

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

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 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

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

DOI: 10.5846/stxb201108101174

李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 张志钧, 刘庆云. 普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征. 生态学报, 2012, 32(18): 5653-5662.

Li S F, Liu W D, Su J R, Zhang Z J, Liu Q Y. Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5653-5662.

普洱季风常绿阔叶林次生演替中 木本植物幼苗更新特征

李帅锋¹, 刘万德¹, 苏建荣^{1,*}, 张志钧¹, 刘庆云²

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650224; 2. 云南省普洱市林业科学研究所, 普洱 665000)

摘要: 以时空替代的方法, 将针阔混交林、季风常绿阔叶林的次生林与成熟林等 3 个处于同一空间下的群落作为次生演替进程中的 3 个阶段, 研究云南普洱地区次生演替过程中的木本植物幼苗更新特征, 分析了次生演替过程中木本植物幼苗的物种组成、密度、高度级及与环境因子的相关性。结果表明: 在 8 个共 144 m² 的幼苗样地中调查木本植物幼苗 101 种 2014 株, 其中乔木幼苗是主要组成。随着次生演替的进行, 木本植物幼苗、乔木与藤本幼苗密度逐渐增加, 灌木幼苗密度无显著变化; 藤本植物幼苗的物种丰富度随着次生演替进行而增加, 乔木与灌木幼苗则无显著变化, 成熟季风常绿阔叶林中木本植物幼苗 Shannon-Wiener 指数要显著小于针阔混交林与次生季风常绿阔叶林。次生与成熟季风常绿阔叶林木本植物幼苗多度随高度级增加而减少, 针阔混交林则呈现偏峰曲线, 幼苗密度均集中分布在高度 20 cm 以内, 3 个群落演替阶段木本植物幼苗物种丰富度随高度级增加呈现偏峰曲线。相似性系数反映出乔木和藤本幼苗的更新来源与群落的物种组成存在着紧密的联系。乔木幼苗密度分布与样地坡度之间存在着显著的负相关, 灌木幼苗密度与土壤 pH 值之间存在着显著正相关。

关键词: 幼苗更新; 次生演替; 生活型; 高度级; 环境因子

Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China

LI Shuaifeng¹, LIU Wande¹, SU Jianrong^{1,*}, ZHANG Zhijun¹, LIU Qingyun²

¹ Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China

² Forestry Research Institute of Pu'er Municipality, Puer 665000, Yunnan, China

Abstract: Seedling, made up of small individuals of woody plant species in the understorey, is an important component of many forests and considered as an important source for natural restoration in forest ecosystems. Simultaneously seedling plays an important role in the regeneration of numerous tree species. Based on space-for-time substitution method, we treated coniferous and broad-leaved mixed forest, secondary monsoon evergreen broad-leaved forest (MEBF), primary MEBF in the same area as three different stages of secondary succession of MEBF. Eight sampling plots representing the three different stages distribute in Caiyanghe nature reserve, surrounding the areas of Meizihu and Xinfang reservoir of Puer, in Yunnan Province, the southwest of China. We investigated seedling regeneration characteristics of woody plants of MEBF during secondary succession by looking at species composition, density, height level and the relationship with environmental factors. Overall, we found 2014 individuals of woody seedlings belonging to 101 species (dominated by understory tree species) in the eight plots covering 144-m² area. The species richness of tree seedling, shrub seedling and liana seedling were 50, 29 and 22 respectively, and their corresponding individuals were 1499, 299 and 216. Tree seedling

基金项目: 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目 (CAFYBB2008001, riricaf 201002M)

收稿日期: 2011-08-10; **修订日期:** 2012-02-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianrongsu@vip.sina.com

was the main component of woody plant seedling, such as *Castanopsis echidnocarpa*. *Pinus kesiya* var. *langbianensis* are dominant species in coniferous and broad-leaved mixed forest, however, their seedlings rarely appeared in the understory. The pine seedling stages need more light than shade-tolerant species which can conserve seedling bank in understory and waited for appropriate chance to regeneration. The woody plant seedling density of coniferous and broad-leaved mixed forest, secondary and mature MEBF was 183 ± 5.69 , 240 ± 20.31 and 372.5 ± 4.5 individuals per 18m^2 . As succession progresses, the density of total woody seedlings, tree seedlings and liana seedlings all increased, while the density of shrub seedlings did not change significantly. *Celastrus virens* as a liana was particularly conspicuous in mature MEBF. Species richness of liana seedlings tended to increase, while species richness of tree seedlings and shrub seedlings remained relatively stable along the succession gradient. The Shannon-Wiener index of woody seedlings was significantly lower in primary MEBF than those in mixed forest and secondary MEBF. The abundance of woody seedlings in secondary and primary MEBF decreased with the increase of height level, while in mixed forest, the abundance of woody seedlings form a unimodal pattern with peak at 20 cm. Species richness, however, showed consistent (increasing or decreasing) pattern with the increase of height level in all these forest types. Distribution of woody seedlings abundance concentrated in 0—20 cm in the three community types. Woody seedlings species richness of mature MEBF was significantly lower than coniferous and broad-leaved mixed forest when height level was at I and II. Sørensen index indicated a close link between tree and liana seedlings and the species composition of the community. Moreover, tree seedling density distribution was significantly negatively correlated with the slope of the plot, while shrub seedling density was significantly positively related to soil pH.

