

# 地震干扰后恢复群落的数量分类与排序

王梦君<sup>1</sup>, 李俊清<sup>2\*</sup>, 张玉波<sup>2</sup>, 刘万德<sup>3</sup>

(1. 国家林业局 昆明勘察设计院, 云南 昆明 650216; 2. 北京林业大学, 北京 100083; 3. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

**摘要:**根据对四川王朗自然保护区地震干扰后恢复群落的野外调查数据,运用二元指示种分析(TWINSPAN)和除趋势对应分析(DCA)对该地区恢复群落进行了数量分类与排序。结果显示,可将所调查的植物群落划分为3种群落类型:重度干扰群落(群落E)、中度干扰群落(群落T)和轻度干扰群落(群落F)。排序结果也得到了相同的结论,并显示3种群落分布与一定的环境因子密切相关,群落E与岩石裸露度呈正相关,而与土壤厚度、土壤水分、苔藓盖度及盖度等环境因子呈负相关,群落F则与岩石裸露度呈负相关,而与土壤厚度、土壤水分、苔藓盖度及盖度等环境因子呈正相关。

**关键词:**数量分类;排序;环境因子;地震

**中图分类号:**S718.541      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)04-0013-06

Quantitative Classification and Ordination of Restoration Community After the Earthquake

WANG Meng-jun<sup>1</sup>, LI Jun-qing<sup>2\*</sup>, ZHANG Yu-bo<sup>2</sup>, LIU Wan-de<sup>3</sup>

(1. Kunming Survey & Design Institute, State Forestry Administration, Kunming, Yunnan 650216, China; 2. Beijing Forestry University, Beijing, 100083 China; 3. Research Institute of Resource Insect, the Chinese Academy of Forestry, Kunming, Yunnan 650224 China)

**Abstract:** The plots were classified into three communities by the methods of TWINSPAN and DCA, they are the community recovered from intensive earthquake disturbance (Community E), intermediate earthquake disturbance (Community T), and slightly disturbed forest community (Community F). The first axis of DCA indicated clearly the tendency from intensive to slight disturbance caused by earthquake. The results of ordination by DCA also showed the close relationship between plant communities and environmental factors. The community E was positively related to the coverage of exposed rock surface, and negatively related to the moss cover, while the community F was negatively related to the coverage of exposed rock surface, and positively related to the moss cover.

**Key words:** quantitative classification; ordination; environmental factor; earthquake

植物群落分类是根据群落分布的间断性,将其分门别类。而群落分布的间断性,往往是由于环境因子的突然变化而引起的,所以分类的结果会在一定程度上反映群落类型的生态意义<sup>[1-2]</sup>。有学者运用数量分类中的排序方法进行演替的梯度分析,一般排序轴能反映群落恢复演替的梯度,这样群落演替的速度、方向以及演替干扰等都可以在排序图上反映出来<sup>[2,4-5]</sup>。而关于地震干扰后植被自然恢复群

落数量分类的文献却不多见。

四川省平武县王朗自然保护区处于断裂地层(龙门山地震带)结构之上,地层活跃,频繁的地震活动常常导致生态环境不同程度的破坏。在保护区内留下许多地震遗迹。发生在不同时空范围的干扰,影响着群落内生物有机体的所有水平<sup>[6]</sup>,对种群、群落和生态系统结构产生重要的作用<sup>[7]</sup>,并通过改变植物群落内的环境条件、物种组成和多样性等去改

