

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **2011**

中国生态学会
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 31 卷 第 21 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平, TANG Cindy Q, 等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙, Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

杨永川, 穆建平, Tang Cindy Q., 杨轲. 残存银杏群落的结构及种群更新特征. 生态学报, 2011, 31(21): 6396-6409.

Yang Y C., Mu J P., Tang Cindy Q., Yang K. Community structure and population regeneration in remnant *Ginkgo biloba* stands. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(21): 6396-6409.

残存银杏群落的结构及种群更新特征

杨永川^{1,2,*}, 穆建平², TANG Cindy Q³, 杨 轲²

(1. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045;

(3. 云南大学生态学与地植物学研究所, 昆明 650091)

摘要: 银杏是现存裸子植物中最古老的孑遗植物, 也是银杏纲植物现存的唯一一种, 但其自然群落和种群生态学特征至今尚未明晰。对分布于贵州省和重庆市交界的大娄山区 7 个地点的残存银杏群落的物种组成、垂直结构、主要组成种的种群大小级结构等群落结构特征以及银杏种群更新特征进行了研究。林木层共记录到 82 个种, 其中常绿针叶树 3 种, 常绿阔叶树和落叶阔叶树分别为 37 种和 42 种; 各群落中相对优势度均以落叶阔叶树为高, 银杏在 7 个样方中为顶极优势种, 其中在 6 个样方中为单优势种。银杏群落林木层在垂直结构上一般可分为 3 层, 银杏为乔木层的主要成分。各个群落中银杏种群的大小级结构均为逆-J 型或多峰型, 更新连续, 而其余种类多为单峰型。不同微地形单元上银杏具有不同的萌枝特性, 沟谷生境中银杏的萌枝率显著高于下部边坡和崖锥, 有萌个体率的差异是主要的贡献因子, 而银杏的萌枝能力与主干的胸径无显著关联。残存银杏群落为典型的发育在不稳定立地上的落叶阔叶林地地形顶级群落, 银杏通过萌枝维系种群的长期存留和群落的相对稳定。群落中银杏、红豆杉 (*Taxus chinensis*)、红椿 (*Toona ciliata*) 和川黄槿 (*Phellodendron chinense*) 等多种珍稀濒危植物共存, 有必要从群落层次上加强对残存银杏群落的保护。

关键词: 种群结构; 萌枝; 微地形; 干扰; 更新策略

Community structure and population regeneration in remnant *Ginkgo biloba* stands

YANG Yongchuan^{1,2,*}, MU Jianping², TANG Cindy Q.³, YANG Ke²

1 Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University, Ministry of Education, Chongqing 400045, China

2 Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China

3 Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China

Abstract: The living fossil species *Ginkgo biloba* is the sole survivor of the once moderately diverse Gingoalean clade. The natural ecology traits of this species at population and community level are still largely unknown. Seven remnant stands of *G. biloba* on Mt. Daloushan located on the boundary of Guizhou Province and Chongqing Municipality were investigated and its community structure characteristics including floristic composition, stratification structure, size structure of main species were analyzed, as were the regeneration characteristics of *G. biloba*. Eighty two vascular species were recorded in the woody layer; the number of conifers, evergreen broad-leaved trees and deciduous broad-leaved trees were 3, 37 and 42, respectively. Deciduous trees accounted for the vast majority of the relative dominance, and *G. biloba* was the top dominant species at all stands. The stratification structure of the woody layer at the stands could be distinguished into three layers with *G. biloba* as the main component of the canopy layer. The size frequency distribution of *G. biloba* was of the inverse-J

基金项目: 科技部国家重大专项项目 (2009ZX07104-003-02-03); 国家自然科学基金项目 (30700094); 东京情报大学太平洋东海岸基于环境的经济社会可持续发展项目 (Research project for a sustainable development of economic and social structure dependent on the environment of the eastern coast of Asia from Tokyo University of Information)

收稿日期: 2011-04-19; 修订日期: 2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yongchuanyang@yahoo.com.cn

type or sporadic type suggesting the possibility of good regeneration, while most of the other main species showed a unimodal pattern indicating weak regeneration. Sprouting traits varied among the *G. biloba* populations in differing micro-landforms. The ratio of the number of all sprouts to that of main stems was significantly higher in the valley habitat than in the other two areas, the lower side slope and the talus, the proportion of sprouting individuals being the main determination factor. The diameter of the main stem of each individual clone was independent of the total number of stems in that clone. The remnant *G. biloba* community is seen to be a specifically topographic climax community type developing on unstable micro-landforms which are well watered and well drained. Vegetative reproduction by means of sprouts may have contributed to the extraordinary persistence of *G. biloba* and the relative stability of the community. Community-level protective measures should be considered, for there are several other endangered species, such as *Taxus chinensis*, *Toona ciliate* and *Phellodendron chinense* living together with *G. biloba*.

Key Words: population structure; sprouting; micro-landform; disturbance; regeneration strategy

银杏(*Ginkgo biloba*)是现存裸子植物中最古老的孑遗植物,也是银杏纲植物现存的唯一一种^[1]。银杏在中生代侏罗纪曾广泛分布于北半球,白垩纪晚期开始衰退,第四纪冰川降临,在欧洲、北美和亚洲绝大部分地区灭绝,进而成为中国的特有种^[2-3]。银杏被认为是具有高度生态保守性的物种,具有许多原始性状,对研究种子植物系统发育、古植物区系、古地理及第四纪冰川气候有重要价值^[1, 4]。

银杏原产中国,但中国是否存在野生银杏? 它的原产地在哪里? 中外植物学家、林学家和园艺学家已争论上百年,其中的焦点集中在浙江天目山的银杏种群^[5-7]。然而,自 20 世纪 90 年代以来,在中国中南部地区,先后报道了多个地区具有古银杏种群^[8-10]。而在贵州的务川仡佬族苗族自治县(以下简称务川县)、凤冈县以及毗邻的重庆南川区则相继有发现银杏残存群落的报道^[4, 11-12],分子生物学的证据也支持贵州务川县和重庆南川金佛山可能是银杏第四纪冰期的避难所^[13-15]。事实上,在中国中南部地区,尤其是湘黔渝鄂交界处是东亚亚热带植物区系华中区系成分分布的核心地段,以植物的丰富性及高度特有性成为世界生物多样性的热点地区之一^[16],同时,也是众多孑遗植物如水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、蓝果树(*Nyssa sinensis*)、连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、瘿椒树(*Tapiscia sinensis*)、水青冈(*Fagus longipetiolata*)等的第四纪冰期避难所^[17]。

到目前为止,对银杏的研究主要集中于形态学、细胞学、植物化学以及分子生物学等方面^[13-15, 18-20]。由于没有明确的自然立地的存在,长期以来,对银杏种群的研究集中于种群原生性的考证上^[5-10]。对银杏群落的研究,则由于近年来才逐步发现^[4, 11-12],多为简单的群落组成等属性的描述,缺乏对群落的定量分析以及对银杏种群更新的深入研究。因此,银杏野生种群的生物学、生态学属性在很大程度上仍处于未知状态^[1],银杏群落的结构与动态尚待深入的解析。而事实上,以群落为研究对象,由于分布面积的相对局限性、个体分布的相对集中性以及群落内部生境的相对一致性^[21],相较于在人类高强度活动区域动辄上平方公里的种群研究,在银杏野生与否的判定上,也应更具科学性。

植物群落与其发育环境之间的关系是群落生态学研究的核心问题之一^[22]。在小尺度空间上,地形的分异并由此导致的地表干扰机制的差异,是不同植物群落得以形成和维持的基础^[22-23]。在稳定的、低环境胁迫的中生生境,如上部边坡、低级次山脊等,通常发育由气候决定的群落类型,相反,在具有各种类型胁迫和干扰的不稳定生境,如下部边坡、沟谷、崖锥、泛滥原等,则发育各种地形植物群落^[24]。不稳定立地为很多第三纪孑遗植物提供了生存的空间,如珙桐(*Davidia involucrata*)、蓝果树、香果树(*Emmenoptery henryi*)、水青树(*Tetracentron sinense*)、连香树、领春木(*Euptelea pleiospermum*)等^[23, 25-26]。不同强度和频率的地表干扰一方面弱化了种间竞争,促进了物种的共存;另一方面,为物种的更新提供了不同的微生境条件^[25]。对多数第三纪孑遗植物而言,萌枝更新是相对实生苗更新更为有效的生存对策,因为实生苗更新通常与周期性干扰所形成的开敞地密切相关,在生活史周期内是否发生这样的干扰是其能否成功的关键^[26]。而萌枝的产生模式与树