Key Words: seedling regeneration; secondary succession; life form; height level; environmental factors

木本植物幼苗更新是森林群落演替与植被生态恢复过程中非常关键的一步,被认为是天然更新最重要的阶段^[1],影响到植物种群的数量动态、种群分布格局及森林群落的演替过程^[2-3]。木本植物幼苗多度、丰富度及更新策略在群落演替的不同阶段差异较大,其更新特征很大程度上决定着群落的演替方向与恢复的可能性^[4-5]。在森林群落演替的后期,大多数典型的耐荫树种在土壤中并不能形成一个持久种子库^[6-7],在考虑森林植物群落通过埋藏的种子进行恢复时遇到了困难,一些树种的幼苗以幼苗库的形式长期存在于林下隐蔽的环境中,等待森林冠层林窗出现后才能获得成功更新的机会^[8]。幼苗阶段是植物生活史中对环境条件反应最敏感的时期^[9],幼苗成功定居并生长发育为成熟个体需要不断地与不利因素抗争^[10]。影响幼苗定居的因素有很多,负密度制约导致母树附近的一些树种幼苗大量死亡同时制约同种幼苗补充,从而为其它幼苗的更新提供空间而促进生物多样性的维持^[11-12],林下蕨类植物^[13]、林隙的大量存在与较低的乔冠层盖度^[14]、大的土壤湿度以及清除凋落物层^[10]与适当的光照条件^[15-16]可以存进幼苗的定居与存活,旱季的干旱胁迫^[17]则不利于幼苗的更新,同时植物本身种子的大小^[18]与扩散方式^[19]是影响幼苗定居的重要因素。

季风常绿阔叶林是我国亚热带重要的地带性植被类型,是热带季雨林、雨林向亚热带常绿阔叶林过渡的一种植被类型^[20]。云南省普洱地区是季风常绿阔叶林一个主要分布地区,早期森林的破坏与近年来的天然林保护政策形成季风常绿阔叶林次生演替过程中的不同群落,成为研究季风常绿阔叶林植被恢复的理想场所。该区域已经针对次生演替过程中群落特征^[21]、藤本植物^[22]及种群动态^[23]等进行了初步研究,而次生演替过程中木本植物幼苗更新的研究成果鲜见报道,本文选择普洱市作为研究地点,依据现有植被划分演替阶段,研究木本植物幼苗的更新特征,有利于加强对林下幼苗组成的认识,以期探讨季风常绿阔叶林的更新机制,为该区域生物多样性保护、森林生态系统的经营管理和植被恢复提供科学依据。

1 研究地概况

研究区域位于云南省中南部的普洱市翠云区所辖梅子湖、信房水库和菜阳河自然保护区等3个地点,地理位置为 $22^{\circ}34' - 22^{\circ}45' \text{N}$, $100^{\circ}56' - 101^{\circ}6' \text{E}$, 海拔 1200—1600 m。该区域处于滇南热带与南亚热带的过渡位置,受印度洋西南季风暖湿气流影响,属亚热带高原季风气候,形成夏秋季多雨,冬春季干旱,干湿季分

明。该地区年平均气温 17.7 °C, 年日照时数 2122.9 h, ≥ 10 °C 的积温为 6353.5 °C, 年均降雨量 1547.6 mm, 但分布不均, 5—10 月为雨季, 占全年降雨量的 87.3%, 年平均蒸发量 1590 mm, 相对湿度 82%。森林地带性土壤为赤红壤。

根据翠云区现有的植被与演替特征, 选择季风常绿阔叶林的成熟林与次生林及针阔混交林等 3 种类型进行野外调查。调查群落构成一个演替系列: 成熟季风常绿阔叶林为顶极群落, 受干扰后, 经过较长时间的恢复形成由思茅松 (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) 为优势物种的针阔混交林与次生季风常绿阔叶林。针阔混交林主要分布在梅子湖水库周边, 思茅松优势十分明显, 占据乔木上层, 乔木中层的优势物种为短刺栲 (*Castanopsis echidnocarpa*), 伴生物种有红木荷 (*Schima wallichii*)、小果栲 (*Castanopsis fleuryi*)、刺栲 (*Castanopsis hystrix*)、隐距越桔 (*Vaccinium exaristatum*)、尖叶野漆 (*Toxicodendron succedaneum* var. *acuminatum*)、光叶石楠 (*Photinia glabra*) 等; 灌木主要有梯脉紫金牛 (*Ardisia scalarinervis*)、展枝斑鸠菊 (*Vernonia extensa*) 等; 草本主要有芒萁 (*Dicranopteris pedata*)、毛果珍珠茅 (*Scleria levis*) 等; 藤本植物主要是菝葜 (*Smilax* spp.)、来江藤 (*Brandisia hancei*) 等; 附生植物较少, 主要是麦穗石豆兰 (*Bulbophyllum orientale*) 等。次生季风常绿阔叶林主要分布在信房水库周边, 群落中思茅松已逐渐退出群落, 物种组成与群落外貌与针阔混交林有较大差异, 该群落乔木层主要组成物种为短刺栲、华南石栎 (*Lithocarpus fenestratus*)、红木荷、粗壮润楠 (*Machilus robusta*) 等; 灌木主要有展枝斑鸠菊等; 草本主要有芒萁、毛果珍珠茅、狗脊蕨 (*Woodwardia japonica*) 等。成熟季风常绿阔叶林主要分布在菜阳河自然保护区, 该区未被干扰, 乔木层主要组成物种为短刺栲、杯状栲 (*Castanopsis calathiformis*)、红木荷、截头石栎 (*Lithocarpus truncatus*)、粗穗石栎 (*Lithocarpus grandifolius*) 等为主; 灌木主要有小叶干花豆 (*Fordia microphylla*)、纤梗腺萼木 (*Mycetia graealis*) 等; 草本主要有云南复叶耳蕨 (*Arachniodes henryi*)、毛果珍珠茅、绿苞山姜 (*Alpinia bracteata*) 等。同时群落中乔木树干和林冠上附生有蕨类 (Pteridophyta) 和兰科 (Orchidaceae) 植物, 板根和藤本植物也是该地区季风常绿阔叶林的一个重要特征。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查

