

## 坡面和坡向对遂渝铁路岩石边坡创面人工土壤植被恢复的影响

裴娟, 艾应伟, 刘浩, 张志卿, 曾丽霞

(四川大学 生命科学学院, 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 四川 成都 610064)

**摘要:** 针对采用客土喷播人工土壤进行植被恢复的铁路边坡, 对铁路边坡岩石创面人工土壤植被的盖度、高度、根深、根幅、地上生物量、地下生物量和多样性指数在不同坡位、坡向的空间变异性进行了观测研究。结果表明, 铁路边坡植被盖度在不同坡位之间存在明显差异, 表现为坡下(87%)>坡上(31%)>坡中(19%)。铁路边坡坡位对植被的盖度、高度、Pielou 均匀度指数有显著影响, 但对根深、根幅、地上生物量、地下生物量、Marglef 丰富度指数和 Simpson 多样性指数的影响不显著。铁路边坡坡向对植物群落的 Pielou 均匀度指数有显著影响, 表现为西坡>北坡>南坡>东坡, 但对 Simpson 多样性指数、Marglef 丰富度指数以及植被的盖度、高度、平均根深、根幅、地上生物量、地下生物量的影响均不显著。

**关键词:** 铁路边坡; 人工土壤; 植被恢复; 坡位; 坡向

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)02-0197-05

中图分类号: U417.1, Q948.11

## Effects of Slope Position and Aspect on Vegetation Restoration of Excavated Soil Surface on Suiyu Railway Rock Slope

PEI Juan, AI Ying-wei, LIU Hao, ZHANG Zhi-qing, ZENG Li-xia

(College of Life Sciences, Sichuan University, Key Laboratory of

Bio-resources and Eco-environment, Ministry of Education, Chengdu, Sichuan 610064, China)

**Abstract:** The spatial variability of vegetation coverage, height, root depth and breadth distribution, aboveground and belowground biomass, and biodiversity were measured on different slope position and exposure of excavated rock soil surface after vegetation restoration by spray seeding technique and incorporation with extra soil. The results showed that significant difference of vegetation coverage variability existed on different slope positions, in the same slope, the value rank as: down-slope(87%)> up-slope(31%)> mid-slope(19%) along the same slope. Slope position has significant effects on vegetation cover, height and Pielou evenness of plant communities, the effects on root depth and breadth, aboveground and underground biomass, Marglef species richness and Simpson abundance were insignificant. Slope aspect also has significant effects on Pielou evenness index of plant communities, the rank of spatial variability is western-slope>northern-slope>southern-slope>eastern-slope, no significant effects on vegetation cover, height, root depth and breadth, aboveground and belowground biomass, Simpson diversity and Marglef abundance were detected.

**Keywords:** railway slope; artificial soil; vegetation restoration; slope position; slope aspect

随着我国经济建设的快速发展,在大规模的基本建设中形成了许多裸露的岩石边坡。边坡的开挖,不可避免地要对周边生态环境产生干扰影响,主要表现为改变地形地貌,扰乱土壤结构,破坏植物群落,降低生物多样性,影响局地气候,增加水土流失危险性等<sup>[1-4]</sup>。在维护边坡稳定与边坡生态景观的恢复实践中,以植被为主体的坡面生态工程逐渐发展起来,植

被越来越成为控制侵蚀和稳定边坡的一个有效措施<sup>[5-6]</sup>。植被恢复后,不同植草措施,不同立地条件可产生不同的生态防护效果,如坡向的影响使阴阳坡的植被生长状况、生物量、水土保持效果产生了明显的不同<sup>[7-8]</sup>。但道路边坡不同于农田、林地,生态护坡后的边坡土壤又是一种特殊的人工土壤。目前国内在采用客土喷播植被护坡后,对不同立地条件下植被

收稿日期:2008-10-09

修回日期:2008-12-22

资助项目:国家自然科学基金资助项目(40771087);四川省科技支撑计划项目(07FG001-018);四川省公益性研究项目(2008FG0006)

作者简介:裴娟(1985—),女(汉族),甘肃省天水市人,硕士研究生,主要研究方向为植被生态恢复。E-mail: juanjuanpei@126.com.

