

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

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 33 卷 第 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 林川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201207080956

王芸, 欧阳志云, 郑华, 陈法霖, 陈圣宾, 曾静. 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响. 生态学报, 2013, 33(4): 1204-1211.
Wang Y, Ouyang Z Y, Zheng H, Chen F L, Chen S B, Zeng J. Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1204-1211.

南方红壤区 3 种典型森林恢复方式 对植物群落多样性的影响

王 芸, 欧阳志云*, 郑 华, 陈法霖, 陈圣宾, 曾 静

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:合理的森林恢复方式能提高植物多样性,进而提高生态系统服务功能。在我国南方红壤区研究了 3 种典型森林恢复方式(引进种恢复的湿地松(*Pinus elliottii*)人工林本地种恢复的马尾松(*Pinus massoniana*)人工林和自然恢复的天然次生林)的植物区系构成和植物群落多样性。结果表明:(1)湿地松人工林有 155 种植物,隶属 66 科 118 属,马尾松人工林有 137 种植物,隶属 59 科 97 属;天然次生林有 226 种植物,隶属 86 科 160 属,3 种森林恢复方式的乔木层、灌木层和草本层的优势科属明显不同,马尾松人工林的优势物种和天然次生林更相似;(2)天然次生林的植物区系基本构成、植物区系类型种类高于马尾松人工林和湿地松人工林,并且天然次生林的温带成分比例高于湿地松人工林;(3)恢复方式对植物群落的多样性指数有显著影响,天然次生林的物种丰富度、辛普森指数明显高于马尾松人工林和湿地松人工林,两种人工林之间差异不显著;(4)3 种森林恢复方式的植物群落结构存在显著差异,相比湿地松人工林,马尾松人工林的植物群落组成与天然次生林更相似。总之,自然恢复的天然次生林植物群落多样性高于人工恢复的马尾松人工林和湿地松人工林,本地种马尾松人工林在维持区域植物群落结构功能上优于引进种湿地松人工林。

关键词:森林恢复方式;生态系统服务功能;植物群落多样性;植物区系分析

Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China

WANG Yun, OUYANG Zhiyun*, ZHENG Hua, CHEN Falin, CHEN Shengbin, ZENG Jing

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Plant diversity has important ecosystem function in forest ecosystem. Forest restoration approaches can impact plant diversity, especially the understory plant diversity. We studied the floristic characteristics, plant community structure and diversity of three forest restoration approaches in red soil region of southern China, which included introduced species slash pine (*Pinus elliottii*) plantations, native species Masson pine (*Pinus massoniana*) plantations and natural secondary forests. For each forest restoration approach, a total of 15 independent plots were surveyed. On each plot, three 10 m × 10 m subplots of area were surveyed for trees' abundance, height and diameter at breast height. Within each tree subplot, one to two shrub quadrates (5 m × 5 m) and one to three herb quadrates (1 m × 1 m) were surveyed for plant species abundance. A total of 127 tree subplots, 238 shrub subplots and 357 herb subplots were effectively surveyed for plant community structure. The results showed that: (1) 155 species (which belong to 160 genera and 86 families), 137 species (which belong to 97 genera, 59 families) and 226 species (which belong to 160 genera, 86 families) were identified in

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-QN406); 国家科技支撑计划项目(2011BAC09B07-2); 国家自然科学基金项目(40871130); 中国博士后基金项目(2012M520406)

收稿日期:2012-07-08; 修订日期:2012-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

slash pine plantations, Masson pine plantations and natural secondary forests, respectively. Dominant species in these 3 forest restoration approaches varied in tree, shrub and herb layers. Dominant species in Masson pine plantations were more similar to that of natural secondary forests compared with that of slash pine plantations. In tree layer, the dominant plant in slash pine plantations was only *P. elliotti*. Similarly, the dominant plant in Masson pine plantations was only *P. massoniana*. The dominant species in natural secondary forests belong to Fagaceae, Lauraceae and Theaceae. In shrub layer, the dominant plants were Verbenaceae, Gramineae, Hamamelidaceae, Theaceae and Euphorbiaceae for slash pine plantations; Hamamelidaceae, Verbenaceae, Theaceae, Fagaceae and Myrtaceae for Masson pine plantations; Fagaceae, Hamamelidaceae, Theaceae, Rosaceae, Rubiaceae and Myrtaceae for natural secondary forest. In herb layer, the dominant plants were Gramineae, Gleicheniaceae and Thelypteridaceae for slash pine plantations; Gleicheniaceae, Hamamelidaceae, and Dryopteridaceae for Masson pine plantations; Myrsinaceae, Gramineae, Dryopteridaceae, Cyperaceae and Rubiaceae for natural secondary forests; (2) natural secondary forests had more flora types (21 flora types) than Masson pine plantations (16 flora types) and slash pine plantations (18 flora types), and had higher ratio of temperate flora. Natural secondary forests had more unique flora types in comparison with Masson pine plantations and slash pine plantations; (3) forest restoration approach had significant effects on forest community diversity. In tree, shrub and herb layer, natural secondary forest had higher species richness and Shannon-Wiener diversity index than Masson pine plantations and slash pine plantations. There was no significant difference in these indexes between slash pine plantations and Masson pine plantations; (4) multivariate analysis showed that these three reforestation approaches differed significantly in their species composition. Moreover, compared with slash pine plantations, the community composition of Masson pine plantations was more similar to the natural secondary forests. In conclusion, natural restoration is an important forest restoration approach since it was better than artificial plantations of *P. massoniana* and *P. elliottii*, yet the native species of *P. massoniana* plantations were superior to the introduced species of *P. elliottii* plantations in maintaining plant community structure.