根据普洱市翠云区现有植被特征, 以空间代替时间的方法, 于 2009 年 11 月至 12 月在海拔 1250—1650 m 范围内立地条件相似的地段, 选取正向演替序列针阔混交林、次生季风常绿阔叶林与成熟季风常绿阔叶林等 3 个阶段, 采用典型取样法设置样地。每个群落演替阶段设置重复样地 3 个 (样地面积为 30 m×30 m, 其中成熟季风常绿阔叶林重复样地 2 个), 共计样地 8 个, 每个样地内设置 36 个 5 m×5 m 样方进行乔木样方调查, 对样地内高度 ≥ 1.3 m 的所有木本植物, 记录其物种名称、胸径、树高和物候等因子; 在乔木样方中间隔一个设置 18 个 1 m×1 m 的小样方进行木本植物幼苗调查, 将所有高度或长度小于 1.3 m 的木本植物的实生苗作为幼苗^[2], 其中灌木幼苗高度限制在 0.5 m 以下^[5], 记录幼苗的种类、株数及高度。在样地中心及四角位置取土壤样品, 土层厚度为 0—20 cm, 样品重量约 1 kg, 同时用铝盒和环刀采样, 测量群落土壤含水量、土壤容重、pH 值及土壤有机质等因子, 土壤水分测定用烘干法 (GB 7833—87); 土壤容重采用环刀法 (GB 7843—87); 土壤 pH 值用电位测定法 (GB 7859—87); 土壤有机质用重铬酸钾氧化-外加热法 (GB 9834—88)。样地概况如表 1 所示。

2.2 数据处理

2.2.1 幼苗物种组成、密度及重要值

根据野外调查数据, 统计次生演替不同阶段乔木、灌木及藤本植物幼苗的物种组成。幼苗密度指 18 m² 的面积上符合幼苗划分标准的所有乔木、灌木及藤本植物幼苗数量。幼苗重要值 = (相对多度 + 相对频度) / 2^[17], 其中, 相对多度 = (某种的多度 / 所有种的多度) × 100, 相对频度 = (某种的频度 / 所有种的频度) × 100。

2.2.2 物种多样性指数

物种多样性采用丰富度指数 (即物种数)、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数:

Shannon-Wiener 指数

$$H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

Pielou 均匀度指数

$$E = H / \ln S$$

式中, S 为幼苗的物种总数, P_i 是样本中属于 i 种的所有个体占总个体数的比例。

表 1 样地环境因子
Table 1 Environmental factors of plots

类型 Types	针阔混交林 coniferous and broad-leaved mixed forest	次生季风常绿阔叶林 Secondary monsoon broad-leaved evergreen forest	成熟季风常绿阔叶林 Mature monsoon broad-leaved evergreen forest
地点 Location	梅子湖	信房水库	莱阳河自然保护区
海拔 Altitude/m	1350—1380	1340—1366	1246—1280
坡度 Slope/(°)	16—25	10—26.5	10—15
坡向 Slope aspect	南,东偏南	西,东偏南	西偏南,南坡
坡位 Slope position	中至中上	上	中
乔木密度 Tree density/(株/0.09 hm ²)	535.33±100.46a	632.67±41.38a	774±114a
灌木密度 Shrub density/(株/0.09 hm ²)	22±14.1b	46.67±23.84ab	186±91a
藤本密度 Liana density/(株/0.09 hm ²)	39±2.31b	90.67±30.48ab	205±110.5a
土壤含水量 Soil water content/%	27.44±3.51a	26.96±2.25a	20.98±4.13a
土壤容重 Soil bulk density	1.28±0.05a	1.36±0.03a	1.16±0.05a
pH	4.99±0.09ab	4.77±0.08b	5.34±0.06a
有机质 Organic matter/(g/kg)	34.69±1.46a	30.51±2.11a	40.67±5.53a

表中同行数据中不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2.3 高度级划分

用幼苗的株高划分立木级,以代表不同生长阶段^[24]:Ⅰ,苗高≤10 cm;Ⅱ,10 cm<苗高≤20 cm;Ⅲ,20 cm<苗高≤30 cm;Ⅳ,30 cm<苗高≤40 cm;Ⅴ,40 cm<苗高≤50 cm;Ⅵ,50 cm<苗高≤60 cm;Ⅶ,60 cm<苗高≤70 cm;Ⅷ,70 cm<苗高≤80 cm;Ⅸ,80 cm<苗高≤90 cm;Ⅹ,90 cm<苗高≤100 cm;Ⅺ,100 cm<苗高≤130 cm;并统计不同高度级的物种丰富度与多度。

2.2.4 相似性系数

相似性系数用 Sørensen 指数: $CC=2C/(a+b)$,式中, CC 为 Sørensen 指数; C 为幼苗库与相应群落中都出现的物种数; a 和 b 分别对应于幼苗库与相应群落出现的物种数。

2.3 数据分析

针对幼苗的密度、物种丰富度、多样性指数及不同高度级的物种丰富度及多度进行单因素方差分析(One-way ANOVA)检验。将各样地的幼苗密度与相应样地环境因子进行 Pearson 相关分析。文中所有数据均在 SPSS17.0 中完成,显著度水平为 $P<0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 木本植物幼苗物种组成

在 144 m² 的幼苗样地中共调查到 2014 株木本植物幼苗,其中乔木幼苗 50 种 1499 株,灌木幼苗 29 种 299 株,藤本幼苗 22 种 216 株,其中乔木幼苗是木本植物幼苗的主要组成部分。季风常绿阔叶林 3 个群落演替阶段物种组成如表 2 所示,针阔混交林中乔木幼苗、灌木幼苗与藤本幼苗的重要值总和分别是 64.9、23.31 与 11.79,群落中优势物种思茅松的幼苗重要值仅占 0.73;次生季风常绿阔叶林中乔木幼苗、灌木幼苗与藤本幼苗的重要值总和分别是 68.85、19.35 与 11.8;成熟季风常绿阔叶林中乔木幼苗、灌木幼苗与藤本幼苗的重要值总和分别是 57.29、13.59 与 29.12。短刺栲是 3 个群落演替阶段中幼苗的主要组成,在成熟季风常绿阔叶林中,藤本植物独籽藤(*Celastrus virens*)的重要值可达 9.85。

