

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

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 2 期
Vol.31 No.2
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 2 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布	潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)
冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系	赵 梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)
黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析	王乃江,刘增文,徐 钊,等 (316)
两种抗生素对龙须菜的光合生理效应	简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)
典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征	潘复静,张 伟,王克林,等 (335)
塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响	陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)
基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价	宋富强,邢开雄,刘 阳,等 (354)
火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响	贺郝钰,苏洁琼,黄 磊,等 (364)
4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应	冯慧芳,薛 立,任向荣,等 (371)
城市带状绿地宽度与温湿效益的关系	朱春阳,李树华,纪 鹏,等 (383)
西藏斧钯水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化	张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)
王朗自然保护区大熊猫生境选择	康东伟,康 文,谭留夷,等 (401)
东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局	陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)
台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响	白 义,施时迪,齐 鑫,等 (421)
青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境	杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)
叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理	王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)
C ₃ 和 C ₄ 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响	叶乐夫,付 雪,戈 峰 (449)
3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系	毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)
坝上地区农田和恢复生境地表甲虫多样性	刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)
若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征	牛 佳,周小奇,蒋 娜,等 (474)
红枣贮藏期果面微生物多样性	沙月霞 (483)
CO ₂ 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响	刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等 (491)
丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响	彭思利,申 鸿,袁俊吉,等 (498)
新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析	吴江超,高小其,曾 军,等 (506)
石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响	黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)
不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应	何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)
基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析	潘 影,刘云慧,王 静,等 (529)
基于生态足迹的生态地租分析	龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)
深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系	刘语凡,陈 雪,李贵才,等 (547)
专论与综述	
美国、加拿大环境和健康风险管理方法	贺桂珍,吕永龙 (556)
植物蜡质及其与环境的关系	李婧婧,黄俊华,谢树成 (565)
油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展	庄 文,初立业,邵宏波 (575)
叶际微生物研究进展	潘建刚,呼 庆,齐鸿雁,等 (583)

黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析

王乃江^{1,2}, 刘增文³, 徐 钊⁴, 张文辉^{1,*}, 陆元昌⁵, 范少辉^{5,6}, 王勇², 周 玲¹

(1. 西北农林科技大学西部环境与生态教育部重点实验室, 陕西杨凌 712100; 2. 美国阿拉巴马农工大学, 美国 35762;

3. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学生命学院, 陕西杨凌 712100;

5. 中国林业科学研究院, 北京 100091; 6. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要: 为了解陕西黄土高原子午岭林区主要森林类型的自然性, 以油松林、辽东栎林、白桦林、山杨林和侧柏林等 5 种森林类型为研究对象, 通过 0—1 型变量聚类, 较为客观地提出了森林群落各个演替阶段的植物组成, 并计算出了各自的群落顶极适应值; 采用层次分析的方法, 得到群落特征指标权重, 然后利用灰色关联分析方法, 得到了各个森林群落的灰色关联度。研究结果表明, 黄土高原不同森林类型的群落顶极适应值由大到小依次为辽东栎林 (*Quercus wutaishanica*) 8.37, 油松林 (*Pinus tabulaeformis*) 8.16, 山杨林 (*Populus davidiana*) 7.89, 侧柏林 (*Platycladus orientalis*) 6.88, 白桦林 (*Betula platyphylla*) 6.87; 关联度由大到小依次为油松林 1.143、辽东栎林 1.085、侧柏林 0.893、白桦林 0.849、山杨林 0.789。油松林和辽东栎林的灰色关联度较高, 是这一地区较为稳定的理想森林类型, 侧柏林和白桦林的关联度居中, 山杨林最小。辽东栎林和油松林属于该地区的顶极和亚顶极群落类型, 白桦林和侧柏林属于演替过渡类型, 山杨林为演替阶段较低的森林类型。用灰色关联度的方法能够定量地分析森林群落的自然性, 研究结果对森林近自然经营、林分改造有一定的应用价值和科学意义。

关键词: 黄土高原; 森林自然性; 森林类型; 灰色关联分析; 构成指数

Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Loess Plateau

WANG Naijiang^{1,2}, LIU Zengwen³, XU Zhao⁴, ZHANG Wenhui^{1,*}, LU Yuanchang⁵, FAN Shaohui^{5,6}, WANG Yong², ZHOU Ling¹

1 Key Laboratory of Environment and Ecology of Education Ministry in West China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Alabama A&M University, Normal, Alabama, USA 35762

3 College of Life, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

4 College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

5 Research Institute of Forestry, Beijing 100091, China

6 International Centre of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China

Abstract: The establishment of dominant tree regeneration is currently a focus for concern regarding the sustainability of assisted natural regeneration in natural forests (by conservation of natural growth) on Loess Plateau of China. Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) and Liaodong oak (*Quercus wutaishanica*) dominate the forests in this region. Results from silvicultural treatments used to regenerate these forests, such as near-natural forest management and artificial promotion of the natural regeneration, may or may not mimic natural forest composition and structure (forest naturalness). The quantitative methods of analysis of forest naturalness are not well known, although previous research addressed forest naturalness either qualitatively or theoretically, and did not consider successional stage. We used gray relational analysis and developed a model to assess forest naturalness by successional stage of five forest types: Liaodong oak, Chinese pine, Oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*), Asian white birch (*Betula platyphylla*), and Korean aspen (*Populus*

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B03-03); 陕西省自然科学基金(2005C120); 西北农林科技大学科研专项; 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-05); 天然林保护工程重点技术研究及试验示范项目(TBKJ 2003-07)

