

# 浙江省废弃采石矿区植被重建后物种多样性研究

蔡胜<sup>1</sup>, 辜彬<sup>1</sup>, 杨晓亮<sup>1</sup>, 周顺涛<sup>1</sup>

(四川大学 生命科学院, 四川 成都 610064)

**摘要:** 选取 5 个物种多样性指数,对浙江省 40 个养护期内的废弃采石矿区的物种多样性进行了研究,结果表明,(1) 浙江废弃采石区内植物种类较多,科属组成较为分散。从群落结构组成来看,草本植物为优势群体,草本植物引导种以豆科类植物和禾本科类植物居多。(2) 草本、灌木和乔木植物群落丰富度指数和物种多样性指数都表现出一致的变化趋势,草本植物群落的这些指数值明显高于灌木和乔木植物群落,草本、灌木和乔木植物群落的群落均匀度指数都较高。(3) 浙江省废弃采石区内草本植物乡土物种占主导地位,其中以菊科类植物居多。

**关键词:** 植被恢复; 物种丰富度; 物种多样性; 群落均匀度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0201-05

中图分类号: Q145+.1, X171.4

## Species Diversity in Deserted Quarry Areas after Vegetation Restoration in Zhejiang Province

CAI Sheng, GU Bin, YANG Xiao-liang, ZHOU Shun-tao

(College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China)

**Abstract:** Five species diversity indices were chosen to carry out species diversity analysis of deserted quarry areas during the maintenance period after artificial vegetation restoration in Zhejiang Province. Results showed that the quantity of species in the areas was large, while the composition of families and genera was unintensified. To be exact, herbs acted as the dominant group in the community selecting leguminous plants and gramineae plants as the two biggest communities for the introduced species. Shrubs and trees were mainly planted rather than growing from seeds. The index of species richness and species diversity of herbs, shrubs, and trees showed a consistent trend, among which the index value of herb communities was significantly higher than the index values of the shrub and tree communities. In addition, the community evenness index values of herb, shrub, and tree communities all stayed in a high level. Local herbs in the areas played a dominant role and the majority was compositae plants.

**Keywords:** vegetation restoration; richness; diversity; evenness

纵观人类发展史,矿业为世界文明作出了巨大贡献,但是矿业活动给生态环境和矿工以及矿区人民的安全和健康带来的负面影响,足以抵消它给人类带来的好处<sup>[1]</sup>。矿业在中国国民经济中扮演着重要的角色<sup>[2]</sup>,但是同样也导致了大量荒地的产生,导致了水污染、水土流失和其它环境问题的产生<sup>[3-6]</sup>。中国的矿地恢复 20 世纪 70 年代就已经开始,无论从治理机构的设置,还是治理技术的研究和应用等方面,都取得了一定的成绩<sup>[6]</sup>。针对不同矿种的废弃矿区,也有不同的研究进展,包括金属矿矿区恢复研究<sup>[7-9]</sup>和非金属矿矿区恢复研究<sup>[10-11]</sup>等。

生物多样性是恢复生态学的前沿命题之一,生物多样性保护是退化生态系统恢复的主要目标之一<sup>[12]</sup>。2004 年国际恢复生态学会建议将生物多样性作为 9 个反映生态系统属性的指标之一<sup>[13]</sup>。浙江省废弃采石矿区是物种多样性研究相对较薄弱的地区,关于该区的植被恢复重建后的物种多样性研究尚未见报道,研究该区的植被恢复重建后的物种多样性对退化生态系统的植被恢复重建具有重要的指导意义。本研究以浙江省内的 40 个养护期内的废弃采石矿区为研究对象,通过野外调查,运用生物多样性的原理和方法,进行了物种多样性分析。

收稿日期:2009-01-15

修回日期:2009-04-27

资助项目:国家自然科学基金(40571064)

作者简介:蔡胜(1984—),男(汉族),湖南省长沙市人,在读硕士研究生,主要从事生态学研究。E-mail:caikesheng@163.com。

通信作者:辜彬(1959—),男(汉族),重庆市人,教授,硕士生导师,主要研究方向为恢复生态学。E-mail:amakusa@126.com。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于浙江省境内,调查的 40 个矿区遍布浙江内的 11 个地市:杭州、湖州、嘉兴、金华、丽水、宁波、衢州、绍兴、台州、温州和舟山。所选矿区都是处于养护期内的矿区,恢复时间 2 a(人工植被恢复养护期一般为 2 a)。