干基部的形态密切相关,不同微生境内不同形式、强度和频率的地表干扰又是树干基部形态的主要决定因素,因此,萌枝的产生在不同微生境内可能具有差异^[27]。已有报道表明银杏具有强大的萌枝能力^[5],但其与生境之间的关系尚不明确,而实生苗的有无还尚无定论^[5, 10-11],因此,对银杏种群更新的研究还需进一步深入。

本研究以分布于贵州和重庆的7个地点的残存银杏群落为对象,通过对生境特征、物种组成、垂直结构、主要组成种群结构等群落结构特征以及银杏种群更新特征的研究,以期明确银杏群落的性质、动态以及银杏种群的更新特征,进一步深化对自然生境中银杏生物学、生态学属性的认识,并为该区域残存银杏群落的可持续保护和管理,提供基本的科学依据。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点

本研究共选择了7个研究地点,分别为位于重庆市南川区金佛山的杨家沟,贵州省遵义市凤冈县的响水岩、青原村,务川县的大竹园、廖家村、青冈园和十二盘。金佛山位于四川盆地东南部,属贵州大娄山东段的一条支脉,主峰风吹岭海拔2 251 m,最低处鱼跳岩海拔340 m。金佛山自然环境复杂,地质古老,北坡地势陡峻,峡谷深切;南坡地势平缓,研究地点杨家沟位于南坡。凤冈县位于大娄山南麓的斜坡地带,海拔最低398 m,最高1 433 m,研究地点响水岩及青原村位于县境南部的万佛山。务川县位于大娄山东南麓,海拔最低326 m,最高1 743 m,研究地点大竹园位于华荣山,廖家村、青冈园和十二盘位于锯齿山。7个研究地点受干扰的程度不尽一致,但是最近的大规模干扰基本都早在1958—1962年间的大炼钢铁时期,近年来没有明显的人为干扰迹象;而杨家沟、响水岩和大竹园3个地点的残存群落自然程度最高。

7个研究地点的海拔介于850—1 200 m之间,年平均气温介于13.0—15.3℃之间,最热月气温(7月)介于22.0—25.1℃之间,最冷月气温(1月)介于1.8—4.5℃之间,年降水量介于1 257—1 395.5 mm之间(表1)。

1.2 调查方法

于2010年7—9月,在对7个研究地点进行充分踏查之后,选择银杏分布较为集中的地段设置样方,样方面积各有不同,介于600—3 000 m²之间。对样方进行微地形识别^[22, 28],杨家沟样方位于下部边坡,

表1 研究地点概况

Table 1 Outline of the study sites

指标 Index	重庆南川区	贵州凤冈县			贵州务川县		
	杨家沟	响水岩	青原村	廖家村	青冈园	大竹园	十二盘
经度 Latitude (E)	107°15'50.6"	107°45'51.9"	107°38'20.2"	108°01'53.6"	108°04'42.7"	107°48'56.0"	108°04'45.7"
纬度 Longitude (N)	28°56'5.5"	27°48'44.8"	27°43'21.5"	28°40'43.6"	28°41'53.7"	28°22'22"	28°42'18.7"
海拔 Altitude/m	1100	900	1100	1200	850	940	860
年均温 * Annual mean temperature/℃	13	15.0	13.8	13.2	15.3	14.8	15.2
最热月均温 * Max. monthly mean temperature/℃	22	24.8	23.6	23.0	25.1	24.6	25.0
最冷月均温 * Min. monthly mean temperature/℃	1.8	4.2	3.0	2.4	4.5	4.0	4.4
年降水 Annual precipitation/mm	1395.5 ^[29]	1320 ^[30]	1320 ^[30]	1271.7 ^[11]	1271.7 ^[11]	1271.7 ^[11]	1271.7 ^[11]
微地形 Micro-landform	下部边坡	沟谷	沟谷	沟谷	沟谷	沟谷	崖锥

* 温度数据 来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)中离研究地点最近的站点数据,并按照海拔以气温递减率0.6℃/100m进行估算

十二盘样方位于崖锥,其余 5 个样方均位于沟谷(表 1, 表 2)。对每个样方目测分层,估计各层盖度,对高度超过 1.5 m 的木本植物进行每木调查,分别用胸径尺和测高杆测定每株植物的胸径(DBH , cm)、高度(H , m),对植株中高度超过 1.5 m 的萌枝也同时测定胸径。为比较不同微地形单元内银杏的更新特性,对杨家沟、响水岩和十二盘 3 个样方内所有高度低于 1.5 m 的银杏基部萌枝和实生苗进行计数。

1.3 数据分析

1.3.1 样方优势种

优势种由优势度分析法确定^[31]。公式如下:

$$d = 1/N \left\{ \sum_{i \in T} (x_i - x)^2 + \sum_{j \in U} x_j^2 \right\} \quad (1)$$

式中, x_i 为前位物种的相对优势度值,以相对基部面积(RBA)的百分比值表征每个种的优势度。 x 为以优势种数量确定的优势种理想百分比, x_j 为剩余种的百分比(U)。 N 为总种数。如果只有一个优势种,则优势种的理想百分比为 100%。如果有两个优势种,则它们的理想百分比为 50%,如果有 3 个优势种,则理想百分比为 33.3%,依次类推。

1.3.2 多样性指数

多样性指数采用 Gleason 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数进行测度^[32]。公式如下:

$$D_G = \frac{S}{\ln A} \quad (2)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

$$J' = H' / \log_2 S \quad (4)$$

式中, S 是样方的物种数, A 为样方面积, P_i 为第 i 种的相对优势度。

1.3.3 银杏萌枝率

计算并比较杨家沟、响水岩和十二盘 3 个样方的银杏萌枝率(萌枝数量/总个体数)。将萌枝率分解为 2 个指标,即有萌个体率(有萌个体数/总个体数)和有萌个体萌枝数(萌枝数量/有萌个体数)。应用 X^2 检验对 3 个样方银杏萌枝率和有萌个体率进行了比较,而对有萌个体萌枝数,应用 Kruskal-Wallis 检验进行了比较^[23, 33]。在不同微地形的 3 个样方以及以 3 个样方为整体,对银杏茎干数与主干的胸径之间的关系进行非参数 Spearman 检验^[23]。

1.4 植物名称、受威胁等级及保护等级和生活型

文内所有植物的中文名称和拉丁名均以《中国植物志》和《Flora of China》为准。物种受威胁等级参照《中国物种红色名录 第 1 卷:红色名录》^[34]。物种的保护等级参照《国家重点保护野生植物名录(第一批)》^[35]。生活型的划分参照《中国植被》的生活型分类体系^[36]。

2 研究结果

2.1 群落物种组成

在 7 个样方中,共记录到木本植物 82 种,分属 45 科 72 属。含种数最多的科为樟科,有 7 种,其次为壳斗科和蔷薇科,各有 5 种,含 4 种的有杜英科和榆科,含 3 种的有 5 个科,含 2 种的有 7 个科,含 1 种的有 28 个科。含种数最多的属为山胡椒属(*Lindera*)和荚蒾属(*Viburnum*),各有 3 种,含 2 种的属有 6 个,其余 64 个属均含 1 种(表 2)。

82 个组成种中,列入《中国物种红色名录》中受威胁物种的有 9 个种,银杏为濒危种,红豆杉(*Taxus chinensis*)、柏木(*Cupressus funebris*)、白辛树(*Pterostyrax psilophyllus*)、红椿(*Toona ciliata*)、华榛(*Corylus chinensis*)和杜仲(*Eucommia ulmoides*)为易危种,而瘦椒树和紫果槭(*Acer cordatum*)为近危种。列入《国家重点保护野生植物名录》的有 4 种,其中银杏和红豆杉为 I 级,红椿和川黄檗(*Phellodendron chinense*)为 II 级。

表 2 群落组成与物种相对优势度

Table 2 The floristic composition and their relative dominance (RBA) of the 7 plots

