

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

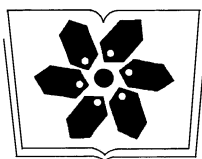
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

遂渝铁路边坡草本植物多样性季节 动态和空间分布特征

王倩¹, 艾应伟^{1,*}, 裴娟¹, 刘浩¹, 李伟^{2,*}, 答竹君¹, 郭培俊¹

(1. 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, 成都 610064;

2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要:以遂渝铁路边坡植物群落为研究对象, 自然边坡为对照, 分别于 2008 年 9 月、12 月、2009 年 3 月和 6 月对其进行植物调查。采用 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数等指标评价不同季节、坡位和植被类型条件下草本植物多样性的变化。结果表明: 在时间尺度上, 铁路边坡坡中物种丰富度呈现明显的季节性差异 ($P < 0.05$), 以秋季最大为 2.376; 铁路边坡各坡位草本植物多样性和均匀度指数也呈现显著季节性变化 ($P < 0.05$), 且变化规律一致: 春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季; 与铁路边坡不同, 自然边坡草本植物丰富度、多样性和均匀度指数变化趋势不明显 ($P > 0.05$)。在空间分布上, 坡位对铁路边坡物种丰富度影响显著 ($P < 0.05$), 其中, 夏季坡上植物丰富度最大为 2.164, 春季、秋季和冬季丰富度最大值均在坡中最大, 分别为 2.261、2.376 和 1.983; 坡位仅对自然边坡秋季物种丰富度和均匀度影响显著 ($P < 0.05$), 其中, 物种丰富度表现为坡上 > 坡下 > 坡中, 而均匀度为坡中 > 坡上 > 坡下。不同植被类型的物种丰富度、多样性和均匀度也有较大差异, 自然边坡物种多样性明显大于铁路边坡, 总体上自然边坡植被恢复优于铁路边坡。因此, 加强对植被恢复的管理是铁路边坡生态恢复的重要环节。

关键词:铁路边坡; 植被恢复; 草本植物多样性; 季节动态; 空间分布

Seasonal dynamics and spatial distribution of herbage diversity on the slopes of Suiyu railway

WANG Qian¹, AI Yingwei^{1,*}, PEI Juan¹, LIU Hao¹, LI Wei^{2,*}, DA Zhujun¹, GUO Peijun¹

1 College of Life Sciences, Sichuan University, Key Laboratory of Bio-resources and Eco-environment, Ministry of Education, Chengdu 610064, China

2 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academic of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: Seasonal dynamics and spatial distribution of herbage diversity were studied in the vegetation on the slopes of Suiyu railway as compared with the natural slopes. Herbaceous community was investigated in four seasons including March (spring), June (summer), September (autumn) and December (winter) from 2008 to 2009, respectively. The Margalef index, Simpson index, Shannon-Wiener index and Pielou index were analyzed. The results indicated that, the species richness existed prominent difference in the middle slope on the slopes of Suiyu railway ($P < 0.05$), the maximum species richness reached 2.376 in autumn. Both species diversity and evenness index had significant difference among different seasons in different location of the slope ($P < 0.05$), and the changing of species diversity and evenness index had the same rules with the following order: spring > summer > winter > autumn, while the seasonal changes of species richness, diversity and evenness indices were not obvious on the natural slope. The location of the railway slope affected the species richness prominently ($P < 0.05$) rather than diversity and evenness ($P > 0.05$), the species richness reached its maximum of 2.164 in summer on the upper slope, 2.261, 2.376 and 1.983 in spring, autumn and winter on the middle slope respectively. The location of the natural slope only affected the species richness and evenness in autumn significantly

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40771087; 40571064); 四川省科技支撑计划项目 (07FG001-018); 四川省公益性研究项目 (2008FG0006); 中国科学院“西部之光”计划项目

收稿日期: 2009-10-27; 修订日期: 2010-09-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: aiyw99@sohu.com; liwei@imde.ac.cn

($P < 0.05$), moreover, they had different kinds of changing rules. The species richness followed the order as of upper > lower > middle, whereas, the evenness followed the order as of middle > upper > lower. There existed larger differences in the aspect of the species richness, diversity and evenness among different vegetation types. The species richness on the natural slope was significantly larger than that on the railway slope, and the vegetation restoration on the natural slope was better than that on the slope of railway. So strengthen the management is key measurement to ecological restoration of railway slope.

Key Words: railway slope; restoration of vegetation; herbage diversity; seasonal dynamics; spatial distribution

近年来,随着经济的快速发展,我国的铁路建设也得到飞速发展,由此产生了大量的裸露岩石边坡^[1]。裸露的铁路边坡常会对周围环境造成影响,如造成水土流失、土壤退化、诱发山体滑坡、破坏当地自然景观和植物群落、降低生物多样性等,导致生态系统退化,影响生态环境的可持续发展^[2-4],因此对铁路边坡的植被恢复迫在眉睫。针对这些岩石边坡,以植物为主体的坡面生态护坡技术日益受到重视^[5],该技术是指用活的植物与工程措施结合,以防止岩石坡面风化剥落的技术与手段^[6]。目前较常用的铁路边坡生态护坡方式为客土喷播护坡技术,该技术所采用的人工土壤不同于自然风化所形成的土壤,而是将植物生长的基础——土壤与有机基材、高分子粘合剂、保水剂、肥料和种子等,按一定比例混合,形成适宜植物生长的人工土壤层^[7]。土壤是植物的生长基质,而铁路边坡采用的人工土壤与自然风化形成的土壤不同,因此研究这两种不同土壤边坡植物多样性的差异,及其在不同季节和坡位时植被恢复的情况显得尤为重要。

