

海岛矿山生态修复边坡植物多样性分析

许小娟¹, 朱凯华¹, 尹金珠¹, 邹凤超¹, 寒 烟², 辜 彬¹

(1. 四川大学 生命科学院, 四川 成都 610064; 2. 成都天琅科技有限责任公司, 四川 成都 610064)

摘 要:通过对舟山市 16 个修复边坡进行植被恢复状况的调查, 分析了其边坡植物的多样性。结果表明: 恢复时间较长、矿区的土壤基质良好, 水分条件充足, 矿区周围原生植被较好的地点植被恢复后的植物种类丰富度较高。舟山市边坡复绿植物种类较多, 其中种数最多的是禾本科, 其次是豆科、菊科、木犀科、蔷薇科、山茶科、樟科、苦木科。从群落组成结构看, 主要形成了以马棘、紫穗槐等灌木为优势种的乔灌木植物群落结构。草本、木本植物的均匀度都较高, 木本植物的多样性和丰富度较草本的高。结合植被调查和植物多样性分析的结果, 针对海岛特殊的气候环境提出了海岛边坡修复植物选择原则, 同时, 类比与海岛边坡类似条件下生长良好的植物, 建立了几种植物配置模式, 为同类型的边坡绿化植物的选择提供参考。

关键词: 植被修复; 海岛边坡; 多样性分析; 植物构建

中图分类号: Q 948.15⁺ 8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)07-0106-04

边坡生态恢复工程是基于生态工程学、工程力学、植物学、水力学等学科的基本原理, 利用活性植物并结合土工等工程材料, 在坡面构建一个具有自生长能力的功能系统, 通过生态系统的自支撑、自组织与自我修复等功能来实现边坡的抗冲刷、抗滑动、边坡加固和生态恢复, 以达到减少水土流失、维持生态多样性和生态平衡以及美化环境等^[1]。但目前为止, 国内的技术还不完善, 国外发达国家通过长期的理论研究和工程实践, 已经形成了较为完整的、系统的理论和技术体系, 而国内的技术发展则相对滞后^[2]。近几年来, 边坡生态恢复引起了政府的高度重视, 技术引进进展也较快, 在维护边坡稳定与边坡生态景观恢复实践中, 其中以植被为主体的坡面生态工程发展最快, 以其经济、生态、美观等突出的优点得到了广泛的应用^[3-5]。

近年来, 舟山市通过挖山填海发展造船制船、修建石油储备库等, 产生了大量的陡峭边坡, 不仅影响了生态景观, 产生了大量的视觉污染, 而且严重破坏原有的山体植物覆盖层, 导致了大量次生裸地的产生, 在无形中增加了发生次生地质灾害的安全隐患, 对舟山市海岛裸露边坡的修复和绿化迫在眉睫。通过近几年的不断努力, 海岛边坡绿化工作已初见成效。

生物多样性是当前生态学十分重要的研究内容之一, 随着城市的发展, 形成大量的裸露的矿山边坡, 植物作为边坡生态系统的一个重要组成部分, 其多样性的研究备受关注^[6-7]。生物多样性的保护与重建, 可以改变人类对自然的传统观念和索取的方式, 确立人与自然共生共荣的关系^[8]。该研究通过调查海岛矿山边坡的植被恢复情况, 分析了边坡生态恢复植物的种类构成, 计算和论述海岛边坡的植物多样性特征, 研究海岛边坡修复中植被修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。

1 材料与方法

1.1 调查区域概况

舟山市为典型的海岛城市。舟山整个群岛季风显著, 冬暖夏凉, 温和湿润, 光照充足。适宜各种生物群落繁衍、生长, 空气自然净化能力强, 温差变化小。由于受季风不稳定性的影响, 夏秋之际易受热带风暴(台风)侵袭, 冬季多大风, 7~8月间出现干旱, 是舟山常见的灾害性天气。通过调查得知各个修复边坡矿区的立地条件, 包括地理位置、海拔、坡度、坡高等, 具体立地条件情况见表 1。

