

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.04.031

# 藏东南巨柏根系结构特征与环境因子研究

边喜丽, 杨小林, 李永霞, 边步云, 尹金迁

(西藏农牧学院, 林芝 860000)

**摘要:** 巨柏(*Cupressus gigantea*)是西藏特有珍稀物种,在雅鲁藏布江中下游区域的生态环境保护中具有重要的作用.本研究以朗县巨柏居群为研究对象,采用相关性分析和主成分分析法探究了巨柏根系结构特征与不同地类环境因子之间的关系.数据结果表明:水线岸边、岩石裸露区的主要影响因子分别是石砾含量和岩石裂缝,河岸阶地与坡麓地根系结构的主要因子有土壤肥料、pH值、土壤容重和土壤自然含水量;巨柏生存的适生环境为砂质土壤,微碱性,土壤含水量适中;在巨柏苗木培育、人工移植的过程中,河岸阶地与坡麓地是选择巨柏迁地保护的理想地类,同时应充分考虑土壤肥力和理化性质带来的影响,提高迁地保护的成活率.

**关键词:** 巨柏根系;环境因子;相关性分析;主成分分析

**中图分类号:** S791.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)04-0848-05

## Analysis of effect factors on the root architecture of *Cupressus Gigantea* (Southeast Tibet)

BIAN Xi-Li, YANG Xiao-Lin, LI Yong-Xia, BIAN Bu-Yun, YIN Jin-Qian

(Farming and Husbandry College of Tibet, Nyingchi 860000, China)

**Abstract:** *Cupressus Gigantea* which is one of the endemic and rare species in Tibet, play an important role for ecological environment protection near Yarlung Tsangpo River Valley. This study was based on *Cupressus Gigantea* of Lang County by using the method of principal component analysis and correlation analysis to explore the relationship between root system and soil environment. The results showed that rock gravel content and rock fracture were the main factors on the shore line and rock hare area respectively; while the main factors of the root architecture of the terraces and the foot slope were soil fertility, pH, volume weight and natural water content. According to the test, the suitable living environment for *Cupressus Gigantea* was sandy soil, slight alkali and moderate soil water content. The terraces and the foot slope are the ideal areas for ex-situ conservation. At the same time, the effects of soil fertility and soil physical properties should be considered to improve the survival rate of *Cupressus Gigantea* planting.

**Keywords:** *Cupressus Gigantea* root architecture; Effect factor; Principal component analysis; Relativity

收稿日期: 2017-06-16

基金项目: 西藏高原林业生态工程重点实验室资助课题; 国家自然科学基金(31330015)

作者简介: 边喜丽(1989-), 女, 硕士, 河北保定人, 主要从事野生动植物保护与利用研究. E-mail: 270640041@qq.com

通讯作者: 杨小林. E-mail: 382965037@qq.com

## 1 引言

巨柏又名雅鲁藏布江柏木,隶属柏科(Cupressaceae)柏木属(*Cupressus* L.)植物,为国家一级保护物种<sup>[1]</sup>,是西藏特有珍稀物种<sup>[2,3]</sup>,也是西藏裸子植物门柏科的典型子遗植物之一.该种群分布范围较窄,分布仅在雅鲁藏布江河谷两岸<sup>[4]</sup>,划分为朗县、米林、林芝3个居群<sup>[5]</sup>,以朗县居种群数量最多,分布海拔集中在2900~3400 m之间.由于雅鲁藏布江河谷两岸环境不断的破坏,巨柏种群的生存环境不断恶化<sup>[6]</sup>,群数量逐渐减少,被列入了中国物种红色名录,处于濒危状态<sup>[7]</sup>.

目前对巨柏的生物学特征性<sup>[5]</sup>、种群和群落生态学<sup>[6]</sup>、濒危机制和苗木培育<sup>[5,8]</sup>等方面开展了初步研究,对巨柏的根系结构特征方面研究还未涉及.根系结构是指同一根系中不同类型的根在生长介质中的空间造型和分布<sup>[9]</sup>.研究表明,各类根的根系数量、根长、根重和吸收面积等指标在一定程度上能反映根结构<sup>[10,11]</sup>.