物种多样性是生物多样性在物种水平上的表现形式,可表征生物群落的结构复杂性,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,是生物多样性的重要有机组成部分,是生态学领域的研究热点^[8],同时物种多样性的恢复也是植被恢复过程中最重要的特征之一^[9]。目前,对道路边坡生态恢复的研究主要集中于对坡面恢复技术、不同基材配比、不同植物配置和添加物对边坡恢复效果的影响方面^[10-12]。国外对植被恢复过程中的物种组成、多样性变化、多样性与边坡生态系统、退化生态系统与天然生态系统的植物多样性差异等问题进行了大量研究^[13-17]。国内的学者多集中于矿山废弃地、森林、退化湿地等植被恢复过程中植物多样性的研究^[18-21],已有研究表明季节和坡向是草本植物多样性变化的两个主要原因^[22],而有关铁路边坡生态恢复过程中草本植物群落特征对季节变化的反应研究还不足。本文以人工生态护坡后的铁路边坡为研究对象,以自然边坡为对照,研究了坡位对群落物种丰富度、多样性和均匀度的影响,及其季节性变化规律。了解铁路边坡恢复过程中植被的季节和空间变化规律,为研究铁路边坡的生态恢复建设提供参考和理论依据。

1 研究地自然概况和研究方法

1.1 研究地概况

实验研究地点位于四川丘陵区的遂渝铁路遂宁站附近(30°32'N, 105°32'E)。遂渝铁路为西部首条高速铁路,起于四川省遂宁市,途经潼南、合川到重庆。研究区以潮湿的亚热带季风气候为主,其特征为春早、夏热、秋短、冬迟,热量丰富、雨量充沛。该研究区年平均气温 17.4℃,最冷月(1 月份)平均气温 6.5℃,极端最低气温 -3.8℃,最热月(8 月份)平均气温 27.2℃,极端最高气温 39.3℃。年平均降雨量 887.3—927.6 mm,月平均最大降雨量 198.1 mm(7 月份),日平均最大降雨量 199.8 mm。春季、夏季、秋季和冬季降雨量分别为:169—193 mm、473—480 mm、199—222 mm 和 38—44 mm,各季节降雨量占全年降雨量比例分别为:19—21%、51—54%、22—24% 和 4—5%。总体来看,旱季(10—4 月份)平均雨量 213.3 mm,占全年雨量的 23%,雨季(5—9 月份)平均雨量 714.3 mm,占全年雨量的 77%。年平均日照 1189.2 h,年平均蒸发量 991.4 mm。该区域属四川盆地中部丘陵低山地区,地质构造简单,褶皱平缓;地貌类型单一,属中生代侏罗纪岩层,覆盖层为黏砂土和砂砾层,基岩为泥岩夹砂岩;岩层整体性较差,呈大块状和块状结构^[23]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

在遂渝铁路遂宁站附近 1km 范围内,选取坡度约为 45°的铁路边坡,该边坡于 2003 年采用客土喷播技术进行人工植被恢复。同样选取位于遂宁站附近,坡度约 45°的自然边坡作为对照。由于铁路边坡土壤在短短 5a 未完全熟化,因此土层较薄,只有十几厘米。土壤水分是植物赖以生存的基本条件,铁路边坡和自然边坡土壤含水量变化规律如图 1 所示。调查研究的时间依次为 2008 年 9 月(秋季)、2008 年 12 月(冬季)、2009 年 3 月(春季)和 2009 年 6 月(夏季)。植被调查采用样方法,根据实际坡形,将研究的边坡分为坡上、坡中和坡下 3 个处理,每个处理设 20 个重复,共 120 个样方,每个样方面积为 1 m × 1 m。各样地草本植物群落基本特征见表 1。

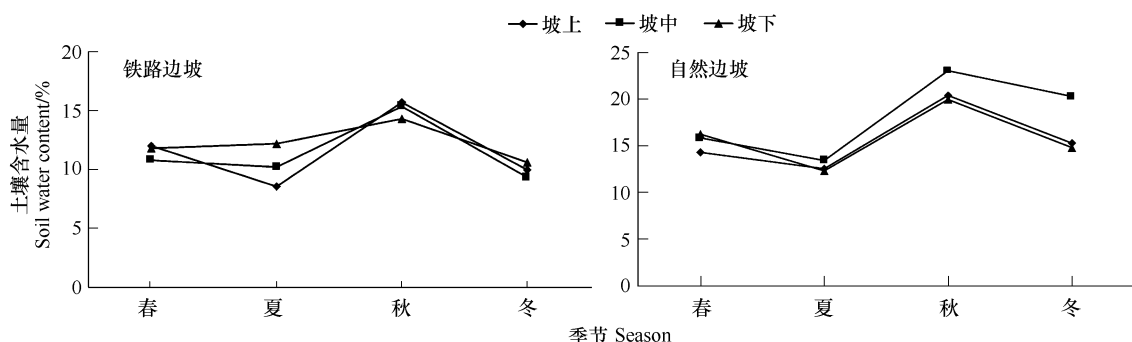


图 1 样地土壤含水量的季节与空间变化

Fig. 1 Seasonal dynamics and spatial patterns of soil water content in each sampling plots

