

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.05.012

区智,解璞,巩合德,等. 云南杜鹃群落不同海拔土壤养分状况分析[J]. 广西植物,2014,34(5):651–656

Ou Z, Xie P, Gong HD, et al. Soil nutrient characteristics of *Rhododendron* communities at different altitudes in Yunnan[J]. *Guihaia*, 2014, 34(5): 651–656

# 云南杜鹃群落不同海拔土壤养分状况分析

区智<sup>1</sup>, 解璞<sup>2</sup>, 巩合德<sup>3</sup>, 樊国盛<sup>1</sup>, 王澍<sup>1</sup>, 袁启凤<sup>1,2\*</sup>

(1. 西南林业大学 园林学院, 昆明 650224; 2. 贵州省农业科学院 果树科学研究所, 贵阳 550006; 3. 西南林业大学 生态旅游学院, 昆明 650224)

**摘要:** 为研究云南省杜鹃属植物集中分布区的 2 183~3 310 m 海拔带内土壤养分受海拔高度变化及杜鹃群落种类的影响, 采集了 10 个不同海拔高度的杜鹃群落土壤, 分析土壤 pH、电导率、总溶解固体量、有机质、全氮、铵态氮、全钾、全磷、全锰、全锌、全铁和全铜含量。结果表明: (1) 不同海拔高度杜鹃群落土壤各养分含量差异显著, 具有高山土壤养分变化的特点; (2) 随着海拔高度的上升, 杜鹃群落土壤的 pH 值、有机质、全氮、铵态氮、全锰、全锌含量均表现为沿海拔升高而呈先上升后下降再上升的分布规律, 电导率、总溶解固体量、全钾、全磷、全铁和全铜含量表现为沿海拔升高而呈先下降后上升再下降的趋势; (3) 杜鹃群落土壤的 pH 值、有机质、全氮、全钾含量与海拔之间呈现明显的相关关系。综合分析得出, 土壤养分含量的变化受到海拔的影响, 并且土壤各养分之间也相互影响。

**关键词:** 杜鹃; 海拔高度; 土壤养分**中图分类号:** Q948.15; S151.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)05-0651-06

## Soil nutrient characteristics of *Rhododendron* communities at different altitudes in Yunnan

OU Zhi<sup>1</sup>, XIE Pu<sup>2</sup>, GONG He-De<sup>3</sup>, FAN Guo-Sheng<sup>1</sup>,  
WANG Shu<sup>1</sup>, YUAN Qi-Feng<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Landscape Architecture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Institute of Fruit, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China; 3. College of Ecological Tourism, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In order to study the content of *Rhododendron* soil nutrients among the altitude (2183~3310 m) in Yunnan, we analyzed the characterization of the *Rhododendron* of soil and discussed the variation of soil nutrient with rising of the altitude. In total, the soil of *Rhododendron* community in ten different altitudes were collected, and the *Rhododendron* soil characterization including pH, electrical conductivity, total dissolved solids, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium and mineral elements were analyzed in our study. The results were as follows: (1) The *Rhododendron* soil nutrients in different altitudes were significantly different with the character of stereoscopic change; (2) With the rising of the altitude, the pH, organic matter, total nitrogen, ammonium nitrogen, total manganese, and zinc in the soil of *Rhododendron* community soil was firstly increased, later decreased and finally increased. While, with the rising of the altitude, conductivity, total dissolved solids, total potassium, total phosphorus and total iron and copper in the soil of *Rhododendron* community showed firstly decreased, then increased and finally

**收稿日期:** 2013-08-28 **修回日期:** 2013-11-01**基金项目:** 云南省教育厅基金(2013Y132, 111302); 中国科学院知识创新工程项目(31629); 国家林业局西南风景园林工程技术研究项目。**作者简介:** 区智(1977-), 男(瑶族), 广西桂林市人, 硕士, 实验师, 园林植物与观赏园艺专业, (E-mail) 6964274@qq.com。**\*通讯作者:** 袁启凤, 助理研究员, 主要从事园艺植物栽培技术研究, (E-mail) yuanqifeng1983@21cn.com。

decreased; (3) The organic matter and total nitrogen of *R. adenogynum* community were higher than other species of *Rhododendron* at contigeous altitude. The soil nutrients in different altitudes were significant different, and soil nutrients correlated with each other.