通信作者:艾应伟(1965—),男(汉族)四川省资中县人,教授,主要从事环境生态和植物营养方面的研究。E-mail: aiyw99@sohu.com.

生态防护效果的研究甚少。本文对不同立地条件的岩石边坡剖面人工土壤的植物群落结构进行了观测研究,以期为道路边坡生态恢复和植物群落的重建提供理论依据。

## 1 研究地点与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于遂渝铁路遂宁车站附近,地处东经 105°32',北纬 30°32'。该地区属亚热带季风湿润气候区,热量丰富,雨量充沛,有春早,夏热,秋短,冬迟的特征。该区年平均气温 17.4℃,最冷月(1月)平均气温 6.5℃,极端最低气温-3.8℃,最热月(8月)平均气温 27.2℃,极端最高气温 39.3℃。年平均降雨量 927.6 mm,旱季(10—4月)平均雨量 213.3 mm,占全年雨量的 23.0%,雨季(5—9月)平均雨量 714.3 mm,占全年雨量的 77.0%,平均月最大降雨量 198.1 mm(7月),日最大降雨量 199.8 mm。年平

均日照 1189.2 h,年平均蒸发量 991.4 mm。在遂渝铁路遂宁车站附近选取了 5 个铁路边坡和 1 个自然边坡作为观测研究对象,观测研究的时间为 2007 年 12 月中旬。

选取的铁路边坡为铁路路堑岩石边坡,坡度约为 45°,均采用客土喷播植被护坡,施工流程为挂网、固锚、喷浆、喷草和养护。喷播材料基质配比为腐殖质 6.25 kg/m<sup>2</sup>,秸秆 0.05~0.15 kg/m<sup>2</sup>,复合肥 0.3 kg/m<sup>2</sup>(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=16:6:8),种植复合基材(粘合剂+保水剂)0.225 kg/m<sup>2</sup>。

种子选用早熟禾、狗牙根、苜蓿和黑麦(4:3:3:1),采用机械喷播,喷播时间均为 2003 年 9 月。选取作为对照的自然边坡同样位于遂渝铁路遂宁车站附近,坡度约为 45°。铁路边坡中 1 个和自然边坡坡向等基本一致的边坡与自然边坡分别按上、中、下 3 个不同坡位进行观测研究。各调查点铁路边坡和自然边坡的概况如表 1 所示。

表 1 调查点概况

调查点	地点	坡向	主要植物
1	遂渝铁路 DK1+360—DK1+560	E	早熟禾( <i>Poa annua</i> )、苜蓿( <i>Medicago sativa</i> )、蒲公英( <i>Taraxacum officinal</i> )、火棘( <i>Pyracantha fortuneana</i> )、野胡萝卜( <i>Daucus carota</i> )
2	遂渝铁路 DK1+360—DK1+560	W	早熟禾、苜蓿( <i>Medicago sativa</i> )、雀稗( <i>Paspalum scrobiculatum</i> )、蒲公英
3	遂渝铁路 DK1+710—DK1+910	S	早熟禾、苜蓿、蒲公英
4	遂渝铁路 DK1+710—DK1+910	N	早熟禾、苜蓿、艾蒿( <i>Artemisia princeps</i> )、蒲公英( <i>Taraxacum officinal</i> )、牛膝( <i>Radix achyranthis Bidentatae</i> )
5	遂渝铁路 DK1+150—DK1+250	W	狗牙根( <i>Cynodon dactylon</i> L.)、狗尾草( <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.)、合欢( <i>Albizia</i> )、羊茅( <i>Festuca ovina</i> Sheep fescue)、苜蓿等
6	距遂渝铁路 300—400m	SE	芒萁( <i>Dicrano pteris pedata</i> )、地瓜藤( <i>Caulis Fici Tikouae</i> )、柳叶箬( <i>Isachne globosa</i> (Thunb.) Kun)、雀稗( <i>Paspalum scrobiculatum</i> )、艾蒿( <i>Artemisia princeps</i> )等