表 1 样地草本植物群落特征描述

Table 1 Features of community of herbs in the sampling plots

边坡类型 Slope type	坡位 Slope position	优势种 Dominant species	主要伴生种 Associated species
铁路边坡	坡上	狗牙根、狗尾草	苜蓿、高羊茅
	坡中	狗牙根、苜蓿	狗尾草、飞蓬、黑麦草、高羊茅
	坡下	狗牙根、黑麦草	苜蓿、飞蓬、高羊茅
自然边坡	坡上	芒	蜈蚣草、飞蓬、竹叶草、野胡萝卜
	坡中	芒	黑麦草、三叶崖爬藤
	坡下	芒	竹叶草、黑麦草

狗牙根 *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.; 芒 *Miscanthus sinensis* Anderss.; 狗尾草 *Setaria viridis* (Linn.) Beauv.; 紫花苜蓿 *Medicago sativa* Linn.; 高羊茅 *Festuca arundinacea*; 飞蓬 *Erigeron acer* Linn.; 黑麦草 *Lolium perenne* Linn.; 竹叶草 *Oplismenus compositus* (Linn.) Beauv.; 蜈蚣草 *Pteris vittata* Linn.; 野胡萝卜 *Daucus carota* Linn.; 三叶崖爬藤 *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg

1.2.2 观测内容

调查观测内容包括:每个坡位各个样方内出现的草本植物物种名称、多度、种数和每个样方的盖度。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,对每个网格结点记录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。各样方草本植物平均盖度见图 2。

1.2.3 物种多样性测度方法

(1) 物种丰富度指数

Margalef 指数:

$$R = (S - 1) / \ln S$$

(2) 物种多样性指数

Shannon-Wiener 指数:

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

Simpson 指数:

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

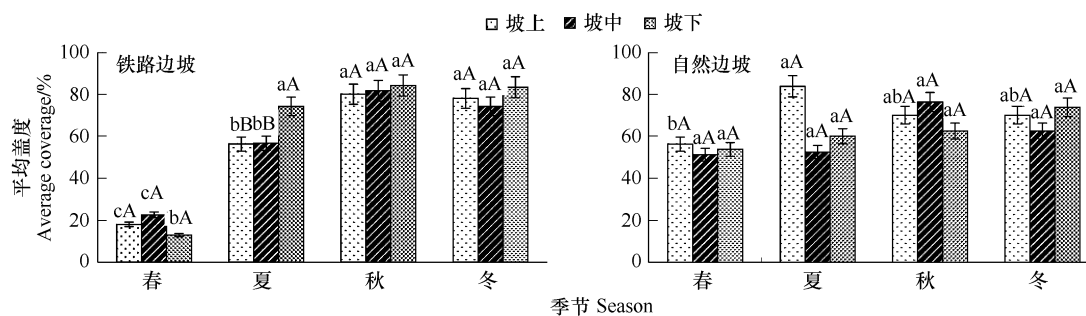


图2 样地草本植物平均盖度的季节和空间变化

Fig. 2 Seasonal dynamics and spatial patterns of herbs average coverage in each sampling plots

大写字母表示不同坡位植物盖度的差异,小写字母表示不同季节植物盖度的差异;不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)

式中, $P_i = n_i/N$ 。

(3) 物种均匀度指数

Pielou 指数:

$$J = H/\ln S$$

式中, S 为群落中的总种数; n_i 为种 i 的个体数; N 为观察到的个体总数; P_i 为种 i 的个体数占群落中总个体数的比例。

本研究数据用 SPSS Statistics 17.0 统计软件和 Excel 进行分析处理。

2 结果与讨论

2.1 不同季节草本植物多样性的变化

2.1.1 草本植物丰富度季节动态

由表 2 可以看出,在铁路边坡的 3 个坡位中,仅坡中表现出草本植物 Margalef 指数季节变化特征明显($P < 0.05$),具体表现为夏季和冬季无显著差异($P > 0.05$),但二者均显著低于秋季($P < 0.05$)。这表明,铁路边坡坡中植物 Margalef 指数对季节依赖性较强。铁路边坡坡上、坡中和坡下的植物 Margalef 指数均在秋季达到最大,分别为:2.164、2.376 和 1.632。自然边坡各个坡位的 Margalef 指数季节性变化不显著($P > 0.05$),仅自然边坡坡中表现出春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季的变化规律,坡上和坡下均表现为秋季 > 春季 > 夏季 > 冬季,由此可知,自然边坡坡中物种丰富度在春季达到最大值,坡上和坡下最大值出现在秋季,依次为:1.969、2.465 和 2.144。