收稿日期: 2009-11-25; **修订日期:** 2010-09-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zwhckh@163.com

davidiana)。Plant composition of each forest community in the four succession stages (forest formation, qualitative growth, competitive selection and climax community) was obtained via cluster analysis. The Climax Adaptation Value (CAV), which represents stage of development, was assigned for each successional stage, and the relative Important Value (IV') of every species was calculated separately. Complex Index (CI) of community was calculated following: $CI = \sum IV' \times CAV$. Next, using Analytical Hierarchy Process (AHP), we determined a community characteristic index weight (W_i), and applied gray relational analysis to determine the gray relational coefficient and the gray relational grade (R'_i) among forest type communities. Complex Index of each forest type was one of the most important factors related to forest naturalness. Complex Index ranged from a high of 8.37 for Liaodong oak, to a low of 6.87 for Asian white birch. Chinese pine and Liaodong oak forests had the highest gray relational grade ($R'_i = 1.14$ and 1.09 , respectively) and were at the most stable successional stage, while Korean aspen forests ($R'_i = 0.79$) were the least stable community in the study region. Our results suggest that gray relational analysis is a valuable tool and an effective approach for quantifying forest naturalness, and the results from such analysis can provide insights into vegetation structural and compositional changes and guidance for near-natural forest management and stand improvement. This method of gray relational analysis may be applied to other forest types in the region.

Key Words: the Losses Plateau; forest naturalness; forest type; gray relational analysis; compose index

在森林近自然经营的理论和实践中,往往都是以群落类型或森林类型为基本单位来进行森林经营^[1],森林自然状况是一个重要的林分质量指标,也是确定森林经营措施的重要依据之一^[1-2]。但是,由于涉及森林动态、与环境的适应状况和人为干扰等因素,森林自然性研究仍然是一个较为复杂的研究课题^[3-4]。森林的自然性是指森林与当地自然环境条件下理想状态森林的相似程度。在国外,森林自然性的研究较为简单,也不透彻^[4],研究表明,森林自然性与死亡林木的数量和分布有关^[3,5]。尽管波罗的海的一些国家通过林分中死亡林木模型、空间分布和人为干扰来评价森林自然性^[3,6];芬兰和俄国等欧洲国家根据风倒木和人为活动情况来判断自然性^[7],但都难以解释森林自然性的真正含义^[8]。近年来,国内也有学者从不同的角度对森林自然性进行了尝试性的研究^[2,9]。大多数研究都是用自然构成指数来判断森林群落的自然状态^[2,10-11];也有人以群落特征为基础,主观地划分森林自然度^[9];或次生群落的演替阶段^[12]来判断群落自然性,但未形成一种规范和系统的分析方法和判断标准。

灰色关联分析可根据事物的相似程度来判断它们之间关系的紧密程度^[13],已在社会科学和自然科学的许多领域被广泛应用^[14],但在林业上的应用相对较少,仅见于树种选择^[15]和植物生长预测模型^[16]等研究中。用灰色关联理论分析森林的自然性,比较符合森林自然度的真正内涵。也就是说,可以从群落演替的角度出发,根据森林群落各个演替阶段的灰色关联度来判断森林的自然性^[2,9-10]。

子午岭林区是黄土高原森林植被保存较为完好的地区,地带性森林植被如油松、辽东栎、白桦、山杨和侧柏等分布较为广泛。此前,不少学者对该地区油松、辽东栎和白桦等典型群落的林分特征、森林更新^[17-18]、植物多样性^[19]和群落演替^[20]等进行过研究,但缺乏森林自然性方面的研究。本文以黄土高原子午岭林区为例,通过聚类分析确定各个演替阶段植物组成,应用层次分析的方法确定了群落特征指标的权重,最后用灰色关联理论计算主要群落的灰色关联度等一系列方法,以量化的形式表达了该地区主要森林类型的自然性,避免了人为的因素对自然性分析造成影响,研究结果更加科学、合理,研究结果可以为森林的近自然经营、林分改造和人工促进更新提供科学依据,同时,对提高森林经营质量也具有重要的现实意义。

1 材料和方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于陕西省富县任家台林场,为子午岭的中心区域,属黄土高原丘陵地貌,海拔 1100—1450m,年

平均气温 9.0℃, 年均降水量 576.7mm。土壤为地带性褐色森林土, pH 为 7.5—8.0。地带性植被为暖温带落叶阔叶林林带, 植被覆盖率 85%。主要森林类型有油松林、辽东栎林、白桦林、山杨林和侧柏林等, 其中油松林是森林面积最大、森林质量比较理想的一种森林类型。主要森林植物有辽东栎 (*Quercus wutaishanica*)、山杨 (*Populus davidiana*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、黄蔷薇 (*Rosa hugonis*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*)、红瑞木 (*Cornus alba*)、栓翅卫矛 (*Euonymus phellomanes*)、葱皮忍冬 (*Lonicera ferdinandii*)、披针苔草 (*Carex lanceolata*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、紫菀 (*Aster tataricus*)、山野棉花 (*Urena lobata*) 等。

1.2 样地调查和数据处理

1.2.1 样地调查

本试验于 2006—2007 年进行。在长期封禁没有人为干扰的林班, 选择具有代表性的油松林、辽东栎林、白桦林、山杨林和侧柏林等 5 森林类型, 在每个森林类型的阴坡和阳坡分别设置 20m × 20m 调查样地 3 个, 共设样地 30 个。在每个样地的四周和中心分别设置 5m × 5m 的灌木样方和 1m × m 的草本样方各 5 个, 共设灌木和草本样方各 150 个。对样地中胸径大于等于 5cm 或树高大于等于 2m 的优势树种进行每木检尺, 胸径小于 5cm 或树高小于 2m 的优势树种按幼苗、幼树对待, 记录优势树种幼苗的种类、数量和林分郁闭度。在灌木和草本样方中, 调查灌木和草本的种类、盖度、多度和频度。在样地对角线的两端和中间点用直径 4.3cm, 高 4.0cm 的土壤环刀, 取 20cm 处的土样 2 次, 充分混合, 立即装入铝盒带回。在实验室自然风干后测定土壤有机质和养分, 有机质含量测定采用重铬酸钾氧化法, 氮用凯氏法测定, 磷用 0.05 mol/L 盐酸—0.023 mol/L 硫酸浸提法测定。同时, 在灌木样方中, 针对每个灌木树种, 选取生长势和大小处于平均水平的个体作为标准灌木。分别将不同树种的标准灌木连根挖出, 用修枝剪将完整的植株分成根、主干、侧枝和叶子 4 个部分, 分别称取各部分的鲜重。同时, 从各部分中取样若干, 迅速称鲜重后装入信封, 带回实验室。在 80℃ 条件下, 烘干至恒重, 称重。另外, 在灌木样方中, 将全部草本连根挖出, 称取地上和地下部分的鲜重。然后按草本的种类分别取样、称鲜重, 在实验室烘干、称干重。