**Key words:** *Rhododendron*; altitude; soil nutrient

杜鹃花是杜鹃花科(Ericaceae)杜鹃花属(*Rhododendron*)木本植物的统称,为中高海拔山区重要的植物群落(冯国楣,1992)。我国除新疆外南北各省区均有分布,尤以云南(勐海、普洱、耿马、景洪、河口、思茅)、西藏和四川种类最多,为杜鹃花属的世界分布中心。杜鹃花属种类多,习性差异大,但多数种产于高海拔地区,喜凉爽、湿润气候及富含腐殖质、疏松、湿润、pH 值在 5.5~6.5 之间的酸性土壤。最适宜的生长温度为 15~20 °C,气温超过 30 °C 或低于 5 °C 则生长停滞。土壤起着支撑和固定植物生长的作用,土壤养分含量是反映土壤质量或土壤健康状况的一个重要指标(Yan *et al.*,1996)。土壤的养分特征与气候、水分、海拔、人为干扰等多因素有关(Jonathan *et al.*,1996)。地形的影响可以通过海拔绝对高度的变化表现出来,由于海拔高度不同,气候特征,林分类型、土壤类型随之改变,导致土壤理化性质产生差异(Tang,2006)。

目前对杜鹃的研究多集中于分类分布、引种驯化、孢粉学、传粉生物学、解剖学、光合生理、繁殖技术、种植技术等方面。而对杜鹃群落与土壤关系的

研究较少。廖菊阳等(2011)研究表明湖南不同品种的杜鹃对土壤有机质、全氮等影响不一样。不同的杜鹃菌根的种类或优势种不一样,它们对氮素的利用及其对土壤特性的影响也不一样(贾锐等,2011)。如不同海拔高度的杜鹃群落土壤含水量呈现一定的变化规律(张远东等,2006);不同海拔高度的森林土壤养分存在差异且有一定的相关性(吕世丽等,2013)。杜鹃群落在云南山区具有垂直分布的特点(查凤书等,2008;刀志灵等,1999)。杜鹃属植物是云南高寒山区的主要森林植被,其中 3 000 m 左右海拔高度的杜鹃种类最为丰富。云南高寒山区杜鹃群落的土壤养分研究未见报道,特别是不同海拔高度的杜鹃群落对土壤养分影响还有待深入研究,本文在这方面开展了初步的工作,以为云南高山杜鹃群落的土壤养分特性分析提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 采样地概况

不同海拔高度研究地概况如表 1 所示。

表 1 不同海拔高度研究地概况

Table 1 Details of area in different altitude gradients

编号 No.	海拔(m) Altitude	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude	地形 Topography	坡向 Slope direction	地被物 Ground cover
1	2 183	24°54'22"	103°52'18"	山坡中部 Mid-slope	东南 Southeast	马缨杜鹃、火绒草等 <i>Rhododendron delavayi</i> , <i>Leontopodium japonicum</i> etc.
2	2 500	26°39'57"	99°55'47"	山坡中上部 Upper slope	西北 Northwest	腺房杜鹃、山茅等 <i>Rhododendron adenogynum</i> , <i>Stellera chamaejasme</i> etc.
3	2 630	26°01'23"	99°53'35"	山坡中上部 Upper slope	东北 Northeast	淡黄杜鹃、青蒿等 <i>Rhododendron flavoflorum</i> , Sweet Wormwood Herb etc.
4	2 850	26°00'33"	99°53'56"	山坡中上部 Upper slope	东南 Southeast	雪层杜鹃、蕨等 <i>Rhododendron nivale</i> , <i>Pteridium aquilinum</i> etc.
5	2 851	26°39'08"	99°48'57"	山坡中上部 Upper slope	南 South	腺房杜鹃、凤丫蕨等 <i>Rhododendron adenogynum</i> , <i>Coniogramme japonica</i> etc.
6	3 060	25°59'32"	99°51'60"	山坡山脊 Ridge	西北 Northwest	腺房杜鹃、珠芽蓼等 <i>Rhododendron adenogynum</i> , <i>Polygonum viviparum</i> etc.
7	3 120	26°40'37"	99°52'24"	山坡中上部 Upper slope	南 South	黄毛杜鹃、金背枇杷等 <i>Rhododendron rufum</i> , <i>Rhododendron przewalskii</i> etc.
8	3 260	26°00'65"	99°52'36"	山坡山脊 Ridge	东北 Northeast	腺房杜鹃、委陵菜等 <i>Rhododendron adenogynum</i> , <i>Potentilla chinensis</i> etc.
9	3 270	26°00'55"	99°52'34"	山坡山脊 Ridge	东北 Northeast	密枝杜鹃、狼毒等 <i>Rhododendron fastigiatum</i> , <i>Stellera chamaejasme</i> etc.
10	3 310	26°01'02"	99°51'20"	山坡山脊 Ridge	东北 Northeast	腺房杜鹃、狼毒等 <i>Rhododendron adenogynum</i> , <i>Stellera chamaejasme</i> etc.