样方 Plot	十二盘	青冈园	廖家村	青原村	杨家沟	响水岩	大竹园
样方面积 Plot size /m ²	1200	2000	600	1000	2000	3000	2000
Gleason 指数 Gleason index	0.99	1.32	2.03	1.30	4.21	4.12	5.39
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.35	1.39	0.53	1.17	1.02	1.46	2.71
均匀度指数 Pielou index	0.12	0.42	0.14	0.37	0.20	0.29	0.51
常绿针叶乔木 Evergreen conifers							
红豆杉 <i>Taxus chinensis</i>	—	4.92	—	2.19	<0.01	0.01	7.86 *
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.14	—	—	—	0.83	0.27	2.7
柏木 <i>Cupressus funebris</i>	—	18.03	—	—	—	—	6.86
落叶阔叶乔木 Deciduous broad-leaved trees							
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	94.97 *	67.52 *	92.53 *	72.21 *	85.69 *	78.41 *	45.81 *
野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	3.68	0.06	0.42	—	0.07	0.25	0.25
珊瑚朴 <i>Celtis julianae</i>	0.04	0.01	—	—	—	1.31	1.69
八角枫 <i>Alangium chinense</i>	—	0.01	0.01	—	<0.01	—	0.01
糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	—	—	—	6.46	0.98	0.1	2.5
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	—	—	—	—	5.56	7.17	15.48 *
枳椇 <i>Hovenia acerba</i>	0.37	9.3	—	—	—	0.47	—
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	—	—	0.02	—	0.1	0.64	—
椴树 <i>Tilia tuan</i>	—	—	1.85	—	1.19	—	—
油柿 <i>Diospyros oleifera</i>	—	—	—	5.32	0.48	—	—
梧桐 <i>Firmiana simplex</i>	—	—	—	—	0.1	0.29	—
槲栎 <i>Quercus aliena</i>	—	—	—	—	0.04	0.22	—
华榛 <i>Corylus chinensis</i>	—	—	—	—	0.03	—	0.12
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	—	—	—	—	—	1.43	0.25
华中樱桃 <i>Cerasus conradinae</i>	—	—	—	—	—	0.06	0.16
杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	0.79	—	—	—	—	—	—
油桐 <i>Vernicia fordii</i>	—	0.17	—	—	—	—	—
红椿 <i>Toona ciliata</i>	—	—	—	—	0.63	—	—
野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	—	—	—	—	0.26	—	—
楝 <i>Melia azedarach</i>	—	—	—	—	0.23	—	—
榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i>	—	—	—	—	0.08	—	—
光叶榉 <i>Zelkova serrata</i>	—	—	—	—	—	4.09	—
白辛树 <i>Pterostyrax psilophyllus</i>	—	—	—	—	—	0.22	—
瘦椒树 <i>Tapiscia sinensis</i>	—	—	—	—	—	0.19	—
刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>	—	—	—	—	—	0.08	—
川黄檗 <i>Phellodendron chinense</i>	—	—	—	—	—	0.02	—
天师栗 <i>Aesculus wilsonii</i>	—	—	—	—	—	—	0.23
陀螺果 <i>Melioidendron xylocarpum</i>	—	—	—	—	—	—	0.1
落叶阔叶小乔木 Deciduous broad-leaved sub-trees							
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	—	—	0.06	—	<0.01	0.01	—
野茉莉 <i>Styrax japonicus</i>	—	—	—	—	0.01	—	0.14
化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	—	—	2.2	—	—	—	—
飞龙掌血 <i>Toddalia asiatica</i>	—	—	—	—	—	—	<0.01
落叶阔叶灌木 Deciduous broad-leaved shrubs							
球穗花楸 <i>Sorbus glomerulata</i>	—	—	—	—	0.08	0.47	—
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	—	—	—	—	—	0.08	0.01
水麻 <i>Debregeasia orientalis</i>	—	—	0.02	—	—	—	—
雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	—	—	0.01	—	—	—	—
鸡桑 <i>Morus australis</i>	—	—	—	—	0.44	—	—

续表

样方 Plot	十二盘	青冈园	廖家村	青原村	杨家沟	响水岩	大竹园
猫儿屎 <i>Decaisnea insignis</i>	—	—	—	—	0.01	—	—
角叶鞘柄木 <i>Toricellia angulata</i>	—	—	—	—	0.01	—	—
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	—	—	—	—	<0.01	—	—
青荚叶 <i>Helwingia japonica</i>	—	—	—	—	—	—	0.01
槭棠花 <i>Kerria japonica</i>	—	—	—	—	—	—	<0.01
常绿阔叶乔木 Evergreen broad-leaved trees							
黑壳楠 <i>Lindera megaphylla</i>	—	—	2.85	7.21	<0.01	—	0.68
竹叶楠 <i>Phoebe faberi</i>	—	—	0.02	—	—	0.69	0.16
冬青 <i>Ilex</i> sp.	—	—	—	—	2.39	<0.01	0.02
野桂花 <i>Osmanthus yunnanensis</i>	—	—	—	2.45	—	2.05	—
仿栗 <i>Sloanea hemsleyana</i>	—	—	—	0.81	—	—	10.34 *
棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	—	—	—	—	0.01	—	0.16
褐毛杜英 <i>Elaeocarpus duclouxii</i>	—	—	—	—	—	0.01	0.18
钩锥 <i>Castanopsis tibetana</i>	—	—	—	—	—	0.89	1.74
灰柯 <i>Lithocarpus henryi</i>	—	—	—	2.3	—	—	—
杨梅 <i>Myrica rubra</i>	—	—	—	0.96	—	—	—
桃叶石楠 <i>Photinia prunifolia</i>	—	—	—	—	0.79	—	—
光叶槭 <i>Acer laevigatum</i>	—	—	—	—	—	0.15	—
香桂 <i>Cinnamomum subavenium</i>	—	—	—	—	—	0.02	—
巴围檬果樟 <i>Caryodaphnopsis baviensis</i>	—	—	—	—	—	0.01	—
栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	—	—	—	—	—	—	0.85
紫果槭 <i>Acer cordatum</i>	—	—	—	—	—	—	0.16
肉桂 <i>Cinnamomum cassia</i>	—	—	—	—	—	—	0.12
网脉山龙眼 <i>Helicia reticulata</i>	—	—	—	—	—	—	0.12
巴东栎 <i>Quercus engleriana</i>	—	—	—	—	—	—	0.08
常绿阔叶小乔木 Evergreen broad-leaved sub-trees							
柞树 <i>Xylosma racemosum</i>	—	—	—	—	—	0.38	—
巴东荚蒾 <i>Viburnum henryi</i>	—	—	—	—	—	<0.01	—
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	—	—	—	—	—	—	0.98
长花柱山矾 <i>Symplocos dolichostylosa</i>	—	—	—	—	—	—	0.1
珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i>	—	—	—	—	—	—	0.01
尖叶榕 <i>Ficus henryi</i>	—	—	—	—	—	—	<0.01
吴茱萸 <i>Evodia rutaecarpa</i>	—	—	—	—	—	—	<0.01
常绿阔叶灌木 Evergreen broad-leaved shrubs							
香叶树 <i>Lindera communis</i>	—	—	—	0.05	—	<0.01	0.01
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	—	—	—	0.04	—	—	0.03
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	—	—	0.01	—	—	—	—
西域旌节花 <i>Stachyurus himalaicus</i>	—	—	—	—	<0.01	—	—
十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	—	—	—	—	<0.01	—	—
鳞斑荚蒾 <i>Viburnum punctatum</i>	—	—	—	—	—	<0.01	—
六月雪 <i>Serissa japonica</i>	—	—	—	—	—	<0.01	—
异叶梁王茶 <i>Nothopanax davidii</i>	—	—	—	—	—	—	0.09
尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	—	—	—	—	—	—	0.01
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	—	—	—	—	—	—	<0.01
铁仔 <i>Myrsine africana</i>	—	—	—	—	—	—	<0.01

* 优势种,— 未出现

在生活型构成上,常绿针叶乔木 3 种,常绿阔叶树 37 种,其中,常绿阔叶乔木、常绿阔叶小乔木和常绿阔叶灌木分别为 19 种、7 种和 11 种;落叶阔叶树 42 种,其中落叶阔叶乔木、落叶阔叶小乔木和落叶阔叶灌木分

别为 28 种、4 种和 10 种。常绿阔叶树和落叶阔叶树在种数上基本接近,但其相对优势度远低于落叶阔叶树,在 7 个样方中,落叶阔叶乔木均占据绝对优势地位(图 1,表 2)。