Key Words: restoration approach; ecosystem services; plant community diversity; similarity analysis

森林生态系统具有重要的生态系统服务功能^[1-2],对维持我国自然生态系统格局、功能和过程具有重要意义^[3]。我国 72% 的林地处于退化状态^[4],生态服务较低,因而,恢复和重建退化森林生态系统是改善我国环境问题的根本所在^[5]。合理的森林恢复方式能够提高植物群落的多样性^[4, 6-7],进而提高生态系统服务功能^[8]。因此,研究不同森林恢复方式尤其是未经强烈人工干扰的植物群落构成及多样性^[9]对生态恢复重建^[10]和生态系统服务功能^[2]具有重要意义。

按照是否有人为活动干扰,森林恢复方式有自然恢复和人工恢复,而人工造林是人工恢复的重要内容。本地种马尾松(*Pinus massoniana*)适应能力强,是我国分布最广的松科植物^[11],马尾松人工林的面积占我国亚热带地区的造林面积的 14%^[12]。引进种湿地松(*Pinus elliottii*)具有抗旱耐贫瘠、早期生长快等特点^[13-14],在我国大面积种植。纯林或者外来种人工林会降低植物群落的多样性^[9],改变植物原初的植物群落结构,最终造成森林生态系统服务功能的降低^[6, 8, 14]。自然恢复能够加速森林恢复,具有更高的生态系统服务功能^[6, 8, 15-16]。有 Meta 分析认为,人工恢复生物多样性、生态系统服务功能高于退化区,而低于原始状态的对照区^[7]。当前关于生态恢复对植物群落影响的研究,多集中于不同演替、恢复阶段^[10, 16],而关于恢复方式对植物群落^[4, 17]乃至生态系统服务功能影响^[8]的研究则较少。

从植物群落多样性、土壤肥力维持等角度进行研究,有助于阐明不同森林恢复方式之间生态系统服务功能的差异,为我国南方红壤区的森林恢复提供理论依据,本课题将对相关问题开展系列研究。本文主要从植物群落多样性开展研究,目的在于回答以下两个科学问题:一是南方红壤区自然恢复(天然次生林)和人工恢复(马尾松人工林和湿地松人工林)的植物群落结构特征和多样性有何差异。二是本地种马尾松人工林和引进种湿地松人工林植物群落结构特征和多样性有何差异。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

本研究在湖南省衡阳县、江西省安福县、广西省桂林市的雁山区、临桂县和阳朔县开展,样地地处 24.890—27.318 °N, 110.150—114.549 °E 之间。样地属亚热带季风湿润气候,年均温 17.9—18.9 °C,年降雨 1452—1950 mm。样地海拔 90—295 m,土壤为红壤。研究区的天然次生林自恢复之后,人为干扰较少。马尾松人工林和湿地松人工林在最初种植的 3—4 a 后抚育 1 次,包括乔木下表土疏松以及林下植被的砍伐,之后不再进行抚育。所有样地恢复时间约为 20 年,样地其余详细信息参见文献^[18]。

1.2 样地设置与植物群落调查

每种森林恢复方式选取 15 个独立的样地,每个样地上调查 2—3 个 10 m × 10 m 面积上所有乔木的株高、胸径和株数,每个乔木样方内调查 1—2 个 5 m × 5 m 面积上的灌木物种数及株数,1—3 个 1 m × 1 m 面积上的草本物种数及株数。共调查乔木样方 127 个(其中湿地松人工林样方 42 个,马尾松人工林样方 45 个,天然次生林样方 40 个),灌木样方 238 个(湿地松人工林样方 80 个,马尾松人工林样方 86 个,天然次生林样方 72 个),草本样方 357 个(其中湿地松人工林样方 120 个,马尾松人工林样方 129 个,天然次生林样方 108 个),其中乔灌木的分层根据^[19]划分。

