

珍稀濒危植物梵净山冷杉林 土壤养分及酶活性分析

颜秋晓¹, 李相楹¹, 王科¹, 高晓宇¹, 林昌虎^{1,2}, 何腾兵^{1,3}

(1. 贵州大学 农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州医科大学 公共卫生学院, 贵州 贵阳 550004;

3. 贵州大学 新农村发展研究院中国西部发展能力研究中心, 贵州 贵阳 550025)

摘要:为探索土壤养分、酶活性和梵净山冷杉死亡三者之间的关系, 探寻导致梵净山冷杉濒危的土壤养分及酶活性因子, 在其分布区分别采集死亡(Dp)与未死亡样地(Lp)冷杉根区土壤, 测定了土壤 pH、有机质(SOM)、全氮(TN)、碱解氮(AN)、全钾(TK)、速效钾(AK)、全磷(TP)、有效磷(AP)含量、阳离子交换量(CEC)以及脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶活性, 并对土壤养分和酶活性特征进行分析。结果表明: 2 种样地土壤全磷缺乏, 其余养分适宜到极丰富水平; AP、CEC、TK 含量为 Lp>Dp 土壤, 其余养分相差不大; 脲酶、磷酸酶活性为 Lp>Dp 土壤, 过氧化氢酶活性为 Lp<Dp 土壤, 各酶之间的相关性均不明显; Lp 土壤脲酶活性与 SOM 含量存在显著相关性, 脲酶活性与 AK 和 CEC 含量间、过氧化氢酶活性与 AN 含量间、多酚氧化酶活性与 AN 和 TN 含量间均有较大正相关性; 过氧化氢酶活性与 CEC 间、多酚氧化酶活性与 TP 和 TK 含量间有较大负相关性; Dp 土壤磷酸酶活性与 AP 含量有较大负相关性, 其余酶活性与养分间相关性较小。

关键词:梵净山冷杉; 死亡样地; 未死亡样地; 土壤养分; 土壤酶活性; 分析

中图分类号:S 153.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)17-0167-05

梵净山冷杉(*Abies fanjingshanensis*)为第四纪孑遗植物, 为中国贵州梵净山特有的冷杉种, 1998 年被 IUCN 拟定的“针叶树行动计划”列为全球重点保护的针叶树种^[1]。梵净山冷杉分布区域狭窄、海拔高, 林地土层浅薄, 林下苔藓植物旺盛, 土壤湿润且养分含量丰富^[2-5]。由于分布区域的地势限制以及长时间的群落演替过程, 使得梵净山冷杉分布呈斑块状, 自 1981 年发现以来就不断出现死亡现象^[6], 使其生态系统构成发生变化, 土壤与植物间的物质循环等过程也将受到影响, 外环境和土壤微环境的改变都直接或间接地影响着冷杉的死亡。陈立明等^[7]研究表明, 土壤养分含量与云冷杉的死亡程

度显著相关, 说明土壤养分的转化直接影响了植物的生长状况, 且表层土壤酶活性受云冷杉死亡程度的影响明显, 土壤酶活性随死亡程度增加而减少, 脲酶、过氧化氢酶活性与云冷杉死亡程度有较强相关性, 过氧化氢酶活性下降, 土壤中过氧化氢增加对云冷杉产生毒害作用。土壤酶是植物根系及其残体和土壤动物及其残体以及土壤微生物所分泌的物质, 在土壤复杂有机物质分解为简单的无机化合物的过程中起到催化作用, 活跃地参与各种生态系统的物质循环和能量流动过程, 常作为土壤生态胁迫、生态恢复的早期敏感性指标^[8-10]。詹志伟^[11]研究发现石人山秦岭冷杉死亡的直接原因是树体长势衰弱, 分泌的树脂和单宁物质减少而导致树体容易感染病虫害; 朱玉明^[12]对峨眉山山顶冷杉成片死亡原因探讨中提出, 冷杉死亡与其生境条件差, 幼苗光照不足和冰雹及强风破坏树皮、树枝折断导致病菌容易进入树体有密切关系; 朱晓帆等^[13]研究发现酸沉降导致土壤酸化、活性铝增加是峨眉山冷杉的衰败和死亡的重要原因; 而陈楚莹等^[14]研究却指出土壤、植物中的铝含量和毁灭性病虫害与峨眉山冷杉的衰亡没有明显相关性, 而与林下土壤的沼泽化程度密切相关, 大量的泥炭藓存在导致高位沼泽比, 导致冷杉根系呼吸困难^[6]; 李晓笑^[15]指出梵净山冷杉濒危的原因是气候变暖、人类干扰和群落