表 2 次生演替各阶段木本植物幼苗的重要值级及生活型

Table 2 Importance value and life form of woody seedling in secondary succession

群落演替阶段 Community succession stages	物种名 Species name	重要值 Importance value	生长型 Growth form
针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	短刺栲 <i>Castanopsis echidnocarpa</i>	13.03	乔木
	尖叶野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i> var. <i>acuminatum</i>	8.93	乔木
	刺栲 <i>Castanopsis hystrix</i>	6.02	乔木
	密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	4.11	乔木
	粉背菝葜 <i>Smilax hypoglauca</i>	3.93	藤本
	云南山枇杷 <i>Gordonia chrysandra</i>	3.56	乔木
	展枝斑鸠菊 <i>Vernonia extensa</i>	3.47	灌木
	红皮水锦树 <i>Wendlandia tinctoria</i>	3.29	乔木
	滇新樟 <i>Neocinnamomum caudatum</i>	2.83	乔木
	隐距越桔 <i>Vaccinium exaristatum</i>	2.83	乔木
	其它 Other	48	-
次生季风常绿阔叶林 Secondary monsoon evergreen broad-leaved forest	短刺栲 <i>Castanopsis echidnocarpa</i>	22.18	乔木
	毛银柴 <i>Aporosa villosa</i>	5.30	乔木
	红皮水锦树 <i>Wendlandia tinctoria</i>	4.12	乔木
	华南石栎 <i>Lithocarpus fenestratus</i>	3.85	乔木
	粉背菝葜 <i>Smilax hypoglauca</i>	3.22	藤本
	杯状栲 <i>Castanopsis calathiformis</i>	3.01	乔木
	红花木樨榄 <i>Olea rosea</i>	2.87	灌木
	红叶木姜子 <i>Litsea rubescens</i>	2.74	乔木
	密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	2.66	乔木
	展枝斑鸠菊 <i>Vernonia extensa</i>	2.25	灌木
	其它 Other	47.8	-
成熟季风常绿阔叶林 Mature monsoon evergreen broad-leaved forest	短刺栲 <i>Castanopsis echidnocarpa</i>	28.91	乔木
	独籽藤 <i>Celastrus virens</i>	9.85	藤本
	红叶木姜子 <i>Litsea rubescens</i>	3.75	乔木
	筐条菝葜 <i>Smilax hypoglauca</i>	3.01	藤本
	粉背菝葜 <i>Smilax hypoglauca</i>	2.94	藤本
	杯状栲 <i>Castanopsis calathiformis</i>	2.81	乔木
	小叶干花豆 <i>Fordia microphylla</i>	2.741	藤本
	买麻藤 <i>Gnetum montanum</i>	2.41	藤本
	华南石栎 <i>Lithocarpus fenestratus</i>	2.27	乔木
	黄花胡椒 <i>Piper flaviflorum</i>	2.07	藤本
	其它 Other	39.24	-

3.2 木本植物幼苗密度与物种丰富度

由表 3 可以看出,3 个群落演替阶段的木本植物幼苗密度排列顺序为:成熟季风常绿阔叶林>次生季风常绿阔叶林>针阔混交林。成熟季风常绿阔叶林中乔木幼苗密度要显著高于针阔混交林,次生季风常绿阔叶林居于其中;灌木幼苗在 3 个群落演替阶段中无显著差异;成熟季风常绿阔叶林中藤本幼苗密度最高,其次为次生季风常绿阔叶林,针阔混交林最少。随着次生演替的进行,木本植物幼苗、乔木幼苗及藤本幼苗密度逐渐增加。

木本植物幼苗、乔木幼苗与灌木幼苗物种丰富度在 3 个群落演替阶段中无显著差异,成熟季风常绿阔叶林的藤本幼苗物种丰富度要显著大于针阔混交林。成熟季风常绿阔叶林中的木本植物幼苗 Shannon-Wiener 指数要显著小于针阔混交林与次生季风常绿阔叶林。

表3 次生演替中木本植物幼苗密度及物种丰富度

Table 3 The density and species richness of woody plant seedling in secondary succession

类型 Type		针阔混交林 coniferous and broad-leaved mixed forest	次生季风常绿阔叶林 Secondary monsoon broad- leaved evergreen forest	成熟季风常绿阔叶林\ Mature monsoon broad-leaved evergreen forest
密度/(株/18m ²)	乔木	140 ± 9.64b	192 ± 30.2ab	251.5 ± 13.5a
Density	灌木	30.33 ± 10.04a	27 ± 5.77a	22 ± 13a
	藤本	12.67 ± 0.67c	21 ± 6.81b	99 ± 4a
	共计	183 ± 5.69c	240 ± 20.31b	372.5 ± 4.5a
丰富度	乔木	17.67 ± 2.6a	19.33 ± 1.33a	13 ± 2a
Species richness	灌木	8.67 ± 0.67a	9.67 ± 1.33a	7.5 ± 2.5a
	藤本	4 ± 1.15b	5 ± 1.15ab	9.5 ± 1.5a
	共计	30.33 ± 1.67a	34 ± 1.15a	30 ± 6a
Shannon-Wiener 指数		2.73 ± 0.04a	2.46 ± 0.23a	1.83 ± 0.24b
Pielou 指数		0.8 ± 0.02a	0.7 ± 0.06a	0.54 ± 0.05a

3.3 不同高度级木本植物幼苗物种丰富度及多度

木本植物幼苗密度在 3 个群落演替阶段中主要集中在高度级 0—20cm 间。季风常绿阔叶林成熟林与次生林不同高度级木本植物幼苗的个体多度呈减少趋势,即随着高度级的增加,个体多度逐渐降低;针阔混交林在不同高度级的木本植物幼苗的个体多度呈现出偏峰现象,在Ⅱ级为最高(图 1)。相同高度级中,在Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ与Ⅷ级中,成熟季风常绿阔叶林的个体多度均为最多,针阔混交林则在第Ⅺ级个体多度最多。