1.2.2 数据处理

在室内, 测定每个灌木根、主干、侧枝和叶各部分的含水量, 计算出相应的干重。灌木根、主干、侧枝和叶子 4 个部分干重之和为标准灌木的生物量, 标准灌木生物量乘以样方中该树种的丰富度指数就是该灌木树种在调查样方中的生物量, 样方中所有灌木树种生物量之和就是样方中灌木生物量。另外, 计算出各个草本种类地上和地下部分的含水量, 再计算出对应的干重, 所有草本地上和地下部分干重之和就是样方中草本生物量。经过单位换算并求和, 得到样地中草本和灌木生物量。

用全氮和全磷含量之和作为土壤养分指标, 幼苗数量是每 25m² 样方中优势种的数量经过换算以后的数值, 蓄积量以每 400m² 样方中所有乔木活立木蓄积量来表示。

根据样地调查资料, 分别计算各个样地中每个物种的重要值和多样性指数 (丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数), 计算公式^[15,18] 为:

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}}{3}$$

$$\text{丰富度指数 Patrick 指数 } R = S$$

$$\text{物种多样性指数 Shannorr-Wiener 指数 } H' = \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \ln \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

$$\text{均匀度指数 } E_1 = H' / \ln S$$

式中, S 为每一样方中物种的总数, N 为 S 个种的全部重要值之和, N_i 为第 i 个种的重要值。

1.3 0—1 变量聚类

根据样地和样方调查的资料, 用 30 个样地中出现频率在 10% 以上的乔木和灌木的调查资料, 建立 0—1 反应表, 采用 Sokal 相似系数的可变法进行聚类^[14]。这种聚类方法, 不仅利用了两物种都存在的信息, 也利用

了两物种都不存在的物种信息^[14],可以客观地反映植物种间联结状况。

1.4 群落顶极适应值的计算

群落顶极适应值用构成指数(Compose Index, CI)来表示,它是利用植物种的重要值(important value, IV)及顶极适应值(climax adaptation value, CAV)相乘,即 $CI = \sum IV \times CAV$,求得群落的构成指数^[21-22],可定量描述每个森林类型的演变状态^[2]。考虑到构成指数的数量级,本文采用群落中树种的相对重要值(IV')参与计算^[11],即 $CI = \sum IV' \times CAV$ 。

1.5 灰色关联度的计算

1.5.1 等权关联度

根据群落的功能特点,假定以该地区存在的一个理想森林群落作为参考群落。 $x_0(k)$ 表示这个参考群落的各项结构特征指标所构成的数列,称为参考数列,0表示参考群落, k 表示该群落的第 k 个结构特征指标;以参考群落为参照物,其它森林群落称为比较群落, $x_i(k)$ 表示第 i 个比较群落各项生态指标构成的数列,称为比较数列。由该比较数列和参考数列组成比较数列矩阵^[13]。

对比较数列矩阵进行标准化处理^[23]。用下列公式计算各个群落结构特征指标的灰色关联系数 $\xi_i(k)$ ^[24-25]:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_{(i)} \min_{(k)} |x_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_{(i)} \max_{(i)} |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_{(i)} \max_{(i)} |x_0(k) - x_i(k)|}$$

式中, $\xi_i(k)$ 为比较群落类型 $\{x_i\}$ 与参考群落类型 $\{x_0\}$ 的第 k 个群落结构特征指标的关联系数;

$|x_0(k) - x_i(k)|$ 为比较数列与参考数列各对应群落结构特征指标的绝对差值; $\max_{(i)} \max_{(i)} |x_0(k) - x_i(k)|$ 为绝对差值的最大值; $\min_{(i)} \min_{(i)} |x_0(k) - x_i(k)|$ 为绝对差值的最小值。

最后,根据 $\xi_i(k)$,求出不同比较群落的等权关联度 $R_i, R_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k)$, N 为群落特征指标的总数, $N = 10$ 。

1.5.2 判断指标权重

用层次分析的方法,经过构建判断矩阵,并通过一致性检验,建立评价指标体系,计算出各个判断指标的权重 W_i ^[26]。

1.5.3 加权关联度

根据主要森林群落各个判断指标的灰色关联系数 $\xi_i(k)$ 和权重 W_i ,计算不同森林群落的加权关联度 R'_i :

$$R'_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) \cdot W_i$$

2 结果与分析

2.1 子午岭林区植物群落演替及演替阶段的物种组成

用0—1变量聚类的目的是把经常一起出现的树种聚集在一起^[14]。根据0—1变量聚类结果(图1)和乔灌木树种的生物学和生态学特性,将子午岭林区的主要树种可以分为4组,相当于森林组建、质量生长、竞争选择和顶极群落等不同的群落演替阶段(表1)。

从表1可以看出,森林组建阶段的植物组成主要以侧柏(*P. orientalis*)、狼牙刺(*S. viciifolia*)、山杏(*P. armeniaca*)、山杨(*P. davidiana*)为代表,还包括连翘(*F. syzypens*)、榆树(*U. pumila*)、柳树(*S. matsudana*)、沙棘(*H. rhamnoides*)、野葡萄(*V. amurensis*)、漆树(*T. verniciflua*)和白丁香(*S. aromaticum*)等,这些树种一般具有很强的抗旱性,为森林群落发生和形成过程中的先锋种,一般分布在较为严酷的立地上。质量生长阶段以多花胡枝子(*L. floribund*)、栓翅卫矛(*E. phellomanes*)、红瑞木(*C. alba*)、水栒子(*C. multiflorus*)为代表,多为林下灌木种,同时包括杜梨(*P. betulaefolia*)、华北丁香(*S. oblata*)、山荆子(*M. baccata*)、白桦(*B. platyphyl-la*)、野山楂(*C. cuneata*)等抗旱性较强的树种。竞争选择阶段以次顶极种虎榛子(*O. davidiana*)为代表,包括