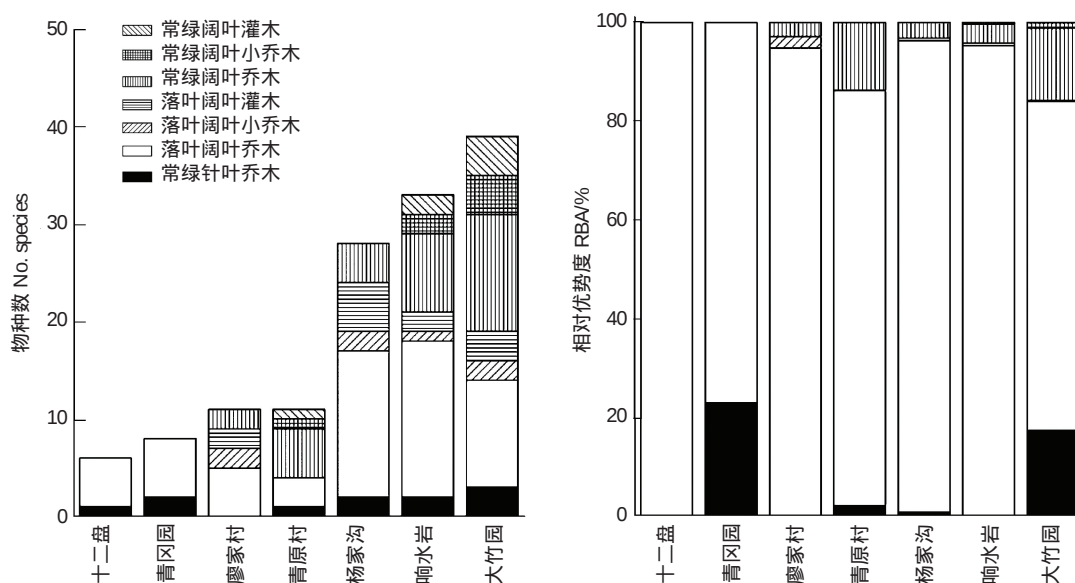


图 1 7 个样方的生活型组成及其相对优势度

Fig. 1 Life-forms and relative dominance for species of the 7 plots

同时在 4 个以上样方中出现的物种有 7 个,分别为常绿针叶乔木红豆杉和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*),以及落叶阔叶乔木银杏、野核桃 (*Juglans cathayensis*)、糙叶树 (*Aphananthe aspera*)、珊瑚朴 (*Celtis julianae*)和八角枫 (*Alangium chinense*)。银杏在杨家沟、响水岩、青原村、廖家村、青冈园和十二盘等 6 个样方中为单优势种,在大竹园与枫香树 (*Liquidambar formosana*)、仿栗 (*Sloanea hemsleyana*)和红豆杉共优势(表 2)。

物种丰富度 (Gleason 指数) 介于 0.99—5.39 之间,大竹园、杨家沟和响水岩明显高于其它样方。Shannon-Wiener 指数介于 0.35—2.71 之间,均匀度指数介于 0.12—0.51 之间,均较低。总体而言,多样性指数以大竹园样方最高,而十二盘样方最低(表 2)。

2.2 群落垂直结构特征

群落的高度自 30—40 m 不等,最高的为响水岩样方,达到 40 m。除林床 ($H < 1.5$ m) 外,群落一般可分为 3 层,乔木 1 层 20—30 m,乔木 2 层高度 8—20 m,以下为灌木层,响水岩样方在乔木 1 层上有超高层的存在。乔木层和超高层主要成分为以银杏为主体的落叶阔叶树,且银杏的高度分布较为连续,少量的针叶树和常绿阔叶树能进入乔木层。而灌木层则含有较多的常绿成分(图 2)。乔木 1 层盖度多在 80%—90% 之间,乔木 2 层 20%—30% 左右,灌木层 40%—50%,林床在 30%—50% 之间。

2.3 群落主要种的大小级结构特征

7 个样方中,银杏均有较多的萌枝存在,尤其是在位于沟谷的响水岩、青原村、大竹园、廖家村和青冈园等 5 个样方内。银杏的大小级结构在响水岩、大竹园和廖家村样方呈逆-J 型,而在其余 4 个样方中为多峰型,但径级分布连续,表现出积极的更新过程。其他主要组成种中,除大竹园的红豆杉大小级结构为 L 型外,其余均为单峰型。银杏的茎干数量远多于其他的主要种类(图 3)。

2.4 银杏的种群更新特征

在位于不同微地形单元的 3 个样方中,仅在杨家沟和十二盘样方各发现 1 株 1 年生幼苗,均生长于裸露的岩石缝内。银杏萌枝率在位于沟谷的响水岩样方为 2.58,显著高于位于下部边坡的杨家沟和位于崖锥的十二盘样方的 0.44 和 0.43 ($P < 0.05$, X^2 检验),有萌个体率也表现为相同的趋势,响水岩样方为 0.53,显著高

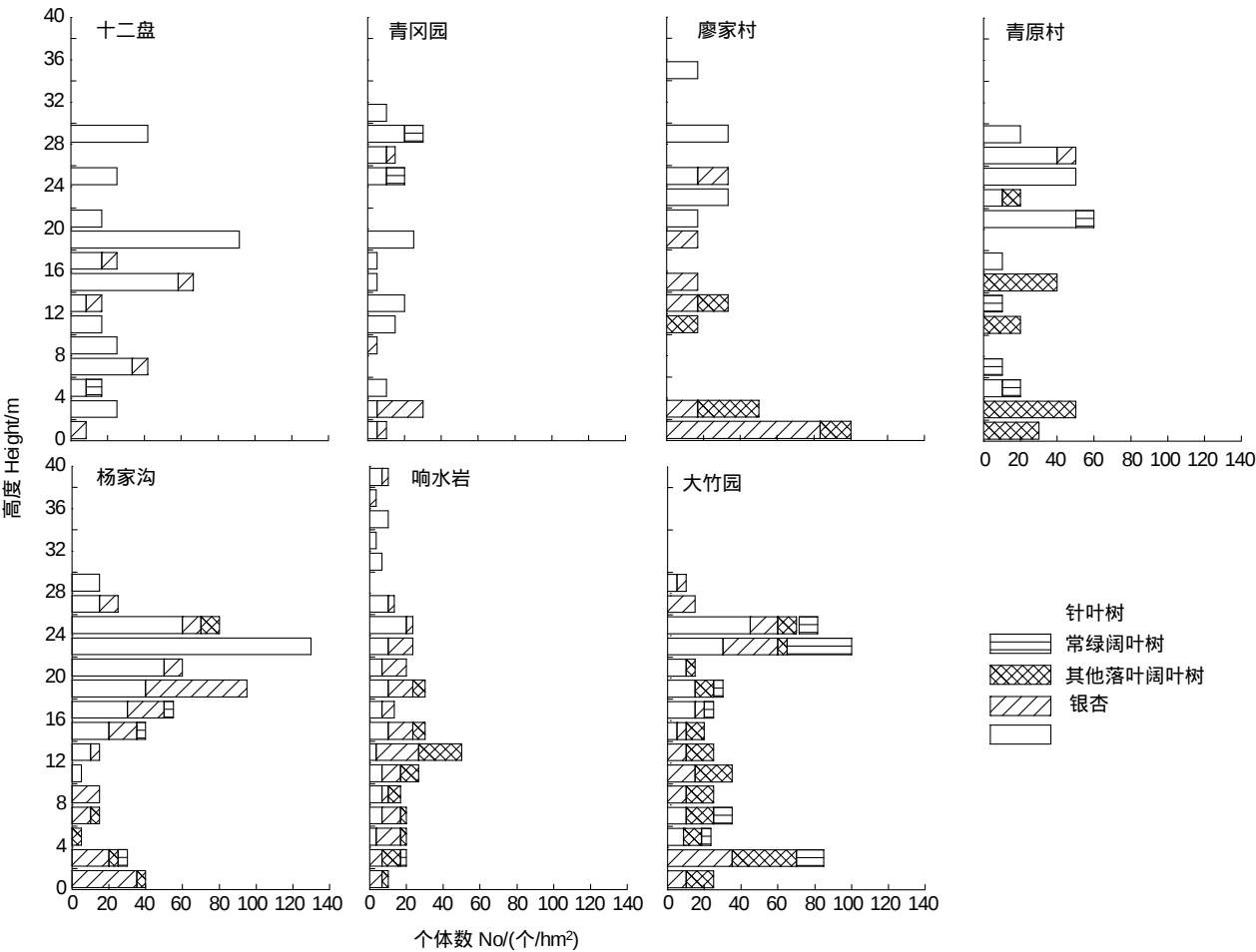


图 2 7 个样方的高度级频率分布

Fig. 2 Height frequency distribution of the 7 plots

于杨家沟和十二盘样方的 0.39 和 0.29 ($P<0.05$, χ^2 检验) (表 3)。而有萌个体萌枝数 3 个样方有一定的差异,但并不显著(Kruskal-Wallis 检验, $H = 3.09$, $n = 3$, $P = 0.21$, 图 4)。响水岩样方有萌个体平均萌枝个数为 5 个,单株个体最大萌枝数为 34 个;杨家沟样方有萌个体平均萌枝个数 2.2 个,单株个体最大萌枝数为 8 个;十二盘样方有萌个体平均萌枝个数为 1.7 个,单株个体最大萌枝数为 3 个。