季风常绿阔叶林 3 个演替阶段中不同高度级木本植物幼苗物种丰富度呈现偏峰现象(图 1),针阔混交林与次生季风常绿阔叶林的木本植物幼苗在不同高度级的物种丰富度在第Ⅱ级为最高,成熟季风常绿阔叶林则在第Ⅲ级为最高。其中在第Ⅰ级,针阔混交林木本植物幼苗丰富度要显著高于成熟季风常绿阔叶林;在第Ⅱ级,次生季风常绿阔叶林要显著要高于其它两个演替阶段;在第Ⅹ级,针阔混交林与成熟季风常绿阔叶林要显著高于次生季风常绿阔叶林;在第Ⅺ级,针阔混交林与次生季风常绿阔叶林要显著高于成熟林。

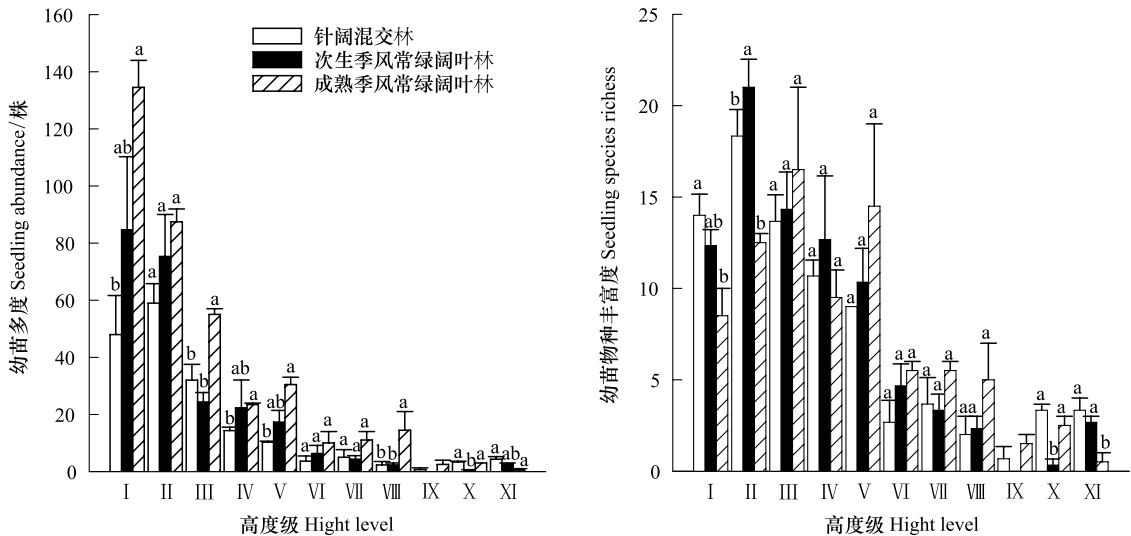


图1 次生演替过程中不同高度的幼苗多度及物种丰富度分布

Fig.1 Woody seedling abundance and species richness distribution of different height level in secondary succession

柱状图顶部字母的不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

3.4 木本植物幼苗与植被的相似性

季风常绿阔叶林次生演替过程木本植物幼苗物种组成与相应的植被、乔木、灌木及藤本的相似性如图 2

所示。针阔混交林与次生季风常绿阔叶林的木本植物幼苗与植被、乔木幼苗与乔木树种及灌木幼苗与灌木树种的相似性系数皆高于成熟季风常绿阔叶林,其中,乔木幼苗与群落中乔木物种的相似性在 0.42—0.73 之间;藤本幼苗与群落中的藤本植物的相似性系数差异较小,在 0.53—0.55 之间。相似性系数反映出幼苗组成与群落物种组成之间有紧密的联系。成熟季风常绿阔叶林中木本植物幼苗与植被、乔木幼苗与乔木树种及灌木幼苗与灌木物种的相似性系数均低于次生季风常绿阔叶林与针阔混交林。