第一作者简介:颜秋晓(1989-), 女, 贵州纳雍人, 硕士研究生, 研究方向为土壤肥力与作物生产。E-mail: yanqxecho@sina.com.

责任作者:林昌虎(1961-), 男, 贵州盘县人, 本科, 研究员, 现主要从事土壤学与环境科学等研究工作。E-mail: linchanghu79@sina.com.

基金项目:贵州大学研究生创新基金资助项目(研农 2015040); 贵州省省院合作资助项目(黔科合院地合[20130072]); 贵州省社发攻关资助项目(黔科合 SY 字[2013]3152 号)。

收稿日期:2016-05-04

环境影响等使其生境岛屿化以及种群的自然繁殖能力差。

虽然越来越多学者对梵净山冷杉进行了生态学、遗传学等方面的研究^[16],但对于其林地土壤环境特性的研究较少。由于全球气候变化、生态环境破坏加剧、土壤环境质量退化,土壤酶活性受到环境因子影响加剧。森林土壤酶系统是森林土壤生物活动的产物,酶活性与森林土壤的理化性质、生物特性等密切相关,作为生物活性物质直接或间接地参与土壤养分的转化与根系的吸收,从而影响着梵净山冷杉林的生长死亡。陈立明等^[7]研究了黑龙江云冷杉林土壤酶活性的异质性以及养分特征,分析了酶活性和养分随土层深度的变化以及对云冷杉死亡的影响。但梵净山自然环境有其特殊性,针对于梵净山冷杉林的土壤环境的研究尚鲜见报道,该研究针对低纬高海拔地区梵净山特有珍稀濒危物种梵净山冷杉生境土壤进行研究,旨在从土壤养分及酶活性方面探究导致冷杉濒危的原因,从而为改善冷杉生长的土壤环境,降低有害物质的积累和冷杉感病可能性,以期为加快梵净山冷杉立地保护提供更趋科学性的理论支撑。

表 1

样区野外调查

Table 1

Field survey in sample area

采样地点 Collected site	海拔 Altitude /m	坡向 Slope	湿土颜色 The color of wet soil	土壤类型 Soil types	土壤质地 Texture	枯落物厚度 Thickness of litters /cm	植被组成 Vegetation composition
梵净山烂茶顶 Lanchading of Fanjing mountain	2 330~ 2 345	半阴坡	黑色	山地黄棕壤	壤土	2~3	梵净山冷杉、铁杉、前竹、茶树、其他草本植物和苔藓植物

1.3 项目测定

参考相关国家和行业标准,参照《土壤农业化学分析方法》^[19]及《土壤酶及其研究法》^[8]等资料方法进行各项指标的测定。采用电位测定法测定土壤 pH(土水比 1:2.5);采用凯氏定氮法测定全氮含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用碳酸氢钠浸提钼蓝比色法测定有效磷含量;采用钼锑抗比色法测定全磷含量;采用重铬酸钾外加热法测定有机质含量;采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定速效钾含量;采用氢氟酸-高氯酸消煮-火焰光度计法测定全钾含量;采用乙酸铵交换法测定阳离子交换量(CEC)。采用磷酸苯二钠比色法测定土壤磷酸酶活性;采用高锰酸钾滴定-容量法测定过氧化氢酶活性;采用 NH_4^+ 释放法测定脲酶活性;采用比色法测定多酚氧化酶活性。测定平行数为 50%,过程中加入国标土样(GSS2-GSS5)以控制样品测定的准确度,空白值控制误差及错误。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 版和 DPS v 7.05 版统计软件,对采样的梵净山冷杉林下土壤试验数据进行计算绘制总数