变植物群落的结构和功能,影响其演替进程甚至改变演替方向<sup>[8-10]</sup>。地震干扰后,由于原有环境变化,产生了具有不同特征的群落类型或亚高山针叶林的不同演替阶段<sup>[11]</sup>。本文就是在四川王朗自然保护区地震遗迹进行全面和典型样方调查的基础上,用TWINSPAN分类和DCA排序方法分析了不同地震干扰程度下恢复群落的演替进程,旨在为进一步深入分析地震干扰后恢复群落的生物多样性和维持机制奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究地点设在位于四川省西北部平武县的王朗自然保护区,面积32 297 hm<sup>2</sup>,是我国最早建立的3个大熊猫自然保护区之一。该保护区地处青藏高原东缘,地势西北高、东南低,属深切割型山地,海拔跨度2 300~4 980 m,相对高差近2 700 m,从而造成复杂的地形和气候,以及丰富的生物多样性。气候上属于丹巴—松潘半湿润气候区,因受地理位置影响形成了暖温带、温带、寒温带、亚寒带和永冻带等不同的气候带谱。年均气温2.9℃,7月平均气温12.7℃,1月平均气温-6.1℃,年降水量862.5 mm。土壤分布与基岩及水热条件的垂直分布密切相关。海拔由低到高依次分布有山地棕壤(2 300~2 850 m),山地暗棕壤(2 600~3 500 m),亚高山草甸土(阳坡2 300~3 500 m),高山草甸土(3 500~4 000 m),高山流石滩荒漠土(4 000 m以上)。

亚高山寒性针叶林是该区植被的重要组成部分,也是分布最广的森林植被类型。主要地带性优势树种有松科(Pinaceae)的冷杉属(*Abies*),云杉属(*Picea*)、落叶松属(*Larix*)、松属(*Pinus*)以及柏科(Cupressaceae)的圆柏属(*Sabina*)中的树种,分布海拔2 300~3 600 m。不同地段,由不同的种属构成不同的群落类型,如海拔2 800 m的大窝凼以岷江冷杉(*Abies faxoniana*)纯林成片分布,竹根岔则以紫果云杉(*Picea purpurea*)纯林为多。在海拔稍高的地段则为冷杉(*Abies*)、云杉(*Picea*)与红杉(*Larix potaninii*)、方枝柏(*Sabina saltuaria*)等组成的小块混交林。在海拔2 600 m以下地段,冷、云杉遭砍伐后零星地分布于落叶阔叶林内,也分布有作为林下伴生和次生植被类型的灌木林<sup>[12]</sup>,主要组成有缺苞箭竹(*Fargesia denudata*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、天山(五裂)茶藨子(*Ribes meyeri*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)等。

1976年地震后至今,该区植被恢复以自然更新

为主。不同干扰程度下植被恢复状况存在显著差异。在干扰最为严重的地区,由于土壤流失严重,岩石覆盖率高,植被仅以少量草丛为主;在干扰相对较严重的地区则以灌丛为主,少量伴生有杨柳科(Salicaceae)的柳属(*Salix*)植物;在干扰较轻地区,主要由于土壤破坏较轻,植被恢复较好,部分地区已经恢复到接近地震前状态。

### 1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 调查地点选择四川省王朗自然保护区。在王朗自然保护区地震遗迹、地震遗迹与森林的过渡地带、受影响较小的森林中设置典型样方27个,样方面积为20 m×20 m,利用网格法将样方分为5 m×5 m的小样方,记录小样方中每一株木本物种的名称、高度、基径或胸径( $H \leq 1.3$  m测基径, $H > 1.3$  m测胸径),测定样方的坡度、土壤腐殖质层(A层)厚度、岩石裸露度、枯枝落叶层厚度、苔藓厚度、苔藓盖度等指标。同时随机收集0~10 cm的土壤,测定土壤水分并取同样数量样品带回实验室分析土壤化学成分。

土壤的全氮、全磷、全钾、有机质、pH值采用土壤测定的常规方法测定。用AquaSorp等温水分吸附曲线快速测定仪测量土壤水活性,得出土壤等温水分吸附曲线,从而分析土壤的吸水和保水能力。

1.2.2 数据分析 根据调查数据,统计调查样方中的木本植物的多度,建立样方—物种矩阵,进行双向指示种(TWINSPAN)分类,同时选取坡度、土壤厚度、土壤水分含量、土壤全N、全P、全K、土壤有机质及pH值、岩石裸露度、枯枝落叶层厚度、苔藓厚度、苔藓盖度等环境因子,建立样方—环境因子矩阵,选择除趋势对应分析(DCA)分析3种群落类型中木本植物的相对多度在不同生境中的分布和相关性及其与环境因子的关系。

