

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 4 - 456 - 08

# 轿子山自然保护区土壤理化性质垂直变异特征 与环境因子关系

王平<sup>1</sup> 任宾宾<sup>2</sup> 易超<sup>1</sup> 刘红楠<sup>1</sup>

(1. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500;

2. 呼伦贝尔学院旅游管理与地理科学学院, 内蒙古 呼伦贝尔 021008)

**摘 要:** 根据轿子山自然保护区的地形特点, 设置东、西两条垂直样带, 选取 18 项指标, 分别代表土壤理化性质、地形和植被因子, 利用主成份分析、聚类分析和典型相关分析等多元统计手段, 对该保护区土壤理化性质与环境因子之间关系进行分析。结果表明: 地形对土壤理化性质影响较大, 海拔是影响土壤有机质、全氮、碱解氮含量、pH 值、土体厚度的主要因素; 坡度和坡向对土壤质地影响较大; 植被类型对土壤理化性质影响不显著。土壤理化性质垂直变异水平在 3 个海拔段差异较大: 海拔 3 700 m 以上, 有机质、全氮等含量最高, pH 值最小, 但土体最薄, 砾石含量高; 海拔 3 000 ~ 3 700 m, 有机质、全氮等含量较高, pH 值较低, 土体厚度最大, 砾石含量最少; 海拔 3 000 m 以下, 土壤退化明显, 有机质、全氮等含量最低, pH 值最高, 土体较厚, 砾石和砂粒含量较高。

**关键词:** 轿子山自然保护区; 土壤理化性质; 垂直变异特征; 环境因子

中图分类号: P641, S152, Q948.3

文献标志码: A

受成土母质、地形及人类活动等自然、人为因素的影响, 土壤成为不均一和变化的时空连续体, 并具有高度的空间异质性<sup>[1]</sup>。土壤性质的空间变化分析一直是土壤学研究的主要课题<sup>[2]</sup>。

对山地土壤理化性质空间变异起明显控制作用的因子主要是地形和植被类型, 在同一气候区, 地形因子通过改变光、热、水等气候因子的空间分配而间接作用于植被, 进而影响成土过程、土壤演替及其理化性质, 植被格局可以控制微气候和影响土壤状况<sup>[3-4]</sup>。

目前涉及土壤性质与地形、植被等因子间相互关系研究的采样方法有样带或样点法<sup>[5-8]</sup>、样地法<sup>[4, 9-12]</sup>、格网法<sup>[1, 13-15]</sup>等, 用地统计学方法<sup>[1-2, 5, 7, 13-15]</sup>、多元统计法<sup>[4, 11, 16-17]</sup>进行分析, 其研

究结果表明, 地形、植被对土壤理化性质的空间变异具有重要影响, 但不同研究区, 各地形因子对土壤理化性质影响的程度存在差异; 在相对高度较大的山地, 海拔和坡度是影响土壤理化性质空间变异的主要因素。此外, 群落层盖度和种的丰富度对土壤有机质含量及土壤肥力类型也产生较大影响<sup>[4]</sup>。

为避免地统计学应用于地势起伏大、地形复杂的山区, 会产生由地形因子引起随机部分所占比重较大的缺陷, 本研究采用垂直样带和多元统计法, 就轿子山自然保护区土壤理化性质垂直变异特征与地形及植被类型之间的关系进行分析, 旨在揭示山原地区大起伏高山土壤性质的垂直变异特点及其与地形和植被因子的空间关系, 为该保护区原始土壤-植被系统的保持、土壤质量的维护和退化土壤的恢

收稿日期( Received date): 2013 - 02 - 11; 改回日期( Accepted): 2013 - 06 - 28。

基金项目( Foundation item): 973 计划前期研究专项( 2009CB426312) 资助。[Supported by 973 pre - Special Research Foundation of China ( Grant No. 2009CB426312) .]

作者简介( Biography): 王平( 1965 - ) 男, 云南昭通人, 副教授, 主要从事土壤地理与区域自然地理研究。[Wang Ping( 1965 - ), Male, Zhao-tong County in Yunnan Province, associate professor, specialized in research of soil geography and regional physical geography. ] E - mail ynwangping@163.com

\* 通信作者( Corresponding author): 任宾宾( 1977 - ) 女, 内蒙古自治区丰镇市人, 硕士, 讲师, 主要从事土壤地理研究。[Ren Binbin( 1977 - ), Female, Fengzhen County in Inner Mongolia, Lecturer, specialized in research of soil geography. ]

