0.26 mg/kg 暖季 0.25 mg/kg ,也处于缺乏状态。因此判断本试验土壤和牧草钴的含量都同时处于缺乏状态。钴是人和动物必需的 TE 之一 ,是参与和构造 VB₁₂ 特定结构的元素^[36]。动物地方性消瘦病常发生在土壤和牧草含

钴量低的地区^[41]。反刍动物自身的消化代谢特点使其对钴的需要量比其它动物要大得多。土壤缺钴是放牧牛羊钴缺乏的原发性原因,而牧草钴缺乏则是放牧牛羊钴缺乏的直接原因。由于牧草中钴的浓度依赖于土壤类型、植物种类和成熟期、气候等许多因素的作用,所以一年中只有较短时期牧草钴能满足动物对钴的需要^[36]。

3.7 不同草甸土壤、牧草铜

3.7.1 土壤有效铜

从表 8 得知 3 种草甸土壤之间以及各草甸土壤不同深度之间铜的含量差异都不显著。

3.7.2 牧草铜

牧草铜见表 5。冷季丘原、平坝草甸牧草铜含量均高于沼泽平坝草甸 ($p < 0.05$) ,暖季各草甸之间差异不显著,暖季牧草铜高于冷季 ($p < 0.01$) ,其中平坝、沼泽平坝草甸牧草铜暖季分别高于冷季 ($p < 0.01$) ,丘原草甸牧草铜也是暖季高于冷季 ($p < 0.05$) 。表明铜在不同草甸牧草之间的变化不大,而在季节之间变化较大,表现为随季节变化而降低。

我国土壤铜背景值为 22mg/kg ^[7] ,本试验土壤有效铜的平均含量为 0.58 mg/kg ,与杨定国测定结果土壤有效铜 0.568mg/kg 基本吻合^[12] ,可见本试验土壤铜处于较低水平。然而,据报导牧草铜适宜水平为 $2 \sim 6\text{mg/kg}$ ^[42] ,而本试验牧草铜冷季 3.39 mg/kg 属正常范围,但暖季 8.38 mg/kg 略高于正常范围。因此虽然本试验土壤中可能缺铜,但牧草铜的含量尚处于或高于正常范围。

4 结论

pH 值 土壤 pH 平均为 5.87 ,依次为亚高山丘原草甸 > 亚高山平坝草甸 > 沼泽平坝草甸,且土壤 pH 随深度变深而降低。

钴 土壤和牧草钴含量都处于缺乏状态。土壤有效钴含量表层低于深层,亚高山平坝草甸土壤有效钴含量比沼泽平坝草甸土壤低。亚高山平坝草甸牧草钴含量暖季比冷季低,而沼泽平坝草甸牧草钴含量则是冷季比暖季低。

铁 牧草铁高于适宜水平 13 倍以上,而且冷季比暖季更高。亚高山丘原草甸牧草铁含量分别高于亚高山平坝草甸牧草和沼泽平坝草甸牧草。

锰 牧草锰含量高于适宜水平,且暖季高于冷季,处于丰盈状态。沼泽平坝草甸牧草锰含量分别高于亚高山丘原草甸牧草和亚高山平坝草甸牧草。

References :

[1] Sun X L. Development of Micro-fertilizer. Chemical Industry and Engineering Progress ,2001 , (11) :5—8

[2] Zeng S C , Xie Z S , Yu Y C , *et al.* Available Microelenents in Soils under Different Stands in Northern Subtropics of China. Acta Ecologica Sinica , 2002 ,22 (12) :2141—2146.

[3] Zou B J , Soil testing for trace element and its application. J. Appl. Ecol ,1990 ,1 (2) :186—192.

[4] Shi C W , Zhao L Z , Guo X B. Background Values of Soil Elements in Shanxi and Their Distribution Feature. Jour Geol & Min Res North China , 1994 ,9 (2) :188—196.

[5] Ren J Z , Zhou Z Y. Distribution of Selenium in Chinese Four Types of Grassland. Chinese Grassland and Pasture ,1986 , (5) :14—17.

[6] Zhou Z Y , Ren J Z. Distribution of Molybdenum in Chinese Eight Types of Grassland. Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica , 1989 , 2 (supplement) :28—31.

