

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

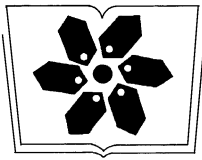
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

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 31 卷 第 11 期 2011 年 6 月 (半月刊)

目次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

应用物种指示值法解析昆嵛山植物群落类型和植物多样性

孙志强^{1,2}, 张星耀^{2,3}, 朱彦鹏², 梁军^{2,3,*}, 于善栋^{3,4}, 张英军^{3,4}, 杨晓燕^{3,4}

(1. 国家林业局泡桐研究开发中心, 郑州 450003; 2. 国家林业局森林保护重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3. 昆嵛山森林生态系统定位研究站, 烟台 264100; 4. 山东省烟台市昆嵛山林场, 烟台 264100)

摘要:生物指示目前被广泛用于各类生态系统恢复的监测和评估、生态系统管理的政策与法规的制定等。采用物种指示值法解析昆嵛山植物群落类型及其植物多样性, 为进一步开展昆嵛山森林自然恢复评价和森林管理提供依据。物种累计曲线分析表明, 从昆嵛山自然保护区 40 块永久性标准样地实际采到的物种占全部物种数(估计值 ACE 为 131.26)的 92.9%, 显示抽样充分。采用主坐标分析将昆嵛山森林群落进一步划分为 6 种林分类型, 通过物种指示值分析得到了各林分类型的指示物种。其中, 黑松、山槐、麻栎是黑松林的指示物种; 郁李、赤松、山胡椒是赤松林的指示物种; 日本落叶松/刺杉林的显著指示物种包括日本落叶松、水榆花楸、刺杉、白檀和水蜡。针叶树-麻栎混交林的指示物种是麻栎; 而针叶树-杂木混交林的指示物种构成复杂, 如粘鱼须、楸树、华山松, 等。阔叶林的物种组成很不相同, 分别有枫香林、麻栎林、刺槐林、和水榆花楸林。综合比较不同林分类型乔灌木的整体多样性特点表明, 6 种林分类型的物种多度和物种丰富度无显著差异; 阔叶林的 Fisher α 指数 ($P < 0.001$)、Shannon-Wiener 指数 ($P = 0.001$)、Simpson 指数 ($P = 0.034$) 与其它 5 种林分类型相比差异显著; 其他 5 种林分类型的 Fisher α 指数和 Shannon-Wiener 指数无显著差异, 但 Simpson 指数在这些林分间差异显著。昆嵛山林分类型的多样性与 30a 前树种引进和人工造林等人为干扰密不可分。

关键词:昆嵛山国家森林公园自然保护区; 昆嵛山生态定位研究站; 物种累计曲线; 物种指示值; 生物多样性

Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve

SUN Zhiqiang^{1,2}, ZHANG Xingyao^{2,3}, ZHU Yanpeng², LIANG Jun^{2,3,*}, YU Shandong^{3,4}, ZHANG Yingjun^{3,4}, YANG Xiaoyan^{3,4}

1 Paulownia Research and Development Center of China, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, China

2 The Key Laboratory of Forest Protection of China State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Kunyushan Forest Ecosystem Research Station, Yantai 264100, China

4 Kunyushan Forest Farm, Yantai 264100, China

Abstract: Species indicator is now widely used in monitoring and assessing restoration of various ecosystems after disturbance and in policy-making for ecosystem management. The objective of this study is to evaluate whether species indicator can be used to provide theoretical guidance for assessing forest restoration after disturbance and the effects of different forest management measures at Kunyushan National Forest Reserve. Analysis of species accumulation curves indicated that samples from the 40 permanent plots set by Kunyushan Ecosystem Station were statistically sufficient for analyzing the species composition and its change, because the species collected from the 40 permanent plots account for 92.9% of total number of the estimated species with an ACE value of 131.26. Principal coordinate analysis revealed that

基金项目:林业科技创新平台项目(2011-LYPT-DW-004); 国家林业局公益性行业科研专项(201004003-1); 中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFRIFEEP200903)

收稿日期: 2010-11-23; 修订日期: 2011-03-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangjun@caf.ac.cn

plant communities at Kunyushan Forest Reserve could be grouped into six stand types. Species indicator values (*IndVals*) analysis suggested the each stand type had its own unique indicators. *Pinus thunbergii* (*IndVal* = 0.6404, *P* = 0.004), *Sorbus pohuashanensis* (*IndVal* = 0.5556, *P* = 0.005) and *Quercus acutissima* (*IndVal* = 0.5415, *P* = 0.044) were indicators for *P. thunbergii* stands; indicators of *P. densiflora* stands were *Prunus japonica* (*IndVal* = 0.7685, *P* = 0.001), *P. densiflora* (*IndVal* = 0.6321, *P* = 0.001) and *Lindera metcalfiana* (*IndVal* = 0.5464, *P* = 0.020). Species indicators for *Larix kaempfer*/*Cunninghamia lanceolata* stands included *Larix kaempfer* (*IndVal* = 0.7711, *P* = 0.002), *Sorbus alnifolia* (*IndVal* = 0.7689, *P* = 0.002), *Cunninghamia lanceolata* (*IndVal* = 0.6333, *P* = 0.004), *Symplocos paniculata* (*IndVal* = 0.536, *P* = 0.033) and *Ligustrum obtusifolium* (*IndVal* = 0.5000, *P* = 0.003). *Quercus acutissima* (*IndVal* = 0.9571, *P* = 0.004) was also an indicator for conifer-*Quercus acutissima* mixed stands, whereas *Smilax sieboldi* (*IndVal* = 0.7200, *P* = 0.010), *Catalpa bungei* (*IndVal* = 0.6000, *P* = 0.001) and *P. armandi* (*IndVal* = 0.6000, *P* = 0.001) were indicators for conifer-broadleaved mixture. Broadleaved forest included *Liquidambar formosana* stand, *Quercus acutissima* stand, *Robinia pseudoacacia* stand and *Sorbus alnifolia* stand, in which they themselves were indicators of related stand types. No statistically significant difference was found among the six stand types in their abundance and species richness, while the diversity indices of Fisher α , Shannon-Wiener and Simpson were significantly different among these stand types. The highest Fisher α index and Shannon-Wiener index were found in broadleaved stand types, whose Simpson index was the lowest. Fisher α and Shannon-Wiener indexes showed no statistically significant differences among the other stand types, i. e. *P. thunbergii* stands, *P. densiflora* stands, *Larix kaempfer*/*Cunninghamia lanceolata* stands, conifer-*Quercus acutissima* mixed stands and conifer-broadleaved mixture. The formation of diverse forest stand types mainly resulted from anthropogenic disturbance about 30 years ago, when new species were introduced and many trees were planted.