复提供理论与实践依据。

## 1 研究区域概况

轿子山国家级自然保护区位于云南省昆明市北部金沙江及其一级支流普渡河和小江之间的拱王山中上部,主峰雪岭海拔4 344.1 m,最低点位于大厂河汇入小清河附近,海拔2 300 m,相对高度2 044.1 m,总面积16 193.0 hm<sup>2</sup>。拱王山南北延伸,主山脊线海拔3 800~4 200 m,与普渡河和小江之间的岭谷高差分别为2 800~3 300 m、2 600~3 100 m,属典型大起伏高山。保护区基带气候为北亚热带低纬高原半湿润季风气候,气候垂直变化显著,经推算年平均气温0~13.0℃,年降水量916~1 390 mm。植被垂直带谱发育,植被类型以急尖长苞冷杉林( Form. *Abies georgei* var. *smithii*)、黄背栎林( Form. *Quercus pannosa*)、杜鹃矮林( Form. *Group Rhododendron* spp.)、高山柏灌丛( Form. *Sabina squamata*)、杜鹃灌丛( Form. *Group Rhododendron* spp.)、黄背栎灌丛( Form. *Quercus pannosa*)、杂类草草甸( Form. *Group Polygonum* spp. + *Potentilla* spp.)等为主。保护区基带土壤为红壤,土壤垂直带谱为红壤带→黄棕壤带→棕壤带→暗棕壤带→棕色针叶林土带→亚高山草甸土带,属于季风性带谱系统、亚热带湿润型;有黄棕壤、棕壤、暗棕壤、棕色针叶林土、亚高山草甸土、紫色土和沼泽土等7个土类<sup>[18]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查和实验分析

采用垂直样带法于2009年10月进行野外调查和采集土壤样品。依据土壤发生学原理和土壤垂直分异规律,结合保护区地形特征,在东坡(轿子顶至下岔河,海拔3 000~4 223.3 m)、西坡(轿子顶至四方井,海拔2 600~4 223.3 m)分别设置垂直样带,沿样带土壤、气候、植被、母岩等的垂直变化详见图1。以高差100 m为混合样本间距,在该间距内,沿“S”型<sup>[19]</sup>设置5个随机采样点,分0~20 cm、20~40 cm两层进行连续采样。土体厚度不足40 cm处,采集实际厚度的土样。将5个样点所采土样同层等量混合为1个混合样,按4分法取1 kg带回实验室,依据《土壤理化分析与剖面描述》<sup>[20]</sup>中的要求对土样进行风干、制备和保存。共设置27个混合

样段,东、西坡采集0~20 cm混合样分别为17个、13个,20~40 cm混合样分别为13个、10个,分别测定每个混合样的理化性质含量,以上、下两层的平均值作为每个混合样段样本数据,其中山顶的3个混合样本为东、西坡共用。利用GPS测定每个采样点的经纬度位置和海拔高度,利用罗盘仪测定各个采样点的坡度和坡向,并描述记录各采样点的岩性、母质类型、植被类型及其盖度、结构等特征。选取土壤机械组成、pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、速效钾等土壤理化性质分析项目,按照森林土壤分析方法<sup>[20]</sup>测定,碱解氮采用碱解扩散法<sup>[21]</sup>测定。

### 2.2 数据处理

#### 2.2.1 主成份分析

选用土壤理化性质、地形和植被类型指标因子共18项。地形因子包括海拔、坡度和坡向,结合野外调查,采用1:5万DEM提取坡度、坡向。坡度分级<sup>[22]</sup>:微坡0°~7°,缓坡7°~15°,中坡15°~25°,陡坡25°~35°,极陡坡>35°;坡向分级<sup>[1]</sup>:阴坡(0°~45°,315°~360°)、半阴坡(45°~90°,270°~315°)、阳坡(135°~225°)、半阳坡(90°~135°,225°~270°)。土壤理化性质因子包括砾石、砂粒、粉砂粒、黏粒的含量,pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效钾等含量,均为0~20 cm和20~40 cm两层的平均值,土体厚度不足20 cm者,以其混合样含量计算;海拔高度、土体厚度、腐殖质层厚度为直接测量值;对坡度、坡向和植被类型等非数值指标进行编码<sup>[4,11,6]</sup>后即可列出与其他环境因子属性数值的原始数据矩阵。利用SPSS17.0进行主成份分析,计算出矩阵的特征根、贡献率及累积贡献率。

#### 2.2.2 聚类分析

根据主成份分析结果,利用SPSS17.0对27个混合样进行聚类。为了满足变量不相关,且与土壤理化性质有密切联系和较强分辨力的要求,选择各主成份中载荷量较大的指标采用距离平方和法进行聚类。根据重标距离进行划分,将土壤性质相似或相近的样点聚为一类。

#### 2.2.3 典型相关分析

将地形指标中的海拔( $X_1$ )、坡度( $X_2$ )、坡向( $X_3$ )作为第一集团,将植被类型作为第二集团( $Y$ ),将土体厚度( $Z_1$ )、腐殖质层厚度( $Z_2$ )、砾石( $Z_3$ )、砂粒( $Z_4$ )、粉砂粒( $Z_5$ )和黏粒含量( $Z_6$ )等土壤物理性质指标作为第三集团,将土壤pH( $Z_7$ )、有机质( $Z_8$ )、全氮( $Z_9$ )、全磷( $Z_{10}$ )、全钾( $Z_{11}$ )、碱解氮( $Z_{12}$ )、

