

孟文武,郑利亚,崔 诚,等. 武功山退化草甸养分分布格局及相关性[J]. 江苏农业科学,2017,45(3):237-240.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.03.064

# 武功山退化草甸养分分布格局及相关性

孟文武<sup>1</sup>, 郑利亚<sup>1</sup>, 崔 诚<sup>1</sup>, 赵自稳<sup>1,2</sup>, 牛德奎<sup>3</sup>, 郭晓敏<sup>1,2</sup>

(1. 江西农业大学林学院, 江西南昌 330045; 2. 江西农业大学江西省森林培育重点实验室, 江西南昌 330045;

3. 江西农业大学国土与资源学院, 江西南昌 330045)

**摘要:**以江西省武功山山地草甸为研究对象,分析不同海拔高度(1 600~1 900 m)、不同土壤深度(0~20 cm、>20~40 cm)、不同退化程度草甸下土壤养分分布特征以及有机碳、土壤其他养分间的相关关系,结果表明:(1)武功山不同土壤养分相同海拔不同土层间整体差异显著,呈现出表聚性特征,相同土层不同海拔间整体呈垂直分布规律;(2)土壤有机碳与土壤全氮、碱解氮和速效钾之间存在极显著正相关。土壤有机碳与土壤全磷、速效磷和 pH 值间则无明显的相关性。明确了武功山山地草甸土壤不同海拔间有机碳和各养分间的分布规律,揭示了土壤有机碳与其他土壤养分间的相关关系,研究结果为武功山山地草甸的植被和生态修复提供了理论依据。

**关键词:**武功山;退化草甸;土壤有机碳;土壤理化性质;相关性

**中图分类号:**X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)03-0237-04

草地生态系统是陆地上分布面积最广的生态系统之一,其面积约占陆地面积的50%,在全球陆地碳循环中发挥着极其重要的作用<sup>[1]</sup>。草甸土壤有机碳主要储存在表层土壤,对环境变化异常敏感,草甸生存环境的改变继而引起的土壤表层碳库的微小变化可能对全球温室气体排放通量产生影响<sup>[2]</sup>。土壤作为陆地生态系统中最大且周转时间最慢的碳库,有1 400~1 500 Pg的碳是以有机质的形式储存在土壤之中,在草甸碳循环中扮演着极其重要的角色<sup>[3]</sup>。

山地草甸生态系统具有净化空气、涵养水源、保持水土等多种生态功能,在物质循环和全球气候变化方面扮演着极其重要的作用<sup>[4-5]</sup>。目前,国内对草甸养分关系之间的研究多注重于碳氮关系和碳氮比方面,对有机碳和其他养分关系之间研究较少。张鹏等研究了祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征和其相互关系<sup>[6]</sup>,王建林等研究了青藏高原高寒草甸碳氮比分布特征及其影响因素,二者都谈及了碳氮分布规律与其相互关系,而且其分布和关系与海拔、气候、地形等要素密切相关<sup>[7]</sup>。

武功山山地草甸位于江西省中部地区,主要分布在武功山海拔1 600 m以上地区,有“云中草原”的美誉。近年来,随着政府投资力度和宣传力度的加大,武功山名气得到很大的提升,来武功山旅游的人数也逐年增加。尤其是一年一度的武功山国际帐篷节,吸引了全国各地乃至世界的游客前来登山和旅游。游客的随意践踏以及废弃物的过量丢弃,很大程度上造成武功山山地草甸的退化,绵延约4 000 hm<sup>2</sup>的山地草甸已呈现出退化并被分割得支离破碎的情景<sup>[8]</sup>。恶劣的

自然环境加上过度的开发,武功山山地草甸出现了不同程度的退化,有些地方已完全退化为裸地。草甸的退化,造成地上地下生物量减少,阻断了碳的输入,使有机质的碳汇大为减少。在地方经济快速发展和对草甸的依赖必然增加的前提下,草甸退化不可避免。草甸退化不仅对当地的自然景观造成极其恶劣的影响,而且势必对整个武功山的小气候和生态造成不良后果,影响整个赣中甚至华中地区的碳氮循环。基于武功山草甸退化的原因,本研究对武功山不同退化程度山地草甸土壤的有机碳和其他养分进行相关性研究,以期找出山地草甸退化过程中有机碳和各养分间的关系,为山地草甸退化程度诊断和修复提供理论依据<sup>[9-10]</sup>。