1 材料与方法

1.1 试验地概况

梵净山是武陵山脉的最高峰,地处贵州省松桃、印江、江口三县交界处,总面积达 38 743 hm^2 ,东亚季风气候与高海拔的山峰形成了丰富的水资源,平均年降水量 1 100~2 600 mm,年均温 5~17 $^{\circ}\text{C}$ ^[17]。海拔 2 100~2 350 m 的烂茶顶一带的西北坡,气候微凉湿润,适合于冷杉的生存;分布区山势险峻,坡陡谷深,是典型的喀斯特地貌,终年云雾缭绕,树体多长于石缝之间,梵净山冷杉与丽江铁杉等构成了亚高山暗针叶林,土壤为壤质山地黄棕壤,土壤湿润,肥力较高,但土层较浅薄,林下苔藓植物生长旺盛,主要为泥炭藓科(Sphagnaceae)^[4,18]。

1.2 试验方法

试验于 2014 年 8 月在梵净山自然保护区海拔 2 100~2 350 m 的烂茶顶梵净山冷杉分布区域进行。根据死亡情况,将试验区划分为死亡样地(Dp)和未死亡样地(Lp),并在样区内的植株下拂去表面枯枝落叶和杂草后采集根区深度 0~20 cm 土壤,共采集土样 7 个(死亡样地 4 个,未死亡样地 3 个),所有土样带回实验室后晾干、磨细、过筛,并保存于自封袋中用于测定各理化指标。

据表,再进行检验及方差分析。

2 结果与分析

2.1 梵净山冷杉林地土壤酶活性特征分析

由表 2 可知,梵净山冷杉的死亡样地(Dp)与未死亡样地(Lp)土壤的多酚氧化酶活性基本一致,脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶的活性存在一定的差异;脲酶、磷酸酶活性表现为 $L_p > D_p$ 土壤,过氧化氢酶活性则是 $D_p > L_p$ 土壤。表明土壤脲酶、过氧化氢酶及磷酸酶活性与梵净山冷杉死亡有较大关系,在 L_p 土壤中较高的脲酶活性与磷酸酶活性有助于土壤中相关养分的分解和吸收。陈立明等^[7]研究发现,云冷杉死亡率与表层土壤酶活性关系最大,且死亡率越大林地土壤酶活性越低,与该试验结果一致。

2 种样地土壤脲酶活性的变异系数均 $>30\%$,属于强变异,表明脲酶活性在样地分布区有较大差异;2 种样地的过氧化氢酶活性均为弱变异, D_p 土壤的磷酸酶和多酚氧化酶活性为中等变异,在 L_p 土壤为弱变异,表明分布区过氧化氢酶活性、磷酸酶活性、多酚氧化酶活性差异不大。

由表 3 可以看出,Lp 土壤磷酸酶活性与过氧化氢酶活性相关性不明显;过氧化氢酶活性与多酚氧化酶活性有较大正相关(相关系数 0.925),其余酶活性间呈现负相关关系。在 Dp 土壤中过氧化氢酶活性与脲酶活性有较大正相关性(相关系数 0.927),磷酸酶活性与脲酶活性、过氧化氢酶活性、多酚氧化酶活性有负相关性,多

酚氧化酶、脲酶活性与过氧化氢酶活性有正相关性;脲酶活性与过氧化氢酶活性在 Dp 和 Lp 土壤中相关性呈现相反现象。大部分酶之间存在负相关性,可能是存在相互拮抗作用,这与 BURNS 等^[20]的研究酶之间多存在拮抗作用的结论相一致。

表 2 梵净山冷杉林下土壤酶活性
Table 2 Enzyme activities of *Abies fanjingshanensis* forest soil

样地 Plot	样本数 Sample number	项目 Item	脲酶 Urease /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	过氧化氢酶 Catalase /(mL·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	磷酸酶 Phosphatase /(mg·g ⁻¹ ·(24h) ⁻¹)	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase /(mg·g ⁻¹ ·(2h) ⁻¹)
死亡样地 Dp	4	平均值±标准差 Average value±standard deviation	0.05±0.03	0.94±0.002	0.54±0.07	0.23±0.04
		变异系数 Coefficient variation/%	48.23	0.26	13.18	18.19
未死亡样地 Lp	3	平均值±标准差 Average value±standard deviation	0.07±0.03	0.88±0.05	0.63±0.02	0.24±0.01
		变异系数 Coefficient variation/%	47.77	5.97	3.03	5.26