表2 各样地草本植物丰富度 Margalef 指数的比较

Table 2 Pattern of species richness index in every sampling plots

季节 Season	铁路边坡 Railway Slope			自然边坡 Natural Slope		
	坡上 Upper	坡中 Middle	坡下 Lower	坡上 Upper	坡中 Middle	坡下 Lower
春 Spring	1.807aB	2.261abA	1.506aB	2.325aA	1.969aA	2.128aA
夏 Summer	2.158aA	1.992bA	1.569aB	2.214aA	1.803aA	1.978aA
秋 Autumn	2.164aA	2.376aA	1.632aB	2.465aA	1.632aB	2.144aAB
冬 Winter	1.951aA	1.983bA	1.505aB	1.992aA	1.726aA	1.898aA

大写字母表示不同坡位 Margalef 指数的差异,小写字母表示不同季节 Margalef 指数的差异;不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)

由表 2 可以看出,不同季节,铁路边坡物种丰富度有一定的变化,Margalef 指数从春季到秋季呈现基本增加的趋势,秋季到冬季减小。这可能与各个季节的水热条件有关,因为温度和降雨是坡面植被恢复的两个重要因素^[24]。该研究区春季气温低,降雨量小,干旱,夏季温度升高,降雨增多,尤其是 5—9 月份雨量最多,平均月最大降雨量为 198.1 mm,其中 8 月份温度较高,为植物生长提供有利的水热条件,因此表现出从春季到

秋季物种丰富度不断增加的趋势,而到冬季由于气温较低,降雨量减小,仅占全年降雨量的 4%—5%,不利于大多数植物的生长,只有部分冷季型植物能很好生长,因此植物丰富度又呈下降趋势。

2.1.2 草本植物多样性和均匀度的季节变化

草本植物物种多样性采用 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数来衡量。表 3 显示,草本植物多样性季节动态明显,尤其是铁路边坡秋季的草本植物多样性与其他季节有显著差异。铁路边坡秋季的植物多样性最低,其坡上、坡中和坡下的物种 Simpson 指数分别为 0.072、0.161 和 0.070,Shannon-Wiener 指数分别为:0.184、0.361 和 0.150;秋季相对于其他季节,物种个体分配均匀度最差,铁路边坡坡上、坡中和坡下的物种 Pielou 均匀度指数也在秋季呈现最小值,分别为:0.132、0.242 和 0.171(表 4)。与秋季相反,铁路边坡春季的草本植物物种多样性和均匀度最高,表明春季铁路边坡草本植物多样性最大,植物个体数分配最为均匀。

表 3 各样地草本植物物种多样性指数的比较
Table 3 Pattern of species diversity index in every sampling plots

边坡类型 Slope type	季节 Season	Simpson 指数			Shannon-Wiener 指数		
		坡上 Upper	坡中 Middle	坡下 Lower	坡上 Upper	坡中 Middle	坡下 Lower
铁路边坡 Railway slope	春	0.416aA	0.430aA	0.400aA	0.747aA	0.819aA	0.612aA
	夏	0.339aA	0.363aA	0.246abA	0.649abA	0.681abA	0.406abA
	秋	0.072bA	0.161bA	0.070cA	0.184bA	0.361bA	0.150cA
	冬	0.249abA	0.355abA	0.201bcA	0.514abA	0.659abA	0.354bcA
自然边坡 Natural slope	春	0.532aA	0.504aA	0.462aA	1.031aA	0.818aA	0.830aA
	夏	0.641aA	0.518aA	0.588aA	1.173aA	0.834aA	1.027aA
	秋	0.653aA	0.562aA	0.518aA	1.282aA	0.894aA	0.995aA
	冬	0.563aA	0.449aA	0.531aA	1.012aA	0.750aA	0.927aA

大写字母表示不同坡位物种多样性指数的差异,小写字母表示不同季节物种多样性指数的差异;不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)

表 4 各样地草本植物 Pielou 均匀度指数的比较
Table 4 Pattern of species evenness index in every sampling plots

季节 Season	铁路边坡 Railway Slope			自然边坡 Natural Slope		
	坡上 Upper	坡中 Middle	坡下 Lower	坡上 Upper	坡中 Middle	坡下 Lower
春 Spring	0.691aA	0.576aA	0.810aA	0.695aA	0.771aA	0.700aA
夏 Summer	0.466abA	0.551aA	0.540abA	0.893aA	0.841aA	0.861aA
秋 Autumn	0.132cA	0.242bA	0.171cA	0.826aAB	1.030aA	0.714aB
冬 Winter	0.413bA	0.562aA	0.472bA	0.817aA	0.733aA	0.812aA

大写字母表示不同坡位物种均匀度指数的差异,小写字母表示不同季节物种均匀度指数的差异;不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)