## 1.2 样品采集

根据杜鹃群落的分布情况,采集了 10 个不同海拔高度 0~20 cm 的表层杜鹃群落土壤样品。每个海拔高度按照“S”型重复取样 3 次,采集土壤 3.0 kg,分别装入自封袋(聚乙烯塑料袋)、写好标签,运回实验室。根据土壤养分分析方法对土壤进行处理,用于分析土壤 pH、有机质、全氮、全磷、全钾及一些微量元素含量指标。

## 1.3 土样分析方法

分析方法见表 2(鲍士旦,2000;鲁如坤,2000)。

表 2 测定方法  
Table 2 Test methods

项目 Item	方法 Methods
pH 值 pH value	水浸提电位法 Water leaching potential method
EC 值(电导率) EC value (Electrical conductivity)	电导率仪测定 Electrical conductivity measurement
TDS(总溶解固体量) TDS (Total Dissolved Solids)	
有机质全氮 Organic matter total nitrogen	高温外热重铬酸钾氧化-容量法浓硫酸消煮法 High temperature thermal oxidation of potassium dichromate-Volumetric method of sulfuric acid cooking method
全磷 Total phosphorus	酸溶-钼锑钨比色法 Acid soluble-molybdenum antimony scandium colorimetric method
全钾 Total potassium, Mn, Fe, Zn, Cu	原子吸收火焰光度法 Flame atomic absorption spectrophotometry
铵态氮 Ammoniacal nitrogen	全自动化学分析仪 Automatic chemical analyzer

## 1.4 数据统计分析

所测数据用 Microsoft Excel 2007 进行整理、作图;方差分析和相关分析采用 SPSS 17.0 处理完成(平均数间的多重比较采用 Duncan's 检验方法,  $P < 0.05$  时差异显著)。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同海拔杜鹃土壤养分含量的总体分布状况

从表 3 看出,不同海拔高度下杜鹃土壤养分微量元素全锰、全锌、全铁、全铜含量丰富,从变异系数上看,不同海拔高度下杜鹃土壤除 pH 值变异系数较小外( $< 10$ ),其余各项指标的变异系数均较大。

## 2.2 不同海拔杜鹃群落土壤养分规律

2.2.1 土壤 pH、电导率、总溶解固体量特征 从图 1 可知,在海拔 2 183~3 310 m 内,不同杜鹃群落土壤 pH 随着海拔上升呈先升后降再上升的趋势,电