采用SPSS13.0和PC-ORD5.0软件进行统计和分析,显著水平为 $p < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 恢复群落的数量分类与描述

TWINSPAN聚类将27个样方分成三大类(表1),分别代表着不同干扰程度的类型。不同干扰程度的群落组成及结构特征,生境特征都有差异,现简要描述如下:

2.1.1 I 重度干扰群落(群落E) 群落E出现在受到地震干扰最为严重的地震滑坡上,包括10个样方(表1),平均岩石裸露度在80%以上,土壤较瘠薄,有机质含量低,苔藓盖度和厚度都较低。占优势

的木本植物以柳属的皂柳(*Salix wallichiana*)为主,在该群落中的密度为508株·hm<sup>-2</sup>(表2),林下伴生种有柳叶忍冬(*Lonicera lanceolata*)、窄叶鲜卑花(*Sibraea angustata*)、长芽绣线菊(*Spiraea longigemmis*)等。群落平均胸径为3.87 cm(0.2~26 cm),胸径小于5 cm的个体多度占群落总多度的82.6%;平均高度为1.1 m(最高为11.0 m),树高

小于5 m的个体多度占群落总多度的97.7%,大于10 m的树木只有1株。林下株数最多的草本为接骨草(*Sambucus chinensis*,525株,平均高63.2 cm,相对盖度38.2%)、柳兰(*Epilobium angustifolium*,151株,平均高32.3 cm,相对盖度4.4%)及香青(*Anaphalis sinica*,98株,平均高9 cm,相对盖度5%)等。

表1 地震干扰后恢复群落 TWINSPAN 分类结果

Table1 Classification of restoration communities after the earthquake by using TWINSPAN

分组	群落代号	样方	地震干扰强度
1	群落 E	Plot1, Plot2, Plot3, Plot4, Plot5, Plot6, Plot7, Plot8, Plot9, Plot10	重
2	群落 T	Plot11, Plot12, Plot13, Plot14, Plot15, Plot16, Plot17, Plot18, Plot19	中
3	群落 F	Plot20, Plot21, Plot22, Plot23, Plot24, Plot25, Plot26, Plot27	轻

2.1.2 II 中度干扰群落(群落 T) 群落 T 出现在地震滑坡到森林的过渡地带,包括9个样方(表1),平均岩石裸露度为26%,土壤厚度和枯枝落叶层厚度等都有所增加。过渡地带有岷江冷杉、紫果云杉等乔木树种,岷江冷杉和紫果云杉的密度分别为92株·hm<sup>-2</sup>和58株·hm<sup>-2</sup>(表2),还有部分阔叶树种,如糙皮桦(*Betula utilis*)、皂柳等,林下的木本植物有柳叶忍冬、华西蔷薇(*Rosa moyesii*)、小叶忍冬(*Lonicera microphylla*)等。另外,该群落中出现了大熊猫的主食竹:缺苞箭竹,其密度为41.85株·hm<sup>-2</sup>,平均高度1.85 m(表2)。群落平均胸径为4.8 cm(0.1~82 cm),胸径小于5 cm的个体多度占群落总多度的79.7%;平均高度为1.9 m(最高为25.0 m),树高小于5 m的个体多度占群落总多度的96.5%,大于10 m的树木有20株。林下株数最多的草本为驴蹄草(*Caltha palustris*,145株,平均高10 cm,相对盖度1.1%)、芹叶芥(*Smelowskia calycina*,109株,平均高21.7 cm,相对盖度1.0%)及珠芽蓼(*Polygonum viviparum*,97株,平均高