Key Words: Kunyushan National Forest Reserve; Kunyushan Ecosystem Station; species accumulation curve; species indicator value; diversity

生物多样性是生态系统稳定性以及人类生存和进行经济活动的基础^[1-2];而生物多样性丧失会影响生态系统稳定性和功能^[3-5]。各种自然和人为因素是导致生物多样性丧失的主要原因,当前世界各国正采取各种措施如建立保护区或人为介入以改善系统的环境,使生物多样性得以恢复^[6]。以生物多样性恢复为目的的森林生态系统恢复不但能够增进生态系统功能,同时也是保证区域生态安全、经济稳定及和谐人文居住环境有效途径^[7]。因此,研究森林自然恢复后森林结构、组成及生物多样性对森林的长期管理具有重要的意义。

有关森林恢复效果有许多评价方法和测度指标,如喻理飞等^[8-9]用退化群落恢复潜力度、恢复度和恢复速度 3 个指标对退化喀斯特森林自然恢复过程进行评价。他们认为自然恢复 40—50 a 的退化喀斯特林会形成较为正常的组成、外貌和结构,但要达到功能完全恢复则需时很长;并指出采用人工促进自然恢复技术,可提高退化植被恢复潜力和速度。目前,国际上以指示生物对植被恢复进行评价研究十分广泛^[10-13]。生物指示被广泛用于栖息地质量评价^[14],及用于监测和指导各类生态系统恢复效果的评估、政策与法规的制定等,如湖泊^[15]、次生天然草场^[16]、退化的森林生态系统恢复^[17-18],等。印度采用 8 项标准和 43 个指示值、其中包括动物和植物作为指示物对生物多样性保护和森林可持续经营战略进行评价^[12]。

昆嵛山国家级森林自然保护区已经 30 多年没有对森林病虫害进行化学防治,森林人为干扰少,基本上处于自然演化状态,在全国比较罕见^[19-20]。昆嵛山森林的自然生长状态为研究森林演替过程、病虫害发生规律及生物多样性变化提供了理想的场所。为此,国家林业局于 2006 年在昆嵛山建立了我国目前唯一以森林有害生物调控机理研究为目标的生态定位研究站。

截至目前,通过采用设立临时样地开展调查的方法,针对昆嵛山森林生态系统已经相继开展了一系列的研究,如针对昆嵛山的植物区系^[21-23]、天然赤松种群的更新动态^[24]、植物群落生态学特性^[19, 25]、不同植物群落下灌草层植物种间关系^[26]、结构和多样性^[27],等。这些研究成果为人们了解昆嵛山森林组成、结构及演变

过程积累了丰富的翔实的资料。但这些研究中除了昆崙山植物区系调查取样范围较广以外,其他研究多是针对昆崙山特定的地点展开,如在昆崙山一分场开展的天然赤松的种群更新动态研究^[28]、在一分场和三分场开展的植物群落、灌草层多样性调查^[19],等;因而难以反映昆崙山森林群落组成的全貌。对昆崙山林场 6 个分场整体的森林群落组成特点和植物多样性的研究未见报道。为此,本文对代表昆崙山典型的生态系统结构、功能及其环境特点设置的 40 块永久性样地调查数据,采用主坐标分析法、物种指示值法全面解析昆崙山森林生态系统受严重干扰而后自然恢复至今的森林群落特征、林分类型划分及其生物多样性特点,目的是为进一步开展昆崙山森林自然恢复评价和制定森林管理措施提供参考依据。

1 研究方法

1.1 昆崙山概况和样地设置

昆崙山属长白山系,崂山山脉,主峰泰礴顶,海拔 923 m,相对高差近 900 m。昆崙山国家级自然保护区(121°41'34"—121°48'04"E,37°11'50"—37°17'22"N)是以赤松(*Pinus densiflora*)为主要保护对象的森林生态类型自然保护区,它以烟台市昆崙山林场(共有 6 个分场)为主体,总面积 15416 hm²,其中核心区面积 6486.0 hm²、缓冲区面积 4481.0 hm²、实验区面积 4449.5 hm²。保护区内有野生高等植物 1 073 种、野生动物 1 161 种,拥有全世界保存最完好的天然次生赤松林,被誉为“胶东植物王国”^[19-20, 28]。昆崙山土壤以棕壤为主,局部有少量山顶草甸土,质地多为砂壤质,结构疏松,层次明显,腐殖质层厚度变化很大,有机质及养分含量较高,pH 值在 4.5—5.5 之间,呈酸性或微酸性。地下水属含偏硅酸重碳酸钙钠型矿泉水^[19]。该地区受暖温带季风气候的影响,气候温和,无霜期 200—220 d,年均温 11.8 °C,年降水量 800—1000 mm。

20 世纪,昆崙山天然赤松由于赤松毛虫(*Dendrolimus spectabilis*)、松干蚧(*Matsucoccus matsumurae*)的危害,使赤松群落及赤松生长发育具有很大的不稳定性。自 50 年代开始引种日本落叶松(*Larix kaempferi*)、刺杉(*Cunninghamia lanceolata*)等^[22]。在 20 世纪 70 年代中期松毛虫、松干蚧严重暴发期间,采用飞机大面积化学防治,使得食物链结构遭受到巨大破坏,打破了自然生态平衡,大量病树被砍伐^[24, 28]。80 年代初开始,昆崙山大量引入黑松(*P. thunbergii*)、红松(*P. koraiensis*)、华山松(*P. armandi*)等针叶树种在赤松皆伐迹地上开展人工纯林种植,局部的人工整地造林运动进一步破坏了当地的植被。80 年代中后期,林场采取了以封山育林为主的营林技术措施,通过生物防治等综合治理手段,加快了林分结构的自然演替变化,混交林结构日趋完善。2001 年 9 月,由地方财政投资 500 万元在保护区外建立居住区,将 120 多年来长期散居在保护区缓冲区内 97 户居民,237 名林民,全部实行生态移民。2002 年生态移民工程全部结束,彻底实现了保护区核心区和缓冲区无人居住、森林群落无人干扰下自然恢复的目标。

国家林业局昆崙山生态定位研究站按照昆崙山生态系统结构、功能及其环境特点,于 2006 年布设了具有代表性的 40 块永久性标准样地,每个样地面积 30 m×30 m,样地保护带宽度为 30 m。标准样地在昆崙山林场各分场的设置为:一分场 10 块、二分场 4 块、三分场 22 块、五分场 2 块、四分场和六分场各 1 块(表 1)。样地用 GPS 定位,测量并记录样地的海拔高度、坡位、坡向、坡度等指标(表 1),并在样地四角及边线中点用水泥桩作永久性固定标志。

1.2 乔木层的物种多样性调查

2008 年 8—9 月在上述样地中对胸径≥5 cm 的树木个体按顺序标号,记录每株标牌树木的种名,测量每株树木的树高、胸径、基径、枝下高等指标。根据样地的地形地貌特点及林分疏密程度,分别采取对角线法或折线法或采用 CI-110 冠层数字成像仪(CID Inc., Vancouver, Washington State USA)测定林分郁闭度(表 1)。

1.3 灌草层的物种多样性调查

2008 年 8—9 月在每个样地中的四角及对角交叉线(即样地中心)分别设置 5 个 5 m×5 m 的灌木样方、在每个灌木样方中设置 1 个 2 m×2 m 草本植物样方,记录灌木层和草本层的物种名、株数或多度、覆盖度和高度。

表 1 昆嵛山永久性样地特征和树木组成
Table 1 Permanent plot condition and stand compositions in Kuniyushan Forest Reserve