根系结构特征与土壤的理化性质及植物养分有着密切的联系,本试验选择朗县巨柏为调查对象,通过对不同地类<sup>[12]</sup>的根系进行野外采集,以有机质、速效磷、碱解氮、土壤厚度等9个环境因子为出发点,探究巨柏根系结构特征,借助相关性分析和主成分分析方法,综合分析影响巨柏根系结构的主导因子和相互关系,判定不同地类条件下适宜巨柏根系分布的土层范围,为巨柏的苗木培育、人工种植、就地保护和迁地保护提供理论指导.

## 2 材料与方法

### 2.1 研究区域概况

本研究地点设在雅鲁藏布江沿岸朗县扎西塘村附近(28°59' N, 93°16' E),海拔3 036 m,属高山峡谷地貌类型,母岩多以花岗石、千枚岩为主.该地属于青藏高原温带半干旱半湿润季风气候,年平均气温11.0℃,年平均最高气温19.1℃,年平均最低气温5.3℃,极端最低温-15.3℃,年降水量不足500 mm,雨季集中于5~9月,冬春季为旱季;蒸发量在1 201~2 682 mm,相对湿度65%以下;主要植被有高山栎(*Quercus semicarpifolia*)灌丛、高山松(*Pinus densata*)林、云杉(*Picea asperata*)林、巨柏纯林与砂生槐(*Sophoram moorcroftiana*)灌丛.

受河谷气候、风沙和水分条件限制,水线岸边

和岩石裸露区植被稀少,覆盖率只有5%,主要有砂生槐、二色锦鸡儿(*Caragana bicolor*)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*);坡麓地植被覆盖率约45%,主要有卷柏(*Selaginella tamariscina*)、猪殃殃(*Galium aparine*)、灰叶香青(*Anaphalis spodiophylla*);河岸阶地灌木层主要有砂生槐、二色锦鸡儿、鬼箭锦鸡儿、小叶栒子(*Cotoneaster microphyllus*)、西南野丁香(*Leptodermis purdomii*)、绢毛蔷薇(*Rosa Serieea*)、美花山蚂蝗(*Desmodium elegans*)、楔叶绣线菊(*Spiraea canescens*)、毛叶绣线菊(*Spiraea molliifolia*)、小叶香茶菜(*Rabdosia provifolia*)等,盖度约25%.草本层主要有川西千里光(*Senecio solidagineus*)、粘毛鼠尾草(*Salvia roborowskii*)、臭蒿(*Artemisia hedinii*)、管花鹿药(*Smilacina henryi*)、高原香薷(*Elsholtzia feddei*)、猪殃殃、尼泊尔酸模(*Rumex nepalensis*)、翅柄蓼(*Polygonum sinomontanum*)、茎直黄芪(*Astragalus strietus*)、灰叶香青、丛茎滇紫草(*Onosma waddellii*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)等<sup>[13]</sup>,盖度约30%.

### 2.2 方法

2.2.1 实验设计 根据巨柏天然分布生长特点,结合分布区域地形地貌、土壤、植被、立地等特点,将巨柏分布区划分为河岸阶地、水线岸边、坡麓地、岩石裸露区四个不同的地类(见图1、表1).