[7] Li Q Y , Zhang L S , Wang Z. Determination of 6 Trace Elements : Cu、Fe、Zn、Mn、Mg、Se In The System of Soil-Grasses-Animals In Xilinhot , Inner Mongolia. Heilongjiang Journal of Animal Science and Veterinary Medicine ,2001 , (10) :21—22.

[8] Hu Z Z , Wen F W , Lu T A. Micro Elements and The Meaning in Soil-Grass-Animal System of Tan-Sheep. Acta Pratactu Sinica , 1999 ,8 (2) :60—64.

[9] Zhou X M. Research on The Main Trace Elements In Soil-Grass-Animal In *Leymus chinens* Grassland of Songnen Plain. Changchun : Northeast Normal University ,2004.

[10] Jiao T. Seasonal Changes of Trace Elements and Analysis of their Sufficiency or lack in the Soil-Forage-Animal Ecosystem in Stud Farm of

Sanjiaocheng in Qinghai. Lanzhou :Gansu Agriculture University ,2003.

[11] Ren W F. Seasonal Changes of Trace Elements of Grasses in Different Type Grassland in Hongyuan County. In :Liu Xiangmu ed. The Articles Collection of Northwest Grassland Exploitation for Sichuan. Chengdu :The Sichuan Ethnic Publishing House ,1984. 49 — 52.

[12] Yang D G. Supplying Ability on The Trace Elements in Siols From Northwestern Sichuan Grassland. Mountain Research ,1989 ,7 (3) :190 — 198.

[13] Zhang X P ,Deng W ,Yang X M. The background concentrations of 13 soil trace concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet) ,China. Asion Earth Sci ,2002 , (21) :167 — 174.

[14] Fang X ,Tian D L ,Xiang W H , *et al.* Accumulation , distribution and biological cycling of microelements in a second rotation Chinese fir plantation. Acta Ecologica Sinica ,2003 ,23 (7) :1313 — 1320.

[15] Wei X R ,Hao M D ,Shao M G. Effects of long-term cropping on the forms and the availability of micromutrients in dryland siols on the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica ,2005 ,25 (12) :3196 — 3203.

[16] Huang Y Z ,Feng Z W ,Li Z X , *et al.* Diagnosis of Foliar Nutrients (N ,P ,K ,Ca ,Mg ,B) of Young *Eucalyptus urophylla* Trees. Acta Ecologica Sinica ,2002 ,22 (8) :1254 — 1259.

[17] Hou Z. Improvement of Northwest Sichuan Degenerative Grassland. Sichuan Animal and Veterinary Sciences ,1991 , (2) :44 — 45.

[18] Bian Z G ,Deng Y C ,Yang H G. Report on Grassland Monitoring in Hongyuan County. Journal of Sichuan Grassland ,1997 , (4) :41 — 42.

[19] Li J ,Sun G R ,Yan X F. Seasonal Dynamics and Distribution of Six Elements Content of the Aboveground Part in *Puccinellia tenuiflora*. Acta Agrestia Sinica ,2001 ,9 (3) :213 — 217.

[20] Yang D G. Contents ,Distributions and validities of soil trace elements in Sichuan Basin. Acta Pedologica Sinica ,1985 ,22 (2) :157 — 186.

[21] Yang D G. The Ecological Types of Soil Trace elements in Sichuan Basin. Acta Pedologica Sinica ,1986 ,8 (1) :8 — 14.

[22] Xie Z M ,Wu W H ,Xu J M. Translocation and Transformation of Fluorides in the Environment and Their Biological Effects. Technigues and Equipment For Enviro. Poll. Cont ,1999 ,17 (2) :40 ~ 52.

[23] Ju X T ,Gao Q ,Zhen L , *et al.* Effects of fertilization on soil quality in two different cropping systems. Acta Ecologica Sinica ,2004 ,22 (11) :2548 — 2556.

[24] Paterson. An Investigation into the Methods of Improving the Cobalt Status of Soil Herbage and Grazing Ruminants and Its Field Assessment. Livestock Production Science ,1991 ,28 :139 — 149.

[25] McLaren. Ca and Co Desorption from Soil Clays. Soil Science ,1988 ,62 (2) :332 — 337.

[26] Wan H Y ,Li C H ,Shi H Q , *et al.* Study on Adsorption Characters of Fluorine in Several Soils. Journal of Agro-environmental Science ,2003 ,22 (3) :329 — 332.