表 3 不同微地形单元银杏的萌枝参数

Table 3 Sprouting characteristics of *Ginkgo biloba* in different micro-landforms

微地形 Micro-landforms	样方 Plots	个体数 Number of individuals			有萌个体率 Multi-stemmed/ total	萌枝 Sprouts	萌枝率 Sprouts/main stem ratio
		单干个体 Single-stemmed	有萌个体 Multi-stemmed	总计 Total			
沟谷 Valley	响水岩	18	20	38	0.53 ^a	98	2.58 ^a
下部边坡 Lower side slope	杨家沟	60	15	75	0.39 ^b	33	0.44 ^b
崖锥 Talus	十二盘	33	11	44	0.29 ^b	19	0.43 ^b

有萌个体率和萌枝率列不同字母表示显著性差异 ($P<0.05$, χ^2 检验)

在样方水平以及综合 3 个样方的水平上,银杏茎干数与主干的胸径之间除在杨家沟样方呈边际相关外 (Spearman 检验, $n=75$, $R=0.23$, $P=0.052$),均不存在显著的相关关系(图 5)。表明银杏的萌枝能力与主干胸径无明显关系。

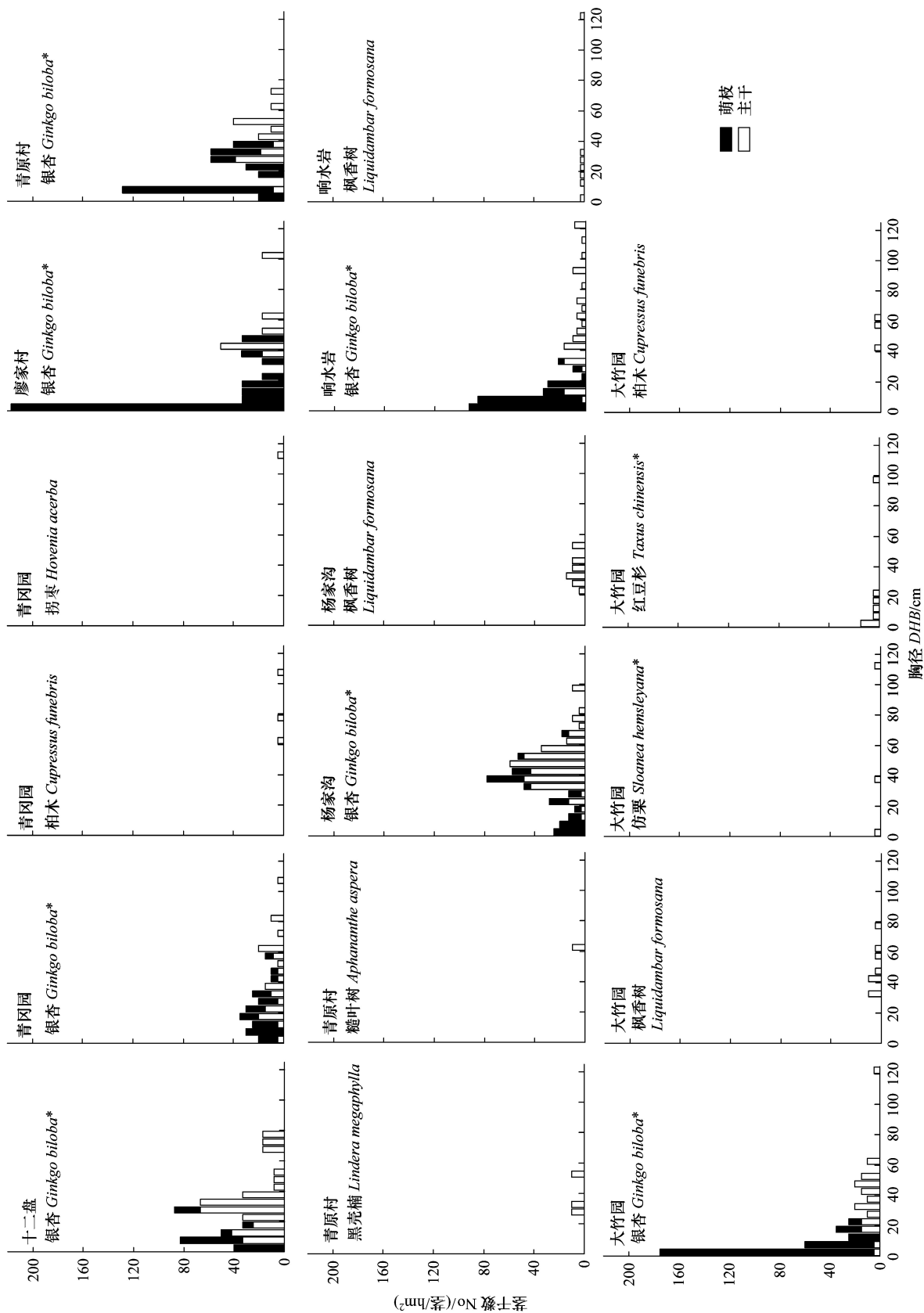


图 3 7 个样方主要种 ($RBA \geq 5\%$) 的胸径级频率分布
Fig. 3 DBH frequency distribution of the main species ($RBA \geq 5\%$) of the 7 plots
*表示优势种; 胸径大于 120cm 的茎干合并统计

3 讨论

3.1 残存银杏群落的原生性

以往关于中国是否有野生银杏的争论,其焦点往往在于有长久历史的寺庙和道观等的存在^[1, 5-7]。而本次调查的 7 个样方,尽管分布在村寨人类居住地周边,但其附近均无寺庙和道观。比较样方中最大银杏个体的年龄和人类迁入的年代,可作为判定其野生与否的依据之一。参考邻近区域湖北兴山县银杏种群的调查结果^[10],得出银杏年龄与胸径之间的关系:年龄 = $-34.269 + 3.631 \times \text{胸径}$ ($r = 0.968$, $P < 0.01$)。杨家沟样方最大银杏个体的年龄为 323a,而当地人类迁入约 200 a 左右^[4],响水岩样方最大银杏个体年龄为 590a,而人类迁入的历史尚不足 200a^[12]。而在群落水平上,与银杏伴生的红豆杉、杜仲、瘿椒树等均为典型的第三纪孑遗植物,华榛和天师栗 (*Aesculus wilsonii*) 更是 6000 万年前就在广域范围内与银杏固定伴生在一起的 *Corylus insignis* 和 *Aesculus hickeyi* 的最近现存亲缘种^[1]。

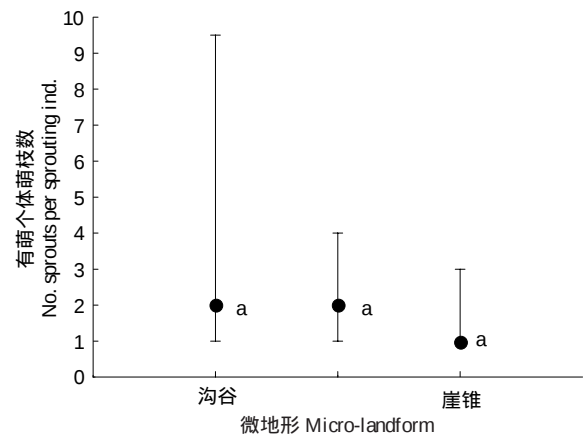


图 4 不同微地形单元样方内银杏的有萌个体萌枝数

Fig. 4 Number of sprouts per sprouting individual for *Ginkgo biloba* in different micro-landforms

●表示中位值 相同字母表示无显著性差异 ($P > 0.05$), 线条下限和上限分别表示第 10 和第 90 百分位; Kruskal-Wallis test, $H = 3.09$, $n = 3$, $P = 0.21$