8.8 cm,相对盖度6.6%)等。

2.1.3 III 轻度干扰群落(群落 F) 群落 F 出现在距离地震滑坡最远的地带,包括8个样方(表1),岩石裸露度较低,仅为5.2%,土层较厚,苔藓厚度为5.3 cm,盖度达到52.9%。该群落中乔木以岷江冷杉、紫果云杉为主,岷江冷杉和紫果云杉的密度分别为416株·hm<sup>-2</sup>和161株·hm<sup>-2</sup>,林下灌木主要有小叶忍冬、柳叶忍冬、红花蔷薇等,林下大熊猫主食竹:缺苞箭竹较多,其密度为72.98株·hm<sup>-2</sup>,平均高度为2.61 m(表2)。群落平均胸径为8.45 cm(0.1~96 cm),胸径小于5 cm的个体多度占群落总多度的69.4%;平均高度为4.2 m(最高为30.0 m),树高小于5 m的个体多度占群落总多度的65.2%,大于10 m的树木只有84株。林下株数最多的草本为芹叶芥(189株,平均高19.4 cm,相对盖度20.1%)、水蕨(*Ceratopteris thalictroides*,85株,平均高19.3 cm,相对盖度8.1%)及荨麻(*Urtica fissa*,72株,平均高13.2 cm,相对盖度7.4%)等。

表2 主要物种数量特征

Table 2 Characteristics of the main species in different communities

类型	皂柳		岷江冷杉		紫果云杉		糙皮桦		缺苞箭竹		
	胸径 /cm	密度 (株·hm <sup>-2</sup> )	密度 (株·hm <sup>-2</sup> )	盖度 /%	高度 /m						
群落 E	最小值	1.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	最大值	5.30	508.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	平均值	2.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	标准误	0.17	—	—	—	—	—	—	—	—	—
群落 T	最小值	1.50	2.00	—	1.50	—	1.40	—	2.0	5.0	0.1
	最大值	6.00	250.0	82.00	92.0	14.20	58.0	20.00	68.0	80.0	40.0
	平均值	2.28	—	36.73	—	6.67	—	9.25	—	41.8	15.6
	标准误	0.32	—	7.16	—	1.58	—	1.38	—	7.0	0.1
群落 F	最小值	—	—	1.40	—	2.30	—	1.00	—	5.0	0.7
	最大值	—	—	96.00	416.0	80.00	161.0	20.00	45.0	292.0	75.0
	平均值	—	—	22.14	—	30.08	—	6.45	—	73.0	2.6
	标准误	—	—	2.24	—	14.81	—	0.57	—	17.2	0.1

## 2.2 群落的排序分析

DCA 前两轴累积贡献率在 70% 以上,事物的基本面貌就可以得到反映,本文中 DCA 前两轴累积贡献率达到了 90.93%,因此,以 DCA 的前两轴为坐标轴做群落排序值的散点图(图 1),然后利用 TWINSPAN 分类结果划分排序空间,可以看出,DCA 中 3 种群落类型的界限均较明显,各有自己的分布中心和范围,从左到右分别为受地震干扰严重的群落 E,中度地震干扰的群落 T 和受地震干扰很小的群落 F,第一轴从左到右很好的反应了地震干扰由重到轻的干扰程度,3 种群落类型的分布在一定程度上反映了受到不同程度的干扰后恢复群落的演替规律。