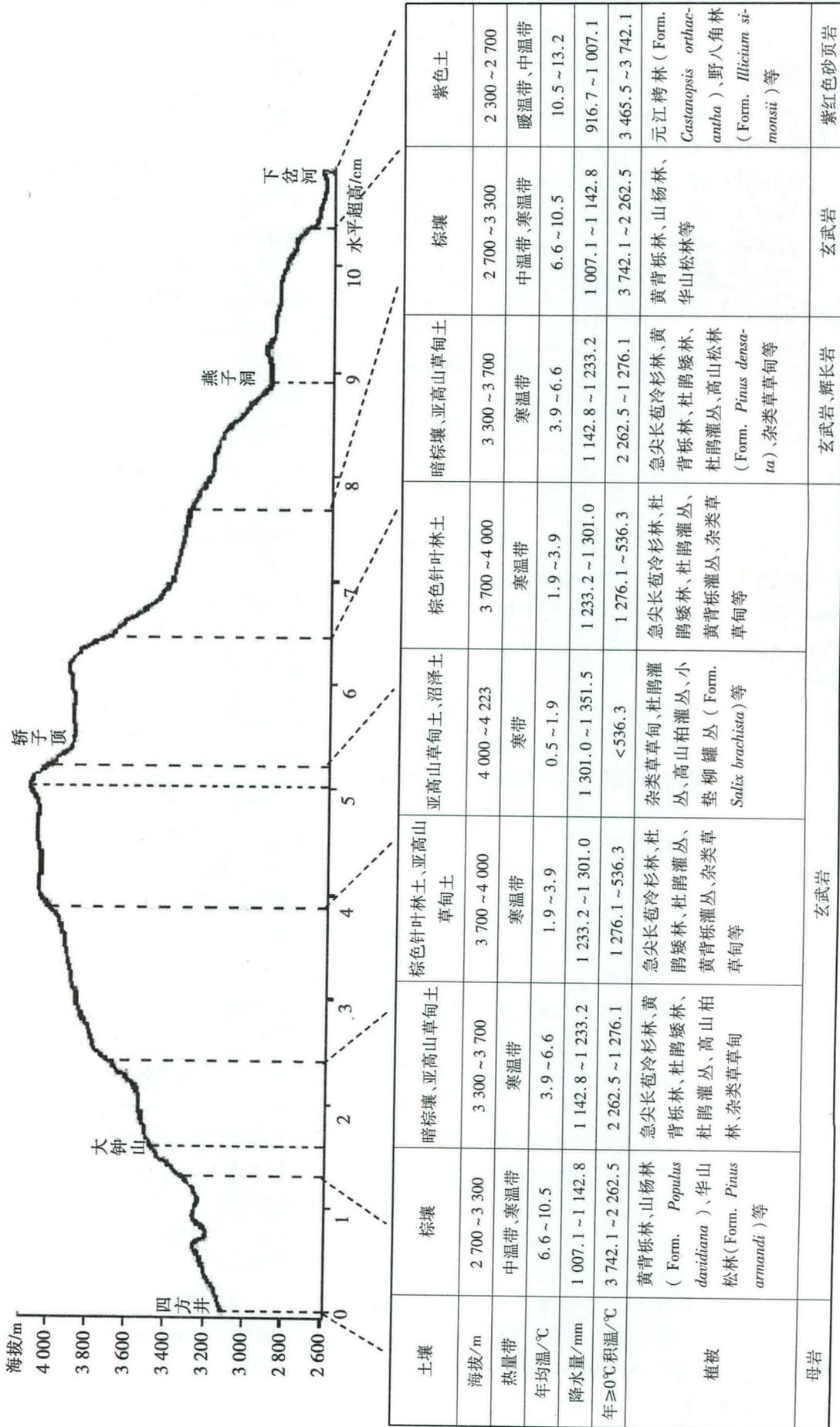


图 1 轿子山自然保护区四方井至下盆河土壤垂直样带沿线环境基本特征

Fig. 1 The soil transect in the study area and its natural environment

速效钾( $Z_{13}$ )和碳氮比( $Z_{14}$ )等土壤化学性质指标作为第四集团,利用DPS7.05进行典型相关分析,研究地形和植被对土壤理化性质影响的关系。

### 3 结果与分析

#### 3.1 主成份分析

取样KMO度量值超过0.5,适合进行主成份分析。前5个主成份的特征值分别为6.224、3.754、2.371、1.442、1.219,累积贡献率分别为34.576%、55.433%、68.604%、76.616%、83.385%(表1),其中第一主成份中的全氮(0.94)、碱解氮(0.937)、海拔(0.914)载荷量较大,其次为有机质(0.877)、pH(-0.808)和土体厚度(-0.704),这些因子是随海拔呈现明显变异的因子,也是土壤发育程度和肥力水平的指示因子,其中全氮、碱解氮、有机质与海拔呈正相关,pH值和土体厚度与海拔呈负相关。第二主成份中砂粒含量(0.852)、全钾(-0.817)、坡向(0.776)、砾石含量(-0.720)载荷量较大;第三主