表 3 土壤酶活性间的相关系数
Table 3 The correlation coefficient between soil enzyme activities

	脲酶 Urease	过氧化氢酶 Catalase	磷酸酶 Phosphatase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase
脲酶 Urease		0.927	-0.417	0.216
过氧化氢酶 Catalase	-0.802		-0.306	0.549
磷酸酶 Phosphatase	-0.645	0.061		-0.161
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	-0.514	0.925	-0.324	

注:右上角是死亡样地土壤酶活性间的相关系数,左下角是未死亡样地土壤酶活性间的相关系数。
Note:The top right corner of the table is a soil correlation between enzyme activity. The lower left corner is Lp soil correlation between enzyme activity.

2.2 林地土壤养分特征分析

由表 4 可以看出,梵净山冷杉林地为强酸性土壤,有机质(SOM)、全氮(TN)、碱解氮(AN)含量极为丰富,

有效磷(AP)、阳离子交换量(CEC)、速效钾(AK)含量为适宜到丰富水平,全磷(TP)含量为缺乏水平。Dp 与 Lp 土壤 pH、SOM、AN、TN、AK 含量无明显差异,而 TP 含量是 Dp>Lp 土壤,这可能是由于梵净山冷杉死亡的根系和凋落物等分解释放出的有机磷,而植物吸收减少而导致;AP、CEC、TK 含量为 Lp>Dp 土壤,其余养分相差不大。养分的变异特征除了 Dp 土壤 TP 含量变异系数(84.51%)和 CEC 量的变异系数(50.77%)为强变异外,其余样地养分变异系数(3.6%~28.18%)为弱变异到中等变异。表明 Dp 土壤 TP 及 CEC 含量分布不均匀,这可能与土壤结构、发育程度以及植株的死亡程度有关。Lp 土壤养分含量变异系数(2.39%~27.87%)为弱变异到中等变异,表明了 Lp 土壤养分分布较为均匀。

表 4 土壤养分含量特征
Table 4 Analysis of characteristics of soil nutrient content

样地 Plot	样本数 Sample number	项目 Item	pH	有机质 SOM /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 AN /(mg·kg ⁻¹)	全氮 TN /(g·kg ⁻¹)	有效磷 AP /(mg·kg ⁻¹)	全磷 TP /(g·kg ⁻¹)	速效钾 AK /(mg·kg ⁻¹)	全钾 TK /(g·kg ⁻¹)	阳离子交换量 CEC /(cmol·kg ⁻¹)
Dp	4	平均值±标准差 Average value±standard deviation	2.80±0.17	414.13±116.71	673.48±24.22	14.91±3.48	23.87±5.45	0.04±0.03	179.25±25.47	1.80±0.42	43.26±21.96
		变异系数 Coefficient variation/%	5.97	28.18	3.6	23.36	22.84	84.51	14.21	23.3	50.77
Lp	3	平均值±标准差 Average value±standard deviation	2.74±0.07	412.03±41.21	670.36±47.21	14.17±1.42	32.10±8.95	0.02±0.005	174.33±22.23	2.16±0.40	51.5±1.64
		变异系数 Coefficient variation/%	2.39	17.32	7.04	9.99	27.87	23.09	12.75	18.71	3.19

2.3 林地土壤养分与酶活性关系特征分析

土壤酶活性与土壤养分有着密不可分的联系,土壤养分的转化受到酶活性的影响,相反地,养分通过影响植物根系生长、微生物数量等而作用于土壤酶的分泌,因此充足的养分含量是酶活性增强的前提^[21]。由表 5 可知,梵净山冷杉林土壤酶活性与养分间的相关性整体上并不明显,但 2 种样地土壤酶活性与养分的相关系数仍存在较大差异。Lp 土壤脲酶活性与 SOM 含量存在