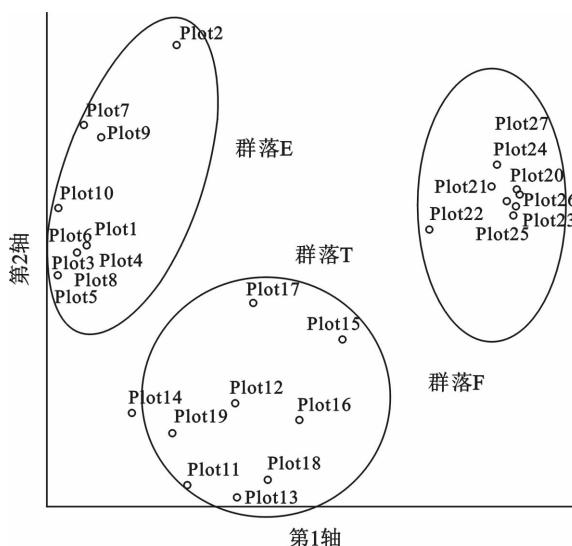


图 1 地震干扰后恢复群落的排序

Fig. 1 DCA ordination graph of communities which disturbed by earthquake

## 2.3 环境因子分析

土壤 A 层厚度、坡度、岩石裸露度等环境因子的分析结果表明,3 种群落的土壤 A 层厚度存在显著差异,受地震干扰严重的滑坡上土层最薄,顺序为群落

E<群落 T<群落 F( $p<0.05$ );受地震影响较大的群落 E 的土壤水分、全氮、有机质的平均值都显著低于过渡地带的群落 T 以及森林群落 F( $p<0.05$ ),而群落 T 与群落 F 之间的差异不显著。3 种群落类型的全磷、全钾、pH 值之间不存在显著的差异。群落 E 的坡度显著高于另外 2 种群落,而群落 T 和群落 F 之间不存在显著差异;3 种群落的岩石裸露度之间存在显著的差异,群落 E 的岩石裸露度较高,群落 T 其次,群落 F 则分布在岩石裸露度较低的地区。群落 E 的枯枝落叶层厚度显著低于另外 2 种群落类型,而群落 T 和群落 F 之间没有显著差异;3 种群落的苔藓厚度和盖度之间存在显著的差异,其顺序为群落 E<群落 T<群落 F( $p<0.05$ ,表 3)。

土壤水分特征曲线是土壤水分含量与土壤水吸力的关系曲线,利用此关系曲线可以进行土壤水吸力和含水率之间的换算,间接地反映土壤孔隙大小的分布,分析不同质地土壤的持水性和土壤水分的有效性等。土壤水分活性吸湿和脱湿全过程表明,同一水分活性下,土壤含水量大小顺序为群落 F>群落 T>群落 E;相同含水量下,土壤水分活性的大小顺序为群落 E>群落 T>群落 F,即土壤的水分有效性顺序为群落 F>群落 T>群落 E。

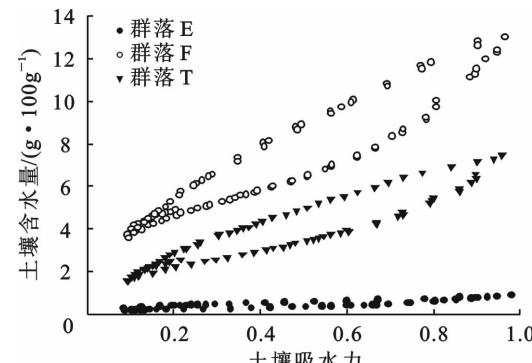


图 2 土壤等温水分吸附曲线

Fig. 2 Curves of isothermal adsorption of soil on water

表 3 不同恢复群落环境因子特征

Table 3 Characteristics of environmental factors at different restoration communities (Mean±SE)

环境因子	群落 E	群落 T	群落 F
土壤 A 层厚度/cm	0.845±0.177 <sup>a</sup>	4.310±0.746 <sup>b</sup>	9.523±1.356 <sup>c</sup>
土壤水分/%	2.548±0.177 <sup>a</sup>	18.788±1.614 <sup>b</sup>	23.493±2.180 <sup>b</sup>
土壤全氮含量/%	0.440±0.127 <sup>a</sup>	0.947±0.140 <sup>b</sup>	0.995±0.138 <sup>b</sup>
土壤全磷含量/%	0.100±0.007 <sup>a</sup>	0.115±0.008 <sup>a</sup>	0.122±0.011 <sup>a</sup>
土壤全钾含量/%	0.495±0.071 <sup>a</sup>	0.556±0.066 <sup>a</sup>	0.692±0.0573 <sup>a</sup>
土壤有机质含量/%	7.248±1.244 <sup>a</sup>	27.074±3.837 <sup>b</sup>	26.791±4.063 <sup>b</sup>
pH 值	7.089±0.047 <sup>a</sup>	7.142±0.125 <sup>a</sup>	7.296±0.139 <sup>a</sup>
坡度	22.030±2.839 <sup>a</sup>	16.436±2.368 <sup>b</sup>	15.793±2.834 <sup>b</sup>
岩石裸露度/%	81.186±3.025 <sup>a</sup>	25.909±3.235 <sup>b</sup>	5.247±2.135 <sup>c</sup>
枯枝落叶层厚度/cm	0.349±0.088 <sup>a</sup>	1.706±0.455 <sup>b</sup>	1.738±0.208 <sup>b</sup>
苔藓厚度/cm	0.886±0.119 <sup>a</sup>	2.736±0.536 <sup>b</sup>	5.322±0.626 <sup>b</sup>
苔藓盖度/%	3.548±0.958 <sup>a</sup>	21.884±4.203 <sup>b</sup>	52.901±7.419 <sup>c</sup>