由表 3 和表 4 可以看出,各季节铁路边坡植物物种多样性指数(Simpson 指数和 Shanon-Wiener 指数)和 Pielou 均匀度指数均有显著性差异($P < 0.05$)。表明铁路边坡草本植物物种多样性季节变化较为强烈,这主要与各季节的水热条件和非生物因素有关。温度、光照和水份等环境因子随季节变化而变化,这些环境因子是植物赖以生存的条件。因此在不同季节,植物的生长和群落特征都发生了明显变化。春季和夏季 Simpson 指数无显著差异($P > 0.05$),但二者均显著高于秋季($P < 0.05$)。Shanon-Wiener 指数与 Simpson 指数类似,季节性变化较大,秋季显著低于春季($P < 0.05$),夏季和冬季差异不显著($P > 0.05$)。不同坡位,铁路边坡 Pielou 均匀度指数在春季和夏季时无显著差异($P > 0.05$),但均显著大于秋季($P < 0.05$),冬季也显著大于秋季($P < 0.05$)。Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均波动性变化,即从春季到秋季,依次递减,从秋季到冬季又增大。这说明春季时铁路边坡的物种多样性和均匀度最高,秋季铁路边坡的物种多样性和均匀度最低。究其原因,可能是由于一些植物属暖季型,只能在气温较高,水热和光照条件好的春季和夏季完成其生活史,到秋季时,其地上部分泛黄枯萎(如狗牙根),从而使物种多样性降低;也可能是因为草本植

物个体之间的生长竞争所导致的自然稀疏^[25]。也可能是因为人工建植的植物占据主要生活空间,阻止了当地植物的入侵。如禾本科植物狗牙根属多年生草本植物,茎匍匐,根系发达,并于节上生根及分根,根茎交织成网状,覆盖力极强,固土效果好,耐高温,干旱。因此即使在比较干旱的春季,也能很好的繁殖生长,有效的阻止了其他植物的生长和繁殖。多样性指数从秋季到冬季呈上升趋势,可能是因为人工护坡所采用的一些冷季型植物(如黑麦草等)的生长。

自然边坡物种多样性指数和 Pielou 均匀度指数随季节变化无显著变化,表明自然边坡植物群落较铁路边坡植物群落稳定,不随季节变化而明显变化。与铁路边坡不同的是,自然边坡 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数在秋季最大(除坡下)。这可能是因为自然边坡土壤环境较成熟,夏秋季节水热条件好,其次由图 1 可知,秋季时土壤含水量也较高,因此大部分植物在夏季和秋季时生长最为茂盛。另外,除自然边坡坡中, Pielou 均匀度指数均表现出最大值出现在夏季,最小值出现在春季。这可能与自然边坡的植物群落物种组成有关,种类较多,且每种植物的数量相差不多,也比较符合季节规律,春季气温较低,从春季到夏季气温逐渐升高,处于慢慢回升阶段,植物开始生长,到夏季植物生长茂盛。

2.2 不同坡位草本植物多样性的变化

2.2.1 坡位对草本植物丰富度的影响

对于每个调查样点(1 m × 1 m),用 Margalef 指数来评价草本植物物种丰富度。由表 2 可以看出,坡位对铁路边坡物种丰富度有显著影响($P < 0.05$),对自然边坡秋季的物种丰富度有显著影响($P > 0.05$),不同坡位之间的物种丰富度差异较大,表明植物对立地因子和微环境有依赖性。Esther Bochet 研究表明坡位是影响公路边坡植被恢复的主要因素之一^[26],本研究同样表明坡位会影响铁路边坡的植被恢复。比较各季节不同坡位物种丰富度可以看出,夏季、秋季和冬季,铁路边坡坡下 Margalef 指数显著低于坡上和坡中。春季,铁路边坡坡中草本植物较丰富,显著高于坡上和坡下($P < 0.05$),其最大值和最小值差异达 0.755;夏季、秋季和冬季,坡中物种丰富度较高,但与坡上无显著差异($P > 0.05$),各个季节均在易受人为活动干扰的坡下物种丰富度最低。与铁路边坡不同,坡位对自然边坡春季、夏季和冬季物种 Margalef 指数无显著影响。秋季,自然边坡坡中物种丰富度显著低于坡上($P < 0.05$),差值达 0.833。各个季节自然边坡 Margalef 指数均表现为坡上 > 坡下 > 坡中。这可能与各个坡位的具体微环境和立地因子不同有关,微地形对土壤的水肥条件产生影响,进而影响植物的生长,也可能与不同坡位所受阳光的辐射不同,光照不同也会影响植物的生长。

2.2.2 坡位对草本植物多样性和均匀度的影响

各季节,铁路边坡和自然边坡不同坡位的物种多样性变化规律有所不同(表 3)。铁路边坡各坡位植物 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数在不同季节均表现出规律性变化,即:坡中 > 坡上 > 坡下,表明坡中物种多样性较高,可能是因为铁路边坡坡下易受人为干扰和污染,而坡上的水分和养分却有向下流失的趋势,因此坡中更利于植物的生长繁殖。坡位对 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数均无显著影响($P > 0.05$)。与铁路边坡类似,坡位对自然边坡 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数也无显著影响($P > 0.05$),但与铁路边坡不同的是:春季和秋季,自然边坡不同坡位 Simpson 指数表现为:坡上 > 坡中 > 坡下,而夏季和冬季为:坡上 > 坡下 > 坡中;Shannon-Wiener 指数在各个季节均表现为:坡上 > 坡下 > 坡中。结合 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数来看,自然边坡坡上物种多样性较高。可能是因为自然边坡坡上的抗干扰能力最强,无人活动的干扰,另外坡上有灌木和乔木的生长,有较多的凋落物,凋落物在涵养水源方面起着重大的作用,有利于坡面的水土保持,为植物的生长提供了有利条件^[27]。