成份中黏粒含量(-0.822)、坡度(0.771)、粉砂粒含量(-0.730)载荷量较大。第二三主成份分别代表微地形条件、土壤质地和钾含量,其中坡向与砂粒含量呈正相关,与砾石和全钾含量呈负相关;坡度与粉砂粒含量、黏粒含量均呈负相关。第四主成份中土壤碳氮比(0.864)载荷量较大,代表土壤生物累积和转化程度;第五主成份中植被类型(0.676)和全磷(0.670)的载荷量较大,表明全磷含量与植被类型相关。

从表1贡献率来看,对于起伏高度大,微地貌形态复杂的山地土壤分异,第一二主成份贡献率都较低,表明影响土壤理化性质空间分异的因素较多,必须综合考虑土壤因子、地形因子和植被因子之间的相互关系。

#### 3.2 聚类分析

根据主成份分析结果,为了满足变量不相关,且与土壤理化性质有密切联系和较强分辨力的要求,选用第一主成份中的全氮、碱解氮、有机质、土体厚度、pH值和海拔高度,第二主成份中的砂粒含量、砾

表1 主成份(PCA)的因子负荷量、特征根与贡献率

Table 1 Factor loading, eigenvalue and cumulative percentage of principal component analysis

因子 Factors	主成份 Principal component number				
	1	2	3	4	5
海拔 Elevation (ELE)	0.914	-0.206	0.030	0.008	0.188
坡度 Gradient (GRA)	-0.027	0.170	0.771	-0.278	-0.004
坡向 Aspect (ASP)	0.387	0.776	0.231	0.047	-0.010
植被类型(vegetation)	0.462	0.120	-0.111	-0.153	0.676
土体厚度(Soil depth)	-0.704	0.267	0.109	0.244	0.514
土壤腐殖质层厚度( Depth of humus horizon)	-0.566	0.241	0.284	0.540	0.258
砾石含量 Cobblestone	0.080	-0.720	0.619	0.035	-0.168
砂粒含量 Sand	-0.318	0.852	-0.187	0.088	-0.052
粉砂粒含量 Silt	0.297	0.096	-0.730	-0.187	0.371
黏粒含量 Clay	0.039	0.427	-0.822	-0.062	0.190
土壤 pH 值 pH value (pH)	-0.808	-0.004	0.270	-0.402	-0.059
土壤有机质 Soil organic matter (SOM)	0.877	0.273	-0.100	0.343	-0.014
土壤全氮 Total nitrogen (TN)	0.940	0.177	-0.015	-0.065	0.082
土壤全磷 Total phosphorous (TP)	-0.104	-0.049	-0.297	-0.018	0.670
土壤全钾 Total potassium (TK)	-0.217	-0.817	0.108	-0.251	-0.112
土壤碱解氮 Available nitrogen (AN)	0.937	0.079	-0.022	-0.058	0.055
土壤速效钾 Available potassium (AK)	0.677	0.475	0.062	-0.138	-0.288
土壤 C/N	0.121	0.155	-0.094	0.864	-0.141
特征值 Eigenvalue	6.224	3.754	2.371	1.442	1.219
贡献率% of variance	34.576	20.857	13.172	8.012	6.770
累积贡献率% Cumulative	34.576	55.433	68.604	76.616	83.385

石含量和坡向,第三主成份中的黏粒和坡度含量共 11 项指标,对所选指标进行聚类分析(图 2)。以重标距离 10 处作为异质性划分水平,分类结果显示,不同海拔段土壤理化性质存在明显差异。根据土壤理化性质的异质性程度,以海拔 3 000 m 和 3 700 m 为界,垂直方向上划分出 3 个海拔段。同一海拔段内相邻样点的土壤理化性质特征差异较小。

表 2 列出了 3 个海拔段的土壤理化性质指标平均值及标准差,表 3 列出了 3 个海拔段的地形特点。结合表 2 和表 3 分析表明,在以半阴坡、半阳坡和中、陡坡为主的微地貌条件下,土壤有机质、全氮、碱解氮含量随海拔段的升高而明显增大;pH 值随海拔段的升高而明显减小。海拔 3 700 m 以下,土体厚度较大,且相对均一;海拔 3 700 m 以上,土体厚度显著减小。海拔 3 000 m 以下,砾石含量最大,砂粒含量较大,黏粒含量最小;海拔 3 000~3 700 m 砾石含量最小,砂粒和黏粒含量最大;海拔 3 700 m 以上,砾石含量较大,砂粒含量最小,和黏粒含量较大。海拔 3 000 m 以上的不同样点,上述指标的标准差较大,表明随海拔升高,不同土壤理化性质差异较大。