1.3 数据分析

1.3.1 植物种重要值计算方法^[20]

乔木层采用(1)式;灌木和草本层采用(2)式:

$$Si = (Di + Fi + Ai) / 3 \quad (1)$$

$$Si = (Di + Fi) / 2 \quad (2)$$

式中, D_i 、 F_i 和 A_i 分别代表第*i*个物种的相对多度、相对频度和相对优势度。相对多度等于第*i*个物种的个体数除以群落中所有物种的个体数的和;相对频度等于第*i*个物种在统计样方中出现的次数除以所有种出现的总频数;相对优势度,以相对胸径面积表示,等于第*i*个物种的胸高断面面积除以群落中所有物种的胸高断面面积和。

1.3.2 植物区系构成分析

种子植物的植物区系分析参考吴征镒先生的种子植物分布类型进行^[21]。

1.3.3 群落多样性指数

物种丰富度即为植物种数。

辛普森指数 Simpson index^[22],计算公式如下:

$$S_i = 1 - \sum p_i^2 \quad (3)$$

$$p_i = n_i / N \quad (4)$$

式中, n_i 指样地中第*i*个植物种的株数, N 指样地中所有植物种总株数。

1.4 数据处理

群落中的优势科按累积重要值确定^[23],通过单因素方差法检验恢复方式对植物群落多样性指数的影响。采用去趋势对应分析(DCA)分析不同森林恢复方式植物群落结构差异。植物群落的多元方差分析通过 R 语言中 Vegan 数据包的 mrpp, adonis 和 anosim 程序实现^[24]。单因素方差分析均通过 SPSS16.0 软件实现;DCA 用 Canonco 4.5 进行;用 Sigmaplot 软件作图。

2 结果与分析

2.1 植物区系基本构成和优势植物构成

植物的区系构成能反映地理和生态等信息,是研究植物群落多样性的基础。天然次生林有 226 种植物,隶属 86 科 160 属,湿地松人工林有 155 种,隶属 66 科 118 属,马尾松人工林有 137 种植物,隶属 59 科 97 属(表 1)。

在乔木层中,湿地松人工林有 32 种植物,隶属 5 科 6 属,马尾松人工林有 32 种植物,隶属 10 科 11 属,天然次生林有 121 种植物,隶属 37 科 47 属(表 1)。湿地松人工林中重要值最大的科是松科(Pinaceae),只包含湿地松一个物种,其重要值达到 93.0%。马尾松人工林中重要值最大的科是松科,只包含马尾松 1 个种,其重要值达到 86.1%。天然次生林中重要值较大的科是壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)和山茶科(Theaceae),其累积重要值达到 49.2%。

在灌木层,天然次生林的植物科数、种数和属数高于两种人工林(表 1)。湿地松人工林中重要值较大的科按重要值由大到小依次是马鞭草科(Verbenaceae)、禾本科(Gramineae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、山茶科、大戟科(Euphorbiaceae),累积重要值达 52.0%;马尾松人工林中重要值最大的科按重要值由大到小依次是金缕梅科、马鞭草科、山茶科、壳斗科和桃金娘科(Myrtaceae),累积重要值达 53.2%;天然次生林中重要值较大的科按重要值由大到小依次是壳斗科、金缕梅科、山茶科、蔷薇科(Rosaceae)、茜草科(Rubiaceae)和桃金娘科,累积重要值达 49.0%。

在草本层,植物的科数、属数和种数表现为天然次生林高于湿地松人工林和马尾松人工林(表 1)。湿地松人工林中重要值较大的科按重要值由大到小依次是禾本科、里白科(Gleicheniaceae)和金星蕨科(Thelypteridaceae),其累积重要值为 48.0%。马尾松人工林中重要值较大的科是里白科、金缕梅科和鳞毛蕨科(Dryopteridaceae),累积重要值为 50.7%。天然次生林中紫金牛科(Myrsinaceae)、禾本科、鳞毛蕨科、纸莎草科(Cyperaceae)和茜草科重要值较大,累积重要值为 50.0%。

表 1 3 种森林恢复方式的植物群落区系基本构成

Table 1 Floral basic composition under 3 forest restoration approaches

层 Layer	恢复方式 Restoration approach	科数 Number of family	属数 Number of genus	种数 Number of species
所有植物 All plants	SP	66	118	155
	MP	59	97	137
	NF	86	160	226
乔木层 Tree layer	SP	5	6	23
	MP	10	11	32
	NF	37	47	121
灌木层 Shrub layer	SP	33	63	110
	MP	38	61	109
	NF	57	94	161
草本层 Herb layer	SP	43	67	76
	MP	34	50	60
	NF	47	78	88