1.2 调查方法

于 2010 年 4~7 月对舟山市 16 个已修复的岩石边坡采取随机取样法进行常规群落学调查^[9], 样方类型分 2 种: 一般按坡上、坡中、坡下 3 个位置进行取样布点, 每个位置取 3 次重复。在调查群落的植被状况和特征时, 草本层样方采用 1 m×1 m; 木本层样方采用 5 m×5 m。分别记录木本层植物的种类、盖度、株数、高度、株(丛)

第一作者简介: 许小娟(1987-), 女, 四川达州人, 在读硕士, 现主要从事园林植物研究工作。E-mail: xuxiaojuan163@126.com。

责任作者: 辜彬(1959-), 男, 重庆人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为恢复生态学。E-mail: amakusa@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40971057)。

收稿日期: 2011-01-19

幅等; 草本植物种类、频度、多度、株(丛)数等。其中多度分为 8 个等级^[10](表 2)。计算各个边坡的植物物种多样性指数。

表 1 各调查区域立地情况		
编号	名称	完工时间
1	良康	2009 年 11 月
2	回峰寺	2009 年 4 月
3	小岭隧道	2008 年 6 月
4	小山干	2008 年 9 月
5	田岙	2008 年底
6	毕家井	2007 年 4 月
7	庆丰	2007 年 4 月
8	白山一号	2009 年
9	白山二号	2007 年
10	机场周边宕口	2009 年 10 月
11	城北水库一号	2007 年 4 月
12	城北水库二号	2007 年 4 月
13	白泉	2008 年 7 月
14	富翅一号	2008 年
15	富翅二号	2008 年
16	庙山头	2008 年 5 月

表 2 植物多度分级			
多度	特征描述	多度	特征描述
SOC	植物极多 互相靠紧	SP	植物的数量不多
Cop3	植物的数量很多	So1	植物的数量很少
Cop2	植物的数量多	Un	植物的数量只有个别单株
Cop	植物的数量尚多	Gr	成丛

1.3 植物多样性分析方法

测定物种多样性的公式有很多, 该调查研究各样地关于群落物种多样性方面的差异, 采用 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Weiner 指数和 Pielou 指数分别测定群落的物种丰富度、生态优势度、物种多样性和均匀度^[11]。群落丰富度指数: $R0 = S$; $R1 = (S - 1) / \log_2 N$ 。群落物种多样性指数。Simpson 指数: $D = 1 - \sum pi^2$; Shannon-wiener 指数: $H' = - \sum (Pi \ln Pi)$ 。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; Ni 为各个物种的个体数; $Pi = Ni / N$ 。

2 结果与分析

2.1 群落结构组成及分布特征^[11]

根据植被调查可知, 舟山岩石复绿边坡中出现的植物种 87 种, 分属 46 科 75 属, 其中草本植物共 22 种, 分属 9 科 19 属, 占植物种种数的 25.29%; 木本植物共 65 种, 分属 37 科 56 属, 占植物种种数的 74.71%, 其中种数最多的是禾本科, 其次是豆科、菊科、木犀科、蔷薇科、山茶科、樟科、苦木科。从群落结构组成来看, 草本植物引导种以豆科类植物和禾本科类植物居多, 灌木和乔木的种类似多且生长状况良好, 形成了以灌木为优势的灌草植物群落, 群落结构层次较多, 稳定性较好。

对样方内的植物按木本、草本植物分类, 统计出了

现频度 ≥ 0.3 的各种植物(表 3)。结果表明, 高羊茅、刺槐、盐肤木、紫穗槐、决明、紫花苜蓿、夹竹桃、马棘、大叶女贞等分布较均匀且对各种坡面的适应性良好; 小竹、胡枝子、臭椿、黑松、构树、海桐、马尾松、香樟、小叶女贞的适应性次之。其中以马棘、胡枝子和高羊茅的适应性最好。

表 3 频度 ≥ 0.3 的植物种					
植物种	出现次数	频度	植物种	出现次数	频度
高羊茅	13	0.8	小竹	6	0.38
刺槐	9	0.56	胡枝子	5	0.31
盐肤木	11	0.69	臭椿	6	0.38
紫穗槐	11	0.69	黑松	5	0.31
决明	9	0.56	构树	5	0.31
紫花苜蓿	10	0.63	海桐	5	0.31
夹竹桃	7	0.43	马尾松	5	0.31
马棘	15	0.94	香樟	5	0.31
大叶女贞	12	0.75	小叶女贞	5	0.31