## 1 材料与与方法

### 1.1 研究区概况

武功山属于罗霄山脉北段,位于江西省中西部,地理位置介于114°10′~114°17′E、27°25′~27°35′N之间,呈东北—西南走向绵延120 km,总面积260 km<sup>2</sup>。属于典型的亚热带季风气候,夏季炎热多雨,冬季温和少雨。年平均气温为14~16℃,年降水量为1 350~1 750 mm,雨热同期,适合植被生长。海拔高差1 600 m,其中,最高峰为白鹤峰,海拔为1 918.3 m,为景观奇特的花岗岩、混合岩中地貌。土壤为花岗岩和片麻岩发育而来的山地草甸黑土,土壤肥沃,有机质含量高。在植被类型上,以芒草为主要优势种,苔草、飘拂草等亚优势种,土壤、植被等呈现出典型的非地带性特征。

### 1.2 样地设置和样品采集

2015年9月进行样地设置和土样采集。在海拔高度1 600 m处,沿山脊线每隔150 m间距设置1个海拔梯度,共设3个梯度(1 600、1 750、1 900 m)。在每个梯度上,根据植被盖度大小、物种差异等因素把草甸的退化程度分为4个等级,即轻度退化、中度退化、重度退化、未退化草甸(CK)(表1)。根据草甸的退化程度,采用完全随机试验设计,对轻度退化、中度退化、重度退化、未退化草甸各随机设置3个

收稿日期:2016-05-26

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAC11B06);国家自然科学基金(编号:30960312,31560150)。

作者简介:孟文武(1990—),男,安徽淮北人,硕士研究生,研究方向为土壤养分和植被修复。E-mail:1090237198@qq.com。

通信作者:郭晓敏,博士,教授,主要从事林木营养与施肥、经济林培育、植被恢复等领域的教学和科研。E-mail:gxmjxau@163.com。

10 m × 10 m 样方,对每一样方的土壤分2层(0~20 cm、>20~40 cm)进行随机多点采样,同层混匀,采集的土壤带回实验室。仔细去除土壤中的石砾和植物残体(如根、茎、叶),自然风干,磨碎,分别过2 mm和0.149 mm筛,保存,共获得72个土壤样品,供土壤理化性质分析。

表1 不同退化程度草甸植被覆盖度及土壤状况

草甸状态	植被覆盖度	土层状况
轻度退化	60% < 植被覆盖度 < 75%, 地表物有所减少, 但无裸露	轻度沙化
中度退化	30% < 植被覆盖度 < 60%, 地表植被大为减少, 已出现裸露	中度沙化
重度退化	植被覆盖度 < 10%, 基本裸露	重度沙化
无退化(CK)	植被覆盖度 > 90%, 植被生长良好	无沙化

### 1.3 测定与分析

1.3.1 测定方法 土壤有机碳采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;全氮采用 FOSS8400 全自动凯氏定氮仪测定;土壤碱解氮采用碱解蒸馏法测定;土壤全磷采用  $\text{HClO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$  浸提,钼锑抗比色法测定;速效磷采用 0.03 mol/L  $\text{NH}_4\text{F} - 0.025 \text{ mol/L HCl}$  浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾采用  $\text{NH}_4\text{Ac}$  浸提,火焰光度法测定;土壤 pH 值采用电位法测定。

1.3.2 分析方法 应用 SPSS 17.0 统计软件对所有的数据进行统计分析,数据经正态分布检验,用方差分析、LSD 和 Duncan's 多重比较检验分析不同海拔草甸、不同土层深度间养分之间的差异,土壤养分相关性采用 Origin 8.1 线性相关分析,所有图形均运用 Origin 8.1 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔梯度不同退化程度土壤有机碳分布格局

从图1可以看出,在3个不同海拔梯度1600、1750、

1900 m 和不同土层 0~20 cm、>20~40 cm 之间,土壤各海拔间上层有机碳含量的平均数值变化范围为 60.53~67.16 g/kg,下层为 49.5~56.80 g/kg。随着海拔升高上层比下层有机碳含量分别增加了 18.24%、22.91%、22.29%,均表现为随着土壤深度的增加,有机碳的含量呈减少趋势,相同海拔不同土层间有机碳含量存在极显著性差异。相同土层不同海拔有机碳含量差异不显著,没有呈现出明显的垂直分布规律,有可能是由于取样误差或海拔梯度过小引起。