结合野外调查资料,植被类型由海拔 2 900 m 以下的次生性野八角林、人工华山松林等过渡为海拔 3 000~3 900 m 的冷杉-杜鹃林、冷杉-箭竹林

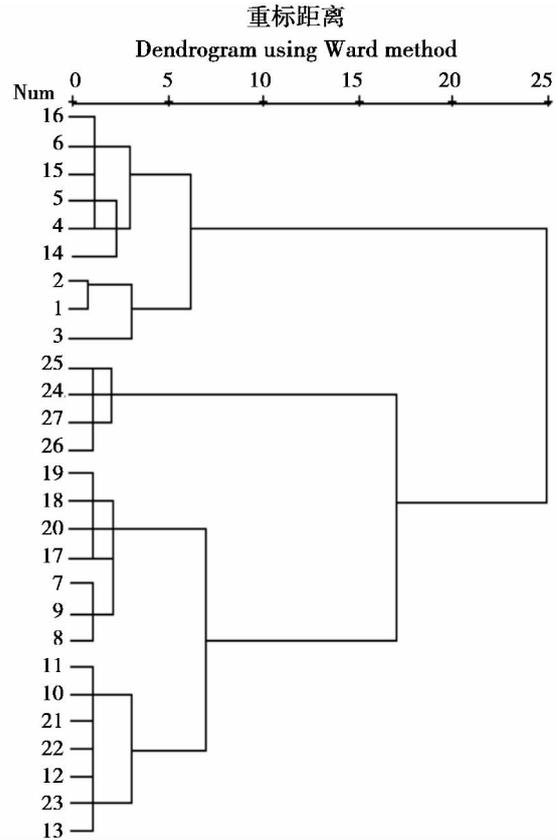


图 2 轿子山自然保护区不同判点聚类结果  
Fig. 2 The dendrogram result of cluster analysis of 27 plots using Ward method

表 2 3 个海拔段土壤理化性质指标平均值及标准差  
Table 2 Mean and standard deviation of soil index of 3 types

海拔/m Elevation	土体厚度/cm Soil depth	砾石/% Cobblestone	砂粒/% Sand	黏粒/% Clay
>3700	33.42 ± 11.81	38.28 ± 13.64	35.67 ± 5.78	7.28 ± 2.92
3000~3700	47.23 ± 7.01	25.25 ± 12.02	50.73 ± 7.69	8.14 ± 2.69
<3000	47.15 ± 3.89	42.9 ± 3.92	40.98 ± 3.52	5.52 ± 0.96
海拔/m Elevation	有机质/g·kg <sup>-1</sup> Organic matter	全氮/g·kg <sup>-1</sup> Total nitrogen	碱解氮/mg·kg <sup>-1</sup> Available nitrogen	PH 值 pH value
>3700	331.79 ± 78.41	7.90 ± 1.55	558.47 ± 122.05	4.61 ± 0.37
3000~3700	272.29 ± 88.22	6.25 ± 1.83	449.29 ± 114.02	4.99 ± 0.25
<3000	72.81 ± 21.15	2.02 ± 0.32	250.51 ± 40.44	5.51 ± 0.05

表 3 3 个海拔段的地形因子  
Table 3 Geographic characteristics of 3 combine

样本数 Sample number	海拔/m Elevation	坡向 Aspect				坡度 Gradient				
		阴	半阴	半阳	阳	微	缓	中	陡	极陡
9	>3700	1	8				1	5	2	1
14	3000~3700		5	7	2		1	3	8	2
4	<3000	3	1				1	1	2	

和海拔4 000 m以上的杜鹃灌丛和杂类草草甸。土壤类型则由紫色土、棕壤逐渐过渡为暗棕壤、棕色针叶林土和亚高山草甸土(见图1)。

海拔3 000 m以上,随海拔升高,气候逐渐趋于冷湿,土壤微生物活性减弱,有机残体矿质化过程逐渐减弱,生物累积过程和螯合淋溶过程明显增强,活性酸逐渐增强,成土过程逐渐减弱,因此土壤有机质、全氮、碱解氮含量随海拔升高明显增大,pH值明显减小。海拔3 000 m以上地段,坡度、坡向等微地貌形态多样,成土条件复杂,导致土壤理化性质变幅普遍较大。海拔3 000~3 700 m地段,成土条件相对优于海拔3 700 m以上地段,土壤质地相对较好。海拔3 700~4 000 m,是冷杉-杜鹃林向杜鹃灌丛和杂类草草甸过渡带,坡度大,土体厚度急剧变薄,在3 900~4 000 m海拔段,东坡土体平均厚度18 cm,西坡20 cm。海拔4 000~4 223.3 m的轿子顶,为山顶夷平面,坡度变小,植被为杜鹃灌丛和杂类草草甸,土体相应变厚,4 000~4 100 m海拔段土体平均厚度40 cm,4 100~4 200 m海拔段为30 cm,4 200 m以上降为20 cm。海拔3 700 m以上地段土壤生态系统最为脆弱。

海拔3 000 m以下,土壤有机质、全氮、碱解氮等养分含量较低,活性酸度较弱,pH值较大,砾石和砂粒含量较高,黏粒含量较低,土壤的粗骨性较强。其原因是靠近保护区东部边缘小清河上游的炭房村,人为干扰强烈,2 700~3 000 m退化为棕壤性土,2 700 m以下是紫色砂页岩上发育的紫色土,质地粗、抗蚀性能差,加之历史上长期过度放牧、砍伐薪材、毁林开荒等<sup>[23]</sup>,导致该地段土壤处于逆行演替阶段,侵蚀较强烈,退化严重,现状植被以封山育林、人工造林后形成的次生林和人工林为主,如华山松林等。生物-土壤循环过程已被改变,今后,应严加管护,促进土壤-植被系统的持续恢复。