表 3 不同海拔杜鹃群落土壤养分特征

Table 3 Soil nutrients of different altitude gradients

养分指标 Nutrients	均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 CV (%)
pH 值 pH value	5.83	0.41	6.40	5.22	7
电导率 Electrical conductivity ( $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	40.61	10.79	56.56	27.35	27
总溶解固体量 TDS ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	20.42	5.27	28.15	14.32	26
有机质 Organic matter total nitrogen ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	49.39	32.50	110.06	17.74	66
全氮 Total nitrogen ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	3.87	3.13	9.15	0.9	81
铵态氮 Ammoniacal nitrogen ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	8.83	2.44	13.85	6.37	28
全磷 Total phosphorus ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.78	0.46	1.45	0.14	59
全钾 Total potassium ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	2.24	1.22	4.36	0.51	54
全锰 Total Mn ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.33	0.27	0.96	0.05	80
全锌 Total Zn ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	71.71	24.91	121.78	42.71	35
全铁 Total Fe ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	36.59	10.85	61.47	25.23	30
全铜 Total Cu ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	32.95	25.98	86.82	11.76	79

导率随着海拔上升呈先降后升再下降的趋势,总溶解固体量同土壤中电导率一样均随着海拔的升高呈先降后升再下降的趋势。经方差分析,各海拔高度之间土壤 pH、电导率、总溶解固体量均差异显著。由于海拔高度(2 500、2 851、3 060、3 260、3 310 m)、坡度、坡向、伴生植物的不同,同为腺房杜鹃群落的土壤 pH、电导率、总溶解固体量值均出现较大变化,说明其影响因素不仅仅是由杜鹃种类的变化引起的,其中海拔高度变化是一个重要因素。

2.2.2 土壤有机质、全磷、全钾含量特征 从图 2 看出,在海拔 2 183~3 310 m 的范围内,杜鹃土壤有机质含量随着海拔上升呈先上升后下降再上升趋势,在 2 630 m 的淡黄杜鹃群落和 3 120 m 的密枝杜鹃群落土壤有机质含量最低,而相邻海拔高度的腺房杜鹃群落含量相对较高,其差异达显著水平。全磷含量随海拔上升呈先下降后上升再下降趋势,各海拔高度土壤的全磷含量在 3 260~3 270 m 不存在差异,其余各海拔高度均呈显著差异。全钾含量与全磷含量随着海拔高度的变化具有相似的变化规律,即随海拔上升呈先下降后上升再下降的趋势,土壤全钾含量在 3 060、3 310、2 851 和 3 120 m 之间差异不显著,其余各海拔高度之间均差异显著。

2.2.3 杜鹃土壤全氮、铵态氮特征 从图 3 看出,在海拔 2 183~3 310 m 内,杜鹃土壤全氮含量随着海拔高度升高呈先缓慢上升后下降再缓慢上升,以 3 260 m 的腺房杜鹃一委陵菜群落全氮含量最高,

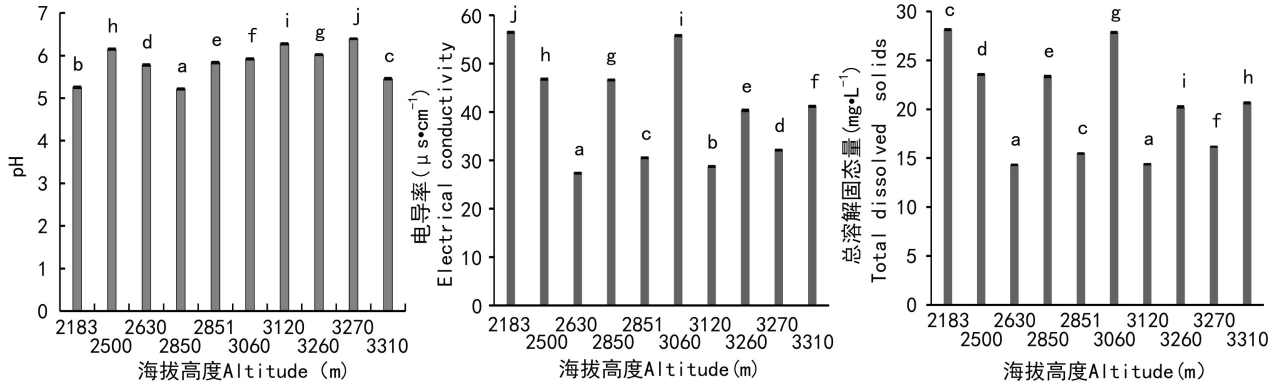


图 1 不同海拔土壤 pH 值、电导率、总溶解固体量含量

Fig. 1 Soil pH, electrical conductivity and total dissolved solids of different altitude gradients soil