注:调查点 1—5 为 2003 年人工修复的铁路路堑边坡,调查点 6 为自然边坡。

### 1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 植被调查采用样方法进行,样方面积为 1 m×1 m。主要调查对象为草本植物。调查项目有植物群落组成及结构、生物多样性、植被的覆盖度、生物量、平均根深、植物高度等指标。覆盖度的调查采用点测法,即将 1 m×1 m 的样方等分成为 100 个 10 cm×10 cm 的小网格,对每个网格结点登记是否在点向地面的垂线方向有植物体分布,最后统计有植物体分布的总结点数与所有网格结点数的比值,并以此作为盖度指标,用百分数表示。生物量则选取 1 m×1 m 样方中的 1/4,挖取植株地上和地下部分,带回室内烘干后称重,得到植物地上部分生物量数据,取根系后清洗、烘干、称重,获得地下部分生物量。

1.2.2 数据处理 群落的物种多样性指群落中物种

的数目和每一物种的个体数目,它具有二种涵义。(1)种的数目或丰富度,指一个群落或生境中物种数目的多寡;(2)种的均匀度。指一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况,反映各物种个体数目分配的均匀程度。

为比较和评价各个群落物种多样性方面的差异,采用丰富度指数 Simpson 指数、Shannon—Weiner 指数和 Pielou 均匀度指数。

(1)物种丰富度指数

Margalef 指数:  $R = (s - 1) / \ln s$

(2)多样性指数

①Shannon—Wiener 指数

$H = - \sum (P_i \ln P_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, s$

②Simpson 指数:  $D = 1 - \sum P_i^2$

### (3) 物种均匀度指数

Pielou 指数:  $E = H/\ln s$

式中:  $s$ ——群落中的总种数;  $n$ ——观察到的个体总数;  $P_i$ ——种  $i$  的个体数占群落中总个体数的比例。

本研究将各样地不同样方的测定值作为样本(重复),用 SPSS 统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同坡位植被的恢复

**2.1.1 不同坡位植被防护效果** 铁路边坡岩石创面采用客土喷播人工土壤进行植被护坡后,铁路边坡植被盖度在不同坡位之间存在明显差异,坡上植被盖度平均为 31%,坡中植被盖度平均为 19%,坡下植被盖度平均为 87%,铁路边坡植被盖度表现为坡下>坡上>坡中,且坡上、坡中和坡下具有显著差异(表 2)。从表 2 可知,铁路边坡坡上植被高度为 28 cm,坡中为 29 cm,坡下为 52 cm,铁路边坡植被高度表现为坡下>坡中>坡上,坡下与坡上、坡中差异显著。铁路边坡采用客土喷播植被护坡后,坡位对植被的覆盖度和平均高度有显著的影响( $P < 0.05$ ),坡位对根深、根幅、地上生物量和地下生物量的影响不显著( $P > 0.05$ )。

自然恢复的边坡地上植物生物量坡上平均为 44.97 g/m<sup>2</sup>,坡中平均为 113.83 g/m<sup>2</sup>,坡下平均为 240.75 g/m<sup>2</sup>,自然边坡地上生物量表现为坡下>坡中>坡上;自然边坡试验方中坡上的地下生物量为 22.90 g/m<sup>2</sup>,坡中为 37.60 g/m<sup>2</sup>,坡下为 231.75 g/m<sup>2</sup>,自然边坡地下生物量表现为坡下>坡中>坡上,可见自然恢复的边坡地上生物量和地下生物量具有相同的变化,均为坡下>坡中>坡上,坡下与坡上、坡中具有显著差异,且坡位对它们的影响显著( $P < 0.05$ ),而对植物覆盖度、高度、根深和根幅均无显著影响( $P > 0.05$ )。

由于人工修复的铁路边坡土壤为人工土壤,土壤

基质营养相对丰富,又由于后期浇水养护,致使铁路边坡岩石创面人工土壤更有利于植物生长,这可能是导致铁路边坡比自然边坡具有较高地上生物量的主要原因。铁路边坡坡上、坡中、坡下的土壤含水量表现出逐渐增加的趋势,以坡下的土壤含水量最高(表 2)。对于铁路边坡而言,因铁路边坡岩石创面上的人工土壤在短短 5 a 恢复期难以达到完全熟化,而水分和营养物质在铁路边坡岩石创面土壤中存在坡面流失和坡下富集的趋势,致使铁路边坡不同坡位之间植被盖度和高度有显著差异,出现坡下明显增加的现象。