SP: 湿地松人工林 Slash pine plantation; MP: 马尾松人工林 Masson pine plantation; NF: 天然次生林 Natural secondary forest

2.2 植物区系成分分析

所调查到的植物区系成分以热带成分为主,温带成分次之,世界分布成分最少,分别占总属数的 42%—70%、20%—48% 和 3%—16%(图 1)。在湿地松人工林中检测到的区系成分及变型有 18 种,马尾松人工林有 16 种,天然次生林有 21 种。湿地松人工林特有的植物区系成分为热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布,天然次生林特有的植物区系成分为热带亚洲、大洋洲(至新西兰)和中、南美(或墨西哥)间断分布、热带亚洲、非洲和中、南美洲间断分布和旧世界温带分布。湿地松人工林比例超过 10% 的地理区系成分为北温带分布和泛热带分布区系,分别占总属数的 34.9% 和 28.4%。马尾松人工林比例超过 10% 的地理区系成分为北温带分布、热带亚洲至热带大洋洲分布和泛热带分布,分别占总属数的 43.8%、19.2% 和 18.5%。天然次生林比例最大的区系成分为泛热带分布,占 27.8%,其次为热带亚洲至热带大洋洲分布、北温带分布和东亚和北美洲间断分布,分别占 14.7%、13.7% 和 12.4%(图 1)。

2.3 植物群落多样性比较

天然次生林每个 10 m × 10 m 的小样方上有 (19.2 ± 1.1) 种植物, 显著高于马尾松人工林 14.8 ± 1.3 和湿地松人工林 14.4 ± 0.7, 两种人工林之间的物种丰富度差异不显著 ($P > 0.05$)。天然次生林的香农多样性指数显著高于两种人工林, 两种人工林之间差异不显著 ($P > 0.05$, 表 2)。

乔木层的物种丰富度和多样性指数都表现为相同的规律: 天然次生林显著高于两种人工林 ($P < 0.05$), 两种人工林之间差异不显著 ($P > 0.05$, 表 2)。

灌木层的物种丰富度在森林恢复方式之间的差异表现为天然次生林高于湿地松人工林, 高于马尾松人工林, 其中天然次生林与马尾松人工林的差异达到显著水平 ($P < 0.05$, 表 2)。

3 种森林恢复方式之间的草本层物种数没有显著差异, 但其多样性指数表现为天然次生林显著高于两种人工林, 两种人工林之间差异不显著 ($P > 0.05$, 表 2)。

2.4 植物群落结构相似性分析

调查到的所有 323 种植物物种用于植物群落结构相似性分析。DCA 可以在二维图上较好的反映不同样地植物群落结构的差异。本文中, DCA 能较好的区分 3 种森林恢复方式的植物群落结构 (图 2)。第一轴解释植物群落结构 7.4% 的变异, 第二轴解释 6.5% 的变异。第一轴上的得分能显著地区分天然次生林与高于两种人工林, 在第一轴上的得分表现为天然次生林显著高于两种人工林 ($P < 0.05$)。第二轴能显著区分湿地松人工林与其它两种森林恢复方式, 在第二轴上的得分表现为湿地松人工林显著低于其它两种森林恢复方式 ($P < 0.05$)。在 DCA 图中, 相比湿地松人工林天然次生林样地与马尾松人工林样地距离更近。这意味着相比湿地松人工林, 天然次生林与马尾松人工林的植物群落结构相似性更大。