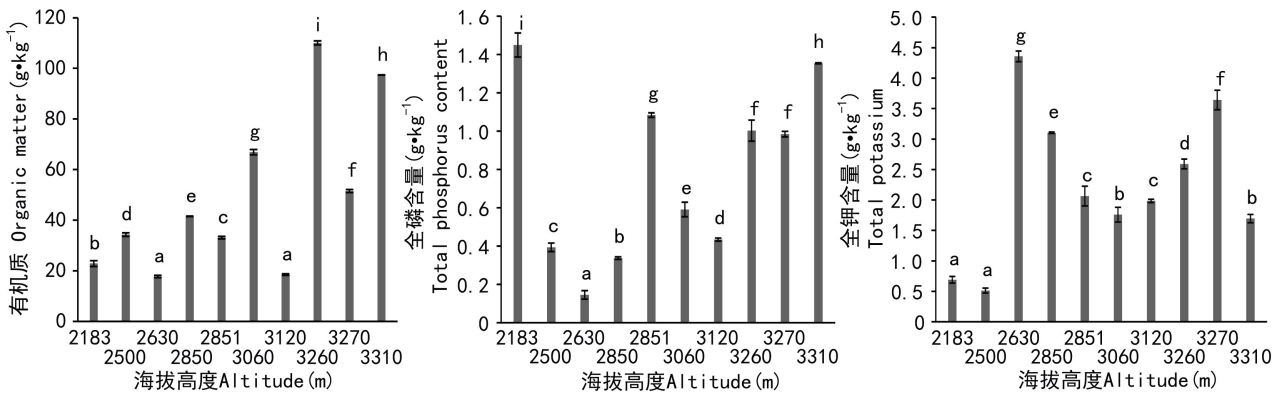


图 2 不同海拔土壤有机质、全磷、全钾含量

Fig. 2 Organic matter and total phosphorus, total potassium of different altitude gradients soil

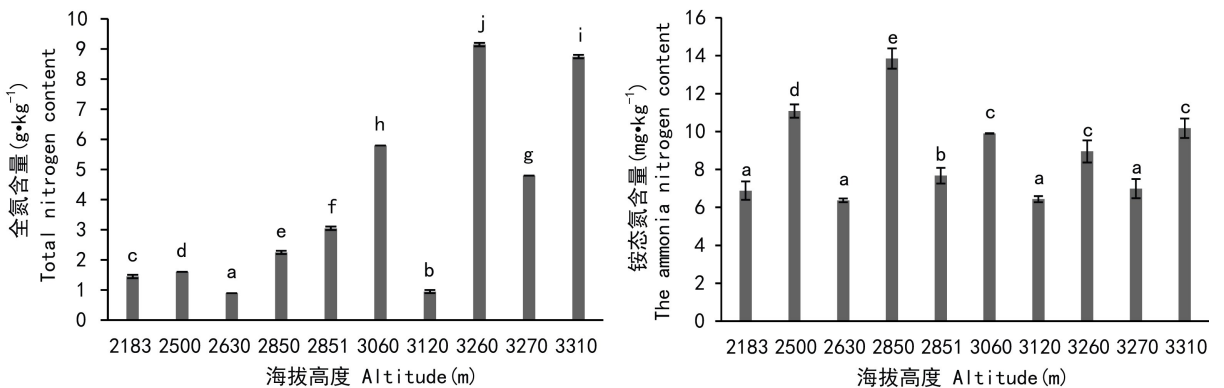


图 3 不同海拔土壤全氮、铵态氮含量

Fig. 3 Total nitrogen and ammonia nitrogen content of different altitude gradients soil

3 310 m 腺房杜鹃—狼毒和 3 060 m 腺房杜鹃—珠芽蓼次之, 2 630 m 的淡黄杜鹃群落最低, 各海拔高度土壤的全氮含量经方差分析均呈显著差异。铵态氮含量随着海拔上升则呈先急速上升后急速下降再急速上升趋势, 以 2 850 m 的雪层杜鹃群落含量最