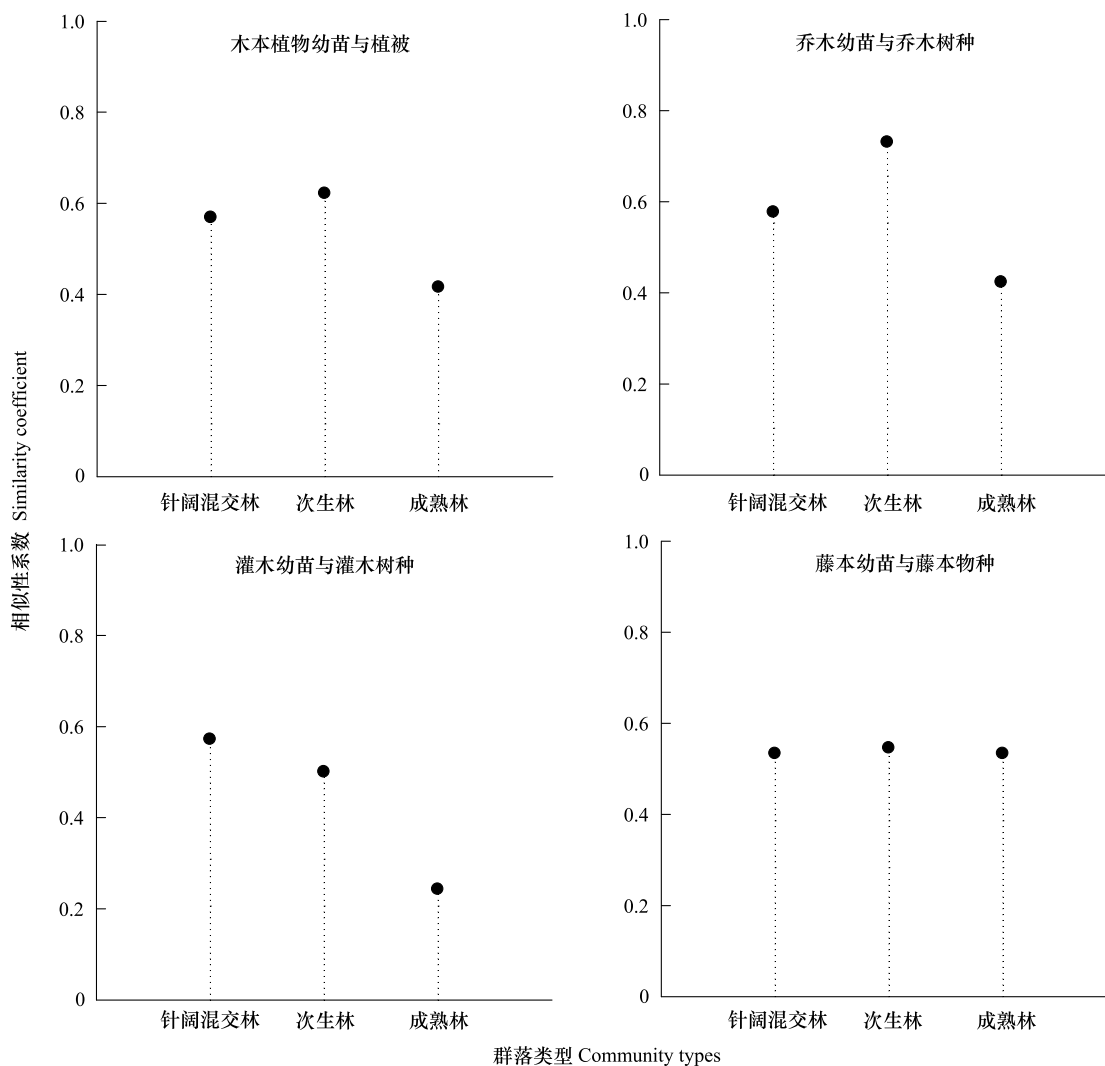


图2 木本植物幼苗物种组成与森林的植被、乔木、灌木及藤本之间的相似性系数

Fig. 2 Sørensen index for the species composition of woody plant seedling and different components of the forest (including vegetation, tree, shrub and liana)

3.5 幼苗密度分布的环境因子相关分析

由表4可见:乔木幼苗密度与坡度存在显著负相关,与坡位、坡向、土壤含水量、容重、pH值及土壤有机质之间无显著相关;灌木幼苗密度与土壤pH值存在着显著正相关;藤本幼苗密度与环境因子均无显著相关。

4 结论与讨论

4.1 次生演替中木本植物幼苗物种组成变化

乔木幼苗是季风常绿阔叶林次生演替过程中木本植物幼苗的主要组成,短刺栲成为最常见的幼苗种类,同时刺栲、杯状栲与华南石栲也分别是3个演替阶段群落常见的乔木幼苗。已有的研究表明这4个物种是该地区季风常绿阔叶林乔木层优势种和标志种^[23],成熟季风常绿阔叶林藤本植物幼苗独籽藤也是如此,这也说明该森林中新增幼苗的数量与种类与这些树种在森林中是否占优势有直接关系;而同时可能由于群落内存在

较强的扩散限制,或种子发芽能力低或幼苗生存力弱,在群落内占优势的一些物种也未见幼苗^[24]。

表 4 木本植物幼苗密度与环境因子的相关分析

Table 4 Correlation analysis between seedling density and environment factors

类型 Types	相关性分析 Pearson correlation		
	乔木幼苗密度 Tree seedling density	灌木幼苗密度 Shrub seedling density	藤本幼苗密度 Liana seedling density
坡度 Slope	-0.71 *	-0.451	0.424
坡位 Slope position	-0.28	-0.007	-0.168
坡向 Slope aspect	0.011	-0.421	0.372
土壤含水量 Soil water content	-0.553	-0.505	0.17
容重 Soil bulk density	-0.064	-0.507	-0.536
pH 值 pH value	0.433	0.755 *	-0.41
有机质 Organic matter	0.131	0.367	0.311

* $P<0.05$; * * $P<0.01$

次生演替过程幼苗物种组成的变化与物种对光的需要有紧密的联系,在演替初期,群落内会出现较多的需光的先锋树种^[25],一旦形成林冠闭合,先锋种的数量会急剧下降,而耐荫树种将持续定居^[26],如针阔混交林出现的尖叶野漆及其在次生季风常绿阔叶林中都出现的红皮水锦树(*Wendlandia tinctoria*)的幼苗在演替初期较为常见。植物在不同的光照条件下生长情况可能差异很大,思茅松是普洱季风常绿阔叶林次生演替过程重要的先锋树种,而其幼苗在 3 个群落演替阶段的林下却较为少见,这是因为本研究中森林已形成郁闭,林下光环境对思茅松的幼苗存活明显的抑制作用有关,我国东部常绿阔叶林马尾松(*Pinus massoniana*)的更新幼苗处于光补偿点之下,难以正常生长,再加以耐荫树种抑制使其物质合成能力逐渐减弱,以致在常绿阔叶林演替的过程中消失^[27],也可以从一个侧面验证思茅松逐渐退出次生演替的原因。在林冠下和大多数小林窗中的光合有效辐射很弱,大多数树种更新幼苗能够形成利用林下低光照而成功定居并最终发育到成熟的策略^[28]。一些根攀缘的藤本植物长期适应在林下阴凉的环境中生存^[29],如黄花胡椒(*Piper flaviflorum*)是成熟季风常绿阔叶林中较为普遍^[22],其幼苗在林下阴湿环境中能较好的存活与定居,从而成为成熟林中幼苗的重要组成部分。有些物种通过有效的种子扩散方式进行幼苗更新,如红木荷种子有翅,靠风力传播可以寻找适合更新的地点;动物也促进了木本植物幼苗种子的传播^[2],改变了幼苗物种在次生演替中的变化。