葱皮忍冬 (*L. ferdinandii*)、南蛇藤 (*C. orbiculatus*)、悬钩子 (*R. corchorifolius*)、胡颓子 (*E. umbellata*)、毛樱桃 (*P. pseudocerasu*) 和黄蔷薇 (*R. hugonis*) 等, 这些物种多为分布于林下的灌木。在顶极群落阶段, 油松 (*P. tabulaeformis*) 和辽东栎 (*Q. wutaishannica*) 是顶极群落的主要组成成分, 茶条槭 (*A. ginnala*)、华北绣线菊 (*S. fritschiana*) 为油松和辽东栎林下的伴生灌木树种。

2.2 不同森林群落顶极适应值

2.2.1 树种 CAV 值

确定群落 *CI* 值的关键是确定各乔木树种的 *CAV* 值^[21,24]。根据乔灌木树种在群落中的地位和作用, 结合它们的类聚结果, 将它们从“森林组建”到“顶极群落”依次排序, 并对各物种的赋以相应的 *CAV* 值, 取值范围为 3—9 (表 1)。森林组建阶段的植物种顶极适应值赋值为 3, 质量生长阶段顶极适应值为 5, 竞争选择阶段顶极适应值为 7, 顶极群落阶段的顶极适应值为 9 (表 1)

2.2.2 群落 CAV 值

群落顶极适应值 (*CAV*)、群落构成指数 (*CI*) 最早由 Curtis 和 McIntosh 提出^[27], 用于对处于不同时空的群落进行演替状态排序, 可定量确定和描述群落的演替状态^[21]。群落顶极适应值是衡量植物群落与顶极群落接近的程度, 其大小取决于该群落包含物种的重要值和森林群落所处演替阶段。群落的顶极适应值越大, 表明该群落包含的顶极群落植物成分越多, 该群落越接近顶极群落; 群落的顶极适应值越小, 表明该群落包含的顶极群落植物成分越少, 该群落越远离顶极群落。

表 1 各演替阶段主要乔灌木树种组成及顶极适应值

Table 1 The main tree species in each successive group

群落演替阶段 Succession stages	顶极适应值 (<i>CAV</i>) Climate adaptation value	树种 VTree species
森林组建 Forest formation	3	连翘 <i>F. sypensu</i> 侧柏 <i>P. orientalis</i> 狼牙刺 <i>S. vicifolia</i> 山杏 <i>P. armeniaca</i> 榆树 <i>U. pumila</i> 柳树 <i>S. matsudana</i> 沙棘 <i>H. rhamnoides</i> 山杨 <i>P. davidiana</i> 野葡萄 <i>V. amurensis</i> 漆树 <i>T. verniciflua</i> 白丁香 <i>S. aromaticum</i>
质量生长 Qualitative growth	5	白桦 <i>B. platyphylla</i> 杜梨 <i>P. betulaeifolia</i> 多花胡枝子 <i>Lespedeza floribund</i> 华北丁香 <i>S. oblata</i> 栓翅卫矛 <i>E. phellomanes</i> 山荆子 <i>M. baccata</i> 水栒子 <i>C. multiflorus</i> 红瑞木 <i>C. alba</i> 野山楂 <i>C. cuneata</i>
竞争选择 Competitive selection	7	虎榛子 <i>O. davidiana</i> 黄蔷薇 <i>R. hugonis</i> 南蛇藤 <i>C. orbiculatus</i> 悬钩子 <i>R. corchorifolius</i> 胡颓子 <i>E. umbellata</i> 葱皮忍冬 <i>L. ferdinandii</i> 毛樱桃 <i>C. pseudocerasu</i>
顶极群落 Climax community	9	辽东栎 <i>Q. wutaishannica</i> 油松 <i>P. tabulaeformis</i> 茶条槭 <i>A. ginnala</i> 华北绣线菊 <i>S. fritschiana</i>