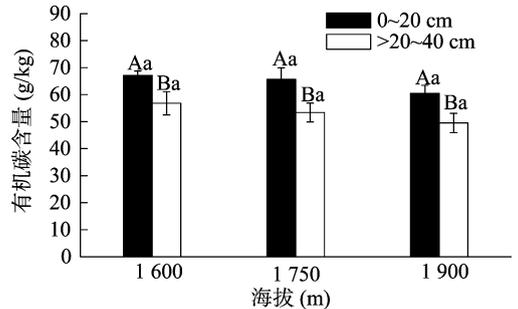


图1 不同海拔梯度土壤有机碳垂直地带性分布

### 2.2 不同海拔高度、土层深度土壤理化性状

2.2.1 全氮、碱解氮含量 从表2可以看出,土壤中不同海拔上层全氮的含量在 4.46~4.89 g/kg,下层为 3.56~3.82 g/kg。相同海拔不同土层之间差异显著,即在垂直方向上随着土层深度的增加全氮呈显著下降趋势。相同土层不同海拔之间差异不显著,全氮含量随着海拔的变化差异不显著。碱解氮在土壤中上层含量在 0.61~0.65 g/kg,下层为 0.51~0.52 g/kg。碱解氮在不同海拔上下层之间均存在显著的差异,相同土层不同海拔间差异不显著。在 1600~1900 m 海拔范围内,海拔对氮素的影响不显著,这可能与海拔高差较小有关。

表2 不同海拔不同土层深度全氮、碱解氮比较

化学性质	土壤深度 (cm)	海拔(m)		
		1 600	1 750	1 900
全氮(g/kg)	0~20	4.89 ± 0.09 Aa	4.79 ± 0.25 Aa	4.46 ± 0.21 Aa
	>20~40	3.82 ± 0.09 Ba	3.68 ± 0.22 Ba	3.56 ± 0.16 Ba
碱解氮(g/kg)	0~20	0.65 ± 0.01 Aa	0.64 ± 0.03 Aa	0.61 ± 0.03 Aa
	>20~40	0.52 ± 0.01 Ba	0.52 ± 0.03 Ba	0.51 ± 0.02 Ba

注:数据后不同大写字母表示相同海拔不同土层间差异显著( $P < 0.05$ );不同小写字母表示相同土层不同海拔间差异显著( $P < 0.05$ )。数据为“平均数 ± 标准差”。表2、表3同。

2.2.2 全磷、速效磷含量 土壤全磷上层含量为 0.61~0.97 g/kg,下层为 0.28~0.62 g/kg。海拔高度 1600、1900 m 上下层全磷差异显著,1750 m 上下层差异不显著。上层不同海拔间 1600、1900 m 差异显著,与海拔 1750 m 差异不显著。上层全磷含量随着海拔的升高呈下降趋势,在 1900 m 达到最小值,呈明显的垂直分布规律。全磷下层不同海拔间 1600、1750 m 差异不显著,与 1900 m 差异显著。在 1750 m 土壤下层全磷含量出现最高值,然后向高海拔和低海拔方向呈下降趋势,且向高海拔方向降低速率高于低海拔方向。速效磷上层含量在 2.06~6.01 mg/kg,下层含量为 1.32~3.09 mg/kg,相同土层不同海拔间差异显著。上层不同海拔间全磷含量差异显著,并且随着海拔的升高呈增加趋势,呈明显的垂直分布规律;下层有效磷含量亦随着海拔的升高而呈增加趋势,在海拔 1900 m 达到最大值,下层速效磷

增加速度较慢,趋势不如上层明显,下层仅在 1600、1900 m 差异显著(表3)。土壤中速效磷含量较低,可能会影响植物对磷的吸收,造成植被营养不良。

2.2.3 速效钾含量、pH 值 土壤速效钾土壤上层含量在 81.15~130.01 mg/kg,下层在 51.87~96.33 mg/kg。不同海拔上层土壤速效钾含量大于下层,且上下层之间差异显著。上层速效钾含量随着海拔的升高而降低,在 1900 m 达到最小值,下降速率在 1750 m 以上地区高于 1750 m 以下地区,海拔 1900 m 上层土壤速效钾与 1600、1750 m 差异显著,呈明显垂直分布规律。下层速效钾含量随着海拔的升高而显著降低,不同海拔间差异显著,呈明显的垂直分布规律(表4)。