注:表中不同字母 a, b, c 代表具有显著性差异( $p<0.05$ )。

## 2.4 群落与环境的关系

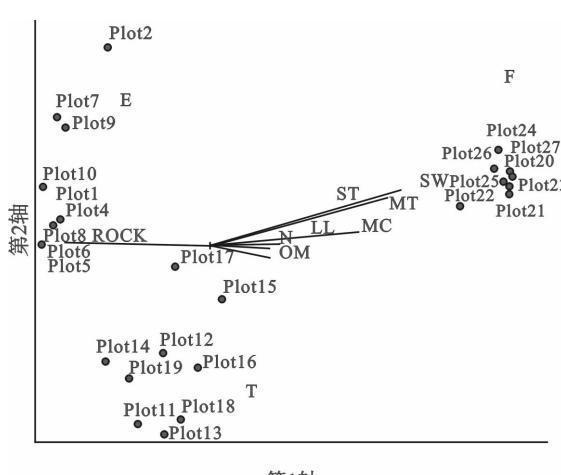
DCA 排序轴与环境因子的相关分析表明,DCA 第一轴与土壤 A 层厚度、土壤水分、土壤全 N 含量、土壤有机质含量、枯枝落叶层厚度、苔藓盖度、苔藓盖度等环境因子呈极显著正相关( $p<0.01$ ),DCA 第一轴与岩石裸露度极显著负相关( $p<0.01$ ),DCA 第一轴与土壤全磷含量显著正相关( $p<0.05$ ),DCA 第二轴与坡度显著负相关( $p<0.05$ ),DCA 第三轴与土壤 A 层厚度、苔藓厚度显著正相关( $p<0.05$ )(表 4)。图 3 较好的反映了植物群落与环境因子之间的相互关系。地震干扰严重的群落 E 的分布与岩石裸露度呈正相关,而与土壤 A 层厚

表 4 环境因子与 DCA 排序轴的相关性分析

Table 4 Pearson correlation between Axes of DCA analysis and environmental factors

环境因子	DCA 排序轴		
	第一轴	第二轴	第三轴
土壤 A 层厚度	0.759**	0.289	0.423*
土壤水分	0.947**	0.371	0.388
土壤全氮含量	0.533**	-0.085	0.176
土壤全磷含量	0.417*	0.125	0.337
土壤全钾含量	0.206	-0.232	0.055
土壤有机质含量	0.536**	-0.167	0.240
pH 值	0.302	0.093	-0.012
坡度	0.342	-0.383*	0.013
岩石裸露度	-0.818**	0.079	-0.062
枯枝落叶层厚度	0.574**	0.069	0.133
苔藓厚度	0.911**	0.344	0.406*
苔藓盖度	0.834**	0.188	0.241

\* 为  $p<0.05$ , \*\* 为  $p<0.01$



ROCK: 岩石裸露度; LL: 枯枝落叶层厚度; ST: 土壤 A 层厚度; SW: 土壤含水量; MT: 苔藓厚度; MC: 苔藓盖度; OM: 土壤有机质; N: 土壤全氮含量; P: 土壤全磷含量; K: 土壤全钾含量; pH: 土壤 pH 值; SLOP: 坡度。部分环境因子在图中未显示。