显著相关性、与 AK 和 CEC 含量间有较大正相关性,过氧化氢酶活性与 AN 含量之间,多酚氧化酶活性与 AN 和 TN 含量之间均有较大正相关性;过氧化氢酶活性与 CEC 之间、多酚氧化酶活性与 TP 和 TK 含量之间有较大的负相关性(相关系数为-0.904~-0.991)。Dp 土壤除磷酸酶活性与 AP 含量之间有较大负相关性(相关系数-0.917)外,其余酶活性与养分间相关性不明显。相比之下,梵净山冷杉林 Lp 土壤养分与酶活性相关性

表 5

土壤酶活性与养分相关系数分析

Table 5

The correlation coefficient between enzyme activity and nutrient of soil

样地 Plot	酶活性 Enzymatic activity	pH	有机质 SOM	碱解氮 AN	全氮 TN	有效磷 AP	全磷 TP	速效钾 AK	全钾 TK	阳离子交换量 CEC
Lp	脲酶 Urease	0.246	0.997 *	-0.729	-0.250	0.987	0.396	0.996	0.367	0.981
	过氧化氢酶 Catalase	0.381	-0.750	0.993	0.778	-0.887	-0.866	-0.855	-0.850	-0.904
	磷酸酶 Phosphatase	-0.899	-0.706	-0.054	-0.579	-0.516	0.446	-0.571	0.474	-0.483
	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.705	-0.441	0.962	0.959	-0.644	-0.991	-0.592	-0.987	-0.672
Dp	脲酶 Urease	0.502	0.525	-0.765	0.697	0.101	-0.657	-0.628	-0.102	0.213
	过氧化氢酶 Catalase	0.308	0.656	-0.755	0.751	0.099	-0.333	-0.309	-0.184	0.417
	磷酸酶 Phosphatase	0.369	-0.759	0.851	-0.814	-0.917	0.585	0.671	0.845	-0.655
	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	-0.511	0.753	-0.473	0.611	0.340	0.485	0.447	-0.537	0.827

较大。在 Lp 中大量植物根系分泌出酶,根系活动改变了土壤理化性质和微生物特征而增加了土壤酶活性。

3 结论与讨论

该试验结果表明,梵净山冷杉土壤养分特征表现为 TP 含量为缺乏水平,其余养分适宜到极丰富水平;未死亡样地中 AP、CEC、TK 含量高于死亡样地,表明了梵净山冷杉死亡与土壤磷素、TK 以及 CEC 含量密切相关,TP 含量缺乏是限制梵净山冷杉生长的不利因子。

土壤酶活性特征表现为脲酶、磷酸酶活性为 Lp>Dp 土壤,过氧化氢酶活性为 Lp<Dp 土壤,多酚氧化酶活性相差不大。梵净山冷杉死亡与土壤脲酶、过氧化氢酶及磷酸酶活性有较大关系。Lp 土壤中较高的脲酶、磷酸酶活性有助于土壤中相关养分的分解和吸收。多酚氧化酶与土壤中酚类物质氧化为醌密切相关,是土壤腐殖化的一种媒介^[8],梵净山冷杉分布区域为有机质含量高的原始森林土壤,为相应的多酚氧化酶的酶促反应提供了足够的底物,因此相同海拔和温度下 Dp 和 Lp 土壤多酚氧化酶活性无明显差异。过氧化氢酶是一种存在于好氧细菌和兼性细菌的胞内酶,能促进土壤过氧化氢的分解,减少对植物根系的毒害^[22-23]。梵净山冷杉 Lp 土壤过氧化氢酶活性低于 Dp,过氧化氢酶活性的降低不利于过氧化氢酶的分解,过氧化氢酶累计产生毒害作用将是梵净山冷杉生长的一大隐患。

酶活性间的相关性表现为大部分酶之间存在负相关性,表明其之间可能存在拮抗作用,土壤中酶体系繁多,酶促反应既有专一性,各种酶促反应间也有相互联系,各种酶在同一土壤环境条件下必然相互影响^[24]。脲酶活性与过氧化氢酶活性在 Dp 和 Lp 土壤中相关性呈现相反的状况;在 Lp 土壤中表现为负相关,在 Dp 土壤中为正相关。表明了冷杉死亡对土壤酶活性产生了一定的影响,这可能与冷杉死亡减少了样地生物量有关。土壤环境是一个复杂的综合体,地上植被差异会改变土壤环境条件而影响土壤中酶促反应。