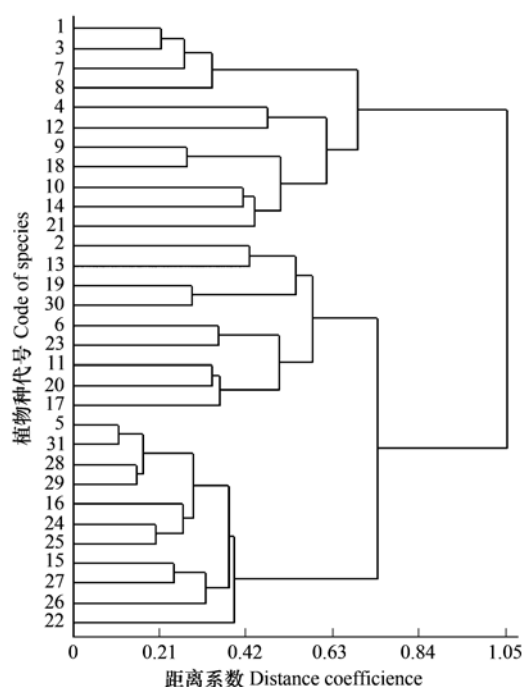


图 1 31 个乔灌木树种的 0—1 变量聚类分析图

Fig. 1 Clustering analysis chart of 0—1 matrix of 31 species

1 辽东栎 *Q. wutaishannica* 2 白桦 *B. platyphylla* 3 油松 *P. tabulaeformis* 4 虎榛子 *O. davidiana* 5 连翘 *Forsythia sypensu* 6 栓翅卫矛 *E. phellomanes* 7 茶条槭 *Acer ginnala* 8 华北绣线菊 *Spiraea fritschiana* 9 南蛇藤 *Celastrus orbiculatus* 10 胡颓子 *Elaeagnus umbellata* 11 水栒子 *Cotoneaster multiflorus* 12 黄蔷薇 *R. hugonis* 13 杜梨 *Pyrus betulaeifolia* 14 葱皮忍冬 *L. ferdinandii* 15 山杨 *P. davidiana* 16 榆树 *Ulmus pumila* 17 野山楂 *Crataegus cuneata* 18 悬钩子 *Rubus corchorifolius* 19 多花胡枝子 *Lespedeza floribund* 20 红瑞木 *C. alba* 21 毛樱桃 *Cerasus pseudocerasu* 22 白丁香 *Syzygium aromaticum* 23 山荆子 *Malus baccata* 24 柳树 *Salix matsudana* 25 沙棘 *H. rhamnoides* 26 山野葡萄 *Vitis amurensis* 27 漆树 *Toxicodendron verniciflua* 28 狼牙刺 *Sophora vicifolia* 29 山杏 *Prunus armeniaca* 30 华北丁香 *Syringa oblata* 31 侧柏 *P. orientalis*

由表 2 可以看出, 子午岭林区主要森林类型的群落顶极适应值不同, 它们的顶极适应值由大到小依次为

辽东栎 8.37, 油松 8.16, 山杨林 7.89, 侧柏林 6.88, 白桦林 6.87。辽东栎林的顶极适应值最大, 油松林次之, 其顶极适应值都在 0.8 以上, 明显高于其它森林类型, 是处于演替高级阶段的森林类型。这与以往的研究结果, 认为辽东栎和油松是黄土高原地区森林植被的顶极或次顶极群落相一致^[20,28], 油松林和辽东栎林顶极适应值的大小与其表达的生态学意义进一步验证和支持了这一观点。

从表 2 还可以看出, 山杨的顶极适应值处于中间水平, 高于侧柏和白桦。侧柏和白桦顶极适应值最低, 处于较为低级的森林演替阶段, 是最不稳定的森林群落, 有向其它森林类型进一步演替的可能。

2.3 不同森林群落的结构功能特征

从表 2 可以看出, 不同森林类型的生态功能、演替趋势和生产力指标存在很大的差别。与其它森林类型相比, 油松林的 Shannon-Wiener 指数、多度、幼苗数量等群落特征指标和草本灌木生物量、林分立木蓄积量等林地生产力指标都处于比较高的水平; 林分郁闭度、均匀度、顶极适应值、土壤有机质等处于中上水平。在林地生产力方面, 其草本和灌木生物量是其它森林类型的 2.1—12.0 倍; 蓄积量可以达到其它森林类型的 2.6—24.9 倍。辽东栎林的均匀度指数明显高于其它森林类型, 草本和灌木生物量与白桦里面相当, 但高于侧柏和山杨。

白桦为强阳性树种, 其林分的郁闭度、Shannon-Wiener 指数、均匀度指数和森林顶极适应值都相对较小, 林分郁闭度为 60%。但白桦林的土壤有机质含量相对较高, 仅次于辽东栎林, 这可能与白桦是阳性树种, 林分郁闭度较小, 林下充足的光照和良好的水热条件有利于加速林下有机物的分解有一定的关系。另外, 白桦林的土壤养分和草本和灌木生物量也保持在比较高的水平。

山杨林分密度最大, 林分郁闭度可达 90%, 表现为强烈的聚集生长, 这使得林内植物的生长受到抑制, 仅在阳光可以投射到的林中空隙, 少量的草本和灌木才得以生长。林下植物稀少和林内光照不足, 导致土壤有机质、土壤养分以及草本和灌木生物量都处于比较低的水平。高密度使得林木竞争异常激烈, 林分平均胸径较小, 导致林分生产力处于较低水平, 每公顷蓄积量仅为 0.35m^3 。

侧柏林较为稀疏, 林分郁闭度仅为 55%, 林中空地面积较大, 这使得林下植物能够很好的生长, Shannon-Wiener 指数、多度、均匀度相对较高。林内充足的水热条件, 有利于林内土壤发育和土壤养分的有效化, 土壤有机质和全氮全磷含量分别达到 1.78% 和 20.86 mg/kg。由于侧柏易于结实, 林内种源丰富, 林下幼苗数量可以达到 6767 个/ hm^2 , 为林分更新奠定了物质基础。

按照生态功能、演替趋势和生产力等森林群落功能指标所表达生态学意义, 结合子午岭林区森林结构特征, 可以假设存在一个非常理想的森林类型, 具有合理的森林群落结构、极高的演替潜力和极高的生产力水平。其每个指标具有最佳值, 也就是参考数列的各项数值都达到了比较理想的状态。从表 2 可以看出, 该理想林分的郁闭度可以达到 100%, 均匀度指数达到了 1.000, 顶极适应值为 10.00, 土壤有机质为 3.00%, 土壤养分达到 25.00 mg/kg, 幼苗数量达到了 10000 个/hm, 草本和灌木生物量、林分蓄积量分别达到了 15000.0kg/hm²和 15.00 m³。但 Shannon-Wiener 指数和 Patrick 指数处于中等水平, 分别为 2.000 和 26。

2.4 主要森林群落的关联度分析

2.4.1 各个判断指标权重

从生态功能指标、群落演替趋势和林地生产力 3 个方面来判断森林的自然性。经过判断矩阵一致性检验, $CI=0.003<0.01$, 判断矩阵达到满意的一致性。准则层各指标的权重依次为生态功能 0.726, 演替趋势 0.163, 生产力指标 0.381。指标层各判断因子权重 (W_i) 依次为顶极适应值 0.274, 幼苗数量 0.163, Shannon-Wiener 指数 0.124, Patrick 指数 0.106, 均匀度指数 0.097, 生物量 0.080, 蓄积量 0.060, 土壤养分 0.044, 土壤有机质 0.034, 郁闭度 0.019。由此可见, 顶极适应值是森林自然性评价最主要的因素, 其大小与判断对象所包含的森林植物组成有关, 在判断群落演替阶段和演替过程中占有主要的地位, 具有非常重要的生态学意义。另外, 森林群落的 Shannon-Wiener 指数、Patrick 指数和均匀度指数等群落多样性指数以及幼苗数量和群落生产力水平都对森林自然性有一定的影响。郁闭度的权重最小, 它对森林自然性评价的贡献最小。