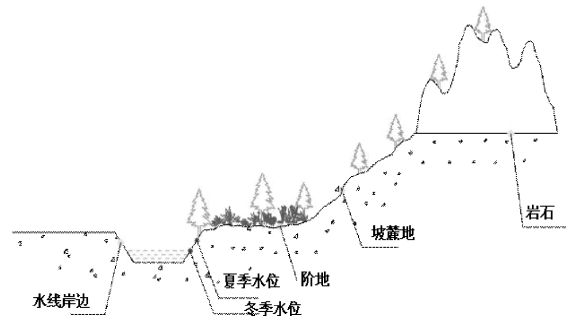


图1 巨柏不同地类示意图

Fig. 1 Sketch map of *Cupressus gigantea* in different land types

本试验于2015年11月开展.通过调查研究,水线岸边和岩石裸露区两种地类岩石裸露,粗骨性强,根系外露.故本文选择河岸阶地与坡麓地的土壤进行采集和试验分析.确定50株不同径级(0~5 cm、5~10 cm、10~30 cm、30~50 cm、50 cm以上)的样本中各选取5株标准木,共获得10株(见表2),每棵树以树干为中心,以150~200 cm为半径划圆开挖宽50 cm,深60 cm的壕沟(巨柏天然分布区土壤发育

不完全、土层薄,根系分布较浅,无直立根),进行根系调查.同时利用环刀分层采集 0~60 cm(0~20

cm、20~40 cm、40~60 cm)深原状土,每个土层 3 个重复,装进自封袋带回实验室进行处理.

表 1 不同地类条件下地类特征

Tab. 1 Geographical features in different land types

编号	地类	海拔(m)	地类特征
1	水线岸边	<3000	夏季水位线及以上河岸位置,水源丰富,水流冲蚀堆积块石,石块大部分都大于 10 cm,受水流影响,土壤稀少、细腻.植被稀少,覆盖率只有 5%.
2	河岸阶地	3000~3040	土壤结构良好,主要以轻壤、沙壤为主,疏松,质地轻,容重小,以毛管孔隙为主,通气良好,水气热比较协调,砂石堆积,砾石成层,石砾含量在 10%~40%.地势平坦,植被较丰富,盖度约 30%.
3	坡麓地	>3040	峡谷两侧地形较陡,坡度一般在 30°~50°之间,母质坡积物为主,其次少部分沉积物;0~2 cm 左右土壤颜色除上层暗灰色外,浅棕色,质地砂壤,底部多碎石角砾,植被盖度 45%.
4	岩石裸露区	>3040	母岩花岗岩、千枚岩等为主,块状岩石堆积,岩缝明显,风蚀作用,少许土壤分布石块裂缝中,植被稀少,覆盖率只有 5%.

表 2 两种地类条件下 10 株标准木特征

Tab. 2 10 characteristics of the standard wood in two land types

编号 Plot No.	地类 Site type	地径 Ground diameter(cm)	胸径 DBH (cm)	树高 Tree height(m)	海拔 altitude (m)
1	河岸阶地	39.00	24.00	7.50	3022
2	河岸阶地	15.80	11.50	4.00	3033
3	河岸阶地	87.85	71.00	10.50	3035
4	河岸阶地	9.45	—	0.34	3004
5	河岸阶地	4.18	—	0.20	3036
6	坡麓地	15.91	12.00	5.00	3084
7	坡麓地	73.00	57.40	18.00	3052
8	坡麓地	24.50	19.40	12.50	3064
9	坡麓地	5.00	4.46	3.00	3064
10	坡麓地	6.00	3.50	2.20	3048

经过土样预处理后,参照鲍士旦主编的土壤化学分析<sup>[14]</sup>.采用比重瓶法测量土壤比重,环刀法测量土壤容重和总孔隙度,烘干法测量土壤自然含水量,NH<sub>4</sub>OAc 浸提,火焰光度法测量土壤速效钾,酸度剂测定法测量土壤 pH 值,重铬酸钾容量法测量土壤有机质,化学浸提法测量土壤速效磷,碱解氮扩散法测量土壤碱解氮.