4.2 次生演替中木本植物幼苗密度变化

幼苗密度可以反映出幼苗的存活能力,乔木幼苗及藤本幼苗密度随着次生演替的进行逐渐增加,究其原因,一方面是由于成熟季风常绿阔叶林中乔木和藤本的种子供给量相对与演替早期要充足和稳定,大树较多^[21],胸径大的个体种子产量也要较小树大得多,大部分树木的种子落在母株周围^[12],如短刺栲与刺栲,每年生产的大而重的种子有更大的几率成功在森林环境中定居^[18],而其种子寿命往往较短^[30],在土层中不易储存,等待来年春天或初夏萌发时机,形成幼苗库等待时机进入乔木层,我国亚热带常绿阔叶林优势种栲树(*Castanopsis fargesii*)同样如此^[1];同时成熟林土壤湿度相对较大有利于提高幼苗成活率^[10],成熟林优势物种多为中性或耐荫,耐荫树种幼苗在林下的存活率要比先锋树种高^[31],易于形成幼苗库;另一方面与植物的更新方式有关,在干扰强时,具萌生能力的物种多以萌生更新为主,实生更新较少,干扰程度较弱时,群落趋向实生更新^[4]。针阔混交林与次生季风常绿阔叶林内具有较多的栲类萌生茎干,反映出森林受到强烈的干扰,植物改变繁殖策略,实生幼苗数量减少,而到干扰较小的成熟林,则主要以实生幼苗更新为主,本研究主要考虑的是实生幼苗的更新特征,因而群落演替后期乔木幼苗数量也高于初期,这与哀牢山中山湿性常绿阔叶林的研究一致;同时针阔混交林与次生季风常绿阔叶林的土壤酸性较成熟季风常绿阔叶林要大,更适于芒萁等草本植物的生长,蕨类植物通过阻挡光照,影响到幼苗的光利用率,与幼苗争夺养分,反而不利于小种子幼苗定居^[13],造成演替初期幼苗较少。

幼苗多度随高度级的变化可以反映出幼苗的年龄变化,揭示种群在群落内定居的持续性和种群延续能

力。随着高度级增加,次生与成熟季风常绿阔叶林木本植物幼苗密度呈减少的趋势,根据野外的观察,当年萌发幼苗高度通常在 10 cm 以内,尤其是短刺栲与刺栲等乔木幼苗,这在一定程度上反映出幼苗萌发一到两年内的死亡率较高,同样在热带森林中,幼苗萌发后第一年的死亡率都较高^[31]。造成幼苗死亡率高的原因有很多,负密度制约效应在森林更新的生活史的早期阶段产生重要影响^[11],是幼苗死亡率增加的重要机制,由于季风常绿阔叶林中优势物种很多种类的种子在掉落不久即可萌发或等到雨季来临后才开始萌发,大量幼苗成功定居^[28],尤其是在母树周围容易形成较高的幼苗密度,但是其母株及其种子、幼苗是许多宿主专一的植物病原菌和捕食者的食物来源,这些有害生物导致更多临近母株的种子和幼苗死亡^[9, 32],再加上群落中相邻物种由于种内竞争易受损害^[12, 33],造成幼苗初期死亡率增加。同时幼苗初期更易受干旱影响^[17],普洱地区干湿季明显,初春与冬季的干旱会加剧动物、昆虫和病原聚等对幼苗存活所带来的影响,使一些种类幼苗的死亡率增加。

References:

- [1] Du X J, Guo Q F, Gao X M, Ma K P. Seed rain, soil seed bank, seed loss and regeneration of *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) in a subtropical evergreen broad-leaved forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, 238(1/3): 212-219.
- [2] Li X S, Liu W Y, Chen J W, Yuan C M. Seedling regeneration in primary moist evergreen broad-leaved forest and different type secondary vegetations in Ailao mountains. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 1921-1927.
- [3] Aguilera M O, Lauenroth W K. Seedling establishment in adult neighbourhoods--intraspecific constraints in the regeneration of the bunchgrass *Bouteloua gracilis*. *Journal of Ecology*, 1993, 81(2): 253-261.
- [4] Yu X Y, Li Y H. Characteristics of woody plant regeneration in karren-habitats successional plant communities in Yunnan Shilin karst area of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(8): 889-897.
- [5] Li X S, Liu W Y, Tang C Q. The role of the soil seed and seedling bank in the regeneration of diverse plant communities in the subtropical Ailao mountains, southwest China. *Ecological Research*, 2010, 25(6): 1171-1182.
- [6] Zobel M, Kalamees R, Püssa K, Roosalu E, Moora M. Soil seed bank and vegetation in mixed coniferous forest stands with different disturbance regimes. *Forest Ecology and Management*, 2007, 250(1/2): 71-76.
- [7] Bossuyt B, Heyn M, Hermy M. Seed bank and vegetation composition of forest stands of varying age in central Belgium; consequences for regeneration of ancient forest vegetation. *Plant Ecology*, 2002, 162(1): 33-48.
- [8] Webb C O, Peart D R. Seedling density dependence promotes coexistence of Bornean rain forest trees. *Ecology*, 1999, 80(6): 2006-2017.
- [9] Li Q K, Ma K P. Factors affecting establishment of *Quercus liaotungensis* Koidz. under mature mixed oak forest overstory and in shrubland. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176(1/3): 133-146.
- [10] Huang Z L, Peng S Y, Yi S. Factors affecting seedling establishment in monsoon evergreen broad-leaved forest. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2001, 9(2): 123-128.
- [11] Comita L S, Hubbell S P. Local neighborhood and species' shade tolerance influence survival in a diverse seedling bank. *Ecology*, 2009, 90(2): 328-334.
- [12] Wright S J. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 2002, 130(1): 1-14.
- [13] George L O, Bazzaz F A. The fern understory as an ecological filter: emergence and establishment of canopy-tree seedlings. *Ecology*, 1999, 80(3): 833-845.
- [14] Song R S, Yu M J, Li M H, Chen W X, Jiang Y F, Wen X Q. Soil seed bank and natural regeneration of fragmented evergreen broad-leaved forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2554-2562.
- [15] Liu X W, Shen W J, Zhang G L, Peng S L. Simulation of niche fitness of plant seedlings in succession of south asian tropical forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(1): 1-6.
- [16] Nicotra A B, Chazdon R L, Iriarte S V B. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology*, 1999, 80(6): 1908-1926.
- [17] Li X L, Wang H, Zheng Z, Lin L X, Deng X B, Cao M. Composition spatial distribution and survival during the dry season of tree seedlings in a tropical forest in Xishuangbanna, SW China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4): 658-671.
- [18] Decocq G, Valentin B, Toussaint B, Hendoux F, Saguez R, Bardat J. Soil seed bank composition and diversity in a managed temperate deciduous forest. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13(13): 2845-2509.
- [19] Sork V L. Effects of predation and light on seedling establishment in *Gustavia superba*. *Ecology*, 1987, 68(5): 1341-1350.