**2.1.2 不同坡位植被多样性分析** 植物群落的物种多样性不仅受到植被恢复的影响,其均匀度还受到坡位的显著影响(表 3)。由表 3 可知,植物群落 Marglef 丰富度指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数均表现为铁路边坡明显低于自然边坡,说明铁路边坡采用客土喷播植被护坡,可降低植被的多样性。从表 3 还可知,人工修复的铁路边坡坡上植物群落 Pielou 均匀度指数为 0.625,坡中为 0.767,坡下为 0.249,铁路边坡植物群落 Pielou 均匀度指数表现为坡中>坡上>坡下,坡下与坡上、坡中的差异显著。方差分析结果表明,人工修复的铁路边坡坡位对 Pielou 均匀度指数影响具有显著性( $P < 0.05$ ),对 Marglef 丰富度指数和 Simpson 多样性指数均无显著影响( $P > 0.05$ ),而自然恢复的自然边坡坡位对 Marglef 丰富度指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均无显著影响( $P > 0.05$ )。

根据统计的均匀度指数分析,铁路边坡植被的均匀度表现为坡上和坡中差别不大,坡下最小,其原因可能是调查点土壤环境差异不大,而坡下植物群落的主要生态因子光照和与之相关的水分以及温度等存在一定的差异,采用客土喷播植被护坡又加大了这种差异,因此坡位对植物群落的均匀度产生了显著影响。

表 2 不同坡位植被的生态恢复

边坡类型	坡位	土壤含水量/%	盖度/%	高度/cm	根深/cm	根幅/cm	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )	
							地上	地下
铁路边坡	上	5.6a	31a	28a	16a	7a	334.84a	178.64a
	中	7.8b	19a	29a	13a	4a	320.26a	170.94a
	下	9.0c	87b	52b	10a	9a	739.59b	175.55a
F 值		23.157	34.068	9.348	1.073	0.177	2.853	0.004
自然边坡	上	16.6a	53a	76a	12a	8a	44.97a	22.90a
	中	17.7a	53a	49a	10a	9a	113.83a	37.60a
	下	16.8a	47a	45a	30a	9a	240.75b	231.75b
F 值		0.329	0.063	2.197	4.356	1.624	8.325	24.573

注:同列中不同字母表示差异达显著水平( $P < 0.05$ ),相同字母表示无显著差异,下同。

### 2.2 不同坡向植被的恢复

**2.2.1 不同坡向植被防护效果** 铁路边坡岩石创面

人工土壤植被的恢复状况与铁路边坡的坡向有关,坡向不同植被的生长状况也不同,铁路边坡东坡植被盖

度为 73%，南坡为 68%，西坡和北坡的盖度分别为 86% 和 83% (表 4)。由此可见，西坡和北坡的覆盖度高于东坡和南坡的覆盖度。铁路边坡植被地上生物量东坡为 437.98，西坡为 142.3，南坡和北坡分别为 251.50, 227.47；地下生物量东坡、北坡、南坡、西坡分别为 348.24, 277.00, 238.23, 140.97 g/m<sup>2</sup>。由此可见，铁路边坡不同坡向地上生物量和地下生物量具有相似的变化规律，均为东坡的最大，西坡的最小，南坡和北坡的差别不大。由表 4 可知，铁路边坡坡向对植被的盖度、高度、平均根深、根幅、地上生物量和地下生物量的影响均不显著 ( $P > 0.05$ )。

不同坡向对植被的影响主要是由于边坡坡向的不同形成了不同小气候，出现了不同坡向地表水热条件的差异。阳坡地表的倾斜，加大了太阳光线的投射角，阳坡获得的太阳辐射量通常要比平地多。阴坡不利于地面受热，日照时间较短，强度较低。坡向不同地表受热不同，土壤温度和近地面气温也有明显的差异。阳坡通常比阴坡温暖得多，气温的日变化也比阴

坡大，冬季差别更显著<sup>[9]</sup>。此次调查正值冬季，故加大了这种变化。阴阳坡下垫面热力状况也不同，蒸发量在阴阳坡具有明显的差别。阳坡年辐射量大，气温高，利于土壤水分蒸发，加上气温日变化大，空气对流较阴坡强烈，水分易随空气流动而扩散出去。