样地号 Plot	所处分场 Branch	纬度 N 37°	经度 E121°	海拔/m Elevation	坡位 Slope	坡度/(°) Gradient	土壤厚 度/cm Soil depth	郁闭度 Canopy cover	物种丰 富度 S Species richness	ACE	样地乔木数量/株 Quantity of tree with DBH>5 cm	针叶-树所 占比例/% Proportion of coniferous tree	树种组成比例 ^a / % Proportions of tree species composition
1	1	16°39.3"	45°57.5"	179	下部	45	0.3	0.38	22	22.2	62	95.16	JRP95, BT5
2	1	16°39.0"	45°57.1"	211	中下部	29	10	0.59	12	13	74	98.65	JRP11, LP6, LBLP83
3	1	16°08.7"	45°37"	332	中部	37	5	0.6	20	22	80	96.25	JRP74, LP+CP10, BT16
4	1	16°05.7"	45°23.1"	309	中部	31	1.5	0.44	13	14	61	100.00	JRP87, LP12, CP1
5	1	16°03.6"	45°32.6"	374	中部	23	8	0.67	20	22	106	96.23	JRP34, LP50, BT16
6	1	15°48.6"	45°33.8"	375	下部	35	5	0.9	25	43	91	90.11	JRP84, LP6, BT10
7	1	15°58.4"	45°24.7"	355	中部	42	3.5	0.99	20	23.33	116	50.86	JRP46, CP5, BT49
8	1	16°30.3"	45°13.1"	300	中部	21	0.5	0.83	16	3.66	184	11.96	JRP5, LP4, LS88, BT3
9	1	16°0.36"	46°0.65"	368	下部	19	2	0.71	15	15.2	105	100.00	JRP67, LP33
10	1	16°36.2"	45°43.5"	237	中下部	37	0.5	0.65	22	22.11	117	86.32	JRP33, KP52, BT15
11	2	13°03.3"	46°20.7"	202	下部	7.3	0.5	0.61	10	11.5	146	95.21	JRP19, LP76, BT5
12	2	13°03.8"	45°26.1"	405	下部	15	3.2	0.57	11	11.5	137	69.34	JRP28, LP41, BT31
13	2	12°16.6"	45°55.2"	345	下部	3	1	0.49	13	13.75	87	100.00	JRP11, LP89
14	2	12°17.7"	46°24.6"	329	上部	15.5	2.5	0.75	10	11.5	184	95.11	JRP16, LP56, Larch20, BT8
15	3	17°29.3"	43°19.1"	286	下部	35	1	0.9	12	17	97	3.09	JRP3, BT97
16	3	17°30.2"	43°19"	290	下部	36	3.5	0.65	10	10	116	53.45	JRP54, HO46
17	3	17°11.1"	43°30.5"	162	下部	20.9	12	0.73	18	19.2	90	100.00	JRP81, LP19
18	3	16°23.2"	43°34.9"	355	中部	26.5	0.5	0.71	17	18	137	86.13	JRP79, LP6, BT15
19	3	16°23.9"	41°54.5"	375	中部	31.1	0.5	0.72	15	15.33	157	80.89	JRP71, LP10, BT19
20	3	17°11"	43°30.5"	164	下部	19.5	0.2	0.8	26	31.14	61	9.84	JRP10, BT90
21	3	15°39.2"	43°30.3"	227	下部	17	0.5	0.7	13	13.5	181	99.45	JRP44, LP19, CRP37
22	3	16°15.9"	43°50.5"	242	上部	28.6	0.5	0.69	24	27.75	118	93.22	JRP11, LP25, BP50, BT14
23	3	16°12.6"	43°51.3"	218	上部	24.5	5	0.71	22	24	99	93.94	JRP37, LP+CP46, BT17
24	3	16°15.3"	43°51.2"	215	下部	32	2.5	0.83	14	14	86	100.00	JRP9, LP18, LBLP73
25	3	15°58.3"	45°24.8"	291	下部	6	2	0.95	18	18.75	127	85.04	JRP27, CP43, BT29

续表

样地号 Plot	所处分场 Branch	纬度 N 37°	经度 E121°	海拔/m Elevation	坡位 Slope	坡度/(°) Gradient	土壤厚 度/cm Soil depth	郁闭度 Canopy cover	物种丰 富度 S Species richness	ACE	样地乔 木数量/株 Quantity of tree with DBH>5 cm	针叶树所 占比例/% Proportion of coniferous tree	树种组成比例 ^a / % Proportions of tree species composition
26	3	15°33.4"	43°30.7"	428	中部	23	3.2	0.81	15	15.6	286	98.95	JRP2, LP40, CF41, Larch17
27	3	15°35.4"	43°31.4"	426	中部	24.5	1.5	0.6	13	14	103	100.00	JRP49, LP+CP7, CON.44
28	3	15°33.5"	42°45.9"	323	下部	25.5	1.5	0.94	23	24.5	71	0.00	JRP0, BT100
29	3	14°54.6"	45°40.5"	800	上部	19	3.2	0.3	10	10	29	96.55	JRP17, Larch81, HO2
30	3	15°0.2"	45°36.8"	766	上部	16.2	5	0.89	13	13.25	101	92.08	JRP0, Larch92, BT8
31	3	15°26.2"	44°22"	350	上部	37	12	0.99	15	22	225	96.44	JRP2, CF92, BT6
32	5	17°19.5"	44°55.8"	287	下部	27.3	0.5	0.55	12	12.33	72	79.17	JRP50, LP22, BT28
33	5	17°49.5"	45°27.4"	111	中部	21	3	0.55	12	13.5	119	95.80	JRP58, LP38, HO4
34	6	16°31.6"	40°44.2"	110	中部	11.9	0.5	0.27	5	5	46	91.30	JRP91, HO9
35	3	16°36.5"	40°50.7"	129	中部	22	2	0.55	11	11	83	81.93	JRP82, BT18
36	3	17°34.9"	42°14.6"	195	上部	8	3	0.35	9	9.5	67	98.51	JRP99, HO1
37	3	15°27.9"	44°33.3"	362	下部	29.4	0.5	0.8	19	19.75	201	98.51	JRP12, BI82, BT6
38	4	16°29.3"	43°12.2"	252	中部	21.4	1	0.78	35	40.6	147	63.27	JRP30, LP+CP30, BT40
39	3	15°16.0"	45°27.4"	659	上部	14.4	2.5	0.88	17	18.2	157	95.54	JRP77, Larch19, BT4
40	3	15°28.5"	45°11.0"	467	中部	31	2.5	0.68	17	17.33	101	99.01	JRP41, LP2, CF43, Larch8, BT4

a: 赤松 JRP-Japanese red pine *Pinus densiflora*; 黑松 LP-lodgepole pine *P. thunbergii*; 落叶松 Larch- *Larix gmelinii*; 华山松 CP-China amand pine *Pinus massoniana*; 火炬松 LBLP-Loblolly Pine *P. taeda*; 红松 KP- Korean pine *P. koraiensis*; 多脂松 CRP-Canadian red pine *P. resinosa*; 斑克松 BP- *P. banksiana*; 刺杉 CF- Chinese fir *Cunninghamia lanceolata*; 其他针叶树 CON conifer; 刺槐 BL- Black Locust *Robinia pseudacacia*; 麻栎 HO- holm oak *Quercus acutissima*; 枫香 LS *Liquidambar styraciflua*; 其他阔叶树 BT broadleaved tree

1.4 数据分析

1.4.1 物种累积曲线

物种累积曲线是用来描述随着抽样量的加大物种增加的状况,它记录了连续抽样下新物种出现的速率,是理解调查样地物种组成和预测物种丰富度的有效工具^[29-31]。一般情况下,物种累积曲线初始表现为曲线急剧上升,这是由于随着初始抽样量的加大,群落中大量的物种被发现,而至某一抽样量时,物种累积速率变得缓慢,曲线不再急剧上升而是趋于平缓^[29, 32]。根据这一特点,可对抽样量是否充分进行判断,曲线一直急剧上升表明抽样量不足,需要增加抽样量;反之,则表明抽样充分,可进行数据分析^[31, 33]。

为判别抽样是否充分,利用 EstimateS (Version 8.2.0) 软件^[34]对全部 40 块样地调查数据进行分析,计算物种丰富度期望值 ACE^[31, 35]。根据 ACE 值、通过 Excel 进行曲线的绘制,并通过曲线的特征对抽样是否充分进行判断^[29, 33]。