[27] Zhang L M. Content ,Distribution and Influence of Soil Fluorine in Shanxi. Acta Pedologica Sinica ,2001 ,38 (2) :284 — 287.

[28] Li F. Soil Fluorine and Plants. Trace Elements Science ,2004 ,11 (5) :6 — 11.

[29] Ding J B ,Wang J D ,Liu J S. Effect of Soil pH Value Variation on Effective Content of Trace Elements in Typical Black Soil. Journal of Soil and Water Conservation ,2002 ,16 (2) :93 ~ 96.

[30] Liu J. Contents of Trace Elements in Soil. In :Liu Jing ed. Trace Elements of Agricultural Chemistry. Beijing :Chinese Agricultural Press ,1991. 194 — 23 ,53.

[31] McBride M B. Chemisorption and Precipitation of Mn^{2+} at $CaCO_3$ Surfaces. Soil Soc. Am. J. ,1979 ,43 :693 — 698.

[32] Liu J. Research Development on Manganese in Soil and Plants. Progress in Soil Science ,1991 ,19 (6) :1 — 10 22.

[33] Zhu R W ,Wan X Q ,Geng M J. Effects of acidification and $CaCO_3$ application on various forms of manganese in soils. Plant Nutrition and Fertilizer Science ,2001 ,7 (3) :325 — 331.

[34] Liu X ,Zhu R W ,Lei H J. Dynamic relationship between soil active Mn and pH ,Eh in acid soils and its biological response. Plant Nutrition and Fertilizer Science ,2003 ,9 (3) :317 — 32.

[35] Dhillon S K. Cobalt in Arid and Semi - arid Alluvial Soils of Northwest India II. Adsorption and Desorption of Co in Soils. J. Nuclear Agric Biol ,1997 ,26 (2) :71 — 78.

[36] Wang G Q ,Wang G. Effect of Factors on the Content of Herage Cobalt. Journal of Beihua University (Natural Science) . 2002 ,3 (1) :69 — 72.

[37] Bibak. Co Retention by Danish Spodosol Samples in Relation to Content of Organic Matter. Acta Agriculture Scandinavica Section B Soil and Plant Science ,1995 ,45 (3) :153 — 158.

[38] Zhao W Y. Research on Characteristics and Background Value of Cobalt in Soil of Yunnan. Yunnan Environmental Science ,2005 ,24 (supplement) :116 — 118.

[39] Xing G X ,Zhu J G. Contents of Trace Elements in Soil. In :Xing Guangxi ed. Chemistry of Trace Elements and Lanthanom. Beijing :Science Press ,2003. 39.

[40] Rosbrook. The Co Status of Soils in Relation to Pasture Growth and Co Accumulation. Tropical Grasslands ,1992 ,26 (2) :130 — 136.

[41] Sarkar S. Effect of Certain Micromineral Status in the Soils and Forages of Alluvial Tropics on the Incidence of Nutritional Anaemia in Grazing Sheep. India J of Ani Sci ,1992 ,62 (7) :665 — 669.

[42] Li G H ,Wang Y. Contents of Trace Elements in Soil ,Feed and Animal. Feed Research ,1995 , (1) :13 — 14.

参考文献

[1] 孙先良. 从植物微量元素营养需求来发展微肥. 化工进展 2001 ,(11) 5 ~8.

[2] 曾曙才,谢正生,俞元春,等. 北亚热带森林土壤有效微量元素状况研究. 生态学报,2002 ,22 (12) :2141 ~2146.

[3] 邹邦基. 土壤微量元素测试及其应用. 应用生态学报 ,1990 ,1 (2) :186 ~192.

[4] 史崇文,赵玲芝. 山西土壤元素背景值及其特征. 华北地质矿产杂志,1994 9 (2) :188 ~196.

[5] 任继周,周志宇. 硒在我国四个草地类型中分布状况的研究. 中国草原与牧草 ,1986 ,(5) :14 ~17.

[6] 周志宇,任继周. 钼在我国八个草原类别中的分布状况. 畜牧兽医学报 ,1989 2 (增刊) 28 ~31.

[7] 李前勇,张乃生,王哲. 内蒙古锡林浩特地区土壤-牧草-家畜系统中 Cu、Fe、Zn、Mn、Mg、Se 六种元素含量的分析. 黑龙江畜牧兽医 2001 ,(10) 21 ~22.