由表 4 可以看出,不同季节,坡位对铁路边坡植物物种 Pielou 均匀度指数均无显著影响($P > 0.05$)。春季,铁路边坡坡下植物 Pielou 均匀度指数最高,其次为坡上,坡中最小。夏季、秋季和冬季,铁路边坡不同坡位植物 Pielou 均匀度指数均表现为:坡中 > 坡上 > 坡下。表明春季时植物在铁路边坡坡下的分布较均匀,夏季、秋季和冬季时坡中的植物较均匀。可能是因为早春植物较广泛的分布在坡下,而坡中和坡上相对较少;到夏季、秋季和冬季时,早春植物凋落枯萎,代之以其他植物。与铁路边坡不同,春季、夏季和冬季,坡位对自然边

坡植物均匀度影响不显著($P > 0.05$),表明这 3 个季节自然边坡植物个体分布的均匀程度受坡位的影响较小。秋季时,坡位对自然边坡物种 Pielou 均匀度指数有显著影响,坡下显著低于坡中($P < 0.05$),而坡上与坡中、坡下无显著差异($P > 0.05$)。因此在不同坡位,运用生态位理论,植被建设可以采取分层结构模式^[28]。

2.3 植被类型对草本植物多样性的影响

结合表 2、表 3 和表 4 可知,在季节和坡位相同时,植被类型对草本植物多样性也有明显的影响。除自然边坡坡中 Margalef 指数小于铁路岩石边坡坡中,自然边坡草本植物的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-weiner 指数和 Pielou 均匀度指数均大于铁路岩石边坡,表明自然边坡草本植物比采用人工植被恢复的铁路边坡丰富,自然边坡的物种多样性和均匀度也高于铁路边坡,这与裴娟的研究结果相同^[29]。这可能与人工护坡所采用的植物种类有关。由表 1 可以看出,经过近 5a 的恢复,铁路边坡与自然边坡的植被类型有较大差异,如优势种完全不同。因为护坡一般选用的植物都是狗牙根(*Cynodon dactylon* L.)、高羊茅(*Festuca anundiacea*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、白三叶(*Trifolium repens white clover*)和黑麦草(*Lolium perenne*)等,主要植物为狗牙根和高羊茅等先锋植物,在一定程度上阻止了本土植物的入侵^[30],其次由于铁路边坡的人工土壤在短期内还没有完全熟化,而自然边坡的土壤为熟化土壤,适合植物生长,本地植物的快速生长也改善了土壤质量,有利于植物的生长和繁殖,因此植物种类比较丰富,铁路边坡植物种类较自然边坡单一,物种多样性较低。另外人工土壤的土层较薄,表层极不稳定,容易受到外界的干扰,不利于植物的生长繁殖,而自然边坡土层较厚,土壤基质较松软,为植物的生长繁殖提供了有利的条件。物种 Pielou 均匀度指数仅反映不同种之间的数量对比关系,只与个体数目在各个物种中分布的均匀程度有关,即若种间的个体数目差异程度越小群落内的均匀度就越高^[31]。本实验调查的铁路边坡样方中,多为某一种或两种植被所覆盖,且数量也很接近,而其他的植物分布却很少,数目也较少。这可能是导致铁路边坡植物物种均匀度低于自然边坡的一个原因。再次微地形的起伏范围直径一般多从十几厘米到 20—50cm,垂直差异一般不超过 1m,微地形的存在也在一定程度上促进了植物群落的水平分化。铁路边坡与自然边坡植物生长的微环境差异较大,因此植物群落的群落特征差异也较大^[32]。这可能也是导致铁路边坡物种均匀度较自然边坡低的一个原因。由于生态系统恢复中土壤恢复通常滞后于地上植被^[33],铁路边坡土壤养分的缺乏也在一定程度上限制了植被的恢复,导致物种多样性低于自然边坡。

3 结论

通过研究遂渝铁路边坡草本植物多样性随不同季节、不同坡位和不同植被类型的变化,主要得出以下结论:

(1)不同季节铁路边坡草本植物多样性存在差异。总体来看,铁路边坡草本植物秋季丰富度最大,多样性和均匀度在春季最大。自然边坡草本植物多样性季节变化特征随坡位不同而不同,坡上和坡中在秋季最大,坡上和坡下草本植物在夏季均匀度最大。因此应注意理论与实践的结合以提高植被恢复效率。在实践上,应根据当地季节变化采取合理管理措施。在不同季节,做好水肥管理有利于植被的恢复,这对处于恢复阶段的铁路边坡尤为重要。

(2)坡位是影响植被恢复的又一重要因素。对于铁路边坡,各季节物种丰富度对坡位的反应均比较敏感,坡下小于坡中。坡位仅对自然边坡秋季植物丰富度有显著影响,即坡中显著小于坡上,同时自然边坡 Pielou 指数也对坡位的响应敏感。在具体实践上应运用生态位理论,可以采取分层结构模式进行植被建设,使人工恢复植被建设适应自然植被演替规律,提高生态效益。