1.4.2 物种指示值分析和林分类型划分

根据针叶树数量占有所有树木的比例将昆崙山森林群落初步划分为针叶林(针叶树所占比例大于 90%、共 26 块样地)、针阔混交林(针叶树所占比例在 10%—90%、含 10 块样地)和阔叶林(阔叶树所占比例大于 90%、共 4 块样地)(表 1)。运用 R 语言统计软件中的主坐标分析方法(PCoA, Principal Coordinate Analysis)对各样地植物群落的物种组成相似性进行比较^[36];进一步对所有样地开展指示物种分析以筛选那些具有显著指示值(indicator values *IndVals*)的物种,利用 R 语言统计软件中的 labdsv 软件包计算各物种的 *IndVal* 值^[37],参考相关研究以 *IndVal* 值大于等于 0.5 作为标准确定指示物种^[38]。结合主坐标分析结果和物种指示值对上述 3 类森林群落中林分类型进行判别和划分。

1.4.3 昆崙山不同林分类型的乔灌木多样性指标差异

利用 R 语言统计软件中的多样性软件包^[37]计算不同林分间物种多度、物种丰富度、Fisher α 指数、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数,各指标的计算公式如下:

Fisher α 指数

$$S = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{2} \right)$$

式中, S 为种数, N 为总个体数。

Shannon-Wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

式中, p_i 为第 i 个物种的重要值, s 为物种数目。

Simpson 指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$$

式中, s 表示总的物种数, p_i 表示第 i 个种占总数的比例。

重要值(P) = 相对密度(%) + 相对盖度(%) + 相对频度(%)

相对频度(%) = $100 \times \text{某个种在统计样方中出现的次数} / \text{所有种出现的总次数}$

相对密度(%) = $100 \times \text{某个种的株数} / \text{样方内所有种的总株数}$

把不同林分类型所属样地作为各自的重复,进行单因素 ANOVA 分析,对差异显著的指标作 LSD 多重比较(SPSS 软件包 17.0 版),判别这些林分类型乔灌木多样性指标的差异。

2 结果与分析

2.1 物种累积曲线

对 40 块标准样地所有乔木和灌木层数据进行统计分析,各样地立地特征、树种组成、物种丰富度及其相对应的估计值 ACE 值参见表 1, ACE 值的计算采用 50 次随机化物种增加顺序。结果显示 ACE 最终结果为

131.26, 实际采到的物种占全部物种数(估计值)的 92.9%, 显示抽样充分(图 1)。

2.2 林分类型划分及其指示物种

2.2.1 针叶林群落中的林分类型

对 26 块代表针叶林群落样地作主坐标分析, 可将林分类型划分为 3 类, 即: 赤松林、黑松林、日本落叶松/刺杉林(图 2)。

进一步对这 3 类林分的物种指示值($IndVal$)进行分析, 结果显示: 3 种林分类型中分别有 20 种植物在不同性质生境的分布中具有显著差异, 然而根据 $IndVal \geq$

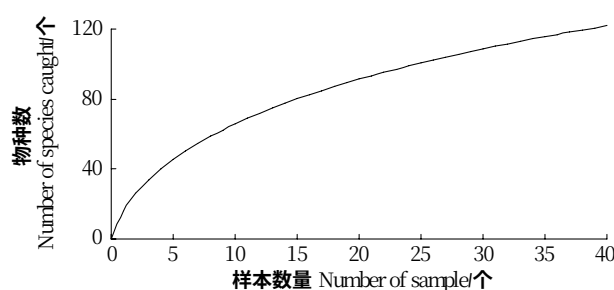


图 1 基于样本的物种累积曲线

Fig. 1 Sample-based accumulation curves

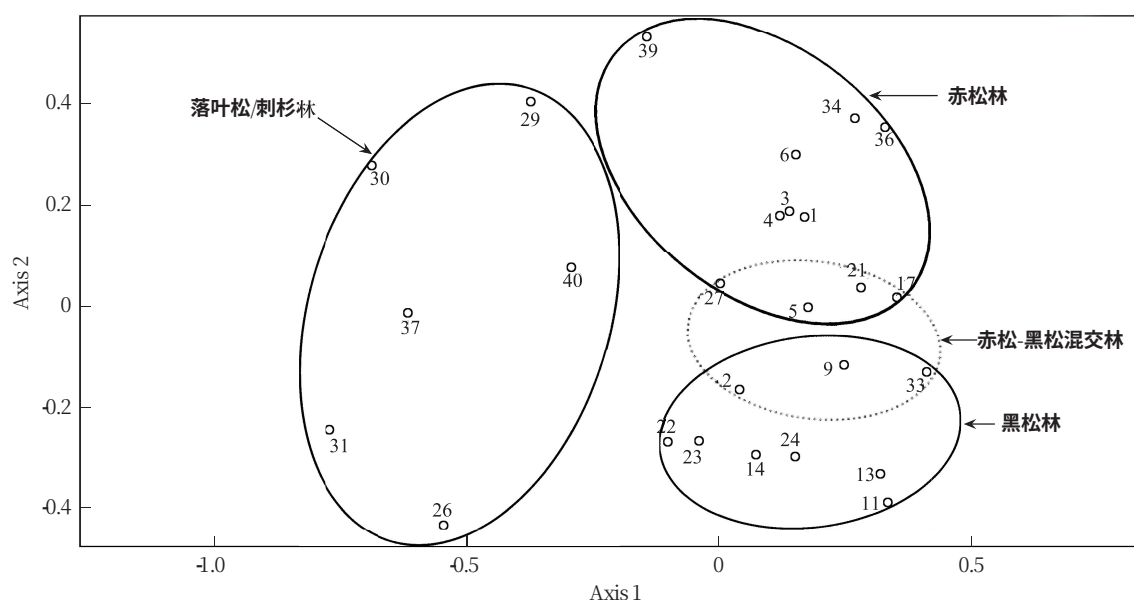


图 2 昆崙山自然保护区针叶林主坐标图

Fig. 2 Principal Coordinate Analysis of conifer forest community in Kunyushan Reserve

图中数字为样地编号

0.5 的标准, 共有 11 种植物能够作为林分类型划分的指示物种(表 2); 黑松($IndVal=0.6404, P=0.004$)、山槐(*Sorbus pohuashanensis*)($IndVal=0.5556, P=0.005$)、麻栎(*Quercus acutissima*)($IndVal=0.5415, P=0.044$)是黑松林样地的指示物种; 郁李(*Prunus japonica*)($IndVal=0.7685, P=0.001$)、赤松($IndVal=0.6321, P=0.001$)、山胡椒(*Lindera metcalfiana*)($IndVal=0.5464, P=0.020$)是赤松林样地的指示物种; 日本落叶松/刺杉林的显著指示物种包括日本落叶松、水榆花楸(*Sorbus alnifolia*)、刺杉(*Cunninghamia lanceolata*)、白檀(*Symplocos paniculata*)和水蜡(*Ligustrum obtusifolium*)。可以明显看出, 这几类针叶树林分除了主要针叶树种不同外, 主要阔叶树或草本植物也不同, 且都有各自的指示物种(表 2)。

同时发现虽然样地 2、9、33 划归黑松林, 样地 5、17、21、27 划归赤松林, 但这些样地中黑松或赤松的任何一种的比例并未占绝对优势, 其组成更类似于赤松-黑松混交林, 因而图中将这类样地以虚线标出(图 2)。黑松在昆崙山是引进树种, 随着人为干扰的减轻加之赤松旺盛的自然更新能力^[28], 这类林分有自然形成混交林的趋势。