高; 2 183 m 的马缨杜鹃、2 630 m 的淡黄杜鹃、3 120 m 的黄毛杜鹃、3 270 m 的密枝杜鹃含量均较低, 经方差分析, 杜鹃土壤中铵态氮含量 2 183 m 分别和 3 120、3 270、3 060、3 310 m 差异不显著, 其余海拔高度下均呈显著差异。杜鹃群落土壤全氮和铵态氮

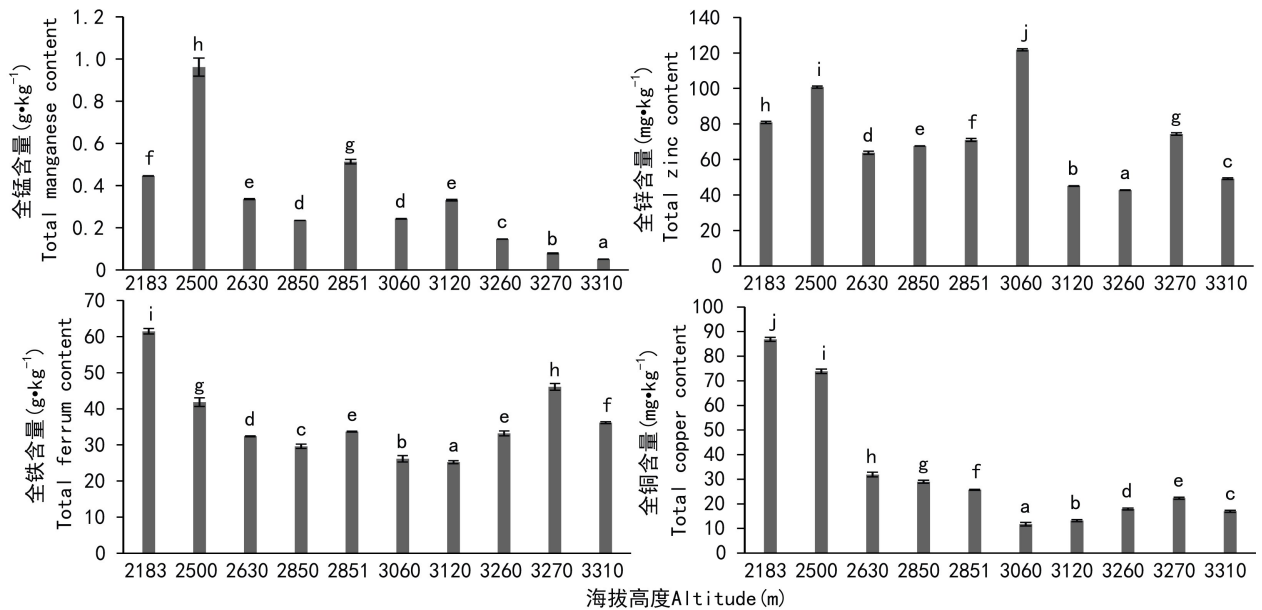


图 4 不同海拔土壤全锰、全锌、全铁、全铜含量

Fig. 4 Total manganese, ferrum, zinc and copper content of different altitude gradients soil