- [20] Wu Z Y. Vegetation of China. Beijing: Science Press, 1980.
- [21] Liu W D, Su J R, Zhang Z J, Li S F. Effect of restoration strategy and time on community characteristic of monsoon evergreen broad-leaved forest. Forest Research, 2011, 24(1): 1-7.
- [22] Li S F, Su J R, Liu W D, Zhang Z J, Liu Q Y, Li Z W. Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1): 10-20.
- [23] Li S F, Liu W D, Su J R, Zhang Z J. Niches and interspecific associations of dominant tree populations at different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(3): 508-515.
- [24] Bin Y, Ye W H, Cao H L, Huang Z L, Lian J Y. Seedling distribution in a subtropical evergreen broad-leaved forest plot in the Dinghu mountain. Biodiversity Science, 2011, 19(2): 127-133.
- [25] Laurance W F, Pérez-Salazar D, Delamônica P, Fearnside P M, D'Angelo S, Jerozolinski A, Pohl L, Lovejoy T E. Rain forest fragmentation and the structure of Amazonian liana communities. Ecology, 2001, 82(1): 105-116.
- [26] van Breugel M, Bongers F, Martínez-Ramos M. Species dynamics during early secondary forest succession: recruitment, mortality and species turnover. Biotropica, 2007, 35(5): 610-619.
- [27] Ding S Y, Song Y C. Declining causes of *Pinus massoniana* in the processes of succession of evergreen broad-leaved forest. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(8): 755-760.
- [28] Gong H D, Yang G P, Lu Z Y, Liu Y H, Cao M. Composition and spatio-temporal distribution of tree seedlings in an evergreen broad-leaved forest in the Ailao mountains, Yunnan. Biodiversity Science, 2011, 19(2): 151-157.
- [29] Muthuramkumar S, Parthasarathy N. Alpha diversity of lianas in a tropical evergreen forest in the Anamalais, Western Ghats, India. Diversity and Distributions, 2000, 6(1): 1-14.
- [30] Bekker R M, Bakker J P, Grandin U, Kalamees R, Milberg P, Poschold P, Thompson K, Willems J H. Seed size, shape and vertical distribution in the soil: indicators of seed longevity. Functional Ecology, 1998, 12(5): 834-842.
- [31] Deb P, Sundriyal R C. Tree regeneration and seedling survival patterns in old-growth lowland tropical rainforest in Namdapha National Park, north-east India. Forest Ecology and Management, 2008, 255(12): 3995-4006.
- [32] He F L, Duncan R P. Density-dependent effects on tree survival in an old-growth Douglas fir forest. Journal of Ecology, 2000, 88(4): 676-688.
- [33] Zhu Y, Mi X C, Ren H B, Ma K P. Density dependence is prevalent in a heterogeneous subtropical forest. Oikos, 2010, 119(1): 109-119.

参考文献:

- [2] 李小双, 刘文耀, 陈军文, 袁春明. 哀牢山湿性常绿阔叶林及不同类型次生植被的幼苗更新特征. 生态学杂志, 2009, 28(10): 1921-1927.
- [4] 俞筱桢, 李玉辉. 滇石林喀斯特植物群落不同演替阶段的溶痕生境中木本植物的更新特征. 植物生态学报, 2010, 34(8): 889-897.
- [10] 黄忠良, 彭少麟, 易俗. 影响季风常绿阔叶林幼苗定居的主要因素. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(2): 123-128.
- [14] 宋瑞生, 于明坚, 李铭红, 陈卫新, 姜云飞, 闻小清. 片断化常绿阔叶林的土壤种子库及天然更新. 生态学报, 2008, 28(6): 2554-2562.
- [15] 柳新伟, 申卫军, 张桂莲, 彭少麟. 南亚热带森林演替植物幼苗生态位适应度模拟. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 1-6.
- [17] 李晓亮, 王洪, 郑征, 林露湘, 邓晓保, 曹敏. 西双版纳热带森林树种幼苗的组成、空间分布和旱季存活. 植物生态学报, 2009, 33(4): 658-671.
- [20] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [21] 刘万德, 苏建荣, 张志钧, 李帅锋. 恢复方式及时间对季风常绿阔叶林群落特征的影响. 林业科学研究, 2011, 24(1): 1-7.
- [22] 李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 张志钧, 刘庆云, 李忠文. 季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较. 生态学报, 2011, 31(1): 10-20.
- [23] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 张志钧. 季风常绿阔叶林不同恢复阶段乔木优势种群生态位和种间联结. 生态学杂志, 2011, 30(3): 508-515.
- [24] 宾粤, 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练璐瑜. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地幼苗的分布. 生物多样性, 2011, 19(2): 127-133.
- [27] 丁圣彦, 宋永昌. 常绿阔叶林演替过程中马尾松消退的原因. 植物学报, 1998, 40(8): 755-760.
- [28] 巩合德, 杨国平, 鲁志云, 刘玉洪, 曹敏. 哀牢山常绿阔叶林乔木树种的幼苗组成及时空分布特征. 生物多样性, 2011, 19(2): 151-157.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

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:1000717	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