(3)植被类型的差异也对植物多样性有较大影响。自然边坡坡上和坡下植物物种丰富度指数,自然边坡各个坡位草本植物多样性指数和均匀度指数均大于铁路边坡,这可能与两种边坡所采用的土壤类型和植物种类有关。由于人工土壤特殊的性质和成分,加之其土壤厚度较薄,护坡时应特别注意植物种类的选择,根据生态适应性原则,植被护坡时物种选择应适量采用乡土植物,以提高植被恢复效率和群落稳定性。

致谢:南开大学的范志金教授对本文的写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Zhuo M N, Li D Q, Zheng Y J. Study on soil and water conservation effect of bioengineering techniques for slope protection in highway. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20 (1): 164-167.
- [2] Yuan J G, Zhou X Y, Chen Y, Fan L, Yang Z Y. Natural vegetation and edaphic conditions on the cliff of abandoned quarries in early restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1517-1522.
- [3] Pan S L, Wang L, Gu B. Analysis of recoverable method for slope ecotope. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(2): 217-221.
- [4] Gao G J, Yuan J G, Han R H, Xin G R, Yang Z Y. Characteristics of the combination of synthetic soils by plant and soil properties used for rock slope restoration. *Ecological Engineering*, 2007, 30: 303-311.
- [5] Liu C X, Han L B. Review of researches in vegetation restoration of freeway slopes. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2090-2098.
- [6] Li S C, Sun H L. Developing trend and situations of technique to stabilize rock slope with vegetative cover in China. *Resources Science*, 2004, 26 (Supp.): 61-66.
- [7] Zhang M T, Qiu J D, Yan D. Application of external-soil spray seeding technique to slopes natural eco-restoration and protection. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2(3): 10-12.
- [8] Qi L H, Peng Z H, Zhang X D, Zhou J X, Cai C J, Wang Z Y. Species diversity and biomass allocation of vegetation restoration communities on degraded lands. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1697-1702.
- [9] Wen Y G, Yuan C A, Li X X, He T P, Lai J Y. Development of species diversity in vegetation restoration process in mid-mountain region of Damingshan, Guangxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(1): 33-40.
- [10] Zhao J W, Lu J G, Wang R H. Effect of application of seven bioengineering techniques for slope protection in highway. *Highway*, 2006, 1: 201-204.
- [11] Yang X L, Li J H, Peng T T, Cai S, Gu B. Effect of two organic amendments on anti-erodibility of synthetic soils for rock slope revegetation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(1): 21-25.
- [12] Ran X M, Shu Z P. The effect of different ratio of growing-base materials' composition on vegetation in Suiyu Railway slope. *Subgrade Engineering*, 2006, 6: 117-118.
- [13] Sagar R, Raghubanshi A S, Singh J S. Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186: 61-71.
- [14] Nagaraja B C, Somashekar R K, Raj M B. Tree species diversity and composition in logged and unlogged rainforest of Kudremukh National Park, South India. *Journal of Environmental Biology*, 2005, 26: 627-634.
- [15] Tilman D, Doering J A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 1994, 367: 363-365.
- [16] Ruiz-Jaén M C, Aide T M. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management*, 2005, 218: 159-173.
- [17] Verma R K, Kapoor K S, Rawat R S, Subramani S P, Kumar S. Analysis of plant diversity in degraded and plantation forests in Kunihar Forest Division of Himachal Pradesh. *Indian Journal of Forestry*, 2005, 28: 11-16.
- [18] Yang X, Gao L. A study on revegetation in mining wasteland of Dexing Copper Mine, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1932-1940.
- [19] Shao X Q, Wang K, Wang Y W, Liu G H. Dynamics of plant community during natural restoration and succession of the Inner Mongolia Steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 855-861.
- [20] Wang X G, Hao Z Q, Ye J, Ye J, Zhang J, Li B H, Yao X L. Relationships between species abundance and spatial distribution pattern of broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains of China. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(2): 145-150.
- [21] Hou Y, Guo Z G, Long R J. Changes of plant community structure and species diversity in degradation process of Shouqu wetland of Yellow River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1): 27-32.
- [22] Li B H, Zhang J, Yao X L, Ye J, Wang X G, Hao Z Q. Seasonal dynamics and spatial distribution patterns of herbs diversity in broadleaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 467-473.
- [23] Zeng L X, Pei J, Liu H, Zhang Z Q, Ai Y W. Study on differences of soil aggregate among different types of slope soil in the hilly area of Sichuan. *Journal of Sichuan Normal University (Natural Science)*, 2009, 32(3): 361-364.
- [24] Gao Q, Wang Z Q, Li Z. Research on vegetation restoration and slope protection technology in slope of rock mass. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2007, 24(5): 20-22.
- [25] Whittaker R H. Evolution of measurement of species diversity. *Taxon*, 1972, 21: 213-251.
- [26] Bochet E, Garcia-Fayos P. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, *Restoration Ecology*,

2004, 12(2): 166-174.