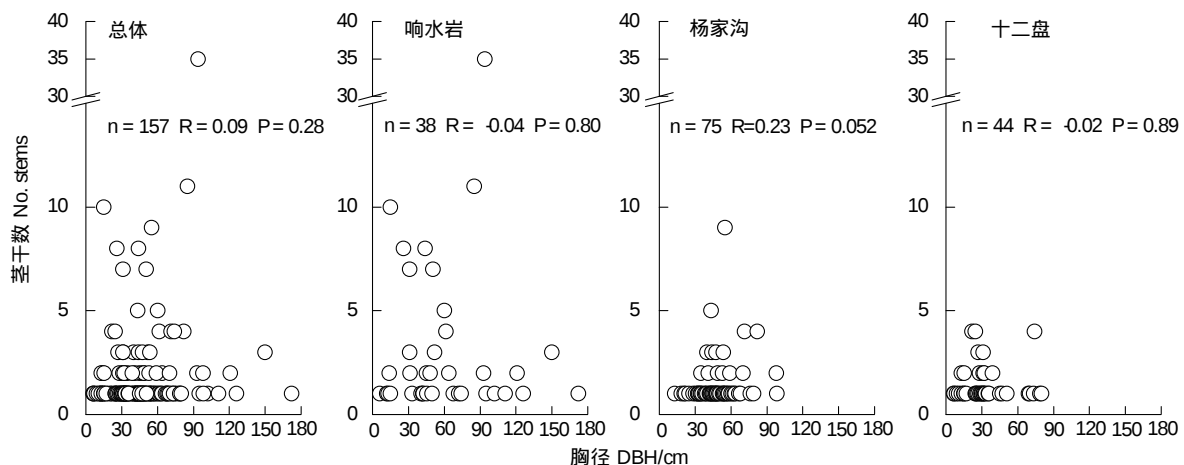


图 5 银杏茎干数与主干胸径的关系

Fig. 5 Relationship between the total number of stems and the DBH of the largest stem of each *Ginkgo biloba* individual clone

R 和 P 为非参数 Spearman 检验结果

而银杏的分布与村寨的分布相连,可能与特殊的地形相关。7 个样方均位于贵州、重庆交界的大娄山及周边区域,大娄山山体形成于燕山运动的末期,其后又受到喜马拉雅山造山运动的影响,主要由古生代和中生代碳酸盐岩层组成,喀斯特地貌发育,由于经受长期剥蚀和多次构造抬升,形成了深沟峡谷、峭壁悬崖和大断层及下陷地的中高山地貌,垂直高差可达 500—800 m^[28, 37],适宜人类居住和发展的地方有限。从观察看,该地区的村寨也主要分布在麓坡和靠近崖锥的台地等较为平坦的区域。在典型的喀斯特地貌区域,落水洞、溶洞、暗河等均很发育,地表水分难以保存^[38],因此,水是人类生存和发展的关键,而 7 个样方有 5 个分布在沟谷,分布在崖锥与下部边坡的样方也靠近沟谷,水源较为丰富。因此,形成了独特的残存银杏群落与村寨相连的特殊景观。事实上,化石证据表明,自晚白垩纪至新生代,银杏已限制分布于溪畔等干扰性强的生境,这些生境湿润而排水性好,因此,银杏也被归类为水边林的组成成分,而频繁的干扰,也很可能阻碍了对银杏的生态筛选,使其能够在远小于其潜在分布范围的生境中存留下来^[1, 39]。

3.2 残存银杏群落的性质与动态特征

从 7 个样方的种类组成来看,尽管常绿阔叶树和落叶阔叶树种类数接近,但是落叶阔叶树,主要是落叶阔叶乔木占据了绝对的优势地位,而从高度级分布来看,乔木层也主要由以银杏为主的落叶阔叶乔木构成(图 1,表 2)。从 7 个样方所处的生境来看,也是下部边坡、崖锥和沟谷这 3 类不稳定的微地形单元(表 1)。而在金佛山上的稳定立地条件下,在 1 400 m 以下地势平缓的砂岩发育的酸性黄壤上分布的植被类型为以栲(*Castanopsis fargesii*)和青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)为优势种的常绿阔叶林,主要伴生种为云山青冈(*Cyclobalanopsis sessilifolia*)、日本杜英(*Elaeocarpus japonicus*)、罗浮槭(*Acer fabri*)、四川冬青(*Ilex szechwanensis*)、润楠(*Machilus pingii*)、大头茶(*Gordonia axillaris*)、川杨桐(*Adinandra bockiana*)、曼青冈(*Cyclobalanopsis oxyodon*)等。在同高度石灰岩上仍为栲和青冈占优势,但含有较多的喜钙落叶树,如灯台树(*Bothrocaryum controversum*)、黑弹树(*Celtis bungeana*)和枫香树等。而在石灰岩陡坡上(50°—60°)则发育以灯台树、大头茶和黑弹树为优势种的常绿落叶阔叶混交林,含较多的落叶树种还有朴树、四照花(*Cornus kousa* subsp. *chinensis*)、鹅掌柴(*Schefflera octophylla*)、黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、杨(*Populus* sp.)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、老鸱铃(*Styrax hemsleyanus*)、鹅耳枥(*Carpinus tientaiensis*)、八角枫(*Alangium chinense*)、合欢(*Albizia julibrissin*)、木蜡树(*Toxicodendron sylvestre*)、飞蛾槭(*Acer oblongum*)、化香树(*Platycarya strobilacea*)等,其下有日本杜英、大头茶、青冈、川桂(*Cinnamomum wilsonii*)、虎皮楠(*Daphniphyllum oldhami*)、中华木荷(*Schima sinensis*)等形成的常绿层片^[29]。而本研究的银杏群落与石灰岩陡坡上发育的常绿落叶阔叶混交林具有较多的共同种。因此,残存的银杏群落可能是发育在不稳定地上的落叶阔叶林,是一类地形植物群落。

区域尺度上,植被类型由地带性气候条件控制,而在局域尺度,地形分异导致的干扰频率、强度的差异以及光、热、水和土壤养分等资源因子的空间再分配是决定植被特征的关键因子^[22]。下部边坡、崖锥和沟谷等微地形单元被认为是具有频繁的滑坡、坡塌和侵蚀等干扰的生境,这限制了很多地带性顶极物种的定居,并且弱化了物种的竞争能力,使得一些早期演替种或者具有特殊适应能力的物种,如具有强萌枝能力的种类在此生存,形成地形顶极群落^[22-23, 26, 31]。

在本研究的 7 个样方中,银杏在 6 个样方中为唯一的优势种,而在大竹园样方,尽管与其他 3 个种共优势,但银杏也为第一优势种(表 2)。群落主要种群大小级结构可被应用于诊断群落演替阶段并预测群落发展趋势^[40]。从种群大小级结构来看,各样方中银杏均具有连续的更新过程,种群结构完整,而其他主要种,其更新均不连续,难以取代银杏的地位(图 3)。此外,从目前的研究来看,几乎所有的银杏化石均发现于纬度 40°以上向极的区域,在寒冷并具有较大季节温差的第三纪,更是整体上从南半球消失,并限制分布于北纬 40°以上^[1]。而其现存自然种群的自然分布地,从在贵州和重庆的样地来看,分布于 850—1200 m,湖北兴山县棒子乡白果坪主要分布在 700—1000 m^[10]。在这些区域,与高纬度类似,低温和低光照可能限制一些快速生长的竞争性杂草对策的物种的生长速度,弱化其竞争能力,如本研究中的枫香树、糙叶树和枳椇(*Hovenia acerba*)等。加之银杏寿命很长,在群落中具有顶级性功能,因此,残存的银杏群落可被认为是落叶阔叶林地地形顶级群落,将长期存在。

3.3 银杏种群更新特征

作为一个具有生态保守性的物种,银杏存活超过 1 亿 a,强大的萌枝能力是其得以存留下来的重要手段^[5]。在 7 个样方中,银杏均有大量的萌枝存在,确保其连续的更新过程,这可能是其面对频繁干扰的重要对策。对于木本植物而言,萌枝是重要的存留对策,尤其是在高强度干扰生境中更是普遍的反应^[41]。很多第三纪孑遗植物,如珙桐、蓝果树、香果树、水青树、连香树和领春木等都生存在不稳定的立地,也都具有很强的萌枝能力^[23-26]。这可能是这些第三纪孑遗植物得以度过冰期并得以存留下来的普遍特征。

银杏在各个生境中均能萌枝,且萌枝数与主干胸径(年龄)大小无关(图 5),这与天目山银杏个体的萌枝特性类似^[5],因此,萌枝的形成可能是银杏自身的固有特征。基部树奶是银杏萌枝形成的基础,Del Tridici 的研究表明,所有的银杏幼苗均能形成树奶,而 6 周龄的幼苗就有在茎受损的情况下形成萌枝的能力^[18],因此,