### 3.3 典型相关分析

地形因子与土壤物理指标因子的第一对典型相关系数是0.814 2,第二对典型相关系数是0.672 8,显著性均在5%的水平上。地形与土壤化学指标因子的第一对典型相关系数是0.919 4,仅第一对典型相关关系是显著相关的,其余都不显著。植被类型与土壤物理指标因子的典型相关系数是0.552 3,植被类型与土壤化学指标因子的典型相关系数是0.717 4,均未通过5%的显著性检验,表明该自然保护区植被类型对土壤理化性质的影响较小。

地形与土壤物理因子标准化典型系数公式如下:

第一对典型相关关系

$$U_1 = 0.86X_1 - 0.13X_2 - 0.56X_3 \quad (1)$$

$$V_1 = -0.21Z_1 - 0.14Z_2 - 2.02Z_3 - 2.18Z_4 - 0.66Z_5 - 0.23Z_6 \quad (2)$$

第二对典型相关关系

$$U_2 = 0.14X_1 + 0.85X_2 - 0.55X_3 \quad (3)$$

$$V_2 = 0.38Z_1 - 0.23Z_2 + 8.00Z_3 + 5.58Z_4 + 4.06Z_5 + 0.30Z_6 \quad (4)$$

地形与土壤化学因子标准化典型系数公式如下

$$U_1 = -0.96X_1 + 0.21X_2 - 0.08X_3 \quad (5)$$

$$V_1 = 0.50Z_7 - 0.04Z_8 - 0.53Z_9 - 0.04Z_{10} - 0.26Z_{11} - 0.16Z_{12} + 0.13Z_{13} + 0.01Z_{14} \quad (6)$$

由公式(1)、(2)看出,地形因子中海拔载荷量较大,土壤物理因子中砾石和砂粒含量载荷量较大,海拔对土壤砾石和砂粒含量影响较为显著;由公式(3)、(4)看出,坡度、坡向、砾石、砂粒、粉砂粒载荷量较大,综合地形与土壤物理因子第一对、第二对典型相关分析结果,说明地形因子中坡度对土壤质地影响较大。由公式(5)、(6)看出,海拔、pH值、全氮含量载荷量较大,说明海拔是引起土壤pH值、全氮含量垂直变异的主要因素。

依据野外调查,海拔2 900 m以下,以次生性八角林、人工华山松林为主;海拔2 900~3 900 m,以急尖长苞冷杉、杜鹃(*Rhododendron*)、紫杆玉山竹(*Yunshaniana violascens*)组成的混交林为主;海拔4 000~4 221 m,以杜鹃灌丛和杂类草草甸为主;冷杉-杜鹃林、冷杉-箭竹林所跨越的海拔高度占样带(2 600~4 221 m)的2/3,群落结构过渡性特征明显,缺乏明确的界线,植物群落年龄结构和数量特征等数据的缺失,可能是导致植被类型与土壤理化性质的相关性不显著的主要原因。借鉴刘世梁的研究成果<sup>[4]</sup>,土壤理化性质还可能与具体的群落结构中乔、灌、草的盖度,林分密度以及物种的丰富度等特征有关。

上述分析结果表明,地形是引起该保护区土壤理化性质垂直变异的主导因素,其中海拔是决定土体厚度、土壤砾石含量、有机质含量、全氮含量等的主要因素,坡度、坡向对土壤砾石含量、砂粒含量和粉砂粒含量影响较大。植被类型对土壤理化性质影响并不显著。

## 4 结 论

主成份分析、典型相关分析均标明地形对土壤理化性质的影响较为显著。地形要素中,海拔是引起该保护区气候、植被和土壤空间变异的主导因素,其贡献率最大;坡度、坡向等微地形条件叠置于大起伏的山体,加剧了立地条件的复杂性。土壤全氮、碱解氮和有机质含量与海拔呈明显正相关,pH值和土体厚度等与海拔呈现明显负相关。砾石和砂粒含量与坡度呈明显正相关,粉砂粒和黏粒含量与坡度呈明显负相关;此外,砂粒含量与坡向也表现出正相关关系。起伏高度大、微地貌形态复杂的山区,第一、二主成份的贡献率都较低,影响土壤理化性质垂直分异的因素比较多。不同海拔段土壤,其理化性质差异较大。海拔3 700 m以上,土壤有机质、全氮、碱解氮等含量最高,pH值最小,但土体最薄,砾石含量高,粗骨性强,土壤发育程度较低;海拔3 000~3 700 m,有机质、全氮、碱解氮等含量较高,pH值较小,土体厚度最大,砾石含量最小,土壤发育程度较高;海拔3 000 m以下土壤有机质、全氮、碱解氮等含量均为最低,pH值最大,土体较厚,砾石和砂粒含量较高,土壤退化特征明显。采用主成份分析法、聚类分析法,能够消除冗余量的干扰,有助于更准确地认识该保护区土壤理化性质的垂直变异特征。土壤性质与植被类型之间数量关系的识别,应通过对植物群落年龄结构和数量特征指标的调查来获取,各因子之间是否存在线性相关关系有待进一步研究。