### 1.2 方法

1.2.1 样方设置及数据调查 对每个调查的矿区,采用机械布点和典型抽样方法进行常规群落学调查<sup>[14]</sup>,样方类型分 3 种:其中乔木样方为 10 m × 10 m,灌木样方为 5 m × 5 m,草本样方 1 m × 1 m。每个矿区草本样方和灌木样方都按坡上、坡中和坡下 3 个位置进行取样,每个位置取 3 个重复。而对于乔木样方,因为乔木多为人工栽植,且分布处于坡下,因此做乔木样方时只在坡下取样,同样取 3 次重复。总计样方数目为 840 个,其中草本样方、灌木样方和乔木样方的数目分别为 360 个,360 个和 120 个。记录植物种类组成以及每个样方内各种植物的具体数量,植物分为两个类型进行记录,一种类型为引导种(人工引导用于植被恢复的物种),另一种类型为乡土物种。

1.2.2 数据处理 统计引导种和乡土物种的科属种及其组成、群落丰富度指数、群落物种多样性指数和群落均匀度指数等按下列公式计算<sup>[15]</sup>。

(1) 群落丰富度指数。

$$R_0 = S;$$

$$R_1 = (S - 1) / \log_2 N$$

(2) 群落物种多样性指数。

$$\text{Simpson 指数: } D = 1 - \sum p_i^2$$

$$\text{Shannon—wiener 指数: } H = - \sum (P_i \ln P_i)$$

(3) 群落均匀度指数。

$$E = H / \ln S$$

式中:  $S$  ——为群落中的总物种数;  $N$  ——为群落中全部种的总个体数;  $N_i$  ——为各个物种的个体数;  $P_i = N_i / N$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 群落的种类组成

据样方调查,浙江省废弃采石矿区内共出现植物 169 种,分属 66 科 150 属,其中草本植物共 96 种,分属 35 科 87 属,占植物总种数的 56.80%;灌木植物共 39 种,分属 21 科 35 属,占植物总种数的 23.08%;乔木植物共 34 种,分属 10 科 32 属,占植物总种数的 20.12%。其中种数最多的是菊科(*Compositae*, 18 属

20 种),其次为禾本科(*Gramineae*, 13 属 16 种)、豆科(*Leguminosae*, 14 属 15 种)、蔷薇科(*Rosaceae*, 5 属 8 种)、唇形科(*Labiatae*, 7 属 8 种)、桑科(*Moraceae*, 4 属 5 种)、木犀科(*Oleaceae*, 4 属 5 种)、樟科(*Lauraceae*, 4 属 4 种)、伞形科(*Umbelliferae*, 4 属 4 种)、葡萄科(*Vitaceae*, 3 属 4 种)、百合科(*Liliaceae*, 4 属 4 种)、松科(*Pinaceae*, 1 属 3 种)、茄科(*Solanaceae*, 3 属 3 种)、木兰科(*Magnoliaceae*, 2 属 3 种);种类组成中仅含 1~2 种的有 50 科,占总科数的 75.76%。这说明浙江省废弃采石矿区内植物群落科属组成较为分散。从群落结构组成来看,草本植物为优势群体,草本植物引导种以豆科类植物和禾本科类植物居多。

### 2.2 群落的物种多样性

物种多样性指数的大小与群落中物种丰富度和均匀度有关,主要体现群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异<sup>[16]</sup>。图 1、图 2 和图 3 分别表示浙江废弃采石矿区内草本植物群落的丰富度( $R_0$ ,  $R_1$ )、物种多样指数(Shannon—Wiener 多样性指数  $H$ , Simpson 指数  $D$ )以及 Pielou 均匀度指数的变化曲线图;图 3、图 4 和图 5 对应灌木植物群落上述指数的变化曲线图;图 6、图 7 和图 3 对应乔木植物群落上述指数的变化曲线图。综合图 1—6 可以看出,草本、灌木和乔木植物群落丰富度指数和物种多样性指数都表现出一致的变化趋势,草本植物群落的这些指数值明显高于灌木和乔木植物群落,这说明了整体群落结构简单。从图 1—8 还可以看出,草本、灌木和乔木植物群落的群落均匀度指数都较高。