图 3 地震干扰后恢复群落与环境因子的关系

Fig. 3 Relationships between environments and communities

which disturbed by earthquake

度、土壤水分、土壤全 N 含量、土壤有机质含量、枯枝落叶层厚度、苔藓盖度、苔藓盖度等环境因子负相关,而群落 F 恰恰相反,与岩石裸露度呈负相关,与土壤 A 层厚度、土壤水分、土壤全 N 含量、土壤有机质含量、枯枝落叶层厚度、苔藓盖度、苔藓盖度等环境因子呈正相关。

## 3 结论与讨论

采用 TWINSPLAN 方法对王朗自然保护区地震干扰的植物群落进行了分类,按照受到地震干扰重、中、轻 3 种程度划分为 3 种群落类型。该结果与野外群落的实际情况完全符合。DCA 排序结果与 TWINSPLAN 方法分类结果完全一致。

DCA 分析结果显示群落类型与环境因子之间存在较好的相关性。地震干扰严重的群落 E 与岩石裸露度呈正相关,而与土壤 A 层厚度、土壤水分、苔藓盖度及盖度等环境因子呈负相关,而群落 F 恰恰相反,与岩石裸露度呈负相关,与土壤 A 层厚度、土壤水分、苔藓盖度及盖度等环境因子呈正相关。

在王朗自然保护区,受到地震不同干扰程度的恢复群落的植物物种组成存在一定的差异。经过 30 余年的恢复,受地震干扰严重的滑坡上(群落 E),木本植物以柳属植物为主,其它的还有柳叶忍冬、窄叶鲜卑花、长芽绣线菊等物种。在滑坡与森林的过渡地带(群落 T),滑坡滚落的岩石导致树木的损伤甚至死亡,为喜阳的先锋树种(如皂柳、糙皮桦等)的入侵提供了条件,残余树种如岷江冷杉、方枝柏、紫果云杉等高大乔木的存在,也为林下灌木的恢复及幼苗的更新起到了庇护作用。在群落 T 中林下灌木除了柳叶忍冬之外,还有红花蔷薇、小叶忍冬等本地顶级群落类型中的灌木物种,另外岷江冷杉、紫果云杉等高大乔木的幼苗或幼树在林下的更新也较好,更值得一提的是已经有该地区大熊猫主食竹——缺苞箭竹的出现。受到地震滑坡影响最小的区域上群落类型则以岷江冷杉、紫果云杉、方枝柏等本地顶级群落类型中的主要物种组成,缺苞箭竹生长良好。不同地震干扰程度恢复群落的生境存在一定差异,其恢复状况与环境因子之间存在较好的相关性<sup>[13]</sup>。岩石裸露度直接反映了地震滑坡干扰的程度,一般来说,岩石裸露度高的区域,由于土壤浅薄,更容易造成该区域的干旱<sup>[14]</sup>,再加上土壤养分含量低,不利于苔藓<sup>[15-16]</sup>及草本、木本植物的生长<sup>[17]</sup>,在调查中发现苔藓主要生长在石头的背阴面或石缝中一些特殊的小生境中,草本和木本植物的先锋物种多生长于相对稳定,土壤不易流失的地方。而岩石裸露度低的森林中,林下地表覆盖了较多的

草本植物,土壤较厚,地表湿度较好,有利于苔藓大量生长及积累,其盖度和厚度较大,在王朗地区亚高山冷杉云杉混交林的林下苔藓蓄积量达到  $9.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,自然含水量  $13.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[15]</sup>。植物物种、苔藓、岩石裸露度、水分、土壤养分之间存在着密不可分的关系,环境是植物物种定居和生长的主要影响因子。因此地震干扰严重的群落 E 与岩石裸露度呈正相关,而与土壤 A 层厚度、土壤水分、苔藓盖度及盖度等环境因子呈负相关,而地震干扰小的群落 F 与土壤 A 层厚度、土壤水分、苔藓盖度及盖度等环境因子呈正相关。土壤养分含量和水分是影响地震干扰后群落恢复速度的主要因素。