2.2.2 针阔混交林和阔叶林群落中的林分类型

代表针阔混交林的样地共有 10 块, 阔叶林 4 块, 对这两类森林群落分别进行主坐标分析。其中针阔混交林群落的主坐标分析见图 3。图中清晰反映出针阔混交林群落可以明显分为 2 个林分类型: 针叶树-麻栎林和

针叶树-杂木林。

表 2 昆崙山森林群落划分及其群落指示值分析
Table 2 IndVal analysis of Kunyushan forest communities and forest stand classifications

昆崙山森林群落 Forest communities in Kunyushan	林分类型 Forest types	所属样地号 Plot	指示物种 Indicator species	IndVal	P
针叶林 Conifer forest	黑松林 <i>P. thunbergii</i> stand	2, 9, 11, 13, 14, 22, 23, 24, 33	黑松 <i>P. thunbergii</i>	0.6404	0.004
			山槐 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	0.5556	0.005
			麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.5415	0.044
	赤松林 <i>P. densiflora</i> stand	1, 3, 4, 5, 6, 17, 21, 27, 34, 36, 39	郁李 <i>Prunus japonica</i>	0.7685	0.001
			赤松 <i>P. densiflora</i>	0.6321	0.001
			山胡椒 <i>Lindera metcalfiana</i>	0.5464	0.020
	日本落叶松/刺杉林 <i>Larix kaempferi</i> / <i>Cunninghamialanceolata</i> stand	26, 29, 30, 31, 37, 40	日本落叶松 <i>Larix kaempferi</i>	0.7711	0.002
			水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	0.7689	0.002
			刺杉 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.6333	0.004
			白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	0.5316	0.033
针阔混交林 Conifer- broadleaf forest	针叶树-栎类混交林 Conifer- <i>Quercus</i> spp. stand	12, 16, 18, 19, 32	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.9571	0.004
			山菊 <i>Flos chrysanthemi indic</i>	0.4000	0.001
	针叶树-杂木混交林 Conifer-broadleaf stand	7, 10, 25, 35, 38	粘鱼须 <i>Smilax sieboldi</i>	0.7200	0.010
			楸树 <i>Catalpa bungei</i>	0.6000	0.001
			华山松 <i>P. armandi</i>	0.6000	0.001
			五角枫 <i>Acer truncatum</i>	0.4000	0.001
			赤杨 <i>Alnus japonica</i>	0.4000	0.001
阔叶林 Broadleaf forest	枫香林 <i>Liquidambar formosana</i>	8			
	麻栎林 <i>Quercus</i> spp.	15			
	刺槐林 <i>Robinia pseudoacacia</i>	20			
	水榆林 <i>Sorbus alnifolia</i>	28			

对这 2 类林分的物种指示值进行分析,发现这两类林分中分别有 20 种植物在不同性质生境的分布中具有显著差异。根据它们的指示值大小,共有 7 种植物能够作为指示物种(表 2):麻栎($IndVal=0.9571, P=0.004$)是针叶树-麻栎混交林样地的指示物种;粘鱼须(*Smilax sieboldi*)($IndVal=0.7200, P=0.010$)、楸树(*Catalpa bungei*)($IndVal=0.6000, P=0.001$)、华山松($IndVal=0.6000, P=0.001$)是针叶林-杂木混交林样地的指示物种。同时,针叶树-麻栎林的针叶树种以赤松或黑松占绝对优势,阔叶树种以麻栎占优势,样地间植物组成比较接近;而针叶树-杂木林的针叶树种以赤松、红松或华山松占绝对优势,阔叶树种较多,但缺乏优势树种,因而样地间植物组成距离较远(表 1,图 3)。

阔叶树林的物种组成很不相同,样地 8 主要乔木是枫香(*Liquidambar formosana*),样地 15 是麻栎林,样地 20 是刺槐林(*Robinia pseudoacacia*),大果榆(*Ulmus macrocarpa*)也有一定数量;样地 28 是水榆花楸(*Sorbus alnifolia*),盐肤木(*Rhus chinensis*)也有一定优势。

2.3 不同林分类型多样性指数差异比较

将六种林分类型所属样地作为各自的重复,进行单因素方差分析,结果表明:不同林分间物种多度($P=0.813$)和物种丰富度($P=0.194$)无显著差异,Fisher α 指数($P<0.001$)、Shannon-Wiener 指数($P=0.001$)差异极显著,同时 Simpson 指数的差异也达到显著性水平($P=0.034$)(表 3)。

物种多度和丰富度在不同林分类型间差异虽然不显著,但从指标来看,仍有其各自的特点。如作为地带性植被的代表,赤松林的多度最高、针叶树-杂木混交林的多度最低;而针叶树-杂木混交林的物种丰富度最高,针叶树-栎类混交林的丰富度最低(表 3)。

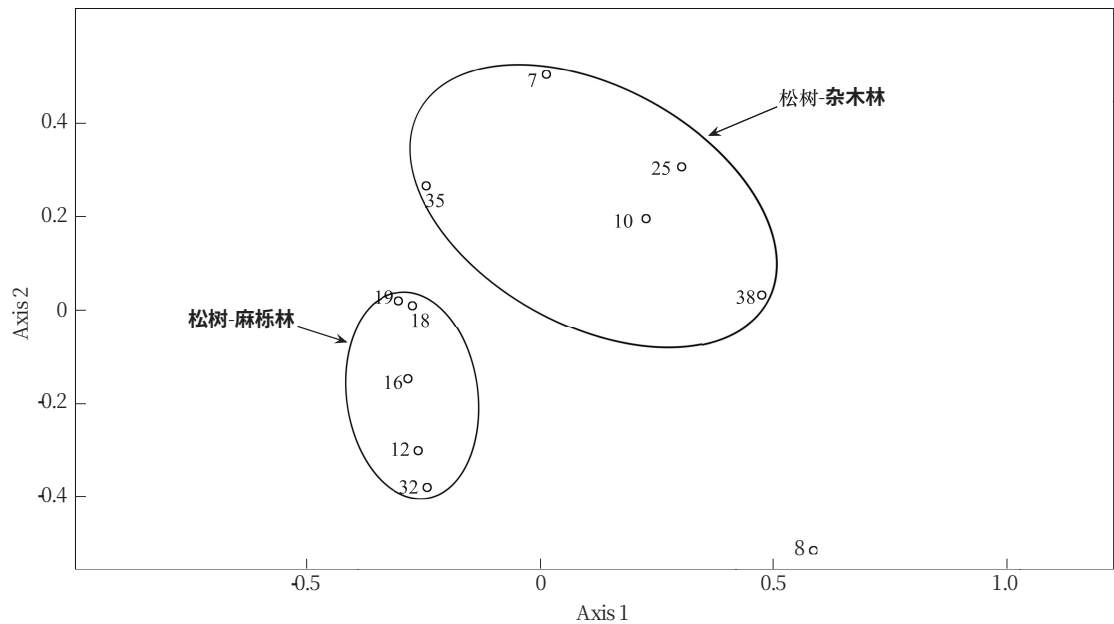


图3 昆嵛山自然保护区针阔混交林主坐标图

Fig. 3 Principal Coordinate Analysis of conifer-broadleaf forest community in Kunyushan Reserve

阔叶林的 Fisher α 指数和 Shannon-Wiener 指数均显著高于其他 5 种林分类型、而这 5 类林分之间的 Fisher α 指数和 Shannon-Wiener 指数无显著差异(表3)。Simpson 指数在不同林分类型间差异较大,其中日本落叶松/刺杉林、阔叶林、针叶树-栎类混交林之间无差异,其中日本落叶松/刺杉林和阔叶林显著低于针叶树-杂木混交林,而针叶树-栎类混交林与所有其他林分的 Simpson 指数无差异;同时针叶树-杂木混交林也与黑森林、赤松林、日本落叶松/刺杉林之间无差异;但针叶林-杂木林与针叶树-栎类混交林之间存在显著差异(表3)。