2.2.1 草本植物群落的物种多样性 综合图 1 和图 2 可以看出,草本植物群落的丰富度指数和物种多样性指数表现出比较一致的变化趋势:3 号矿区的这 4 个指数值同时达到了最大值, $R_0 = 28$ ,  $R_1 = 3.80$ ,  $D = 0.95$ ,  $H = 3.10$ ;9 号矿区的这 4 个指数值也同时达到了最小值, $R_0 = 4$ ,  $R_1 = 0.65$ ,  $D = 0.57$ ,  $H = 1.05$ ;另外  $R_0$  值较高的 22 号和 35 号矿区以及  $R_0$  值较低的 10 号矿区,其余 3 个指标的值基本都达到了同步变化。从图 1 来看,丰富度指数  $R_0$  和  $R_1$  变化趋势的一致性更加明显,各矿区的  $R_0$  和  $R_1$  值变化范围较大;从图 2 来看,多样性指数  $D$  和  $H$  的变化趋势也有一定的一致性,各矿区间的  $D$  值变化范围较小,90%的  $D$  值集中在 0.80~0.95 之间, $H$  值的变化范围 1.0~3.2。 $D$  值和  $H$  值都相对较高,并且变化趋势一致,说明了各矿区草本植被恢复较好。从图 3 来看,矿区内草本植物的群落均匀度指数  $E$  值普遍较高,而且波动范围较小,7 号矿区达到了最大值 0.96,10 号矿区达到了最小值 0.57。