对 16 个边坡样方内的植物按多度进行统计分析, 各样地主要植物种的多度情况见表 4, 得出植物多度较高的是高羊茅、紫花苜蓿、马棘、紫穗槐、胡枝子、黑松、女贞、决明、刺槐、盐肤木等。该区植被结构中以灌木多且生长态势良好, 草本较少但生长均匀且长势良好。

表 4 各样地主要植物多度			
植物种	多度	植物种	多度
高羊茅	Cop3	黑松	Cop
紫花苜蓿	Cop2	女贞	Cop
马棘	Cop2	决明	Cop2
紫穗槐	Cop2	刺槐	Cop2
胡枝子	Cop	盐肤木	Cop2

对 16 个边坡样方内的植物对植物高度和密度盖度的调查, 喷播的土壤基质为周围的一些原生土壤和一些基质的混合, 其土质一般, 调查的边坡种土壤基本为砂土。恢复年限 1 a 左右的边坡如良康、机场周边宕口, 植被恢复时间较短, 且后期的水分供给不及时, 导致植物的恢复情况不太好, 草本植物只有高羊茅生长较好, 而一枝黄花的侵入, 使其它植物生长受到影响; 灌木生长较缓慢, 栽植的大叶女贞生长较好, 侵入种现在很少, 边坡总盖度为 40%。恢复年限 1.5~2 a 的边坡如回峰寺、小山干、田岙等边坡, 草本植物数量也较少, 灌木恢复较好, 且很多乡土植物的侵入生长, 整体景观和谐, 其中以决明和紫穗槐、胡枝子等生长状态最好, 平均高度达 150 cm 左右, 边坡总盖度为 50%~60%。恢复年限 2~3 a 的边坡如小岭、白泉、庙山头等边坡, 植物生长集中且良好, 植物丰富度较高, 紫穗槐、马棘、合欢、盐肤木等生长快速, 长势良好, 但其中紫穗槐的生长最好也最多, 入侵种类丰富有日本野桐、桉木等, 植物生长平均高度为 180 cm, 总盖度为 70%。恢复年限 3 a 及以上的边坡如庆丰、白山二号等, 由于恢复年限较长, 植物生长及群落构建都较为丰富, 入侵物种也较多和丰富, 如臭椿、乌

柏等, 坡下植物茂密且植物种类丰富, 普陀樟、日本珊瑚、火棘以及坡上的马棘、紫穗槐等都生长较好, 植物平均高度为 250 cm, 边坡总盖度为 90%。可见植物的恢复年限越长、周围的物种越丰富、后期有效的养护管理, 边坡的植被恢复越好, 植物种类也更丰富, 植物群落也更稳定。

2.2 群落的物种多样性分析

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。还有新工艺的应用和后期的养护管理都对植被恢复有一定的影响。调查中发现, 边坡中上层部分植物出现干枯, 主要原因为土层较薄, 植物干旱缺水死亡。此外, 部分边坡出现了许多生物入侵种, 草本的如一枝黄花、葎草等, 其对稳定群落的构建有一定的破坏作用; 木本的乡土物种日本野桐、乌桕等的入侵与导入种和谐生长, 对植物群落的稳定构建有一定的积极作用。因此, 边坡复绿完成后, 后期的养护仍需加强, 才能保证边坡植被的多样性和稳定群落的构建。

参与分析的 16 个矿山边坡的多样性指数见图 1 ~ 5。图 1、2 和 5 分别表示 16 个矿山生态修复边坡的草本植物群落的丰富度 (R_0 , R_1)、物种多样性指数 (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、4 和 5 对应木本植物群落上述指数的变化曲线图。从图 1 ~ 5 可看出, 草本、木本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, 且木本植物群落的这些指数值明显高于草本植物群落, 这说明了整体群落结构复杂多样。从图 5 还可看出, 草本、木本植物群落的群落均匀度指数都较高且变化幅度较小。