表 2 各群落结构功能特征指标
Table 2 Stand structure characteristics of the primary forest types

森林类型 Forest type	生态功能指标 The index of ecological function				演替趋势 The trend of succession		生产力指标 The index of productivity			
	郁闭度/% Canopy cover /%	多样性指数 Shannon-wiener index	丰富度指数 Patrick index	均匀度指数 Pielou index	顶极适应值 Climax adaptation value	土壤有机质/% Soil organic matter/%	土壤养分 /(mg/kg) Soil nutrient substance	幼苗数量 /(个/hm ²) Quantity of the young plants	草本和灌木 生物量 /(kg/hm ²) Biomass of herb and shrub	蓄积量 /m ³ Stock volume
A	83	2.635	29	0.698	8.16	2.36	24.88	7267	12667.8	8.72
B	90	2.367	24	0.731	8.37	2.89	21.47	1500	6037.4	3.3
C	60	1.832	23	0.54	6.87	2.57	21.05	5567	6125.8	1.06
D	90	1.721	12	0.258	7.89	1.05	10.36	3467	1058.6	0.35
E	55	2.254	23	0.671	6.88	1.78	20.86	6767	1624.6	0.52
F	100	2.000	26	1.000	10.00	3.00	25.00	10000	15000.0	15.00

表 3 主要森林类型各指标灰色关联系数和关联度
Table 3 The grey correlation modulus of ecological items and degree for the primary forest types

各指标灰色关联系数 The grey correlation modulus of every index												
森林类型 Forest type	郁闭度 Canopy cover	多样性指数 Shannon-wiener index	丰富度指数 Patrick index	均匀度指数 Pielou index	顶极适应值 Climax adaptation value	土壤有机质 Soil organic matter	土壤养分 Soil nutrient substance	幼苗数量 Quantity of the young plants	草本和灌木生物量 Biomass of herb and shrub	蓄积量 Stock volume	等权关联度 Unweighted correlation	加权关联度 Weighted correlation
A	0.5906	0.4251	0.7233	0.5229	0.4605	0.6109	0.9840	0.5969	0.7685	0.5593	0.624	1.143
B	0.6918	0.5394	0.7821	0.5297	0.4687	0.8930	0.6532	0.3039	0.4410	0.3844	0.569	1.085
C	0.3167	0.6792	0.6640	0.3524	0.2751	0.6385	0.5817	0.4086	0.3969	0.3022	0.462	0.849
D	0.7099	0.6270	0.3584	0.3080	0.4262	0.3396	0.3313	0.3823	0.3560	0.3523	0.419	0.789
E	0.2828	0.5721	0.6541	0.4212	0.2670	0.3734	0.5594	0.4753	0.2947	0.2852	0.419	0.893
A 油松林 <i>P. tabulaeformis</i> , B 辽东栎林 <i>Q. wutaishanica</i> , C 白桦林 <i>B. platyphylla</i> , D 山杨林 <i>P. davidiana</i> , E 侧柏林 <i>P. orientalis</i>												

2.4.2 主要森林群落的关联度分析

根据灰色关联分析原理,关联度大的数列与参考数列的关系紧密,关联度小的数列与参考数列的关系疏远^[13,29]。由表3可以看出,主要森林类型的等权关联度依次为油松林0.624、辽东栎林0.569、白桦林0.462、山杨林和侧柏林均为0.419。考虑到各个判断指标的权重,其加权关联度分别为油松林1.143、辽东栎林1.085、侧柏林0.893、白桦林0.849,山杨林关联度最小,为0.789。说明子午岭林区不同森林类型具有不同的关联度,不同森林类型的自然化程度有明显的差异。由此可以判定,油松林比较接近理想的森林状态,可以认为其自然化程度最好,山杨林的自然化程度最差,是最远离理想状态的一种森林类型。

结合森林加权关联度和顶极适应值,可以初步认为油松林和辽东栎林属于该地区的顶极和亚顶极群落森林类型,白桦林属于演替过渡森林类型,山杨林为处于演替初期的森林类型。

3 讨论和结论

植物群落演替一直是生态学家研究和关心的主要问题之一,森林群落的演替规律在判断森林群落的稳定性、人工促进森林的天然更新和天然植被恢复过程及机理研究等方面都有极其重要的研究价值。以往的森林群落的演替都是在比较长的历史时期内,从裸地开始到顶极状态将森林群落的演替过程划分成顶极群落、竞争选择、质量生长和森林组建几个阶段^[30]。每个演替阶段往往有特定的植物组成,这些植物一般具有相似的生态学特性。从裸地开始到顶极群落,由于受时间和空间的限制,森林群落演替阶段的划分方法和结果也有一定的局限性,使这一方法的应用受到限制,特别是在较短时间或较小的空间范围内,很难判断群落的演替状态。按群落的构成指数(CI)从小到大排序,作为森林演替序列群落^[22],可以对群落结构和演替状态进行定量描述^[21]。

另外,从灰色关联度分析过程可以看出,该方法是以群落特征为基础,采用多个指标来计算群落的关联度,从多方面来评价群落的自然状况,其实质就是对群落离理想状态的远近程度作出了比较准确的客观判断。由于每个群落都有相同的参照物,即参考数列,其结果可以说明各个群落在演替序列中的相对位置。因此,用灰色关联度来评价森林自然性状况的优势在于判断结果的数量化避免了人为判断的主观性。