据观测，阳坡蒸发力可比平地高 1.5~4 倍，阴坡较为湿润。即使是在接受太阳光照较多的夏季，较大坡度坡面的蒸发力也只有平地的 70%~80%。在一次降水土壤湿度相近的情况下，阴坡可比平地维持最大蒸发 2~3 d，这对道路边坡土壤缺水具有一定的缓解作用<sup>[10]</sup>。就本研究的调查点来说，限制植被生长的主要因子是阳光和水分，西坡比东坡温暖的多，气温的日变化也大，说明半阴坡的立地条件更适合植物的生长，所以东坡植物群落有较高的地上生物量和地下生物量，但它并不能完全决定单个植物的根长、根幅等；铁路边坡不同坡向中西坡和北坡具有较高的含水量，即它们能维持较多的水分，故能使植被有较高的覆盖度。

表 3 不同坡位植被的多样性指数

边坡类型	坡位	丰富度 (Margalef)	优势度 (Simpson)	多样性 (Shannon—Wiener)	均匀度 (Pielou)
铁路边坡	上	1.916a	0.392a	0.298a	0.625a
	中	1.723a	0.329a	0.591a	0.601a
	下	1.929a	0.174a	0.717a	0.249b
F 值		0.806	2.451	2.850	5.538
自然边坡	上	2.116a	0.601a	1.064a	0.903a
	中	2.116a	0.523a	1.017a	0.760a
	下	2.365a	0.707a	1.356a	0.900a
F 值		0.109	0.695	0.415	0.083

表 4 不同坡向植被的生态恢复

边坡类型	坡向	土壤含水量/%	盖度/%	高度/cm	根深/cm	根幅/cm	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )	
							地上	地下
铁路边坡	E	15.3a	73a	32a	16a	11a	437.98a	348.24a
	W	18.6b	86a	26a	14a	13a	142.37a	140.97a
	S	14.9a	68a	28a	23a	13a	251.50a	238.23a
	N	17.0ab	83a	24a	11a	14a	227.47a	277.00a
F 值		5.882	1.432	0.845	2.604	0.430	1.933	1.318

2.2.2 不同坡向植被多样性分析 分析结果表明，铁路边坡岩石创面采用客土喷播人工土壤进行植被护坡后，铁路边坡坡向对植物群落的 Pielou 均匀度指数有显著影响，对 Simpson 多样性指数和 Margalef 丰富度指数均无显著影响 (表 5)。由表 5 可知，铁路边坡不同坡向中东坡的 Margalef 丰富度指数平均为 1.600，西坡为 1.443，南坡和北坡分别为 1.626，1.673，Margalef 丰富度指数表现为北坡>南坡>东坡>西坡，坡向对植物群落的丰富度的影响无明显差异 ( $P > 0.05$ )，西坡与其它坡向相比丰富度指数最

低。造成这种差别的原因可能是铁路边坡人工护坡植被恢复后，调查点均形成了以早熟禾和苜蓿为优势种的共建种群，西坡因水分、温度和光照等环境因子存在较大的差异，使此坡向的丰富度指数较低，但群落的结构未产生不同分化。

从表 5 还可知，铁路边坡不同坡向植物群落的多样性指数变化趋势是北坡>南坡>西坡>东坡，北坡的多样性指数最大，说明在相同的植被恢复模式下，北坡的立地条件能够提供更多的物种多样性。当植物群落所处的环境因子 (水分、温度、光照和土壤等)

存在较大的差异时,群落会向不同的方向演替,在群落的结构、功能和动态变化上出现分化,并表现出景观上的差异,生物群落的这些差异,都与群落的物种多样性密切相关<sup>[11-12]</sup>。随着群落的演替,因阳坡、半阳坡(南坡、西坡)和阴坡、半阴坡(北坡、东坡)的环境因子存在较大的差异,它们会朝不同的方向演替,而南坡和西坡,北坡和东坡,坡向对它们的影响不显著( $P>0.05$ ),它们可能具有相似的演替方向。