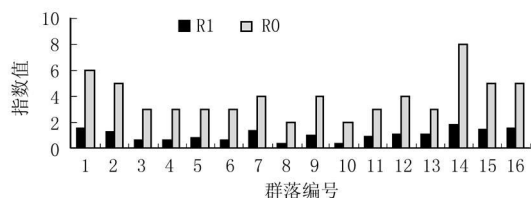


图1 草本植物群落丰富度指数

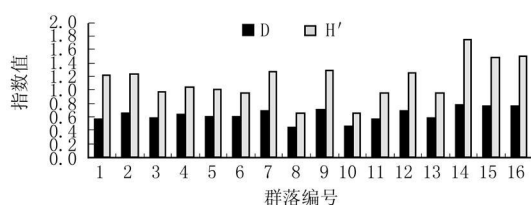


图2 草本植物群落多样性指数

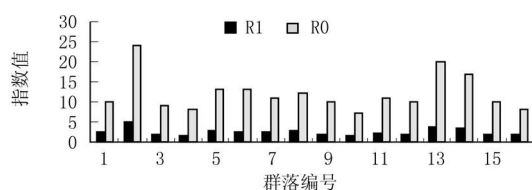


图3 木本植物群落丰富度指数

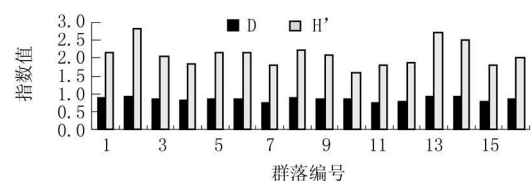


图4 木本植物群落多样性指数

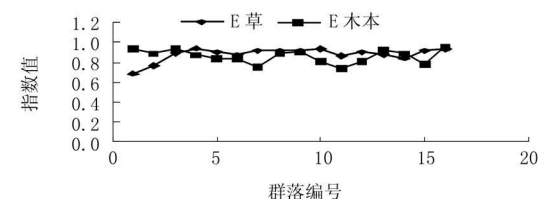


图5 群落均匀度分布

2.2.1 草本植物群落的物种多样性 由于物种多样性是一个综合量度, 进行多样性分析时应将各多样性测度指标进行全面考虑^[2]。综合图 1、2 可看出, 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: 14 号边坡的 4 个指数值同时达到了最大值, $R_0=8$, $R_1=1.861$, $D=0.777$, $H'=1.752$ 。8 号边坡的 4 个指数也同时达到了最小值, $R_0=2$, $R_1=0.334$, $D=0.444$, $H'=0.637$ 。 R_0 值较高的 2 号和 1 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 可看出, 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 可看出, 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, 70% 的 D 值集中在 0.50 ~ 0.70 之间, H' 值的变化范围 0.95 ~ 1.5。 D 和 H' 变化趋势一致, 但 D 值和 H' 值相对较低, 说明了各矿区草本植被恢复一般。从图 5 可看出, 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, 4 号矿区达到了最大值 0.943, 1 号矿区达到了最小值 0.682。

2.2.2 木本植物群落的物种多样性 从图 3、4 可看出, 群落物种丰富度指数和物种多样性指数变化趋势一致, 在 2 号矿区达到最高值, 2 号矿区达到了最大值, $R_0=24$, $R_1=4.874$, $D=0.926$, $H'=2.817$ 。从图 3 可看出, 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 1.5 ~ 3.0 之间, 且同一矿区 D 和 H' 值要高于草本群落。且木本植物的均匀度都较高。木本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

护的木本植物,其成活率较高。工程中灌木一般通过种子混播,而乔木都是通过人工栽植。因此木本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。

3 结论与讨论

对海岛矿山修复边坡的植被进行调查研究后,通过对植物种类、植物数量、密度、盖度等的调查中发现在植物的植被的恢复过程中,恢复时间较长,矿区的土壤基质良好,水分条件充足,矿区周围原生植被较好的地点植被恢复后的植物种丰富度较高,新工艺的应用、土壤的改良、后期的养护管理对于植物的生长、群落的构建具有重要的意义;海岛边坡复绿选择的植物种类较多,其中种数最多的是禾本科,其次是豆科、菊科、木犀科、蔷薇科、山茶科、樟科、苦木科,从植物群落结构看,主要是以灌木为主,乔灌木结合的植物群落类型,在后续的工作可以多应用一些乡土物种同时注意乔灌木植物的优良搭配。而通过对植被恢复的多样性调查研究后得出,草本和木本植物的丰富度指数、多样性指数保持了一定的变化趋势,木本植物的多样性指数明显高于草本植物的多样性指数,说明了群落结构的复杂多样,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;草本和木本植物的均匀度指数都较高,但因为木本一般为人工栽植,因此均匀性指数的研究意义不大。