该研究是对森林自然性进行数量化分析的一种尝试,还有许多问题值得商榷。首先,0—1型变量聚类、层次分析和灰色关联分析等3种方法同时使用对森林类型的关联状况作出评价,必须要保证每种方法都可靠,才能保证判断结果的有效性。但方法的可靠性又取决于评价者对评价对象的了解程度及其掌握的综合专业知识的多少。0—1型变量聚类的方法能很直观地反映各个群落演替阶段的植物组成,很合理地计算出了群落顶极适应值。在使用层次分析方法时,是用判断矩阵的赋值带有一定的主观性,这可能会对权重带来一定的影响。

其次,森林群落顶极适应值的计算结果与演替阶段的划分、树种组成及树种顶极适应值密切相关。树种顶极适应值的赋值大小虽然直接影响群落顶极适应值的大小,但不会改变各个群落顶极适应值的排列顺序。演替阶段的划分及其树种组成是决定群落顶极适应值的关键因素。当然,确定其树种组成必须要有一定的专业基础和综合理论知识作为依据。本研究采用0—1矩阵聚类的方法,可将经常在群落中同时出现的植物种聚集在一起来确定各种组的植物组成,避免了人为因素对确定植物组成的干扰^[31]和自然性等级划分的随意性^[2,9],使得关联度,特别是群落顶极适应值的计算更有科学依据,不失为一种很好的尝试。

另外,参考数列的确定直接影响到各指标灰色关联系数,进而影响到各个群落或判断对象的自然度。参考数列要按照各个指标所表达生态学意义确定理想状态植物群落的各个群落特征指标。有些指标越大越好,有些指标越小越好,有些指标却处于中间数值时最好^[23]。

第四,各个判断指标权重的大小也会影响到各个群落或判断对象的关联度。判断指标权重的确定有主观赋权(排队记分法、加权综合法)和客观赋权(主成分分析法、因子分析法、层次分析法)等多种方法^[32],这些方法可以客观地确定各个判断指标的权重,得出的结论较为科学、可靠。

致谢:感谢美国阿拉巴马农工大学自然资源与环境学院王勇教授给予的帮助和指导。

References:

- [1] Lu Y C, Gan J. Development of forest management in the 21st Century. *World Forestry Research*, 2002, 22(5): 1-11.
- [2] Zhang M, Huang G S, Wang X J. Discussion of forest naturalness evaluation by using Analytical Hierarchy Process. *Forest Resources Management*, 2004, 3: 25-28.
- [3] Laarmann D, Korjus H, Sims A, Stanturf J A, Kiviste A, Köster K. Analysis of forest naturalness and tree mortality patterns in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258: 187-195.
- [4] McElhinny C, Gibbons P, Brack C, Bauhus J. Forest and woodland stand structural complexity: its definition and measurement. *Forest Ecology and Management*, 2005, 218: 1-24.
- [5] Neumann M, Starlinger F. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, 145: 91-106.
- [6] Winter S, Fischer H S, Fischer A. Relative quantitative reference approach for naturalness assessments of forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(8): 1624-1632.
- [7] Uotila A, Kouki J, Kontkanen H, Pulkkinen P. Assessing the naturalness of boreal forests in eastern Fennoscandia. *Forest Ecology and Management*, 2002, 161(3): 257-277.
- [8] Åsa Ode, Fry G, Tveit M S, Messenger P, Miller D. Indicators of perceived naturalness as drivers of landscape preference. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90: 375-383.
- [9] Wen C Y, Huang J Z. Tentative research on dividing criteria of forest naturalness degree in Guangdong province. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2006, 25(3): 8-10.
- [10] Huang G S, Wang X J, Sun Y J, Wei J X, Sun T. Forestry ecoenvironmental quality evaluation in mountainous regions of Hebei Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(5): 75-80.
- [11] Hao Y Q, Wang J X, Wang Q H, Sun P, Pu C L. Analysis of nature closeness and management strategies of different woods in Chongzhou Forest Farm. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2005, 26(2): 20-26.
- [12] Jiang Y X. The survey of environment and the evolution of quality for construction of forestry. *Forest Resources Management*, 1994(5): 1-7.
- [13] Deng J L. *Grey Theory and Methods*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 58.
- [14] Tang Q Y, Feng M G. *Practical Statistical Analysis and Data Processing System*. Beijing: Science Press, 2002: 340.
- [15] Zhang C F, Yin M F, Liu H R, Teng D J, Wang J Y. Gray relational analysis in the comprehensive appraisal to tree species. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(1): 70-73.
- [16] Waterworth R M, Richards G P, Brack C L, Evans D M W. A generalised hybrid process-empirical model for predicting plantation forest growth. *Forest Ecology and Management*, 2007, 238: 231-243.
- [17] Hou L, Lei R D, Wang D X, Kang B W, Chen S J. Niche characteristics of community populations of natural *pinus tabulaeformis* forests tended by closing in Huanglongshan Mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(3): 0585-0591.
- [18] Kang Y X, Kang B W, Yue J W, Liang Z S, Lei R D. The classification of *Quercus liaotungensis* communities and their niche in Loess Plateau of North Shaanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4096-4105.
- [19] Qin J, Wang K B, Shangguan Z P. Change of plant diversity of *Populus davidiana*, *Quercus liaotungensis* and their mixed forest in Ziwuling area of Loess Plateau. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2007, 35(5): 131-136.
- [20] Li Y Y, Shao M A. Natural succession and evolution of structural characteristic of forest community in Ziwuling area on the Loess Plateau. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(5): 693-699.
- [21] Chen G, Deng H B, Dai L M, Wu G. Health assessment on forest ecosystem by using integrated composite index (ICI). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1725-1730.
- [22] Chen D K. *Natural Forest-structure, Function, Dynamic and Management*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994.
- [23] Yuan Z F, Zhou J Y. *Multivariate Statistical Analysis*. Beijing: Science Press, 2002.
- [24] Guo N, Guo K, Wu J L, He Y. Application of the grey related theory to land evaluation. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2007, 34(6): 626-629.
- [25] Wu S Y. *Fuzzy Math-principle and Application*. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1995.
- [26] Tan Y J. *Quantitative Analysis Method*. Beijing: Chinese People's University Press, 2002.
- [27] Curtis J T, McIntosh R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 1951, 32: 476-49.
- [28] Zhu Z C. Vegetation restore and succession in forest area of Loess Plateau in Shaanxi Province. *Journal of Northwest University*, 1993, 8(1):

87-94.