从均匀度指数分析,铁路边坡不同坡向中东坡的 Pielou 指数平均为 0.568,西坡为 0.985,南坡和北坡分别为 0.746, 0.788,不同坡向的 Pielou 均匀度指

数表现为西坡>北坡>南坡>东坡,其中东坡和西坡之间的差异显著,其它坡向之间无显著差异,这可能是被调查的 4 个样地土壤环境差异不大(均为人工土壤),但植物群落上层的主要生态因子尤其是东坡和西坡的光照和与之相关的水分和温度等存在较大差异,因此对植物群落物种的均匀度产生了影响。总体来看,被调查样地的 Margalef 指数、Simpson 指数和 Shannon—Wiener 指数差别不大,可能是因为不同坡向群落下层的生态因子与土壤状况趋于一致,导致群落的物种丰富度指数和多样性指数均无显著差异。

表 5 不同坡位植被的多样性指数

边坡类型	坡向	丰富度(Margalef)	优势度(Simpson)	多样性(Shannon—Wiener)	均匀度(Pielou)
铁路 边坡	E	1.600a	0.236a	0.413a	0.568b
	W	1.443a	0.327a	0.455a	0.985a
	S	1.626a	0.328a	0.538a	0.746ab
	N	1.673a	0.403a	0.654a	0.788ab
F 值		0.383	2.390	1.022	3.318

### 3 结论

(1) 铁路边坡岩石创面采用客土喷播人工土壤进行植被护坡后,坡位对植被的覆盖度和平均高度有显著影响,对根深、根幅、地上生物量和地下生物量的影响不显著。自然边坡植被地上生物量和地下生物量具有相同的变化规律,均为坡下>坡中>坡上,且自然边坡坡位对它们的影响显著,而对植物覆盖度、高度、根深和根幅的影响均不显著。

(2) 铁路边坡岩石创面采用客土喷播人工土壤进行植被护坡可降低植被的多样性,人工护过的铁路边坡坡位对 Pielou 均匀度指数具有显著影响,对 Margalef 丰富度指数和 Simpson 多样性指数影响不显著。自然恢复边坡坡位对 Margalef 丰富度指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均无显著影响。

(3) 铁路边坡岩石创面采用客土喷播人工土壤进行植被护坡后,坡向对植物群落的 Pielou 均匀度指数有显著影响,但坡向对 Margalef 丰富度指数以及 Simpson 多样性指数、植被的盖度、高度、平均根深、根幅、地上生物量、地下生物量的影响均不显著。

#### [参 考 文 献]

- [1] Spellerberg I F. Ecological effects of road and traffic [J]. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1998, 7: 317-333.
- [2] Davide G. Biodiversity impact assessment of roads an approach based on ecosystem rarity[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2003, 23:343-365.
- [3] 陈辉,李双成,郑度. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响[J]. *山地学报*, 2003, 21(5):559-567.
- [4] 黄锦辉,李群,刘晓丽. 河南周口至省界段高速公路建设对生态环境的影响[J]. *生态学杂志*, 2002, 21(1):74-79.
- [5] 董世魁,崔保山,丁宗凯,等. 大保高速公路老营段路域植被生态恢复[J]. *生态学报*, 2008, 28(4):1483-1490.
- [6] Adolfo C, Raul N, Ibone A, et al. Local topoclimate effect on short-term cutslope reclamation success[J]. *Ecologica Engineering*, 2002, 18: 489-498.
- [7] 邱国锋,王孟霞. 三维植被网护坡在高速公路边坡中的试验[J]. *重庆交通学院学报*, 2002, 21(1):74-76.
- [8] Esther B, Patricio G F. Factor controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain[J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12: 166-174.
- [9] 田国行,田耀武,路玲,等. 生态防护工程对高速公路边坡土壤保持效率的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2005, 39(3):259-264.
- [10] 田国行,田耀武,赵亚敏. 城市森林水土流失的研究[J]. *西部林业科学*, 2004, 33(2):73-76.
- [11] 杨玉金,田耀武,郑根宝,等. 濮鹤高速公路边坡植被生态防护效果分析[J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(1): 28-32.
- [12] 刘春霞,韩烈保. 高速公路边坡植被恢复研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(5):2090-2098.