土壤 pH 值是指示土壤酸度大小的一个重要指标,pH 值越小,酸度越大,其实质是氢离子的数量和浓度不断增加的一个过程。植物的生长和发育都要保持在一定的酸度范围内,

表3 不同海拔不同土壤深度全磷、速效磷比较

化学性质	土壤深度 (cm)	海拔(m)		
		1 600	1 750	1 900
全磷(g/kg)	0~20	0.97 ± 0.04 Aa	0.82 ± 0.10 Aab	0.61 ± 0.03 Ab
	>20~40	0.57 ± 0.07 Ba	0.62 ± 0.06 Aa	0.28 ± 0.04 Ba
速效磷(mg/kg)	0~20	2.06 ± 0.11 Aa	5.02 ± 0.25 Ab	6.01 ± 0.29 Ac
	>20~40	1.32 ± 0.06 Ba	2.70 ± 0.26 Ba	3.09 ± 0.15 Bb

表4 不同海拔不同土壤深度速效钾、pH值比较

化学性质	土壤深度 (cm)	海拔(m)		
		1 600	1 750	1 900
速效钾(mg/kg)	0~20	130.01 ± 6.00 Aa	125.25 ± 7.73 Aa	81.15 ± 7.83 Ab
	>20~40	96.33 ± 5.79 Ba	72.32 ± 4.55 Bb	51.87 ± 3.52 Bc
pH值	0~20	4.70 ± 0.02 Ba	4.92 ± 0.06 Aa	4.70 ± 0.05 Ab
	>20~40	4.80 ± 0.03 Aa	4.85 ± 0.03 Bb	4.68 ± 0.04 Bc

否则植物就没法生存。适合的酸度范围对于动物和微生物的生理活动有积极的促进作用,有助于土壤中有机的分解和矿物质元素的释放。从表4可以看出,武功山土壤上层pH值为4.70~4.92,下层为4.68~4.85之间,上下层均呈强酸性。上层pH值在1750m达到最大值,然后向1650、1900m方向呈递减趋势;下层土壤pH值在1750m为最大值,以此为中心在垂直向高海拔和低海拔方向递减,且高海拔递减速率快于低海拔。

### 2.3 土壤有机碳与其他养分间相关性

#### 2.3.1 有机碳与全氮和碱解氮含量的关系 通过相关分析,

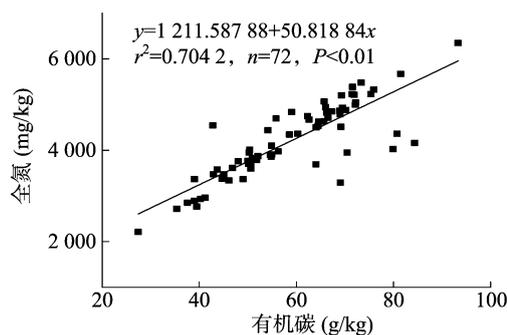


图2 土壤有机碳含量与全氮、碱解氮含量之间的关系

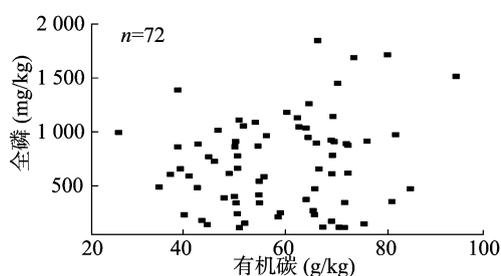
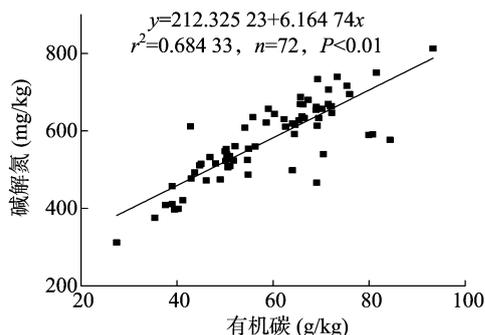
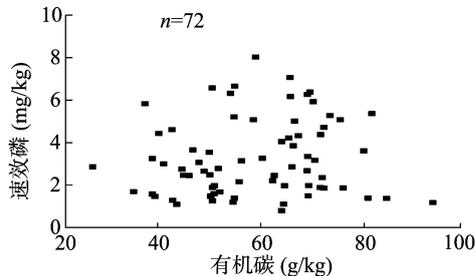