## 参考文献(References)

- [1] Qin Song ,Fan Yan ,Liu Hongbin ,et al. Study on the relations between topographical factors and the spatial distributions of soil Nutrients[J]. Research of Soil and Water Conservation 2008 ,15( 1) : 46 - 52 [秦松 樊燕 刘洪斌 等. 地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究[J]. 水土保持研究 2008 ,15( 1) : 46 - 52]
- [2] Chen Nan ,Lin Zongjian ,Li Chengming ,et al. A GIS based study on relationship between soil distribution and physical and chemical properties and terrain factor-taking Xi'an area as an example [J]. Science of Surveying and Mapping 2004 29( 6) : 72 - 75 [陈楠 林宗坚 李成名 等. 基于 GIS 的土壤分布及理化性质与地形因子相互关系研究—以西安市为例[J]. 测绘科学 2004 29( 6) : 72 - 75]
- [3] Hao Chengyuan ,Zhang Yongling ,Wu Shaohong. Comparisons on EVI spatial variation and causes exploration among different mountains in the southwest Yunnan Province of China [J]. Journal of Mountain Science 2009 27( 1) : 14 - 23 [郝成元 张永领 吴绍洪. 岭谷组合地形的植被空间变异性对比及成因[J]. 山地学报. 2009 27( 1) : 14 - 23]
- [4] Liu Shiliang ,Ma Keming ,Fu Bojie ,et al. The relationship between landform ,soil characteristics and plant community structure in the DongLinShan Mountain Region ,Beijing [J]. Acta Phytocologica Sinica. 2003 27( 4) : 496 - 502 [刘世梁 马克明 傅伯杰 等. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究[J]. 植物生态学报 2003 27( 4) : 496 - 502]
- [5] Long Xunjian ,Qian Ju ,Zhang Chunmin ,et al. Study of the spatial heterogeneity of soil nutrients of typical landscape in Alpine Meadow Regions [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2008 30( 1) : 139 - 146 [龙训建 钱鞠 张春敏 等. 高寒草甸区典型景观单元土壤养分空间变异性研究[J]. 冰川冻土 2008 30( 1) : 139 - 146]
- [6] Hu Qiwu ,Ou Yanghua ,LIU Xiande. Distribution characteristics of soil organic Carbon and total Nitrogen along the altitudinal belt in the northern slope of Qilian Mountains [J]. Journal of Mountain Science. 2006 24( 6) : 654 - 661 [胡启武 欧阳华 刘贤德. 祁连山北坡垂直带土壤碳氮分布特征[J]. 山地学报 2006 24( 6) : 654 - 661]
- [7] Lian Gang ,Guo Xudong ,Fu Bojie. Prediction of the spatial distribution of soil properties based on environmental correlation and geostatistics [J]. Transactions of the CSAE 2009 25( 7) : 237 - 242 [连纲 郭旭东 傅伯杰. 基于环境相关法和地统计学的土壤属性空间预测[J]. 农业工程学报 2009 25( 7) : 237 - 242]
- [8] Wei Yanchang ,Ou Yang Zhiyun ,Miao Hong ,et al. Spatial heterogeneity of soil properties in Jianfengling Nature Reserve [J]. Chinese Journal of Ecology 2007 26( 2) : 197 - 203 [魏彦昌 欧阳志云 苗鸿 等. 尖峰岭自然保护区土壤性质空间异质性[J]. 生态学杂志 2007 26( 2) : 197 - 203]
- [9] Wei Jing ,Deng Hongbing ,Wu Gang ,et al. The distribution of soil Carbon and Nutrients in Alpine Tundra Ecosystem on the northern slope of Changbai Mountains [J]. Chinese Journal of Soil Science , 2005 36( 6) : 840 - 845 [魏晶 邓红兵 吴钢 等. 长白山北坡高山冻原土壤碳和养分的分布特征[J]. 土壤通报 2005 36( 6) : 840 - 845]
- [10] Du Lixia ,Xing Shaohua. Relationship between spatial distribution pattern of shrub community and environmental factors in Badaling of Beijing [J]. Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin 2009 29( 3) : 0601 - 0607 [杜丽侠 邢韶华. 北京八达岭地区灌木群落空间分布格局与土壤环境因子的关系分析[J]. 西北植物学报 , 2009 29( 3) : 0601 - 0607]
- [11] Feng Wei ,Zhang Wanjuan ,Feng Xuezan. The relationship between landform ,soil characteristics and plant community in the agro-pastoral ecotone—An example from Fengning County ,Hebei [J]. Research of Soil and Water Conservation 2006 ,13( 5) : 209 - 211 [冯伟 张万军 冯学赞. 农牧交错区地形土壤因子与植物群落关系研究——以丰宁小坝子为例[J]. 水土保持研究 2006 ,13( 5) : 209 - 211]
- [12] Sandra Spielvogel ,Jörg Prietzel ,Karl Auerswald ,et al. Site-specific spatial patterns of soil organic carbon stocks in different landscape units of a high-elevation forest including a site with forest dieback [DB/OL]. Geoderma ,2009 [2010 - 03 - 01]. <http://www.elsevier.com/locate/geoderma>
- [13] Wang Yunqiang ,Zhang Changxing ,Li Shunji ,et al. Spatial variability and the relationships of soil mineral N and topographic factors in