银杏具有很强的萌枝潜力,萌枝形成与年龄无关,而与干扰有关。这在不同微地形单元样方内银杏的萌枝能力比较中得到很好的证实(表 3, 图 4)。通常,在沟谷,由径流导致的侵蚀和沉积每年均会发生,在下部边坡,由滑坡、坡塌等导致的干扰周期一般在一年以上,而在崖锥,由岩屑流导致的干扰一般在 10a 以上^[26]。而且,由于村寨的存在,尽管对残存银杏群落本身的人为干扰已经很小,但其周边的地形受到强烈的人为改造。如杨家沟,由于村寨位于样方下的麓坡,为控制地灾,样方附近的沟谷被人为拓宽,样方上部也修建了防护设施,导致由滑坡或坡塌产生的干扰缺失。同样,十二盘样方,样方周边均被改造为耕地,而样方内均为大的岩石而无法改变,导致原有的岩屑流干扰消失,而位于沟谷的响水岩样方由于仍然保持季节性洪水干扰,从而导致了萌枝能力的差异。

相比较而言,银杏的有性繁殖相对困难。在本研究中,仅在杨家沟样方和十二盘样方各发现 1 株 1 年生幼苗,且均生长于裸露的岩石缝隙中,未发现实生的幼树。Del Tridici 等对天目山银杏种群的研究中也未发现幼苗和幼树^[5]。也有报道指出,残存的银杏群落中有大量的实生苗存在^[10-11]。而江明喜等在大洪山区的研究表明,在郁闭度较大的森林中,没有银杏的幼苗和幼树,而在疏林中,则银杏有性更新良好^[8]。于 2010 年 10 月对日本横滨市内一块无人管理的银杏人工林(35°28'21.33"N, 139°35'20.90"E,林龄约 100 年)进行的调查表明,林内没有银杏的实生幼苗和幼树存在,而在林缘处却有大量的 1 年生幼苗,在 1 m² 范围内达到 50 株,但在 12 月多数死亡。经对幼苗进行逐株检查后发现,大量落叶形成的凋落物层导致幼苗的根系并未插入土壤中(未发表数据)。因此,银杏具有典型阳生树种的特征,光和凋落物层可能是其有性更新的重要限制因子,但这还需要进一步的深入研究。本研究中的 7 个样地均具有多层结构(图 2),仅乔木 1 层的盖度就达到 80%—90%,在如此郁闭的条件下,银杏的有性更新过程很难完成。幼苗的建立过程通常是植物生活史中最脆弱的阶段^[42],这可能也是银杏有性生殖的瓶颈,萌枝从而成为主要的更新模式,并成为其种群得以长期存留的关键。很多生存于沟谷的物种,如连香树、薄叶润楠(*Machilus leptophylla*)、*Pterocarya rhoifolia* 等,其实生苗需要开敞地的存在^[22, 25, 43],而造成开敞地的干扰周期通常为数十年^[26],同生群的出现是这类干扰后典型的植被特征。而在本研究的 7 个银杏种群中,排除萌枝的作用,大小级结构上均有多个峰值的存在(图 3),但是否是同生群,需要进一步的年龄解析和水平空间分布研究。

3.4 残存银杏群落的管理启示

由于银杏种子具有良好的经济效益,加之近年来地方政府的重视,本研究中的 7 个银杏群落中的银杏大树均得到很好的保护,且因为银杏强大的萌枝能力,这些群落可能长期得到维持。但是,对植物的更新而言,有性繁殖与无性繁殖具有不同的生态学意义^[44]。有性繁殖与植物种群的持久性、遗传变异等各种生态学现象相联系^[45-46],而无性繁殖则对种群的长期存留、通过更新瓶颈以及维持群落的稳定性具有重要的意义。但由萌生所形成的萌芽林普遍存在着林木衰退早、易感染病虫害、缺乏应变能力等方面的严重缺陷和不足,最终必将导致种群的遗传多样性降低和生产力下降,并降低对环境变化的反应能力^[46]。因此,在人类对残存银杏群落生境周边地貌的改变难以逆转的情况下,如何模拟自然干扰,促进银杏种群的实生苗更新,是一个亟待研究的课题。

植物群落是植被的组成单位,亦是植被生态学的基本研究对象。自然界中的物种并不能独立存在,而是必须与其他物种共存于群落之中,共同反映群落的历史渊源和更为广阔的空间上的联系^[21]。因此,残存银杏群落的存在,为研究上亿年来银杏及其伴生种的共同演化提供了珍贵的研究素材。而本研究中的 7 个样方是目前发现的少有的银杏集中分布之地,且其内还生存着众多珍惜濒危物种,如红豆杉、红椿、川黄檗、柏木、白辛树、华榛、杜仲、瘦椒树和紫果槭等。因此,从群落水平上强化对残存银杏群落的保护,也势在必行。

References:

- [1] Royer D L, Hickey L J, Wing S L. Ecological conservatism in the "living fossil" *Ginkgo*. *Paleobiology*, 2003, 29(1): 84-104.
- [2] Zhou Z Y. Mesozoic Ginkgoaleans: phylogeny classification and evolutionary trends. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, 25(4): 377-396.
- [3] Zhou Z K, Momohara A. Fossil history of some endemic seed plants of East Asia and its phytogeographical significance. *Acta Botanica Yunnanica*,

- 2005, 27(5): 449-470.
- [4] Li J W, Liu Z Y, Tan Y M, Ren M B. Studies on the *Ginkgo* at the Jinfoshan Mountain. *Forest Research*, 1999, 12(2): 197-201.
- [5] Del Tredici P, Ling H, Yang G. The *Ginkgos* of Tian Mu Shan. *Conservation Biology*, 1992, 6(2): 202-209.
- [6] Liang L X, Li S N. Argument about wild populations of *Ginkgo*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(1): 135-137.
- [7] Ling H, Zhang D H. Analysis for the Origin of *Ginkgo* Population in Tianmu Mountain. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(2): 28-31.
- [8] Jiang M X, Jin Y X, Zhang Q F. A preliminary study on *Ginkgo biloba* in Dahongshan region, Hubei. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1990, 8(2): 191-193.
- [9] Xiang Y H, Xiang B X. Primary report an ancaent *Ginkgo biloba* deleted community in Wuchuan County, Guizhou Province. *Guizhou Science*, 1997, 15(4): 239-244.
- [10] Zheng B J, Mu X Y, Lu H B, Zhang Z X. Discovery of wild population of *Ginkgo biloba* in three Gorges Reservoir Region and its origin analysis. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(1): 147-150.
- [11] Xiang B X, Xiang Z, Xiang Y H. Investigation of wild *Ginkgo biloba* in Wuchuan County of Guizhou, China-Guizhou ancient *Ginkgo biloba* germplasm resources investigation-VII. *Guizhou Science*, 2006, 24(2): 56-67.
- [12] Xiang Z, Xiang Y H. Wild *Ginkgo* community in Xiangshuiyan of Feng-gang county, Guizhou-Guizhou ancient *Ginkgo* germplasm resources investigation IX. *Guizhou Science*, 2008, 26(3): 38-48.
- [13] Fan X X, Shen L, Zhang X, Chen X Y, Fu C X. Assessing genetic diversity of *Ginkgo biloba* L. (*Ginkgoaceae*) populations from China by RAPD markers. *Biochemical Genetics*, 2004, 42(7/8): 269-278.
- [14] Shen L, Chen X Y, Zhang X, Li Y Y, Fu C X, Qiu Y X. Genetic variation of *Ginkgo biloba* L. (*Ginkgoaceae*) based on cpDNA PCR-RFLPs: inference of glacial refugia. *Heredity*, 2005, 94(4): 396-401.
- [15] Gong W, Chen C, Dobeš C, Fu C X, Koch M A. Phylogeography of a living fossil: pleistocene glaciations forced *Ginkgo biloba* L. (*Ginkgoaceae*) into two refuge areas in China with limited subsequent postglacial expansion. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2008, 48(3): 1094-1105.
- [16] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, da Fonseca G A B, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403(6772): 853-858.
- [17] Tang C Q, Yang Y C, Ohsawa M, Momohara A, Hara M, Cheng S L, Fan S H. Population structure of relict *Metasequoia glyptostroboides* and its habitat fragmentation and degradation in south-central China. *Biological Conservation*, 2011, 144(1): 279-289.
- [18] Del Tredici P. Natural regeneration of *Ginkgo biloba* from downward growing cotyledonary buds (basal chichi). *American Journal of Botany*, 1992, 79(5): 522-530.
- [19] Cao F L. Chinese *Ginkgo*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2002.
- [20] Del Tredici P. The phenology of sexual reproduction in *Ginkgo biloba*: ecological and evolutionary implications. *The Botanical Review*, 2007, 73(4): 267-278.
- [21] Song Y C. *Vegetation Ecology*. Shanghai: East China Normal University Press, 2001.
- [22] Yang Y C, Da L J. A brief review of studies on differentiation of vegetation pattern along a topographic gradient in hilly regions. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 504-513.
- [23] Sakai A, Ohsawa T, Ohsawa M. Adaptive significance of sprouting of *Euptelea polyandra*, a deciduous tree Growing on steep slopes with shallow soil. *Journal of Plant Research*, 1995, 108(3): 377-386.
- [24] Yang Y C, Fujihara M, Sawada Y. Structure and regeneration dynamic of the remnant lucidophyllous forest near Joryuji Temple in Awaji Island, Japan. *Landscape Planning and Horticulture*, 2010, 12: 9-15.
- [25] Tang C Q, Ohsawa M. Tertiary relic deciduous forests on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. *Folia Geobotanica*, 2002, 37(1): 93-106.
- [26] Sakio H. Effects of natural disturbance on the regeneration of riparian forests in a Chichibu Mountains, central Japan. *Plant Ecology*, 1997, 132(2): 181-195.
- [27] Kubo M, Shimano K, Sakio H, Ohno K. Sprout trait of *Cercidiphyllum japonicum* based on the relationship between topographies and sprout structure. *Journal of Japanese Forestry Society*, 2001, 83(4): 271-278.
- [28] Larson D W, Mattes U, Kelly P E. *Cliff Ecology: Pattern and Process in Cliff Ecosystems* (Cambridge Studies in Ecology). Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [29] Fang R J, Liu Y C, Zhong Z C, Pan T C, Xu H Y. Study on the vegetation on Mt. Jinfo in Nanchuan County. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition)*, 1982, (2): 82-100.
- [30] Li X J, Li Y Y. Study on effect of water conservation in the forest conservation area in Fenggang County. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2010, 38(7): 173-174.
- [31] Ohsawa M. Differentiation of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji. *Plant Ecology*, 1984, 57(1): 15-52.
- [32] Yang Y C, Li N. Role of urban remnant evergreen broad-leaved forests on natural restoration of artificial forests in Chongqing metropolis. *Journal of Central South University of Technology*, 2009, (S1): 276-281.
- [33] Nanami S, Kawaguchi H, Tateno R, Li C H, Katagiri S. Sprouting traits and population structure of co-occurring *Castanopsis* species in an evergreen broad-leaved forest in southern China. *Ecological Research*, 2004, 19(3): 341-348.