在实践中证实海岛矿山修复边坡中恢复较好的边坡所选植物都能够适应海岛特殊的自然地理条件,且选择的植物配置均为乔灌木模式。其中均是先以草本植物作为先锋植物,为灌木生长提供一些必须的生存环境,然后乔灌木优良生长,最后形成一个稳定的自然的植物群落。通过对海岛矿山修复边坡的植物调查中发现,依然存在一些人工修复的海岛边坡的植物在选择和搭配上不完善,植物选择及搭配不尽合理。因此结合海

岛边坡的特殊气候环境条件,在遵循因地制宜、因“坡”制宜、绿化和美化结合、以乡土植物为主、引进植物为辅、遵循适“坡”适树,适“坡”适草的原则下,选择提出以下3种植物配置模式供参考:一是女贞+夹竹桃+刺槐+黑松+马棘+胡枝子+高羊茅+紫花苜蓿+迎春为典型配置。将高羊茅、刺槐作为优势种;二是臭椿+盐肤木+紫穗槐+决明+茶树+胡枝子+高羊茅+黑麦草+黄馨为典型配置。将高羊茅、紫穗槐作为优势种;三是构树+马尾松+刺槐+马棘+决明+海桐+高羊茅+狗牙根+迎春为典型配置。将高羊茅、马棘作为优势种。

参考文献

[1] 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.
[2] 李海芬,卢欣石,江玉林.高速公路边坡生态恢复技术进展[J].四川草原,2006,2(123):34-38.
[3] Coppin N J, Richards I G. Use of vegetation in civil engineering[M]. CIRIA; Butterworths, 1990: 292.
[4] Gray D H, Sotir B R. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization; a practical guide for erosion control[M]. John Wiley & Son, Toronto, 1996.
[5] Nordin A R. Bioengineering to ecoengineering[J]. Part one: the many names. International Group of Bioengineers newsletter 1993(3): 15-18.
[6] 张华君,吴曙光.边坡生态防护方法和植物的选择[J].公路交通技术,2004,4(2):84-86.
[7] 李西,罗承德,陈其兵.岩石边坡植被护坡植物选择初探[J].中国园林,2004(9):52-53.
[8] 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.
[9] 蔡胜,辜彬,杨晓亮,等.浙江省废弃采石区植被重建后物种多样性研究[J].水土保持通报,2009(5):201-205.
[10] 李一为,田佳,赵方莹,等.108国道门头沟段微立地植物分布特征及边坡绿化植物的选择与配置[J].中国水土保持科学,2006,4(B12):19-21.
[11] 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.
[12] 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.

Plant Diversity Analysis on Repaired Side-slope of Mine in Islands

XU Xiao-juan¹, ZHU Kai-hua¹, YIN Jin-zhu¹, KUI Feng-chao¹, HAN Yan², GU Bin¹
(1. College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064; 2. Chengdu Tianlang Science and Technology Limited Company, Chengdu, Sichuan 610064)

Abstract: This paper analysed the plant diversity of slopes after vegetation restoration. The results showed that the mine areas with good soil, enough water and native vegetation, had higher species richness of plants after long-time vegetation restoration. There were many greening plants in Zhoushan, of which Gramineae was the leading family, followed by Leguminosae, Compositae, Oleaceae, Rosaceae, Theaceae and Lauraceae. The structure of plant community had three levels including tree, shrub, herbaceous layers. Indigofera pseudotinctoria Matsum and Amorpha fruticosa were the dominant species. Both herbaceous plant and woody plant showed high evenness indexes, however, the diversity and richness indexes of woody plants were higher than that of herbaceous plants. According to vegetation survey and plant diversity analysis, the plant-selection principle for side-slope repair in islands was made, and plants which grew well under similar conditions were also advised. At last, some plant disposition patterns were proposed for future references.
Key words: vegetation restoration; side-slope repair; diversity; plant construction