## 参考文献:

- [1] BURKE A. Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountains, Namibia[J]. Journal of Vegetation Science, 2001, 12(1): 53-60.
- [2] 张金屯, 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 120-176.
- [3] GREIG-SMITH B P, AUSTIN M P, WHITMORE T C. The application of quantitative methods to vegetation survey III. A re-examination of rain forest data from Brunei[J]. Journal of Ecology, 1972, 60(2): 305-324.
- [4] 张金屯, 邱杨, 柴宝峰, 等. 吕梁山严村低中山区植物群落演替分析[J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(2): 34-39.  
ZHANG J T, QIU Y, CHAI B F, et al. Succession analysis of plant communities in Yancun low-middle hills of Lüliang Mountains[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2000, 9(2): 34-39. (in Chinese)
- [5] 闫明, 毕润成. 山西霍山植被分类及不同演替阶段群落物种多样性的比较分析[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(3): 56-62.  
YAN M, BI R C. Vegetation classification and comparative analysis of species diversity of community at different succession stages in Huoshan Mountain of Shanxi Province[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2009, 18(3): 56-62. (in Chinese)
- [6] GUARIGUATA M R, OSTERTAG R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 148(1): 185-206.
- [7] SLETVOLD N, RYDGREN K. Population dynamics in *Digitalis purpurea*: the interaction of disturbance and seed bank dynamics[J]. Journal of Ecology, 2007, 95(6): 1346-1359.
- [8] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs [J]. Science, 1978, 199(4335): 1302-1310.
- [9] SHIELS A B, WALKER L R. Bird perches increase forest seeds on Puerto Rican landslides[J]. Restoration Ecology, 2003, 11(4): 457-465.
- [10] PERES C A, JOS B, LAURANCE W F. Detecting anthropogenic disturbance in tropical forests[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2006, 21(5): 227-229.
- [11] 王梦君, 刘万德, 张玉波, 等. 地震干扰后恢复群落物种组成与生物量分配特征[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 1-6.  
WANG M J, LIU W D, ZHANG Y B, et al. Species composition and biomass allocation in restoration community after earthquake in Wanglang Nature Reserve [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(3): 1-6. (in Chinese)
- [12] RICE B, WESTOBY M. Species richness in vascular vegetation of the West Head, New South Wales[J]. Austral Ecology, 1983, 8(2): 163-168.
- [13] 邓磊, 张文辉, 何景峰, 等. 不同采伐强度对辽东栎幼苗更新的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(2): 160-166.  
DENG L, ZHANG W H, HE J F, et al. Effects of different cutting intensities on seedling regeneration of *Quercus liaotungensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(2): 160-166. (in Chinese)
- [14] SILVERTOWN J, DODD M E, GOWING D J G, et al. Hydrologically defined niches reveal a basis for species richness in plant communities[J]. Nature, 1999, 400(6739): 61-63.
- [15] 徐振峰, 胡庭兴, 张远彬. 川西亚高山几种天然林下苔藓层的持水特性[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 112-116.  
XU Z F, HU T X, ZHANG Y L. Water holding characteristics of bryophyte layer under natural forest in sub-alpine region of western Sichuan[J]. Resources and Environment in the Yangze Basin, 2008, 17(1): 112-116. (in Chinese)
- [16] 叶吉, 郝占庆, 姜萍. 长白山暗针叶林苔藓枯落物层的降雨截流过程[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2859-2862.  
YE J, HAO Z Q, JIANG P. Studies on rainfall holding process of the bryophyte and litter layer in coniferous forest of Changbai Mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2859-2862. (in Chinese)
- [17] WALKER L R, VELAZQUEZ E, SHIELS A B. Applying lessons from ecological succession to the restoration of landslides[J]. Plant Soil, 2009, 324(1-2): 157-168.