表 3 阶地根系结构影响因子相关性分析

Tab. 3 Correlation Analysis of influencing factors in terraces

影响因子	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>
X <sub>0</sub>	1									
X <sub>1</sub>	-0.413	1								
X <sub>2</sub>	-0.044	0.121	1							
X <sub>3</sub>	0.276	-0.440	-0.879 **	1						
X <sub>4</sub>	0.256	-0.398	-0.570	0.669 *	1					
X <sub>5</sub>	-0.621	0.644	-0.003	-0.209	-0.668 *	1				
X <sub>6</sub>	0.538	-0.503	-0.084	0.150	0.616	-0.930 **	1			
X <sub>7</sub>	-0.201	-0.490	-0.542	0.634	0.274	0.160	-0.219	1		
X <sub>8</sub>	0.106	0.086	0.122	-0.199	0.145	-0.440	0.609	-0.620	1	
X <sub>9</sub>	0.484	-0.532	0.117	0.017	0.515	-0.927 **	0.956 **	-0.294	0.623	1

\*\* : Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); \* : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

2.2.2 影响因子选择和调查 共选取了 9 个指标分析巨柏根系结构分布影响因子:土壤比重(X<sub>1</sub>)、土壤容重(X<sub>2</sub>)、土壤总孔隙度(X<sub>3</sub>)、速效钾(X<sub>4</sub>)、PH(X<sub>5</sub>)、有机质(X<sub>6</sub>)、自然含水量(X<sub>7</sub>)、速效磷(X<sub>8</sub>)、碱解氮(X<sub>9</sub>);根系结构用单位面积上根系数量表示,即根系密度(X<sub>0</sub>)=根系数量/面积.

2.2.3 数据处理和分析 采用 Excel 2013 进行数据整理,SPSS 21.0 软件对数据进行标准化赋值,并进行定性和定量分析,采用 LSD 法做显著性检验,确定影响根系结构的因子之间的相互关系和主导因子<sup>[15]</sup>.

### 3 结果与讨论

#### 3.1 根系结构特征的影响因子相关性分析<sup>[16]</sup>

根系结构特征的影响因子分为 2 类:土壤的物理性质(土壤比重、土壤容重、土壤总孔隙度、土壤自然含水量);土壤的化学性质(土壤 pH 值、有机质、速效钾、速效磷、碱解氮),并对各因子与根系结构进行相关性分析(表 3、表 4).

表 4 坡麓地根系结构影响因子相关性分析  
Tab. 4 Correlation Analysis of influencing factors in sloping fields

影响因子	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>
X <sub>0</sub>	1									
X <sub>1</sub>	-0.276	1								
X <sub>2</sub>	0.337	-0.647	1							
X <sub>3</sub>	0.168	-0.423	0.657	1						
X <sub>4</sub>	0.417	-0.12	0.122	0.138	1					
X <sub>5</sub>	-0.045	0.52	-0.109	0.053	0.323	1				
X <sub>6</sub>	-0.154	-0.517	0.488	0.067	-0.557	-0.585	1			
X <sub>7</sub>	-0.121	0.108	-0.283	0.338	-0.076	-0.328	-0.117	1		
X <sub>8</sub>	0.403	-0.651	0.649	0.328	-0.186	-0.514	0.798 *	0.005	1	
X <sub>9</sub>	0.032	-0.717 *	0.341	0.101	-0.249	-0.849 **	0.777 *	0.249	0.743 *	1

\* \*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); \*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

由表 3、表 4 可知,河岸阶地与坡麓地根系结构与各影响因子之间存在正负相关性。河岸阶地根系结构与土壤总孔隙度、速效磷、有机质、速效钾、碱解氮呈正相关,与土壤比重、容重、pH 值、自然含水量呈负相关,并且相关性都不显著;坡麓地根系结构与土壤容重、土壤总孔隙度、速效钾、速效磷、碱解氮呈正相关,与土壤比重、pH 值、有机质、自然含水量呈负相关,相关性也不显著。两种地类条件下略有不同,研究推断与干旱河谷气候、植被凋落物和坡积有关。