- [27] Lin B, Liu Q, Wu Y. Water holding capacity of moss and litter layers of subalpine coniferous plantations in western Sichuan, China. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2002, 8(3): 234-238.
- [28] Qian H, Bo M E, Liu B T, Shao S L, Hong L X. Reconstruction of artificial soil in rock side slope revegetation. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(Supp.): 83-86.
- [29] Pei J, Ai Y W, Liu H, Zhang Z Q, Zeng L X. Effects of slope position and aspect on vegetation restoration of excavated soil surface on Suiyu railway rock slope. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(2): 197-201.
- [30] Wang X M, Chen J P, Dong D J. Analysis of effects on vegetation slope protection technology of Thick-layer backing. *Hubei Agricultural Sciences*, 2009, 48(4): 891-893.
- [31] Lu T, Ma K M, Ni H W, Fu B J, Zhang J Y, Lu Q. Variation in species composition and diversity of wetland communities under different disturbance intensity in the Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1893-1900.
- [32] Song Y C. *Vegetation Ecology*. Shanghai: East China Normal University Press, 2001: 176.
- [33] Harris J A, Birch P, Palmer J. *Reclamation of Damaged Land for Nature Conservation*. HMSO: London, 1996.

参考文献:

- [1] 卓慕宁, 李定强, 郑煜基. 高速公路生态护坡技术的水土保持效应研究. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 164-167.
- [2] 袁剑刚, 周先叶, 陈彦, 凡玲, 杨中艺. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征. *生态学报*, 2005, 25(6): 1517-1522.
- [3] 潘树林, 王丽, 辜彬. 论边坡的生态恢复. *生态学杂志*, 2005, 24(2): 217-221.
- [5] 刘春霞, 韩烈保. 高速公路边坡植被恢复研究进展. *生态学报*, 2007, 27(5): 2090-2098.
- [6] 李绍才, 孙海龙. 中国岩石边坡植被护坡技术现状及发展趋势. *资源科学*, 2004, 26(Supp.): 61-66.
- [7] 章梦涛, 邱金淡, 颜冬. 客土喷播在边坡生态修复与防护中的应用. *中国水土保持科学*, 2004, 2(3): 10-12.
- [8] 漆良华, 彭镇华, 张旭东, 周金星, 蔡春菊, 王昭艳. 退化土地植被恢复群落物种多样性与生物量分配格局. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1697-1702.
- [9] 温远光, 元昌安, 李信贤, 和太平, 赖家业. 大明山中山植被恢复过程植物物种多样性的变化. *植物生态学报*, 1998, 22(1): 33-40.
- [10] 赵警卫, 芦建国, 王荣华. 七种生态护坡在高速公路边坡的应用效果. *公路*, 2006, 1: 201-204.
- [11] 杨晓亮, 李杰华, 彭婷婷, 蔡胜, 辜彬. 两种有机添加物对岩石边坡植被恢复人工土壤抗蚀性的影响. *水土保持学报*, 2009, 23(1): 21-25.
- [12] 冉雪梅, 舒中潘. 遂渝铁路边坡种植基材配比对植被的影响. *路基工程*, 2006, 6: 117-118.
- [18] 杨修, 高林. 德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究. *生态学报*, 2001, 21(11): 1932-1940.
- [19] 邵新庆, 王堃, 王赞文, 刘贵河. 典型草原自然恢复演替过程中植物群落动态变化. *生态学报*, 2008, 28(2): 855-861.
- [20] 王绪高, 郝占庆, 叶吉, 张健, 李步航, 姚晓琳. 长白山阔叶红松林物种多度和空间分布格局的关系. *生态学杂志*, 2008, 27(2): 145-150.
- [21] 后源, 郭正刚, 龙瑞军. 黄河首曲湿地退化过程中植物群落组分及物种多样性的变化. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 27-32.
- [22] 李步航, 张健, 姚晓琳, 叶吉, 王绪高, 郝占庆. 长白山阔叶红松林草本植物多样性季节动态及空间分布格局. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 467-473.
- [23] 曾丽霞, 裴娟, 刘浩, 张志卿, 艾应伟. 四川丘陵区不同类型边坡土壤的团聚体差异性研究. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 32(3): 361-364.
- [24] 高强, 汪在勤, 李震. 岩土坡面植被恢复技术的现在与趋势. *长江科学院院报*, 2007, 24(5): 20-22.
- [27] 林波, 刘庆, 吴彦. 川西亚高山人工针叶林枯枝落叶及苔藓的持水性能. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(3): 234-238.
- [28] 钱华, 柏明娥, 刘本同, 邵顺流, 洪利兴. 岩石边坡绿化过程中人工土壤的重建. *中国水土保持科学*, 2006, 4(Supp.): 83-86.
- [29] 裴娟, 艾应伟, 刘浩, 张志卿, 曾丽霞. 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. *水土保持通报*, 2009, 29(2): 197-201.
- [30] 王晓梅, 陈建平, 董道军. 喷射厚层基材植被护坡效果分析. *湖北农业科学*, 2009, 48(4): 891-893.
- [31] 卢涛, 马克明, 倪红伟, 傅伯杰, 张洁瑜, 陆琦. 三江平原不同强度干扰下湿地植物群落的物种组成和多样性变化. *生态学报*, 2008, 28(5): 1893-1900.
- [32] 宋永昌. *植被生态学*. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 176.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元