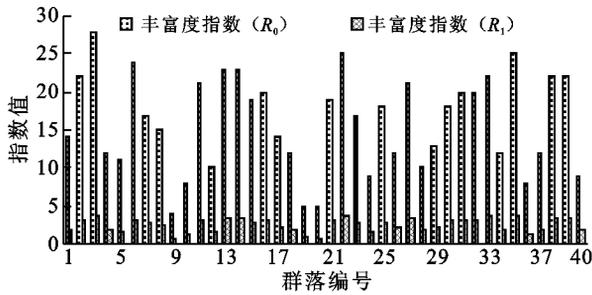


图 1 草本植物群落丰富度指数 R<sub>0</sub> & R<sub>1</sub> 分布图

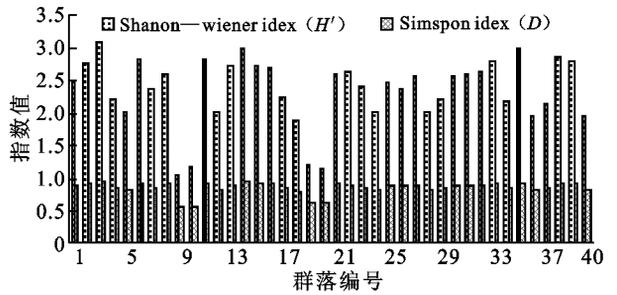


图 2 草本植物群落物种多样性指数 D & H 分布图

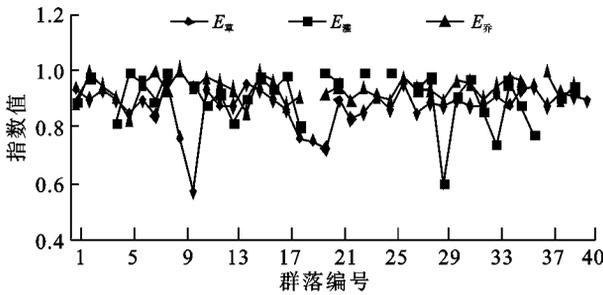


图 3 群落均匀度 E 分布图

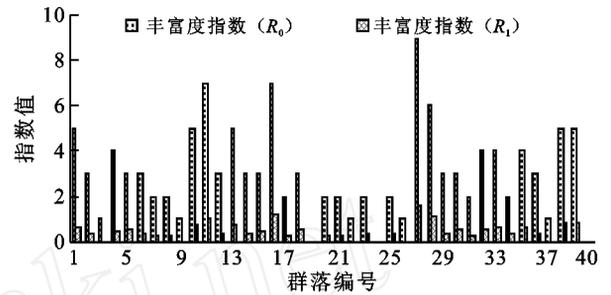


图 4 灌木植物群落物种多样性指数 R<sub>0</sub> & R<sub>1</sub> 分布图

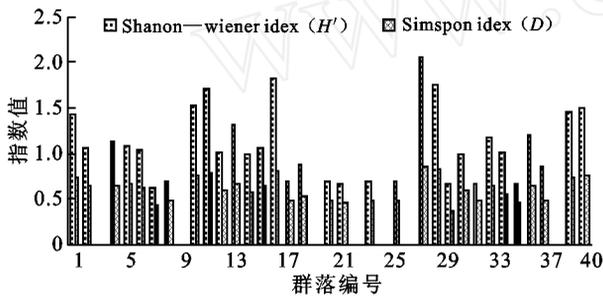


图 5 灌木植物群落物种多样性指数 D & H 分布图

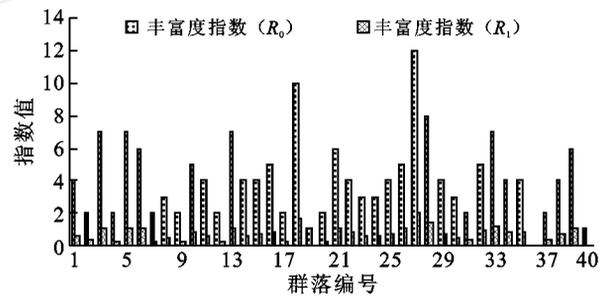


图 6 乔木植物群落丰富度指数 R<sub>0</sub> & R<sub>1</sub> 分布图

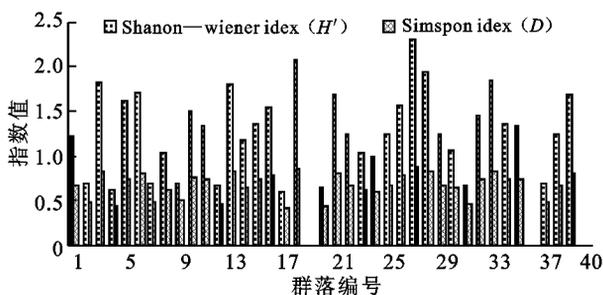


图 7 乔木植物群落物种多样性指数 D & H 分布图

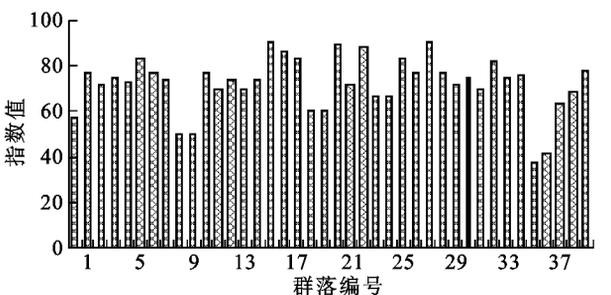


图 8 草本乡土物种比例示意图

调查中发现,各矿区在植被生态恢复过程基本采用了相同的草本植物引导种,常用的草本植物引导种如表 1 所示。导致物种多样性和物种丰富度差别的原因主要在于各个矿区自身的立地条件以及其周边环境的物种多样性,前者包括矿区的土壤和水分条件等,直接影响到生态恢复引导种和乡土物种的生长和侵入,后者则影响到乡土物种侵入的数量和规模。3 号矿区土壤肥沃,水分供给良好,因此非常适合人工引导种和周边环境的乡土物种生长,该矿区采用的草

本植物引导种共 8 种,调查发现的草本植物乡土物种共 20 种。相反地,9 号矿区土壤非常贫瘠,由大量的碎石和很薄的一层砂土构成,加上水分条件恶劣,虽然在恢复初期采用了 5 种草本植物引导种,但是其中白花车轴草 (*Trifolium repens*) 和苜蓿 (*Medicago sativa*) 在调查过程中并未发现,只有 1 种乡土物种葛藤 [*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi] 侵入到该矿区中来。

均匀度指数在一定程度上与物种数目无关,在物

种数目一定的情况下,均匀度与个体数目或生物量等指标在各个物种中分布的均匀程度有关<sup>[17]</sup>。本研究草本植物群落均匀度指数值都较高,总体上说明群落内物种分布较为合理。但是有些个别情况,如 9 号矿区总物种数为 4 种,均匀度指数较高,这可能是由于其环境恶劣,导致这 4 种植物形成了共优物种,达到了较高的均匀度指数值。