河岸阶地中土壤总孔隙度与土壤容重呈极显著负相关( $r = -0.879 **$ ),总孔隙度与速效钾呈显著正相关性( $r = 0.669 *$ ),说明阶地条件下孔隙度大有利于根系的生长;土壤 pH 值与速效钾呈显著负相关( $r = -0.668 *$ ),与有机质和碱解氮都呈极显著负相关性( $r = -0.930 **$ ),( $r = -0.927 **$ )说明巨柏根系不适合在碱性极强的条件下生长。

坡麓地碱解氮与土壤比重、pH 值呈显著负相关( $r = -0.717 *$ )和极显著负相关性( $r = -0.849 **$ ),土壤比重与总孔隙度呈负相关,同时说明孔隙度大、微碱适合巨柏根系的分布。

河岸阶地有机质与碱解氮呈极显著正相关( $r = 0.956 **$ ),坡麓地有机质与速效磷、碱解氮呈显著正相关( $r = 0.798 *$ ;  $r = 0.777 *$ ),速效磷与碱解氮呈显著正相关( $r = 0.743 *$ )。综合分析表明:河岸阶地、坡麓地环境因子中土壤肥力含量的提高,孔隙度大对根系分布具促进作用,而土壤 pH 值、土壤比重和容重等越大则不利于对根系的分布。

鉴于生长介质的影响,水线岸边巨柏根系沿砾石缝隙向江面延伸寻找水源,岩石裸露区巨柏根系沿岩石裂缝生长,多外露;河岸阶地巨柏根系对水分的需求相关性不大,甚至出现相反趋势,可能是

长期受干旱河谷气候影响,表现出较强的抗旱性;坡麓地受植被凋落物和坡积的影响,土质疏松有利于根系的生长。

### 3.2 根系结构特征的影响因子主成分分析

通过对根系结构影响因子的相关性分析可知,各影响因子之间存在一定的差异性,因此在不损失原有信息的基础上,用主成分分析方法,判断影响根系结构的主导因子。

3.2.1 阶地影响因子的主成分分析 河岸阶地提炼出了 3 个主成分,累计方差贡献率达 91.791% (见表 5),特征值分别为 4.115、3.026 和 1.120,前 3 个主成分信息损失占 8.209%,达统计分析要求<sup>[17]</sup>。在第 I 主分量中,土壤 pH 值的负荷量为 -0.230,土壤有机质为 0.229,土壤碱解氮为 0.219,说明土壤有机质、土壤碱解氮决定土壤肥力的供给量,促进根系的生长和分布,而过高的 pH 值对根系的分布造成不利影响;第 II 主分量中,土壤容重(0.259)和土壤速效磷(0.208)对根系的分布较为有利,而土壤总孔隙度(-0.27),自然含水量(-0.296)越高不利于根系的分布;第 III 主分量中,土壤比重(0.563),土壤容重(-0.462),土壤总孔隙度(0.206),土壤速效钾(0.226),土壤自然含水量(-0.281),土壤速效磷(0.399)。

综合分析河岸阶地巨柏根系结构的环境因子,推断影响根系分布的首要因子是 pH 值,其次是土壤肥力和土壤的紧实度,最后是自然含水量,且过高的水分不利于根系的生长。

3.2.2 坡地影响因子的主成分分析 通过分析坡麓地根系结构的影响因子,前 3 个主成分(见表 5)的贡献率分别为 46.586%、20.983% 和 15.15%,累计贡献率达 82.719%。其中,第 I 主分量中土壤有机质(0.206)、土壤速效磷(0.214)、土壤碱解氮

(0.215)含量因子负荷量较大;第Ⅱ主成分中土壤容重(0.354)、土壤速效钾(0.348)、土壤 pH 值(0.259)负荷系数较大;第Ⅲ主成分中土壤总孔隙度(0.364)、土壤自然含水量(0.689)最大. 研究结果表明,坡麓地影响根系结构分布的主要因子为土壤肥力和土壤容重,其次土壤自然含水量.