[8] 胡自治,文奋武,卢泰安. 滩羊土-草-畜系统中的微量元素及其意义. 草业学报 ,1999 8 (2) 60 ~64.

[9] 周晓梅. 松嫩平原羊草草地土-草-畜间主要微量元素的研究. 东北师范大学硕士论文 2004.

[10] 焦婷. 青海省环湖地区土壤-牧草-畜体生态体系中微量元素季节变化及其盈缺分析. 甘肃农业大学硕士论文 2003.

[11] 任文福. 红原县不同类型草地牧草的矿质成分含量及其季节变化趋势. 见:刘相模主编. 川西北草原开发利用研究论文集. 成都:四川民族出版社 ,1984. 49 ~52.

[12] 杨定国. 川西北草原土壤微量元素的供给能力. 山地研究 ,1989 7 (3) :190 ~198.

[14] 方晰,田大伦,项文化,等. 第2代杉木人工林微量元素的积累、分配及其循环特征. 生态学报 2003 23 (7) :1313 ~1320.

[15] 魏孝荣,郝明德,邵明安. 黄土高原旱地长期种植作物对土壤微量元素形态和有效性的影响. 生态学报 2005 25 (12) :3196 ~3203.

[16] 黄益宗,冯宗炜,李志先,等. 尾叶枝叶片氮磷钾钙镁硼元素营养诊断指标. 生态学报 2002 22 (8) :1254 ~1259.

[17] 侯众. 川西北草地退化现状及改良对策. 四川畜牧兽医 ,1991 ,(2) :44 ~45.

[18] 卞志高,邓永昌,杨宏光. 红原县天然草地产草量动态监测报告. 四川草原,1997 ,(4) :41 ~42.

[19] 李晶,孙国荣,阎秀峰. 星星草地上部6种元素季节动态及其分布. 草地学报 ,2001 ,9 (3) :213 ~217.

[20] 杨定国. 四川盆地土壤中微量元素的含量、分布及其有效性的研究. 土壤学报 ,1985 22 (2) :157 ~186.

[21] 杨定国. 四川盆地土壤中微量元素生态类型研究. 环境科学学报 ,1986 8 (1) :8 ~14.

[22] 谢正苗,吴卫红,徐建民. 环境中氟的迁移和转化及其生态效应. 环境污染治理技术与设备 ,1999 ,17 (2) :40 ~52.

[23] 寇长林,巨晓棠,高强,等. 两种农作体系施肥对土壤质量的影响. 生态学报 2004 22 (11) 2548 ~2556.

[26] 万红友,黎成厚,师会勤,周生路. 几种土壤的氟吸附特性研究. 农业环境科学学报 2003 22 (3) 329 ~332.

[27] 张乃明. 山西土壤氟含量分布及影响因素研究. 土壤学报 2001 38 (2) 284 ~287.

[28] 利锋. 土壤氟与植物. 广东微量元素科学 2004 ,11 (5) 6 ~11.

[29] 丁君宝,王金达,刘景双. 典型黑土 pH 变化对微量元素有效态含量的影响研究. 水土保持学报 2002 ,16 (2) :93 ~96.

[30] 刘铮. 土壤微量元素的含量. 见:刘铮主编. 微量元素的农业化学. 北京:农业出版社 ,1991. 194 ~23 53.

[32] 刘铮. 土壤与植物中锰的研究进展. 土壤学进展 ,1991 ,19 (6) 1 ~10 22.

[33] 朱端卫,万小琼,耿明建,等. 酸化及施碳酸钙对土壤各形态锰的影响. 植物营养与肥料学报 2001 7 (3) 325 ~331.

[34] 刘鑫,朱端卫,雷宏军,等. 酸性土壤活性锰与 pH、Eh 关系及其生物反应. 植物营养与肥料学报 2003 9 (3) 317 ~32.

[36] 桂芹,王贵. 影响牧草钴含量的因素. 北华大学学报(自然科学版) ,2002 3 (1) :69 ~72.

[38] 赵维钧. 云南土壤钴元素背景值及其特征研究. 云南环境科学 2005 24 (增刊) :116 ~118.

[39] 邢光熹,朱建国. 土壤微量元素的含量. 见:邢光熹主编. 土壤微量元素和稀土元素化学. 北京:科学出版社 2003. 39.

[42] 李光辉,王珏. 微量元素在土壤、饲料与畜体中的含量. 饲料研究 ,1995 ,(1) :13 ~14.