土壤酶活性与养分间的相关性整体上并不明显。梵净山冷杉地处云雾笼罩的高海拔区域,土壤湿润呈现沼泽化,表层覆盖物厚,土壤通气状况和土壤温度较差,

不利于梵净山冷杉土壤酶与养分转化的酶促反应,且梵净山冷杉土壤强酸性反应,而酸化处理会抑制脲酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶、多酚氧化酶等酶的活性,pH 变化可能通过改变土壤酶空间构象、氨基酸残基微环境以及酶与土壤颗粒的结合状态和微生物的活性等原因,从而影响到土壤酶活性^[25-27]。

Lp 与 Dp 间酶活性与养分的相关系数存在较大差异:Lp 土壤脲酶活性与 SOM 存在显著相关性,脲酶活性与 AK 和 CEC 间、过氧化氢酶活性与 AN 之间、多酚氧化酶活性与 AN 和 TN 含量之间有较强的正相关性,过氧化氢酶活性与 CEC 间、多酚氧化酶活性与 TP 和 TK 含量之间有较强的负相关性。Dp 土壤除磷酸酶活性与 AP 含量有较大负相关性外,其余酶活性与养分间相关性不明显。表明了土壤中的酶促反应与冷杉的死亡有较大关系,冷杉的死亡可能是导致土壤中养分的酶促反应降低的原因,而养分酶促反应的减少也将不利于冷杉的生长。杨万勤等^[28-29]研究发现,土壤酶活性的变化规律不仅与群落的演替有关,而且与植物的种类组成有关。大量根系穿插生长改变土壤理化性质和水热状况及土壤生物系统,此外生物量多增加了凋落物和根系分泌物的种类和数量,提高了土壤质量,因而直接或间接地影响土壤的酶活性特征^[21]。Lp 生物群落多样性大于 Dp,大量的凋落物的分解,增加了微生物的数量和活性,间接地影响到土壤酶活性^[8,30],因而 Lp 土壤酶活性与养分之间有更好的相关性。而 Dp 土壤 AP、TK、CEC 等养分含量较低,植株死亡根系停止活动,土壤微环境相比较未死亡样地要差,因此不利于养分分解转化的酶促反应。

参考文献

- [1] 李晓笑,王清春,崔国发,等.濒危植物梵净山冷杉野生种群结构与动态特征[J].西北植物学报,2011(7):1479-1486.
- [2] 颜秋晓,高安勤,林昌虎,等.梵净山主要珍稀植物土壤性状研究概况[J].浙江农业科学,2015,56(6):905-910.
- [3] 张广荣.梵净山冷杉的保护遗传学研究[D].桂林:广西师范大学,2005.
- [4] 黄威廉,屠玉麟,杨龙.贵州梵净山科学考察集[M].北京:中国环境科学出版社,1982.