图3 土壤有机碳含量与全磷、速效磷含量之间的关系



2.3.3 有机碳与速效钾含量、pH值的关系 从图4可以看出,速效钾与有机碳之间亦存在极显著性的正相关,相关系数为0.48,其线性相关的斜率为1.81,即有机碳每增加1g/kg,速效钾增加1.81mg/kg。土壤有机碳和土壤酸度之间不存在显著性相关关系,有可能是山地的局部小气候影响和人为干扰导致的土壤退化所致。

有机碳和全氮与碱解氮都呈极显著的正相关,且有机碳和全氮、碱解氮之间的相关系数分别为0.70、0.68。全氮、碱解氮含量随着有机碳含量的增加呈显著增加趋势,其线性相关的斜率分别为50.82、6.16,即当有机碳每提高1g/kg,全氮、碱解氮分别增加50.82、6.16mg/kg(图2)。表明有机碳含量大小对氮素影响较大,提高土壤碳贮量有利于土壤氮素的增加。

2.3.2 有机碳与全磷和速效磷含量的关系 从图3可以看出,有机碳与全磷、速效磷均无显著性线性关系,这可能是人为干扰造成草甸退化而引起磷素流失引起的。

## 3 讨论与结论

在海拔1600~1900m范围内,武功山山地草甸不同养分元素整体呈垂直分布规律,同时由于土壤、气候、植被等因素影响,其分布又有很强的空间异质性特征<sup>[11-12]</sup>。有机碳、全氮、碱解氮、全磷含量整体随着海拔的升高而降低;速效磷

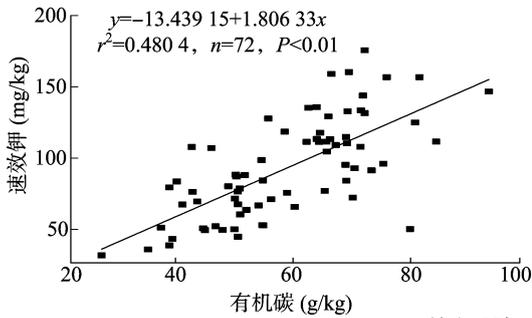
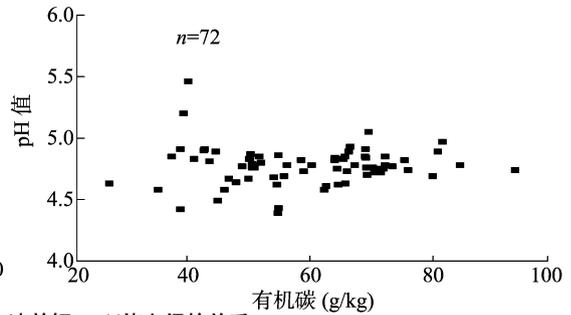


图4 土壤有机碳和速效钾、pH值之间的关系



则随着海拔的升高而增加,与赵晓蕊等研究结果<sup>[12]</sup>相一致;pH值则在1 750 m出现最大值,然后以此为基础向1 600、1 900 m 2个方向呈递减趋势。不同海拔之间的差异主要体现在气温、降水2个方面,随着海拔的升高,气温呈现有规律的下降趋势,降水则随着气温的升高而增加,在一定高度上达到最大值,此后随着海拔的增加又呈现降低趋势。海拔间的这种水热差异会引起不同海拔间气候、土壤和植被等方面的差异,从而间接影响土壤中养分的分布,使得土壤养分的分布具有空间异质性。而气温、降水在垂直分布上的差异又在一定程度上影响了土壤养分含量,使其养分分布随着海拔的变化呈现出垂直分布的特征<sup>[13]</sup>。对不同土壤剖面养分分布的研究也比较多,相同海拔不同土层整体差异显著,具有很强的表聚性,本结论与吴艳宏等研究结果<sup>[14-15]</sup>一致。主要是由于各种养分来源植物枯枝落叶,而武功山草甸地上地下生物量丰富,植被生长周期短,其枯枝落叶大量集中在土壤表层,腐烂后向表层追加大量养分,导致表层土壤养分含量高,下层含量低,呈明显的表聚性特征。