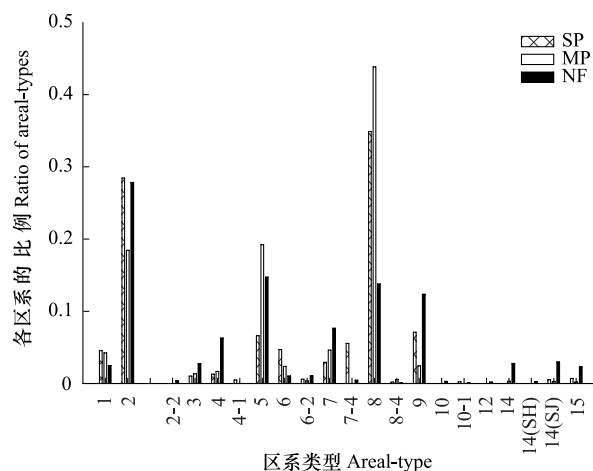


图 1 3 种森林恢复方式的植物区系构成

Fig. 1 Flora composition under 3 forest restoration approaches

1: 世界分布; 2: 泛热带分布; 2-1: 热带亚洲、大洋洲 (至新西兰) 和中、南美 (或墨西哥) 间断分布; 2-2: 热带亚洲、非洲和中、南美洲间断分布; 3: 热带亚洲和热带美洲间断分布; 4: 旧世界热带分布; 4-1: 热带亚洲、非洲 (或东非、马达加斯加) 和大洋洲间断分布; 5: 热带亚洲至热带大洋洲分布; 6: 热带亚洲至热带非洲分布; 6-2: 热带亚洲和东非或马达加斯加间断分布; 7: 热带亚洲分布 (印度—马来西亚) 分布; 7-1: 爪哇 (或苏门达腊)、喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南; 7-4: 越南 (或中南半岛) 至华南 (或西南) 分布; 8: 北温带分布; 8-4: 北温带和南温带间断 (全温带) 分布; 9: 东亚和北美洲间断分布; 10: 旧世界温带分布; 10-1: 地中海区、西亚 (或中亚; 和东亚) 间断分布; 12: 地中海区、西亚至中亚分布; 14: 东亚分布; 14 (SH) 中国-喜马拉雅分布; 14 (SJ) 中国—日本分布; 15: 中国特有分布; SP: 湿地松人工林; MP: 马尾松人工林; NF: 天然次生林

表 2 不同森林恢复方式植物群落多样性

Table 2 Diversity of plant community under different forest restoration approaches

恢复方式 Restoration approach	物种丰富度 Species richness				辛普森指数 Simpson index			
	所有植物 All plants	乔木 Tree	灌木 Shrub	草本 Herb	所有植物 All plants	乔木 Tree	灌木 Shrub	草本 Herb
SP	14.4 ± 0.7b	1.00c	5.72 ± 0.58ab	2.48 ± 0.23a	0.756b	0.157b	0.746a	0.429 ± 0.04ab
MP	14.8 ± 1.3b	1.33b	4.44 ± 0.34b	2.53 ± 0.25a	0.726b	0.192b	0.746ab	0.372 ± 0.045b
NF	19.2 ± 1.1a	5.00a	1.50 ± 0.11a	2.98 ± 0.20a	0.860a	0.827a	0.837a	0.506 ± 0.031a

表中数字为均值 ± 标准误, 不符合正态分布的数据用中位数表示, 同列不同字母表示 0.05 的水平上差异显著; SP: 湿地松人工林; MP: 马尾松人工林; NF: 天然次生林; n = 15

与第一轴显著正相关的物种有千年桐 (*Vernicia montana* Lour) 和紫金牛 (*Ardisia japonica*); 与第一轴显著负相关的物种有湿地松、紫珠 (*Callicarpa bodinieri*) 和构树 (*Broussonetia papyifera*)。与第二轴显著负相关的物种为铁芒萁 (*Dicranopteris linearis*); 与第二轴显著正相关的物种为粗糠柴 (*Mallotus philippensis*)、水青冈

(*Fagus longipetiolata*)、子凌蒲桃(*Syzygium championii*)、米念芭(*Tirpitzia ovoidea*)、烟斗柯(*Lithocarpus corneus*)、三脉叶荚蒾(*Viburnum triplinerve*)、朴树(*Celtis sinensis*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)和江南卷柏(*Selaginella moellendorffii*)。以上所有树种与 DCA 轴的相关系数均大于 0.5。DCA 图表明在天然次生林中千年桐和紫金牛分布较多;在湿地松人工林中湿地松、紫珠和构树分布较多。

多元方差分析表明,3 种森林恢复方式的植物群落结构之间存在显著差异(表 3, $P = 0.001$)。恢复方式能解释湿地松人工林和天然次生林之间植物群落结构 19.7% 的变异,能解释马尾松人工林和天然次生林植物群落结构之间 32.6% 的变异,能解释湿地松人工林和马尾松人工林植物群落之间 6.15% 的变异。根据基于距离矩阵的方差分析(Adonis)中森林恢复方式解释量的大小以及相似性分析(ANOSIM)中的 R 值可知,相比湿地松人工林,马尾松人工林与天然次生林的植物群落结构更相似。

3 讨论

本研究在天然次生林中调查到 86 科 160 属 226 种植物,高于在南方红壤区深圳的天然次生林中的植物 21—64 种^[16],这与取样面积大小及空间分布有关,也表明本研究的植物群落调查更有代表性。