2.2.2 灌木植物群落的物种多样性 从图 4 中可以看出,群落物种丰富度指数  $R_0$  和  $R_1$  变化趋势一致,在 2,7 号矿区达到最高值。从图 5 中可以看出,群落物种多样性指数  $D$  和  $H$  变化趋势一致, $H$  值的变化范围 0.65~2.2 之间,且同一矿区  $D$  和  $H$  值要低于草本群落。除 3 号,9 号,19 号,22 号,24 号,26 号,29 号,37 号,40 号矿区,其余矿区群落均匀度指数都相对较高,值在 0.81 以上。19 号,24 号,40 号矿区没有灌木。

调查中发现,各矿区在植被生态恢复过程基本采用了相同的草本植物引导种,常用的灌木植物引导种如表 1 所示。灌木植物通过种子混播的成活率较低,相比之下,通过人工栽植和养护的灌木植物,其成活率较高。但是调查发现,19 号,24 号和 40 号矿区没有灌木:19 号矿区在原有生态恢复方案中就没有将灌木纳入到考虑范围,而只是追求短期的复绿效果;而 24 号和 40 号矿区则是由于矿区本身恶劣的环境条件限制了灌木植物的生长。9 号矿区环境条件恶劣,在调查中也只发现了 1 种灌木植物。灌木植物群落均匀度指数值都较高,导致这个现象的原因在于:通过人工种子混播的灌木植物成活率较低,因此灌木植物的群落均匀度主要取决于人工栽植时选取的种类及既定的栽植密度。所以群落均匀度指数对于研究灌木植物群落的意义不大。

2.2.3 乔木植物群落的物种多样性 从图 6 可以看出群落物种丰富度指数  $R_0$  和  $R_1$  变化趋势一致,在 27 号矿区达到最高值。36 号矿没有乔木。从图 7 可以看出群落物种多样性指数  $D$  和  $H$  变化趋势一致,其值在 18 和 27 号矿区较高。群落均匀度指数也相对较高。

各矿区内通过种子混播的乔木成活率均很低,而人工栽植的乔木种类差异较大,故未作详细统计。同样,人工栽植的乔木成活率较低,栽植的密度决定了其较高的群落均匀度。

工程实践中乔木植物一般都是通过人工栽植,因此其群落均匀度指数值较高,群落均匀度指数大小主要取决于人工栽植时选取的种类及既定的栽植密度。

### 2.3 草本植物群落物种分布情况

从图 1 可以看出,经过 2~3 a 的生态恢复,各矿区内的草本植物群落的物种数量都达到了较高水平:草本植物种数最多的矿区达到了 28 种,82.5% 的矿区草本植物种数都在 10 种以上。综合野外调查搜集到的相关材料,包括各个矿区生态恢复的设计方案和工程竣工资料等,发现矿区生态恢复中常用的人工引导种的种类如表 1 所示。

从图 8 可以看出,矿区内草本植物乡土物种的比例较高。从乡土物种种数/总种数的比例来看,16 号和 28 号矿区该项比例达到了 90%;从绝对数量比较来看,草本植物种数最多的 3 号矿区,总种数 28 种,乡土物种数为 20 种;而  $P$  值最高的 16 号矿区,其草本植物总种数为 20 种,乡土物种数为 18 种。这说明矿区在植被重建的养护期内,草本植物占据了主导地位,经过统计草本植物乡土物种以菊科类植物居多。

矿区植被重建实际工作中通常选用一些生长迅速的草种作为先锋物种,这些草种具有耐旱、耐贫瘠、耐高温、抗病虫害及侵占性强、水土保持效果好等特性<sup>[18]</sup>。矿区自然条件比较恶劣,先锋草本植物的这些特点使得它们能够较好地适应这个环境,因而在植被重建初期,草本植物占据主导地位并对矿区本身的环境进行一定的改良,适合乡土植物的侵入。

## 3 结论

废弃采石矿区的生态恢复属于边坡生态恢复的范畴,边坡生态恢复涉及到生态工程学、工程力学、植物学、水力学等多个学科,涉及到基材的配比、工艺的选择、植被的选择、目标群落的设置以及边坡生态系统的演替等内容<sup>[19-20]</sup>。

(1) 浙江省废弃采石矿区内植物种类较多,科属组成较为分散。从群落结构组成来看,草本植物占据了主导地位,其中引导种草本植物以豆科类植物和禾本科类植物居多,而乡土物种草本植物占据了主导地位,以菊科类植物居多。因此在今后的植被恢复实践中,植物配置应当加强乡土植物的应用,从而加速植被恢复进程。