- a small watershed[J]. *Environmental Science* 2007 28(7): 1567 - 1572 [王云强,张昌兴,李顺姬,等. 小流域土壤矿质氮与地形因子及其空间变异性的研究[J]. *环境科学* 2007 28(7): 1567 - 1572]
- [14] Fan Yaning, Li Shiqing, Zheng Jiyong et al. Spatial variability of organic matter in grassland soil and determination of sampling number in Yunwu Mountain natural conservation area in Ningxia[J]. *Pratacultural Science* 2007 24(4): 8 - 13 [范亚宁,李世清,郑纪勇,等. 宁夏云雾山自然保护区草地土壤有机质空间变异性及采样数确定[J]. *草业科学* 2007 24(4): 8 - 13]
- [15] Feng Nana, Li Tingxuan, Zhang Xizhou et al. The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2006 26(2): 349 - 356 [冯娜娜,李廷轩,张锡洲,等. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异[J]. *生态学报* 2006 26(2): 349 - 356]
- [16] Liu Chuangmin, Li Changzhe, Shi Minhua et al. Multivariate statistical analysis techniques applied in differentiation of soil fertility[J]. *Acta Ecologica Sinica* 1996 16(4): 444 - 447 [刘创民,李昌哲,史敏华,等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用[J]. *生态学报* 1996 16(4): 444 - 447]
- [17] Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soil[J]. *Environmental Pollution* 2001 114: 313 - 324
- [18] Ren Binbin, Wang Ping. An analysis of the spatial pattern about the soil groups in Jiaozi Mountain Nature Reserve[J]. *Yunnan Geographic Environment Research* 2009 21(4): 71 - 76 [任宾宾,王平. 轿子山自然保护区土壤空间结构特征分析[J]. *云南地理环境研究* 2009 21(4): 71 - 76]
- [19] Sun Bo, Shi Jianping, Yang Linzhang. Protocols for standard soil observation and measurement in terrestrial ecosystems[M]. Beijing: China Environmental Science Press 2007: 77 - 78 [孙波,施建平,杨林章主编. 陆地生态系统土壤观测规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社 2007: 77 - 78]
- [20] Liu Guangsong. Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles[M]. Beijing: Standards Press of China, 1996: 121 - 126, 141 - 152, 154 - 162, 166 - 168, 171 - 174 [刘光松. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 121 - 126, 141 - 152, 154 - 162, 166 - 168, 171 - 174]
- [21] Bao Shidan. Agrochemistry analysis of soil[M]. Beijing: China Agriculture Press 2003: 56 - 58 [鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社 2003: 56 - 58]
- [22] Xie Shuqing, Huang Zhixin. Chinese Ecosystem research network standards for the compilation of large scale of thematic maps[M]. Beijing: Standards Press of China, 1996: 38 [谢淑清,黄志新. 中国生态系统研究网络大比例尺专题制图规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 38]
- [23] Zhang Guixiang, Wang Shige. Probe into ecological environment and measures for protection of Xiaojiang River[J]. *Research of Soil and Water Conservation* 2006 13(5): 50 - 52 [张桂香,王士革. 云南东川小江流域生态环境初探及保护对策[J]. *水土保持研究*, 2006 13(5): 50 - 52]

## The Correlation between Soil Characteristics and Environmental Factors along Altitude Gradient of Jiaozi Mountain Nature Reserve

WANG Ping<sup>1</sup>, REN Binbin<sup>2</sup>, YI Chao<sup>1</sup>, LIU Hongnan<sup>1</sup>

(1. College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, Yunnan, China;

2. College of Tourism Management and Geography Science, Hulunbeier University, Hulunbeier 021008, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Based on the topography attributes, two transects along altitude gradient were set, which are located at eastern and western of Jiaozi Mountain Nature Reserve. In addition, 18 variables of soil physicochemical characters, topography, and vegetation, were selected. The relation between Nature Reserve soil physicochemical property and the topography has been addressed by using principal components analysis (PCA), cluster analysis, and typical relevance analysis. The results indicated that topography has strongly effects on the soil physicochemical characters, especially elevation is the most important affecting factor on the soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, pH and soil depth and so on. Slope and aspect have stronger effects on the soil texture. However, there is not significant correlations between vegetation and soil attributes. Moreover, the soil physicochemical attributes were varied along altitude gradient. Above altitude 3 700 m, the soil organic matter and total Nitrogen were the highest, pH value was the lowest, the soil depth was the smallest, and the content of gravel is the highest. Between 3 000 m and 3 700 m, the soil organic matter and total Nitrogen were lower, pH was higher, the soil depth was largest. Below 3 000 m, soil degradation was dramatic, the soil organic matter and total Nitrogen were the lowest, pH was the highest, the soil depth was large, and the contents of gravel and sand were high.

**Key words:** Jiaozi Mountain Nature Reserve; soil physicochemical property; the characteristic of vertical variation; the environmental factors