3.1 森林恢复方式对植物群落多样性的影响

植物物种多样性是森林恢复过程中群落变化的重要指标^[10],多样性越高,生态服务功能越高^[7,25-26],抗干扰能力越强^[26-27]。天然次生林的物种丰富度、辛普森指数和植物区系基本构成和地理区系类型高于马尾松人工林和湿地松人工林,显示其物种的生态位宽度更宽、资源利用程度更高。前人的研究也有类似的报道,人工林的生物多样性远低于天然混交林^[9],人工造林对提升生物多样性的贡献较小^[6]。而小流域治理 20 a 后千烟洲的植物群落表现为天然次生林的乔木丰富度高于人工林,灌木层和草本层的植物多样性低于天然次生林,可能与其研究区的天然次生林受到的干扰较大,或者天然次生林的较高的乔木层郁闭度导致较低的林下植被多样性有关^[28]。这与退化群落的属数以及温带成分比例低于干扰较小的常绿阔叶林^[29]的趋势类似。天然次生林有更多的区系类型及变型,其优势植物主要来自壳斗科、山茶科和樟科,而这些物种可能发展成为亚热带植物群落的顶极植物种,表明天然次生林处于更高级的群落演替阶段^[30]。

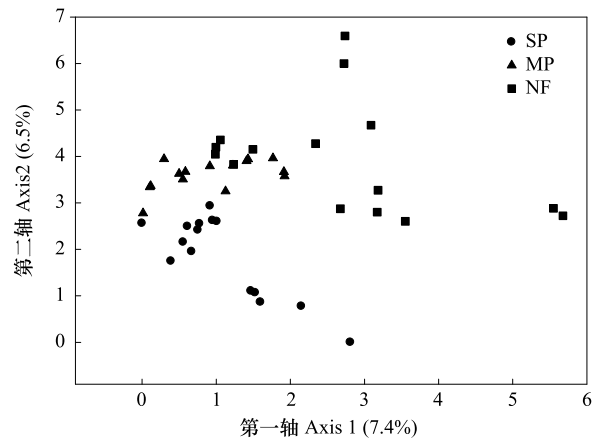


图 2 3 种森林恢复方式的植物群落 DCA 二维排序图
Fig. 2 DCA biplot of plant community under 3 forest restoration approaches

SP: 湿地松人工林;MP: 马尾松人工林;NF: 天然次生林

表 3 植物群落结构的多元方差分析

Table 3 Multi-variant analysis of variance based on plant community

比较 Comparisons	相似性分析 Analysis of similarities (ANOSIM)		基于距离矩阵的方差分析 Analysis of variance using distance matrices (Adonis)			多重置换响应分析 Multiple response permutation (MRPP)		
	R	P	R^2	F	P	观测 δ 值 Observed δ	理论 δ 值 expected δ	P
SP 比 NF	0.684	0.001	0.197	6.85	0.001	0.794	0.879	0.001
MP 比 NF	0.469	0.001	0.326	13.5	0.001	0.761	0.833	0.001
SP 比 MP	0.883	0.001	0.180	6.15	0.001	0.662	0.789	0.001

ANOSIM(R 越大,群落结构越不相似);Adonis: 基于 Bray-Curtis 距离的距离矩阵差异性分析(R^2 越小,群落结构越不相似);MRPP: 基于欧式距离的多元置换响应分析; R^2 因子解释量; $n=15$

本地种马尾松人工林的植物物种丰富度辛普森指数略高于引进种湿地松人工林。前人也曾报道,湿地松

减少林下本地种的多样性^[31]。这可能是由环境异质性和人为干扰的共同作用形成的结果。

3.2 不同森林恢复方式的植物群落结构相似性

DCA 和多元方差分析都表明,恢复方式显著改变了植物群落结构。与天然次生林相比,人工林植物群落结构已发生显著改变,这表明人工造林改变了原初的植物群落结构,这会造成与原有生态系统的群落结构不匹配^[8]。DCA 图中湿地松人工林样方与天然次生林样方距离小于马尾松人工林样方与天然次生林样方距离,多元方差分析以及优势植物区系构成的结果都表明,湿地松人工林比马尾松人工林有更高的改变物种组成的能力。另外,湿地松人工林湿地松的重要值远远大于马尾松人工林中马尾松的重要值,说明相比马尾松,湿地松使群落单一化的能力更强。因而,使用外来种形成的先锋林可能会阻碍生态系统向稳定的地带性植被发展^[4,32],本地种植在景观管理^[31]和森林恢复^[33-34]中被推崇,以使生态风险最小化。

3.3 对森林恢复的启示

本文在我国南方红壤区综合乔木、灌木和草本的群落结构和多样性认为,自然恢复的天然次生林的植物多样性高于人工林,而本地种马尾松人工林又优高于引进种湿地松林人工林。因此在我国南方红壤区的植物群落多样性维持功能上,自然恢复优于人工恢复,而人工恢复中又以本地种马尾松人工林优于引进种湿地松。因而,在生态恢复过程中,应该提倡自然恢复^[9,15],减少人为干扰^[10]。Chazdon^[8]则认为森林生态系统的恢复方式的选择取决于土壤和森林恢复的程度,残留的植被以及恢复目标,即应综合考虑物理条件、生物多样性的临界水平和可提供种源的景观基底值^[4,35]和林下植被发展能力^[33]。