- [34] Wang S, Xie Y. China Species Red List (Volume 1: Red List). Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [35] State Forestry Administration and Ministry of Agriculture of People's Republic of China. Checklist of Wild Plants of National Priority Protection. Gazette of the State Council of People's Republic of China, 2000, 13: 39-47.
- [36] Wu Z Y. Vegetation of China. Beijing: Science Press, 1980.
- [37] Liu Z Y. Gymnospermae vertical distribution and ecological features of Jinfoshan, Nanchuan, Sichuan Province. Chinese Bulletin of Botany, 1986, 4(S1): 91-94.
- [38] Yang P H, Zhang C, Sun Y C, Wu Y X, Gao Y F, Wang D Y, Li L L. Effects of soil environmental factors on the dissolution rate of karst in soils: a case study of the State Jinfo Mountain Nature Reserve, Chongqing. Geology in China, 2007, 34(5): 920-926.
- [39] Kovar-Eder J, Givulescu R, Hably L, Kvaček Z, Mihajlovic D, Teslenko J, Walther H, Zastawniak E. Floristic changes in the areas surrounding the Paratethys during Neogene time // Boulter M C, Fisher H C, eds. Cenozoic Plants and Climates of the Arctic. Berlin: Springer, 1994: 347-369.
- [40] Li N, Yang Y C, Li B Z. Structure and dynamics of the remnant evergreen broad-leaved forest on Mt. Tieshanping in Chongqing. Journal of Southwest University(Natural Science Edition), 2009, 31(7): 12-20.
- [41] Bellingham P J, Sparrow A D. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. Oikos, 2000, 89(2): 409-416.
- [42] Nakashizuka T. Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. Trends in Ecology and Evolution, 2001, 16(4): 205-210.
- [43] Sakio H, Kubo M, Shimano K, Ohno K. Coexistence of three canopy tree species in a riparian forest in the Chichibu Mountains, central Japan. Folia Geobotanica, 2002, 37(1): 45-61.
- [44] Grime J P, Hillier S H. The contribution of seedling regeneration to the structure and dynamics of plant communities, ecosystems and larger units of landscape // Fenner M, ed. Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. Wallingford: CAB International, 1992: 349-364.
- [45] Rice K J, Gordon D R, Hardison J L, Welker J M. Phenotypic variation in seedlings of a "keystone" tree species (*Quercus douglasii*): the interactive effects of acorn source and competitive environment. Oecologia, 1993, 96(4): 537-547.
- [46] Gao X M, Wang W, Du X J, Ma K P. Size structure, ecological significance and population origin of *Quercus wutaishanica* forest in Beijing mountainous area. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 673-678.

参考文献:

- [2] 周志炎. 中生代银杏类植物系统发育、分类和演化趋向. 云南植物研究, 2003, 25(4): 377-396.
- [3] 周浙昆, Momohara A. 一些东亚特有种子植物的化石历史及其植物地理学意义. 云南植物研究, 2005, 27(5): 449-470.
- [4] 李建文, 刘正宇, 谭杨梅, 任明波. 金佛山银杏的调查研究. 林业科学研究, 1999, 12(2): 197-201.
- [6] 梁立兴, 李少能. 银杏野生种群的争论. 林业科学, 2001, 37(1): 135-137.
- [7] 林协, 张都海. 天目山银杏种群起源分析. 林业科学, 2004, 40(2): 28-31.
- [8] 江明喜, 金义兴, 张全发. 湖北大洪山地区银杏的初步研究. 武汉植物研究, 1990, 8(2): 191-193.
- [9] 向应海, 向碧霞. 贵州省务川县银杏古森林残存群落考证初报. 贵州科学, 1997, 15(4): 239-244.
- [10] 郑宝江, 沐先运, 卢洪波, 张志翔. 三峡库区银杏天然种群的发现及起源分析. 北京林业大学学报, 2010, 32(1): 147-150.
- [11] 向碧霞, 向准, 向应海. 务川县野银杏——贵州古银杏种质资源考察资料Ⅶ. 贵州科学, 2006, 24(2): 56-67.
- [12] 向准, 向应海. 凤冈响水岩野银杏森林群落——贵州省古银杏种质资源考察资料 IX. 贵州科学, 2008, 26(3): 38-48.
- [19] 曹福亮. 中国银杏. 南京: 江苏科学技术出版社, 2002.
- [21] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [22] 杨永川, 达良俊. 丘陵地区地形梯度上植被格局的分异研究概述. 植物生态学报, 2006, 30(3): 504-513.
- [29] 方任吉, 刘玉成, 钟章成, 潘体常, 许鸿鹑. 南川金佛山植被调查报告. 西南师范学院学报(自然科学版), 1982, (2): 82-100.
- [30] 李心江, 李媛媛. 凤冈县封山育林区水源涵养效果研究. 贵州农业科学, 2010, 38(7): 173-174.
- [34] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录, 第一卷: 红色名录. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [35] 国家林业局, 农业部. 国家重点保护野生植物名录. 中华人民共和国国务院公报, 2000, 13: 39-47.
- [36] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [37] 刘正宇. 南川金佛山裸子植物的垂直分布和生态特点的探索. 植物学通报, 1986, 4(增刊): 91-94.
- [38] 杨平恒, 章程, 孙玉川, 吴月霞, 高彦芳, 王冬银, 李林立. 土壤环境因子对土下岩溶溶蚀速率的影响——以重庆金佛山国家自然保护区为例. 中国地质, 2007, 34(5): 920-926.
- [40] 李楠, 杨永川, 李百战. 重庆铁山坪残存常绿阔叶林群落结构及动态研究. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(7): 12-20.
- [46] 高贤明, 王巍, 杜晓军, 马克平. 北京山区辽东栎林的径级结构、种群起源及生态学意义. 植物生态学报, 2001, 25(6): 673-678.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

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 31 卷 第 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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