含量从总的趋势看,除雪层杜鹃群落铵态氮含量最高外,腺房杜鹃群落全氮和铵态氮含量均较高,说明腺房杜鹃对土壤氮素含量的积累具有重要作用。

2.2.4 杜鹃土壤微量元素含量的变化 从图 4 可知,在海拔 2 183~3 310 m 的范围内,杜鹃土壤中微量元素全锰含量随着海拔升高呈先升后降再上升趋势,以 2 500 m 的腺房杜鹃—山茅最高,3 310 m 的腺房杜鹃—狼毒最低,各海拔高度土壤的全锰含量除 2 850 m 与 3 060 m、2 630 m 与 3 120 m 差异不显著外,其余均呈显著差异。全锌含量随着海拔升高呈先升后降再上升趋势,以 3 060 m 腺房杜鹃—珠芽蓼最高,2 500 m 的腺房杜鹃—山茅次之,3 260 m 的腺房杜鹃—委陵菜最低,各海拔高度土壤的全锌含量均呈显著差异。全铁含量随着海拔上升呈先降后升再下降趋势,以 2 183 m 的马缨杜鹃最高,3 120 m 的黄毛杜鹃最低,各海拔高度土壤的全铁含量除 2 851 m 与 3 260 m 不存在差异外,其余各海拔高度均呈显著差异。全铜含量随着海拔升高呈先降后升再下降趋势,以 2 183 m 的马缨杜鹃最高 2 500 m 的腺房杜鹃—山茅次之,3 060 m 腺房杜鹃—珠芽蓼最低,各海拔高度全铜含量均呈显著差异。总的来看,土壤微量元素与杜鹃种类之间的联系不明显,因为不同海拔高度上的腺房杜鹃,全锰、全锌含量都有最高和最低同时出现的情况。

### 2.3 不同海拔与土壤养分指标之间的相关性分析

从表 4 可知,土壤多种养分之间与海拔高度存在一定相关性,海拔高度与土壤 pH 值、有机质、全氮、全钾含量呈显著正相关,土壤有机质含量与全氮、全磷含量均存在显著正相关,全氮含量与全磷含量呈显著正相关,全钾含量与全磷呈显著负相关。在各种养分之间的相关性中,尤以土壤有机质与全氮的相关系数最高,达 0.983。

表 4 不同海拔高度与土壤养分相关性

Table 4 Relationship between soil nutrients and different altitude gradients

参数 Parameters	海拔 Altitudes	pH 值 pH Value	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
海拔 Altitudes	1					
pH 值 pH value	0.409 **	1				
有机质 Organic matter	0.668 **	-0.004	1			
全氮 Total N	0.710 **	0.034	0.983 **	1		
全磷 Total P	0.090	-0.255 *	0.417 **	0.500 **	1	
全钾 Total K	0.361 **	0.132	-0.018	0.013	-0.383 **	1

注：“\*\*”表示在 0.01 水平上极显著相关；“\*”在 0.05 水平上显著相关。  
Note: \*\* shows highly significant correlation at 0.01 levels; \* shows significant correlation at 0.05 levels.

### 3 讨论与结论

#### 3.1 不同海拔杜鹃群落土壤养分的立体变化

从变异系数上和土壤养分方差分析的结果看, pH 值在 5.3~6.4 之间, 其变异系数较小, 均属微酸性, 都在杜鹃花属植物适宜的酸度范围内。除 pH 值外, 电导率、总溶解固体量、有机质、全氮、铵态氮、全磷、全钾、全锰、全锌、全铁、全铜含量的变异系数均较大, 表明土壤养分在不同海拔高度下或在不同的杜鹃群落甚至相近的杜鹃群落中差异也较大, 显示出了高山杜鹃群落土壤养分立体变化的特点。其原因可能包括以下方面: 一是由于海拔高度差异, 导致光、温、水等不同, 土壤形成过程受到影响, 产生了不同的土壤类型, 从而造成土壤养分在不同的海拔高度下差异较明显(郭旭东等, 2000; 何志祥等, 2011); 二是海拔高度的差异是高山地区形成垂直气候带的最主要原因, 也是高山植物垂直分布的主要原因, 而植物的凋落物、根系分泌物、根际的生物和非生物环境反过来又影响到土壤养分的形态、释放、循环等, 导致不同土壤养分含量的积累及平衡状况随着海拔高度的变化也产生较大差异(常超等, 2009; 朱三荣等, 2009)。

#### 3.2 不同海拔对杜鹃群落土壤大量元素的影响

海拔高度(气候)一土壤一植物群落之间的演化是一个长期而复杂的过程, 海拔高度可直接影响土壤养分, 还可间接通过植物群落的垂直分布来影响土壤养分。杜鹃属植物作为高寒山区的主要植被, 其对土壤养分影响较大。本研究中, 相关性分析表明, 有机质、全氮、全钾含量均与海拔高度有明显相关关系, 其中土壤有机质与全氮相关性系数达 0.983, 且分布在不同海拔高度的多个腺房杜鹃群落的土壤有机质含量和全氮含量较相邻其它种类的杜鹃群落高, 显示出对土壤养分的影响效果(翟红娟等, 2006; 王镇等, 2011)。至于为什么腺房杜鹃群落的土壤有机质含量和全氮含量比其它种类的杜鹃群落高, 其是否有菌根或其菌根对群落土壤中氮素的积累还有待于更深入地研究。