综合以上研究认为,在我国南方红壤区,恢复方式对植物群落多样性有显著影响。自然恢复的天然次生林植物群落多样性高于人工恢复的马尾松人工林和湿地松人工林,本地种马尾松人工林在维持区域群落结构功能上优于引进种湿地松人工林。

致谢: 湖南省林科院李锡泉研究员、中国科学院广西植物研究所刘演研究员和衡阳县林业局蒋大力在植物群落调查中给予指导,赵娟娟对写作给予帮助,黄志刚、陈红兴、王顺亮、马祝才、蒋日红、曾祥铭、吾望辉、刘胜福、农新东、黄愈松、蒋德龙、陈菲、李佳在植物群落调查中给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 607-613.
- [2] Costanza R, d'Arge R, de Groot R D, Farber S, Grass M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neil R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Zheng H, Wang X K, Miao H. Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 480-491.
- [4] Ren H, Li Z A, Shen W J, Yu Z Y, Peng S L, Liao C H, Ding M M, Wu J G. The changes of biodiversity and ecosystem services in forest restoration process in Southren China. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2006, 36(6): 563-569.
- [5] Liu G H, Fu B J, Chen L D, Guo X D. Characteristics and distributions of degraded ecological types in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 13-19.
- [6] Zheng H, Ouyang Z Y, Wang X K, Fang Z G, Zhao T Q, Miao H. Effects of regenerating forest cover on soil microbial communities: a case study in hilly red soil region, Southern China. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217(2/3): 244-254.
- [7] Benayas J M R, Newton A C, Diaz A, Bullock J M. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science*, 2009, 325(5944): 1121-1124.
- [8] Chazdon R L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 2008, 320(5882): 1458-1460.
- [9] Sayer J, Chokkalingam U, Poulsen J. The restoration of forest biodiversity and ecological values. *Forest Ecology and Management*, 2004, 201(1): 3-11.
- [10] Zhang J T, Dong Y R. Factors affecting species diversity of plant communities and the restoration process in the loess area of China. *Ecological Engineering*, 2010, 36(3): 345-350.
- [11] Mo J M, Peng S L, Brown S, Kong G H, Fang Y T. Response of biomass production to human impacts in a pine forest in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 193-200.
- [12] Xie J S, Guo J F, Yang Z J, Huang Z Q, Chen G S, Yang Y S. Rapid accumulation of carbon on severely eroded red soils through afforestation in subtropical China. *Forest Ecology and Management*, 2012, doi: 10.1016/j.foreco.2012.06.038.
- [13] Tian D L, Xiang W H, Yan W D. Comparison of biomass dynamic and nutrient cycling between *Pinus massoniana* plantation and *Pinus elliottii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2207-2210.
- [14] Zhang T P, Ren H, Peng S L, Yu Z Y. The ecological and biological characteristics of *Pinus elliotti*. *Ecologic Science*, 1999, 18(2): 8-12.