前人对有机碳和氮的相关关系研究较多<sup>[16]</sup>,草甸有机碳与其他养分间的关系研究较少,有机碳与磷素、钾素间的关系更是少有涉及。在海拔1 600~1 900 m范围内,土壤有机碳与土壤全氮、碱解氮、速效钾之间均存在极显著正相关,本结论与曹丽花等研究结果<sup>[10]</sup>相一致。有机碳与全磷、速效磷、pH值关系则不明显,有机碳变化对磷、pH值影响不显著,可能是土壤退化导致磷素大量流失,磷素含量大量减少,分布格局发生变化引起,同时局部小气候也是影响因素之一。以往有机碳和其他养分间的研究中,有机碳是各养分的核心所在,其含量大小直接影响其他养分的供应<sup>[17-18]</sup>。随着武功山草甸退化程度的加剧,土壤覆盖度的降低,土壤有机碳碳汇来源将大幅减少,有机碳含量急剧下降,这将严重影响其他养分的供应和积累,势必会对土壤养分和生态环境造成影响,不利于武功山的生态发展。因此,研究不同养分间分布规律及其有机碳与不同养分间的相关关系,对于武功山草甸植被修复和土壤施肥具有很好的指导意义。

在1 600~1 900 m海拔范围内,土壤养分受水热条件的影响呈表聚性特征和垂直分布规律。全氮、碱解氮、速效钾与有机碳之间呈极显著的正相关,磷素、pH值则与有机碳相关不显著。因此,在研究草甸生态系统时,要充分考虑养分分布特征以及有机碳和其他养分之间的相关性,为生态修复和草甸施肥提供基础数据和理论指导。

#### 参考文献:

- [1] Reeder J D, Schuman G E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(3): 457-463.
- [2] Fang C M, Smith P, Moncrieff J B, et al. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature [J]. *Nature*, 2005, 433(7021): 57-59.
- [3] Lal R, Kimble J M. Inorganic Carbon and the global C cycle: research and development priorities [M]. New York: Lewis Publishers, 2000: 291-302.
- [4] 王启兰, 王溪, 曹广民, 等. 青海省海北州典型高寒草甸土壤质量评价 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1416-1422.
- [5] 秦胜金, 刘景双, 王国平. 影响土壤磷有效性变化作用机理 [J]. *土壤通报*, 2006, 37(5): 1012-1016.
- [6] 张鹏, 张涛, 陈年来. 祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征及影响因素 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 518-524.
- [7] 王建林, 钟志明, 王忠红, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤碳氮比的分布特征 [J]. *生态学报*, 2014, 34(22): 6678-6691.
- [8] 唐剑波. 武功山退化草甸土壤养分限制因子及其对植被生物量的影响 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2014.
- [9] Grime C. A comparative study of plant responsiveness to the duration of episodes of mineral nutrient enrichment [J]. *New Phytologist*, 1989, 112(2): 261-267.
- [10] 曹丽花, 刘合满, 赵世伟. 退化高寒草甸土壤有机碳分布特征及与土壤理化性质的关系 [J]. *草业科学*, 2011, 28(8): 1411-1415.
- [11] 王瑞永, 刘莎莎, 王成章, 等. 不同海拔高度高寒草地土壤理化指标分析 [J]. *草地学报*, 2009, 17(5): 621-628.
- [12] 赵晓蕊, 郭晓敏, 张金远, 等. 武功山山地草甸生态系统土壤无机磷垂直地带性分布特征 [J]. *草业科学*, 2014, 31(9): 1610-1617.
- [13] 伍光和田连恕, 胡双熙. 自然地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 261-262.
- [14] 吴艳宏, 周俊, 邴海健, 等. 贡嘎山海螺沟典型植被带总磷分布特征 [J]. *地球科学与环境学报*, 2012, 34(3): 70-74.
- [15] 王彦龙, 马玉寿, 施建军, 等. 黄河源区高寒草甸不同植被生物量及土壤养分状况研究 [J]. *草地学报*, 2011, 19(1): 1-6.
- [16] 于磊, 张柏. 中国黑土退化现状与防治对策 [J]. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(1): 99-103.
- [17] Percival H J, Parfitt R L, Scott N A. Factors controlling soil Carbon level in New Zealand grassland [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 1623-1630.
- [18] 李惠卓, 张毅功, 伊宏岩. 白石山森林土壤有机质及氮、磷、钾养分状况研究 [J]. *河北林果研究*, 1997, 12(2): 114-117.