#### 3.3 不同海拔对杜鹃群落土壤微量元素的影响

土壤矿质元素主要来源于土壤母质, 但是它也离不开生物的参与, 尤其是土壤表层植物可利用形态的矿质营养元素。本研究中, 土壤全锰、全锌均随着海拔的上升呈先上升后下降再上升的趋势, 而全

铁和全铜含量则与全锰和全锌含量的趋势变化不同。总的来讲, 全锰、全锌、全铁和全铜含量在不同海拔高度和不同种类的杜鹃群落甚至相似的群落中差异多达显著水平, 其影响因素可能包括土壤母质、生物群落种类的构成、海拔高度、坡度、坡向等, 但具体的主要因素还需更深入去探索。

**致谢** 特别感谢西南林业大学大型仪器共享平台所提供的间断化学分析仪, 贵州省果树科学研究所提供的 TU-1901 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)、凯氏定氮仪(Gerhardf VaPodest 50s)、原子吸收分光光度计(北京瑞利分析仪器公司 WFA-120A)。

#### 参考文献:

- Bao SD(鲍士旦). 2000. Soil Agrochemical Analysis(土壤农化分析)[M]. Beijing(北京): China Agriculture Press(中国农业出版社): 33-35, 68-70
- Chang C(常超), Xie ZQ(谢宗强), Xiong GM(熊高明). 2009. Characteristics of soil nutrients of different vegetation types in the three gorges reservoir area(三峡库区不同植被类型土壤养分特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **29**(11): 5 978-5 985
- Dao ZL(刀志灵), Guo HJ(郭辉军). 1999. Endemic Plants of Ericaceae in Gaoligong Mountains(高黎贡山地区杜鹃花科特有植物)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), 增刊: 16-23
- Feng GM(冯国楣). 1992. Chinese Azalea(中国杜鹃花: 第 2 册)[M]. Beijing(北京): Science Press(北京出版社), **2**: 136-139
- Guo XD(郭旭东), Fu BJ(傅伯杰), Ma KM(马克明), et al. 2000. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS-A case study in Zunghua City of Hebei Province(基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究: 以河北省遵化市为例)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **11**(4): 557-563
- He ZX(何志祥), Zhu F(朱凡). 2011. Spatial distribution of soil nutrient and soil microbes along altitude gradient in the xuefeng mountain(雪峰山不同海拔高度土壤养分和微生物空间分布研究)[J]. *Chin Agri Sci Bull*(中国农学通报), **27**(31): 73-78
- Jia R(贾锐), Yang XL(杨秀丽), Yan W(闫伟). 2011. Study on the relationship between morphology and soil properties mycorrhizal rhododendron dauricum(兴安杜鹃菌根形态特征和土壤理化性质的关系研究)[J]. *J Inner Mongolia Agric Univ: Nat Sci Edit*(内蒙古农业大学学报·自然科学版), **32**(3): 63-66
- Jonathan JH, Jeffrey LS, Robert IP. 1996. Integration of multiple soil parameters to evaluate soil quality: A field example [J]. *Bio Fert Soils*, **21**(3): 207-214
- Lv SL(吕世丽), Li XP(李新平), Li WB(李文斌), et al. 2013. 牛背梁自然保护区不同海拔高度森林土壤养分特征分析[J]. *J Northwest Sci-Tech Univ-Agric For: Nat Sci Edit*(西北农林科技大学学报·自然科学版), **41**(4): 2-9
- Liao JY(廖菊阳), Yan WD(闫文德), Zhu YF(朱颖芳), et al. 2011. Physicochemical analysis of soils planted four rhododen-
- (下转第 650 页 Continue on page 650)