- [15] Zheng H, Chen F L, Ouyang Z Y, Tu N M, Xu W H, Wang X K, Miao H, Li X Q, Tian Y X. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China. *Journal of Hydrology*, 2008, 356(1/2): 174-184.
- [16] Wang D P, Ji S Y, Chen F P, Xing F W, Peng S L. Diversity and relationship with succession of naturally regenerated southern subtropical forests in Shenzhen, China and its comparison with the zonal climax of Hong Kong. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222(1/3): 384-390.
- [17] Bu Y J, Wen Z M, Jiao F, Jiao J Y. Research on bio-diversity of artificial and natural plant communities in loess hilly region-taking Ansai County as an example. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(1): 4-6.
- [18] Wang Y, Ouyang Z Y, Zheng H, Wang X K, Chen F L, Zeng J. Carbon metabolism of soil microbial communities of restored forests in Southern China. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11(5): 789-799.
- [19] Li Q H, Yang L W, Zhou Q X. Comparative analysis on species diversity of hillclosed afforested plant community in Beijing Jiulong Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1065-1068.
- [20] Fang J Y, Wang X P, Shen Z H, Tang Z Y, He J S, Yu D, Jiang Y, Wang Z H, Zheng C Y, Zhu J L, Guo Z D. Methods and protocols for plant community inventory. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 533-548.
- [21] Wu Z Y. The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica*, 1991, 4(Suppl IV): 1-139.
- [22] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [23] Zhao J J, Ouyang Z Y, Zheng H, Zhou W Q, Wang X K, Xu W H, Ni Y M. Plant species composition in green spaces within the built-up areas of Beijing, China. *Plant Ecology*, 2009, 209(2): 1-16.
- [24] Oksanen J, Kindt R, Legendre P, O'Hara B, Simpson G L, Solymos P, Henry M, Stevens H, Wagner H, 2008. Vegan: community ecology package. R package version 1.15-1. <http://cran.r-project.org/>. <http://vegan.r-forge.r-project.org/>. <http://cc.oulu.fi/wjarioksa/opetus/metodi/veganutor.pdf> (accessed 23.03.10)
- [25] Malcolm D C, Mason W L, Clarke G C. The transformation of conifer forests in Britain- regeneration, gap size and silvicultural systems. *Forest Ecology and Management*, 2001, 151(1/3): 7-23.
- [26] Worm B, Barbier E, Beaumont N, Duffy J, Folke C, Halpern B S, Jackson J B C, Lotze H K, Micheli F, Palumbi S R, Sala E, Selkoe K A, Stachowicz J J, Watson R. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 2006, 314(5800): 787-790.
- [27] Marcot B G. Biodiversity and the lexicon zoo. *Forest Ecology and Management*, 2007, 246(1): 4-13.
- [28] Liu J Q, Hu L L, Li X R. Plant diversity in Qianyanzhou after 20 years of small watershed treatment. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 766-774.
- [29] Wang X H, Yan E R, Yan X, Wang L Y. Analysis of degraded evergreen broad-leaved forest communities in Eastern China and issues in forest restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1796-1803.
- [30] Peng S L. *Forest Community Dynamics in South-subtropical Area*. Beijing: Scientific Press, 1996.
- [31] Hedman C W, Grace S L, King S E. Vegetation composition and structure of southern coastal plain pine forests: an ecological comparison. *Forest Ecology and Management*, 2000, 134(1/3): 233-247.
- [32] Holl K D. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(6): 960-970.
- [33] Parrotta J A, Turnbull J W, Jone N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99(1/2): 1-7.
- [34] Ma J M, Liu S R, Shi Z M, Liu X L, Miao N. A review on restoration evaluation studies of degraded forest ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3297-3303.
- [35] Yang Y S, Guo J F, Wang J, Sheng H, Li X B, Lin C F, Wang W Q, Xie J S, Chen G S. Review on plant ecology in Southern China. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(9): 1048-1057.

参考文献:

- [1] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [3] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480-491.
- [4] 任海, 李志安, 申卫军, 余作岳, 彭少麟, 廖崇惠, 丁明懋, 邬建国. 中国南方热带森林恢复过程中生物多样性与生态系统功能的变化. *中国科学 C 辑: 生命科学*, 2006, 36(6): 563-569.
- [5] 刘国华, 傅伯杰, 陈利顶, 郭旭东. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. *生态学报*, 2000, 20(1): 13-19.
- [11] 莫江明, 彭少麟, Brown S, 孔国辉, 方运霆. 鼎湖山马尾松林群落生物量生产对人为干扰的响应. *生态学报*, 2004, 24(2): 193-200.
- [13] 田大伦, 项文化, 闫文德. 马尾松与湿地松人工林生物量动态及养分循环特征. *生态学报*, 2004, 24(10): 2207-2210.
- [14] 张太平, 任海, 彭少麟, 余作岳. 湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 的生态生物学特征. *生态科学*, 1999, 18(2): 8-12.
- [17] 卜耀军, 温仲明, 焦峰, 焦菊英. 黄土丘陵区人工与自然植物群落物种多样性研究——以安塞县为例. *水土保持研究*, 2005, 12(1): 4-6.
- [19] 李清河, 杨立文, 周金星. 北京九龙山植物群落物种多样性特征对比分析. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1065-1068.
- [20] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. *生物多样性*, 2009, 17(6): 533-548.
- [21] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. *云南植物研究*, 1991, 4(增刊 IV): 1-139.
- [28] 刘琪璟, 胡理乐, 李轩然. 小流域治理 20 年后的千烟洲植物多样性. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 766-774.
- [29] 王希华, 闫恩荣, 严晓, 王良衍. 中国东部常绿阔叶林退化群落分析及恢复重建研究的一些问题. *生态学报*, 2005, 25(7): 1796-1803.
- [30] 彭少麟. *南亚热带森林群落动态学*. 北京: 科学出版社, 1996.
- [34] 马姜明, 刘世荣, 史作民, 刘兴良, 缪宁. 退化森林生态系统恢复评价研究综述. *生态学报*, 2010, 30(12): 3297-3303.
- [35] 杨玉盛, 郭剑芬, 王健, 盛浩, 李熙波, 林成芳, 王维奇, 谢锦升, 陈光水. 我国南方植物生态学研究述评. *地理学报*, 2009, 64(9): 1048-1057.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 33 卷 第 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元