表3 不同林分类型生物多样性指标

Table 3 Indices of stand types (mean $\pm$ SD)

林分类型 Stand type	样本数量/个 Sample umbers	多度 Abundance	物种丰富度 S Species richness	Fisher α 指数 Fisher α index	Shannon- Wiener 指数 Shannon- Wiener index	Simpson 指数 Simpson index
黑松林 <i>P. thunbergii</i> stand	9	208.9 $\pm$ 21.5	14.7 $\pm$ 5.1	3.7 $\pm$ 1.7B	1.89 $\pm$ 0.43 B	5.14 $\pm$ 2.36 AB
赤松林 <i>P. densoflora</i> stand	11	238.8 $\pm$ 101.9	15.9 $\pm$ 5.9	3.9 $\pm$ 1.7B	1.92 $\pm$ 0.40 B	5.01 $\pm$ 1.69 AB
日本落叶松/刺杉林 <i>Larix kaempferi/Cunninghamia lanceolata</i> stand	6	230.5 $\pm$ 99.8	14.8 $\pm$ 3.1	3.64 $\pm$ 0.63B	1.605 $\pm$ 0.54 B	3.94 $\pm$ 2.34 BC
针叶树-栎类混交林 Conifer- <i>Quercus</i> spp. stand	5	214.6 $\pm$ 31	13 $\pm$ 2.9	3.08 $\pm$ 0.87B	1.806 $\pm$ 0.13 B	4.49 $\pm$ 1.20 ABC
针叶树-杂木混交林 Conifer-broadleaf stand	5	192.2 $\pm$ 44.3	21.2 $\pm$ 8.8	6.14 $\pm$ 2.95 B	2.294 $\pm$ 0.40 B	6.87 $\pm$ 2.71 A
阔叶林 Broadleaf stand	4	194.5 $\pm$ 68.5	19.3 $\pm$ 6.4	19.08 $\pm$ 11.79 A	5.345 $\pm$ 3.95 A	2.17 $\pm$ 0.68 C
<i>F</i>		0.447	1.572	11.33 ***	5.751 ***	2.756 *
<i>P</i>		0.813	0.194	0	0.001	0.034

显著性水平 significant level; *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$; 同列不同字母表示多重比较后差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)

Fisher α 指数排序为阔叶林>针叶树-杂木混交林>赤松林>黑森林>日本落叶松/刺杉林>针叶树-栎类混

交林;Shannon-Wiener 指数排序为阔叶林>针叶树-杂木混交林>赤松林>黑森林>针叶树-栎类混交林>日本落叶松/刺杉林;而 Simpson 指数的排序为针叶树-杂木混交林>黑森林>赤松林>针叶树-栎类混交林>日本落叶松/刺杉林>阔叶林(表 3)。

3 结论与讨论

本文所依据的昆崙山自然保护区 40 块永久性标准样地实际采到的物种占全部物种数(估计值 $ACE = 131.26$) 的 92.9%,因此,物种累积曲线法证明了以此为基础的抽样量是充分的,说明这 40 块样地能较全面地反映昆崙山主要森林群落类型、林分类型和物种多样性的概况;因此后续分析是可靠的^[18]。采用主坐标分析法将样地所代表的森林群落划分为 6 种林分类型,即赤松林、黑松林、日本落叶松/刺杉林、针叶树-麻栎林、针叶树-杂木林和阔叶林。物种指示值分析表明每一种林分类型有其独具代表性的指示物种(表 2)。综合比较不同林分类型乔灌木的整体多样性特点表明,6 种林分类型的物种多度和物种丰富度无显著差异;阔叶林的 Fisher α 指数($P < 0.001$)、Shannon-Wiener 指数($P = 0.001$)、Simpson 指数($P = 0.034$)与其他 5 种林分类型相比,差异到显著性水平;其他 5 种林分类型的 Fisher α 指数和 Shannon-Wiener 指数无显著差异,但 Simpson 指数在这些林分间差异显著(表 3)。

传统上,在植物群落调查时多采用巢式取样以确定样方面积,它按一定规则不断扩大取样面积,从而获得相应面积的物种数量数据,组成构建种-面积曲线的样方系列^[39]。种-面积曲线或种-面积关系是群落调查的重要内容之一。原则上,调查样方的面积大小是根据种-面积曲线确定的^[39]。本文所采用的物种累积曲线法有别于巢式取样法,它是在确定了样方面积的前提下,通过物种累积曲线实时判断抽样量是否充分,从而能够及时调整样地设置数量和调查取样方案,同时对后续的数据分析的科学性、可靠性、严谨性等都具有很实际的指导意义。当前,在植物及动物多样性研究中,国外对物种累积曲线的研究和应用相对较为丰富^[29-32],国内对该方法的研究应用还很少见,目前仅见于动物群落如蚂蚁、蝗虫多样性研究^[33, 38]。

植物群落是在一定的气候基质及生物等因素的综合作用下形成的有规律的植物组合。植被分类的目的在于揭示植物的这种组合规律及其与环境的关系,从而比较全面系统地认识一定区域的植被。在中国植被的区划中,昆崙山森林属暖温带落叶阔叶林区域—暖温带落叶阔叶林地带—南部落叶栎林地带—胶东丘陵栽培植被—赤松麻栎林区^[40]。昆崙山在经历 20 世纪七八十年代的大面积虫灾、进行外来树种引进和植被恢复工作以来,整体植物群落恢复时间已近 30a。从本文的分析结果可以看出,目前昆崙山的林分类型不仅仅局限于由赤松、麻栎等地带性植被物种构成的林分类型,总体上的林分类型多达到 6 种,较之杜宁等^[19]和吴大千等^[27]的分类更加多样,原因在于他们的调查范围只在昆崙山林场一分场和三分场,有一定的局限性。本文调查样地涵盖了昆崙山的所有分场,且样地均设置在具有典型代表性的立地条件及森林群落中;因此,本研究进一步完善了昆崙山植物群落的划分。

昆崙山当前的这种森林结构、林分类型的形成及其生物多样性与上世纪大规模树种引进和人工造林等人干扰密不可分;王仁卿等在 1996 年对昆崙山一分场的赤松、黑松混交林的研究表明,天然赤松林林下灌木层的物种多样性明显高于人工黑松林^[24],说明当时赤松对于调节和完善植被的结构与功能以及物种多样性的保持具有积极的作用。同时他们指出赤松土壤种子库及幼苗极为丰富,赤松种群在该地区的天然更新能力较强,而黑松种群土壤种子库的活力虽高但成苗率极低;因此,在山东半岛森林植被未来的天然演替过程中,赤松很有可能成为该地区森林植被的优势种和主要建群种^[24]。本文结果证实了他们的观点,在无干扰情况下赤松的自然更新加速了这些林分类型的形成,有些林分已经形成结构组成更加复杂的混交林(图 2)。本文综合考察了乔灌木的整体物种多样性指数,由于物种多样性指数是由物种丰富度和均匀度所决定的,从这一点可以反映出昆崙山森林恢复过程中多样性的变化。首先,不同林分类型的物种多度和物种丰富度已经没有差异,说明在无重大人为干扰条件下,过去人为干扰严重的如黑松人工林、日本落叶松人工林等群落内物种的自然更新迅速。其次,昆崙山森林乔灌木的整体多样性的各项指数与林分类型有关。不同的植被类型的群落多样性相差较大,而植被类型相同的群落,其多样性相近。其中,阔叶林的 Fisher α 指数和 Shannon-Wiener