表 5 影响因子的主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis result of influence factor correlation matrix

因子	主成分					
	河岸阶地			坡麓地		
	I	II	III	I	II	III
土壤比重	-0.160	0.106	0.563	0.194	0.175	0.002
土壤容重	-0.064	0.259	-0.462	0.157	0.354	-0.127
总孔隙度	0.102	-0.277	0.206	0.087	0.348	0.364
速效钾	0.190	-0.130	0.226	-0.066	0.348	0.139
pH 值	-0.230	-0.063	0.144	-0.173	0.259	-0.156
有机质	0.229	0.088	0.024	0.206	-0.133	-0.233
自然含水量	0.002	-0.296	-0.281	0.018	-0.151	0.689
速效磷	0.116	0.208	0.399	0.214	0.048	-0.064
碱解氮	0.219	0.029	-0.098	0.215	-0.148	0.093
特征值	4.115	3.026	1.120	4.193	1.888	1.363
贡献率%	45.723	33.622	12.446	46.586	20.983	15.150
累积贡献率%	45.723	79.345	91.791	46.586	67.569	82.719

综合分析藏东南巨柏四种地类的环境,探究影响根系生长的主要环境因子,可以推断,土壤肥沃,微碱含量,自然含水量适中,对巨柏根系的分布较为有利,也是巨柏生存的适生环境,在巨柏进行迁地保护,首先根据移栽运输条件,需要确定断根范围,一般为 4m 的直径;在栽植过程中,选择与天然分布区环境条件相似的区域,并搭配不同比例的农田土、腐殖土和沙土,使土壤呈微碱性、水分含量适中的环境.

#### 参考文献:

[1] 傅立国. 中国珍稀植物濒危植物的福音—国家重点保护野生植物名录公布在即[J]. 植物杂志, 1995,

- 3: 2.
- [2] 郑万钧, 傅立国, 诚静容. 中国裸子植物[J]. 1975, 4: 58.
- [3] 中科院中国植物志编集委员会. 中国植物志[M]. 7 版. 北京: 科学出版社, 1978.
- [4] 王培培, 彭培好, 毛岭峰, 等. 西藏巨柏种群天然更新与群落特征研究[J]. 四川林业科技, 2010, 1: 77.
- [5] 郑维列, 薛会英, 罗大庆, 等. 巨柏种群的生态地理分布与群落学特征[J]. 林业科学, 2007, 43: 8.
- [6] 张国强, 罗大庆, 王景升. 西藏濒危植物巨柏的生物学与生态学特性研究[J]. 林业科技, 2006, 31: 1.
- [7] 汪松, 解众. 中国物种红色名录(第 1 卷: 红色名录)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 305.
- [8] 潘刚. 西藏雅鲁藏布江柏木生长特征研究[J]. 林业实用技术, 2005, 2: 4.
- [9] 陆景陵. 植物营养学: 上册[M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 23.
- [10] Lynch J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant Physiology, 1995, 109: 7.
- [11] 廖红. 菜豆磷效率的生理、形态构型和遗传特性[D]. 广州: 华南农业大学, 1998: 62.
- [12] 韩烈保, 王琼, 王晓蓓, 等. 不同立地条件下荆条根系分布规律[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 2: 231.
- [13] 仁青曲珍, 郑维列, 卢杰. 西藏巨柏种群不同龄级立木的点格局分析[J]. 农业开发与装备, 2014, 2: 85.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25.
- [15] Ran Erel. Soil type determines how root and rhizosphere traits relate to phosphorus acquisition in field-grown maize genotypes[J]. Plant soil, 2016, 349: 89.
- [16] 袁志发. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 188.
- [17] 郭其强, 汪书丽, 任德智, 等. 西藏濒危植物桃儿七群落结构及其环境因子[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2012, 3: 58.

#### 引用本文格式:

中文: 边喜丽, 杨小林, 李永霞, 等. 藏东南巨柏根系结构特征与环境因子研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2018, 55: 848.

英文: Bian X L, Yang X L, Li Y X, et al. Analysis of effect factors on the root architecture of *Cupressus Gigantea* (Southeast Tibet) [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2018, 55: 848.