(2) 草本、灌木和乔木植物群落丰富度指数和物种多样性指数都表现出一致的变化趋势,草本植物群落的这些指数值明显高于灌木和乔木植物群落,反映了整体群落结构简单。因此,在工程实践中,应该加大灌木和乔木植物的配比,并采取措施保证其成活率。此外,群落丰富度指数和多样性指数与矿区自身立地环境条件有密切关系。

表1 矿区内常见的生态恢复引导物种统计

植物名	类型	科别	种拉丁名
狗牙根	草本	禾本科	<i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers.
苜蓿	草本	豆科	<i>Medicago sativa</i>
白花车轴草	草本	豆科	<i>Trifolium repens</i>
百喜草	草本	禾本科	<i>Paspalum notatum</i> Flugge
高羊茅	草本	禾本科	<i>Festuca arundinacea</i>
黑麦草	草本	禾本科	<i>Lolium multiflorum</i>
葛藤	草本	豆科	<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi
爬山虎	草本	豆科	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>
常春藤	草本	葡萄科	<i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>
油麻藤	草本	葡萄科	<i>Mucuna sempervirens</i>
胡枝子	灌木	豆科	<i>Lespedeza formosa</i> (Vog.) Koehne
紫穗槐	灌木	豆科	<i>Amorpha fruticosa</i> Linn.
刺槐	灌木	蔷薇科	<i>Robinia pseudoacacia</i>
海桐	灌木	夹竹桃科	<i>Pittosporum tobira</i>
马棘	灌木	蔷薇科	<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsum

(3) 草本、灌木和乔木植物群落的群落均匀度指数都较高,但是群落均匀度指数对于灌木和乔木植物群落的研究意义不大。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Xia Cao. Regulating mine and reclamation in developing countries the case of china[J]. Land Use Policy, 2006, 24(07):472-476.
- [2] 邵霞珍. 澳大利亚矿区环境管理及对我国的借鉴[J]. 中国矿业, 2005, 14(7):48-50.
- [3] 徐嵩龄. 采矿当地生态重建和恢复生态学[J]. 科技导报, 1994(3):49-51.
- [4] 杨修, 高林, 吴刚. 矿区废弃地复垦的理论与技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999:124-136.
- [5] 周树理. 矿区废弃地复垦与绿化[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [6] Li M S. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice[J]. Science of the Total Environment, 2006, 35(7):38-53.
- [7] 杨修, 高林. 德兴铜矿矿区废弃地植被恢复与重建研究[J]. 生态学报, 2001, 21(11):1932-1940.
- [8] 王英辉, 陈学军. 金属矿区废弃地生态恢复技术[J]. 金属矿山, 2007(6):4-7.
- [9] 毕德, 吴兴华, 骆永明, 等. 浙江典型铅锌矿废弃地优势植物调查及其重金属含量研究[J]. 土壤, 2006, 38(5):591-597.
- [10] 辜彬, 王丽. 露天开采矿区生态恢复的基本理论与方法[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(12):134-137.
- [11] 胡胜华, 刘超, 曾克峰. 庐山山南地区瓷土矿尾沙山植被恢复途径初步研究[J]. 中国水土保持, 2004(06):11-14.
- [12] 李巧, 陈彦林, 周兴银, 等. 退化生态系统生态恢复评价与生物多样性[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4):69-73.
- [13] Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. The SER International Primer on Ecological Restoration [EB/OL]. [http://www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp). 2004-10-01/2007-10-08.
- [14] 王巧红, 宫渊波, 陈林武, 等. 四川盆周低山暴雨区不同配置模式水土保持林生物多样性分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6):599-602.
- [15] 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994:141-165.
- [16] 彭少麟, 周厚诚, 陈天杏, 等. 广东森林群落的组成结构数量特征[J]. 植物生态学, 1989, 13(1):11-17.
- [17] 周国英, 陈桂琛, 赵以莲, 等. 青海湖地区芨芨草群落特征及其物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11):1956-1962.
- [18] 杨海军, 毕琪, 赵亚楠, 等. 深圳市高速公路边坡和采石场植被恢复技术[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1):120-124.
- [19] 解新明, 卢小良. 道路边坡绿化防护工程中的生态学原理[J]. 生态科学, 2004, 23(1):85-88.
- [20] 潘树林, 王丽, 辜彬. 论边坡的生态恢复[J]. 生态学杂志, 2005, 24(2):217-221.