指数最高,但 Simpson 指数最低;这主要是由于本文将优势种不尽相同的阔叶林归纳在同一类型中,而每个阔叶林的物种组成也不尽相同,造成其各项多样性指数较其他林分类型有显著差异。这也进一步反映了多样性和均匀度指数能反映植物群落种类组成、结构等差异。有研究认为 Shannon-Wiener 指数对样方面积大小不敏感,比之 Simpson 指数能更稳定地反映群落多样性的特征^[41]。整体来看,由于人为影响因素的持续减少,通过与王仁卿等^[24, 42]的结果相比较,昆嵛山很大部分森林演替的总体趋势是进展演替,即朝着赤松-栎类地带性植被的方向发展。因此,在森林管理方面,在未来相当长的时间应维持目前的森林组成的格局,顺应其自身的演替进程,因为目前大多数的林分林龄在 30—50 年生;而对遭受害虫严重为害的林分,应根据不同林分类型采取一些适当的抚育措施,如对密度过高的林分进行小规模间伐,以促进林分的整体健康水平。

指示种作为森林群落划分的依据之一已经被广泛应用,如马克平运用 TWINSpan 以二歧式分割法划分植物群落类型,分划过程充分利用了能够反映群落生境特征的指示种及其组合,得到了比较合理的分类^[42]。但其指示种的确立尚未引入指示值的计算。Noss 等^[10]指出,根据生态系统监测的目标,指示物在不同组织水平上包括物种、林分、景观和系统,而挑选适合的指示物种是最具挑战性的一步。例如,在种的水平上, Lambeck^[43]和 Noss^[44]提出广泛的潜在指示物种,如关键种、伞保护种、扩散制约种、资源稀缺种以及对生态过程变化敏感的种以及受公众关注的种类,如旗舰种^[45]。而林分水平上,有些指示物能用来监测森林退化或恢复的趋势,如林木径级和年龄分布^[44]、土壤营养水平以及林分生长速率^[46]。本文通过计算各物种的指示值确立了昆嵛山不同林分类型的指示物种,其重要性在于通过指示值的计算更符合统计学意义,在反映指示种与林分的关系上也更加准确^[13]。昆嵛山各类林分的典型指示植物种类差异显著(表 2),所得到的指示物种多为乔木和灌木,在相对较长的时期内会处于稳定状态。昆嵛山林场一分场和三分场赤松与黑松林下灌草层 13a 的物种周转率(species turnover rate)为 125.9%^[47],物种的更替以草本植物为主,随着林分郁闭,强阳性物种遭到淘汰,取而代之的是耐阴性物种^[47]。对鼎湖山亚热带针阔混交林 4a 来的定位研究发现,群落的乔、灌、草 3 层的物种组成结构变幅很小,仅在增减 1 个物种的范围内波动,主要表现在个体数量尤其是主要物种个体数量的消长^[48]。因此,昆嵛山各林分类型指示物种受群落内中长期灌草层物种更替的影响较小。在昆嵛山森林自然恢复评价方面,如何运用和结合物种指示值法将是昆嵛山生态定位研究站下一步工作的重点。

致谢:昆嵛山林场职工及林场防火大队干部职工协助中国林业科学研究院林琳、吴志芳调查;西南林学院李巧博士、中国林业科学研究院资源昆虫研究所陈又清博士、澳大利亚联邦科工组织(CSIRO)大气研究所王应平博士对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] McNaughton S J. Diversity and stability. *Nature*, 1988, 333: 204-205.
- [2] McCann K S. The diversity-stability debate. *Nature*, 2000, 405(6783): 228-233.
- [3] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime J P, Hector A, Hooper D U, Huston M A, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle D A. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 2001, 294(5543): 804-805.
- [4] Hooper D U, Chapin III F S, Ewel J J, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton J H, Lodge D M, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad A J, Vandermeer J, Wardle D A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 2005, 75(1): 3-35.
- [5] Hector A, Bagchi R. Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature*, 2007, 448(7150): 188-190.
- [6] Zhao P, Peng S L, Zhang J W. Restoration ecology-an effective way to restore biodiversity of degraded ecosystems. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 53-58.
- [7] Lamb D, Erskine P D, Parrotta J A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 2005, 310(5754): 1628-1632.
- [8] Yu L F, Zhu S Q, Ye J Z, Wei L M, Chen Z R. A study on evaluation of natural restoration for degraded Karst forest. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(6): 12-19.
- [9] Yu L F, Zhu S Q, Zhu X K, Xie S X. A study on evaluation of restoration and remedy technology of degraded Karst forest. *Guizhou Science*, 2002, 20(1): 7-13.
- [10] Noss R F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 1990, 4(4): 355-364.

- [11] Lawton J H, Bignell D E, Bolton B, Bloemers G F, Eggleton P, Hammond P M, Hodda M, Holt R D, Larsen T B, Mawdsley N A, Stork N E, Srivastava D S, Watt A D. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 1998, 391(6662): 72-76.
- [12] Kotwal P C, Omprakash M D, Gairola S, Dugaya D. Ecological indicators: imperative to sustainable forest management. *Ecological Indicators*, 2008, 8(1): 104-107.
- [13] Diekmann M. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology-a review. *Basic and Applied Ecology*, 2003, 4(6): 493-506.
- [14] Canterbury G E, Martin T E, Petit D R, Petit L J, Bradford D F. Bird communities and habitat as ecological indicators of forest condition in regional monitoring. *Conservation Biology*, 2000, 14(2): 544-558.
- [15] Harig A L, Bain M B. Defining and restoring biological integrity in wilderness lakes. *Ecological Applications*, 1998, 8(1): 71-87.
- [16] Pärt T, Söderström B. Conservation value of semi-natural pastures in Sweden; contrasting botanical and avian measures. *Conservation Biology*, 1999, 13(4): 755-765.
- [17] Brooks R P, O'Connell T J, Wardrop D H, Jackson L E. Towards a regional index of biological integrity: the example of forested riparian ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1998, 51(1/2): 131-143.
- [18] Li Q, Chen Y L, Zhou X Y, Bei R T, Yin L H, Xiong Z P. Assessment of ecological restoration of degraded ecosystem and its biodiversity. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(4): 69-73.
- [19] Du N, Wang Q, Guo W H, Wang R Q. Ecological characteristics of typical plant communities in Kunyu Mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 151-158.
- [20] Wang Y T, Guo W H, Liu J, Wang S J, Wang Q, Wang R Q. Value of ecosystem services of Kunyu Mountain Natural Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 523-531.
- [21] Song B H, Li F Z. Study on flora of Kunyu Mountain in Shandong Province. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, 17(3): 220-226.
- [22] Xu D C. Preliminary analysis on flora in Kunyu Mountain. *Shandong Forest Science and Technology*, 1989, (1): 15-17.
- [23] Zhang X Q, Zhang Z G, Zhang S P, Wang R Q. Preliminary studies on the flora of Kunyu Mountain in Shandong Province. *Bulletin of Botanical Research*, 2003, 23(4): 492-499.
- [24] Wang R Q, Zhang S P, Zhang Z G, Zhu J G, Lü Y P. The natural *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. population in the Mountain Kunyu: quantitative characteristics and regenerative dynamics. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(3): 61-65.
- [25] Zhuang S H, Wang K M, Chen L X. Preliminary study on the ecological characteristics in sunny and shady slopes of semi-natural vegetation of Laoyangfen in Kunyu Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(3): 238-249.
- [26] Du N, Guo W H, Wu D Q, Wang Q, Wang R Q. Inter-specific relations of shrub and herbage species under a typical forest on Kunyu Mountain. *Journal of Shandong University: Natural Science*, 2007, 42(3): 71-77.
- [27] Wu D Q, Du N, Wang W, Zhai W, Wang Y F, Wang R Q, Zhang Z G. Quantitative analysis of structure and biodiversity of shrub layer and herbage layer under forest community at Kunyu Mountain. *Journal of Shandong University: Natural Science*, 2007, 42(1): 83-88.
- [28] Wang R Q, Zhou G Y. Natural regeneration and developing prospects of Japanese red pine forest in Shandong Peninsula. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8(2): 18-22, 55-55.
- [29] Ugland K I, Gray J S, Ellingsen K E. The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology*, 2003, 72(5): 888-897.
- [30] Moreno C E, Halffter G. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 38(2): 487-490.
- [31] Colwell R K, Mao C X, Chang J. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 2004, 85(10): 2717-2727.
- [32] Mao C X, Colwell R K, Chang J. Estimating the species accumulation curve using mixtures. *Biometrics*, 2005, 61(2): 433-441.
- [33] Li Q, Chen Y Q, Xu Z H. Research methods on ants community. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(9): 1862-1870.
- [34] Colwell R K. EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Version 8. 2. 0. User's Guide and Application. 2009. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- [35] Hortal J, Borges P A V, Gaspar C. Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. *Journal of Animal Ecology*, 2006, 75(1): 274-287.
- [36] Oksanen J, Kindt R, Legendre P, O'Hara B, Simpson G L, Solymos P, Stevens M H H, Wagner H. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 1.15-1, 19 December, 2008. <http://cran.r-project.org/>, <http://vegan.r-forge.r-project.org/>
- [37] Roberts D W. *labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology*. R Package Version 1.3-1, 15 May, 2009. <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- [38] Li Q, Chen Y Q, Chen Y L, Chen Z. Diversity of grasshopper community in lac plantation-farmland ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 729-735.
- [39] Fang J Y, Wang X P, Shen Z H, Tang Z X, 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.
- [40] Wang R Q. *Restoration Ecology of Forest Vegetation in Shandong Province*. Shandong: Shandong University, 2005: 1-198.