- [5] 颜秋晓,张维勇,石磊,等.梵净山自然保护区不同海拔林下土壤养分特征[J].贵州农业科学,2015,43(8):146-150.
- [6] 向巧萍.中国的几种珍稀濒危冷杉属植物及其地理分布成因的探讨[J].广西植物,2001,21(2):113-117.
- [7] 陈立明,满秀玲.云冷杉林土壤酶活性与土壤养分的研究[J].中国水土保持科学,2009,7(4):94-99.
- [8] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:中国农业出版社,1989.
- [9] 万忠梅,宋长春.土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J].土壤通报,2009,40(4):951-956.
- [10] DICK W A, TABATSBAI M A. Significance and potential uses of soil enzymes[M]//Application in agricultural and environmental management. New York:Marcel Dekker,1992:95-127.
- [11] 詹志伟.石人山秦岭冷杉死亡原因与救治对策[J].现代农业科技,2011(16):196-197.
- [12] 朱玉明.峨眉山山顶冷杉成片死亡原因探讨[J].四川林业科技,1984(2):28-32.
- [13] 朱晓帆,卢红,金燕.峨眉山冷杉衰亡与土壤铝活化的关系研究[J].环境科学,1997,18(4):25-28.
- [14] 陈楚莹,廖利平.峨眉山冷杉衰亡原因的初步研究[J].应用生态学报,1992,3(1):1-8.
- [15] 李晓笑.中国5种冷杉属植物生态濒危机制研究[D].北京:北京林业大学,2013.
- [16] 徐柏林,孟好军,张记称,等.祁连山森林土壤肥力的研究[J].甘肃科技,2011,27(16):168-178.
- [17] 李尤,苏智先,张素兰,等.珙桐群落种内与种间竞争研究[J].云南植物研究,2006,28(6):625-630.
- [18] 吴开明,沈志君,刘海,等.梵净山自然保护区珙桐天然种群生命表与生存分析[J].生态学杂志,2012,31(6):1419-1424.
- [19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999.
- [20] BURNS R G, PUKITE A H, MCLAREN A D. Concerning the location and persistence of soil urease[J]. Soil Sci Soc Amer Proc,1972,36:308-311.
- [21] 杨万勤,钟章成,陶建平,等.缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系[J].林业科学,2001,37(4):124-128.
- [22] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987.
- [23] 孙辉,吴秀臣,秦纪洪,等.川西亚高山森林土壤过氧化氢酶活性对升高温度和CO₂浓度的响应[J].土壤通报,2007,38(5):891-894.
- [24] 金裕华,汪家社,李黎光,等.武夷山不同海拔典型植被带土壤酶活性特征[J].生态学报,2011,30(9):1955-1961.
- [25] 王涵,王果,黄颖颖,等.pH变化对酸性土壤酶活性的影响[J].生态环境,2008,17(6):2401-2406.
- [26] 徐冬梅,刘广深,许中坚,等.模拟酸雨对土壤酸性磷酸酶活性的影响及机理[J].中国环境科学,2003,23(2):176-179.
- [27] FRANKENBERGER W T, JOHANSON J B. Effect of pH on enzyme stability in soils[J]. Soil Biology and Biochemistry,1982,14(5):433-437.
- [28] 杨万勤,钟章成,陶建平,等.缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系[J].林业科学,2001,37(4):124-128.
- [29] 杨万勤,钟章成,韩玉萍.缙云山森林土壤酶的分布特征和季节动态及其与四川大头茶的关系[J].西南师范大学学报(自然科学版),1999,24(3):318-324.
- [30] 杨万勤,王开运.森林土壤酶的研究进展[J].林业科学,2004,40(2):152-158.

Analysis on the Soil Nutrient and Enzymatic Activity in Rare and Endangered Plant *Abies fanjingshanensis* Forest

YAN Qiuxiao¹, LI Xiangying¹, WANG Ke¹, GAO Xiaoyu¹, LIN Changhu^{1,2}, HE Tengbing^{1,3}

(1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. College of Public Health, Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550004; 3. Research Institute of New Rural Development of Chinese Western Development Ability Research Center, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)

Abstract: In order to explore the relationships among soil nutrient, enzymatic activity and death of *Abies fanjingshanensis*, the samples were collected from death plots(Dp) and living plots(Lp). Soil pH, SOM, TN, AN, AK, TK, TP, AP, CEC content and the activities of urease, phosphatase, catalase, polyphenol oxidase were measured, and the relationship between soil nutrient and enzyme activity were analyzed. The results showed that all measured parameters were rich except total phosphorus in both sample plots. The contents of AP, CEC and TK in Lp were higher than Dp, the rest of the nutrient contents did not differ much. The activities of urease and phosphatase in Lp were higher than Dp, the activity of catalase in Dp soil was higher than Lp, there was no obvious correlation between all enzyme. A significant correlation was observed between urease activity and SOM in Lp soil of *Abies*, AK and CEC content had a positive correlation with urease activity, catalase activity had a positive correlation with AN, Alkali hydrolysis nitrogen, total nitrogen had a notable positive correlation with the activity of polyphenol oxidase. Catalase activity had a negative correlation with CEC, there was a negative correlation among TP, TK content and polyphenol oxidase. Meanwhile, there was a large negative correlation between phosphatase activity and AP content, and the other enzymatic activities had a low correlation with the other nutrient contents.

Keywords: *Abies fanjingshanensis*; death plot; living plot; soil nutrient; enzymatic activity; analysis