- [41] Huang Z L, Kong G H, He D Q. Plant community diversity in Dinghushan nature reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 193-198.
- [42] Ma K P, Chen L Z, Yu S L, Huang J H, Gao X M, Liu C R. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268-277.
- [43] Lambeck R J. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, 1997, 11(4): 849-856.
- [44] Noss R F. Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators. *Forest Ecology and Management*, 1999, 115(2/3): 135-146.
- [45] Li X W, Zhang L, Fang J Y. Indicator, umbrella and flagship species: the concepts and their applications in conservation biology. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 72-79.
- [46] Rutters K H, Law B E, Kucera R C, Gallant A L, DeVelice R L, Palmer C J. A selection of forest condition indicators for monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1992, 20(1): 21-33.
- [47] Liang J, Sun Z Q, Zhu Y P, Zhang X Y, Yu S D, Zhang Y J, Yang X Y, Tang X J. 13-year succession dynamic of Kunyushan natural forest: change of diversity, species turn over and short-term herbivorous insect disturbance. *Journal of Central South University of Forestry and Technology (Natural Science Edition)*, 2011, 31(1): 9-17.
- [48] Zhou X Y, Huang Z L, Shi J H, Ouyang X J, Li J, Zhang C. Short-term dynamics of community composition and structure during succession of coniferous and broad-leaved mixed forest in Dinghushan. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12(4): 323-330.

参考文献:

- [6] 赵平, 彭少麟, 张经纬. 恢复生态学——退化生态系统生物多样性恢复的有效途径. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 53-58.
- [8] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 魏鲁明, 陈正仁. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究. *林业科学*, 2000, 36(6): 12-19.
- [9] 喻理飞, 朱守谦, 祝小科, 谢双喜. 退化喀斯特森林恢复评价和修复技术. *贵州科学*, 2002, 20(1): 7-13.
- [18] 李巧, 陈彦林, 周兴银, 贝荣塔, 尹立红, 熊忠平. 退化生态系统生态恢复评价与生物多样性. *西北林学院学报*, 2008, 23(4): 69-73.
- [19] 杜宁, 王琦, 郭卫华, 王仁卿. 昆崙山典型植物群落生态学特性. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 151-158.
- [20] 王玉涛, 郭卫华, 刘建, 王淑军, 王琦, 王仁卿. 昆崙山自然保护区生态系统服务功能价值评估. *生态学报*, 2009, 29(1): 523-531.
- [21] 宋葆华, 李法曾. 山东昆崙山植物区系研究. *武汉植物学研究*, 1999, 17(3): 220-226.
- [22] 徐德成. 昆崙山地区木本植物区系初步分析. *山东林业科技*, 1989, (1): 15-17.
- [23] 张宪强, 张治国, 张淑萍, 王仁卿. 山东昆崙山植物区系初步研究. *植物研究*, 2003, 23(4): 492-499.
- [24] 王仁卿, 张淑萍, 张治国, 朱建中, 吕以璞. 昆崙山天然赤松种群的数量特征及更新动态. *生态学杂志*, 2000, 19(3): 61-65.
- [25] 庄树宏, 王克明, 陈礼学. 昆崙山老杨坟阳坡与阴坡半天然植被植物群落生态学特性的初步研究. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 238-249.
- [26] 杜宁, 郭卫华, 吴大千, 王琦, 王仁卿. 昆崙山典型林下灌草层植物种间关系研究. *山东大学学报(理学版)*, 2007, 42(3): 71-77.
- [27] 吴大千, 杜宁, 王琦, 翟雯, 王玉芳, 王仁卿, 张治国. 昆崙山森林群落下灌草层结构与多样性研究. *山东大学学报(理学版)*, 2007, 42(1): 83-88.
- [28] 王仁卿, 周光裕. 山东半岛赤松林的天然更新及其发展前途的研究. *生态学杂志*, 1989, 8(2): 18-22, 55-55.
- [33] 李巧, 陈又清, 徐正会. 蚂蚁群落研究方法. *生态学杂志*, 2009, 28(9): 1862-1870.
- [38] 李巧, 陈又清, 陈彦林, 陈祯. 紫胶林-农田复合生态系统蝗虫群落多样性. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 729-735.
- [39] 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.
- [40] 王仁卿. 山东森林植被恢复的生态学研究. 山东: 山东大学; 2005: 1-198.
- [41] 黄忠良, 孔国辉, 何道泉. 鼎湖山植物群落多样性的研究. *生态学报*, 2000, 20(2): 193-198.
- [42] 马克平, 陈灵芝, 于顺利, 黄建辉, 高贤明, 刘灿然. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. *生态学报*, 1995, 15(3): 268-277.
- [45] 李晓文, 张玲. 指示种、伞护种与旗舰种: 有关概念及其在保护生物学中的应用. *生物多样性*, 2002, 10(1): 72-79.
- [47] 梁军, 孙志强, 朱彦鹏, 张星耀, 于善栋, 张英军, 杨晓燕, 唐晓娟. 昆崙山天然林 13 年演替动态-生物多样性变化、物种周转及食叶害虫的短期干扰. *中南林业科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 31(1): 9-17.
- [48] 周小勇, 黄忠良, 史军辉, 欧阳学军, 李炯, 张池. 鼎湖山针阔混交林演替过程中群落组成和结构短期动态研究. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(4): 323-330.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

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 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 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