- [29] Liu L X, Sun Q X, Wang S Y. A preliminary study on multifactorial evaluation of new crop varieties with the application of the grey system theory. *Scientia Agricultura Sinica*, 1989, 22(3): 2-24.
- [30] Li J Q. *Forest Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [31] Hao Y Q, Wang J X, Wang Q H, Sun P, Pu C L. Analysis of nature closeness and management strategies of different woods in Chongzhou Forest Farm. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2005, 26(2): 20-26.
- [32] Chen Q H. Weight assignment method. *Statistics and Decision-making*, 2004, 4: 118-119.

参考文献:

- [1] 陆元昌,甘敬. 21 世纪的森林经理发展动态. *世界林业研究*, 2002, 22(5): 1-11.
- [2] 张敏,黄国胜,王雪军. 应用层次分析方法进行森林自然性评价的探讨. *林业资源管理*, 2004, 3: 25-28.
- [9] 文昌宇,黄俊泽. 浅议广东森林自然度划分标准. *中南林业调查规划*, 2006, 25(3): 8-10.
- [10] 黄国胜,王雪军,孙玉军,魏建祥,孙涛. 河北山区森林生态环境质量评价. *北京林业大学学报*, 2005, 27(5): 75-80.
- [11] 郝云庆,王金锡,王启和,孙彭,蒲春林. 崇州林场不同林分近自然度分析与经营对策研究. *四川林业科技*, 2005, 26(2): 20-26.
- [12] 蒋有绪. 林业建设工程的环境背景调查和环境质量评估. *自然资源*, 1994, (5): 1-7.
- [13] 邓聚龙. 灰色理论与方法. 北京:石油工业出版社, 1992: 58.
- [14] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京:科学出版社, 2002: 340.
- [15] 张春峰,殷鸣放,刘海荣,滕德奖,王金英. 灰色关联度分析在树种综合评价中的应用. *西北林学院学报*, 2007, 22(1): 70-73.
- [17] 侯琳,雷瑞德,王得祥,康博文,陈书军. 黄龙山林区封育天然油松群落种群生态位特征. *西北植物学报*, 2006, 26(3): 585-591.
- [18] 康永祥,康博文,岳军伟,梁宗锁,雷瑞德. 陕北黄土高原辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 群落类型划分及其生态位特征. *生态学报*, 2007, 27(10): 4096-4105.
- [19] 秦娟,王凯博,上官周平. 子午岭林区山杨林、辽东栎林及其混交林植物多样性的变化. *西北农林科技大学学报*, 2007, 35(5): 131-136.
- [20] 李裕元,邵明安. 黄土高原子午岭森林群落演替与结构特征演化. *西北植物学报*, 2003, 23(5): 693-699.
- [21] 陈高,邓红兵,代力民,吴钢. 综合构成指数在森林生态系统健康评估中的应用. *生态学报*, 2005, 25(7): 1725-1730.
- [22] 陈大珂著. 天然次生林结构、功能、动态与经营. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1994.
- [23] 袁志发,周静宇. 多元统计分析. 北京:科学出版社, 2002.
- [24] 郭娜,郭科,吴金炉,何勇. 灰色关联度分析法在土地评价中的应用. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2007, 34(6): 626-629.
- [25] 吴士余. 模糊数学原理及应用. 广州:华南理工大学出版社, 1995.
- [26] 谭跃进. 定量分析方法. 北京:中国人民大学出版社, 2002.
- [28] 朱志诚. 陕北黄土高原森林区植被恢复演替. *西北林学院学报*, 1993, 8(1): 87-94.
- [29] 刘录祥,孙其信,王士芸. 灰色系统理论应用于作物新品种综合评估初探. *中国农业科学*, 1989, 22(3): 22-24.
- [30] 李俊清. *森林生态学*. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [31] 郝云庆,王金锡,王启和,孙鹏,蒲春林. 崇州林场不同林分近自然度分析与经营对策研究. *四川林业科技*, 2005, 26(2): 20-26.
- [32] 陈琼华. 权重的赋值方法. *统计与决策*, 2004, (4): 118-119.

CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in <i>Populus davidiana</i> in Changbai Mountain	PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucui, et al	(297)
The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles	ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al	(306)
Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau	WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al	(316)
Photosynthetic responses of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> to two antibiotics	JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al	(326)
Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression	PAN Fujing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al	(335)
Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of <i>Populus euphratica</i> in the lower reaches of Tarim River	CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al	(344)
Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI	SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al	(354)
Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China	HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al	(364)
Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG	FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al	(371)
Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity	ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al	(383)
Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese <i>Anser indicus</i> during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al	(395)
The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China	KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al	(401)
Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (<i>Microtus fortis</i>)	TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al	(410)
Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City	BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al	(421)
Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay	DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al	(431)
Population genetic variations and phylogeography of <i>Macropodus opercularis</i>	WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al	(441)
Contribution of C ₃ and C ₄ host plants for the overwintering and 1 st generation of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) in Northern China	YE Lefu, FU Xue, GE Feng	(449)
Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes	BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al	(455)
The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau	LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al	(465)
Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland	NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al	(474)
Microbial diversity of the jujube (<i>Zizyphus jujuba</i> Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages	SHA Yuexia	(483)
Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO ₂ and temperature	LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al	(491)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil	PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al	(498)
The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE	WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al	(506)
The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change	HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al	(513)
Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress	HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al	(522)
Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County	PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al	(529)
Analysis on ecological land rent based on ecological footprint	LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali	(538)
Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen	LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al	(547)
Review and Monograph		
Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada	HE Guizhen, LÜ Yonglong	(556)
Plant wax and its response to environmental conditions: an overview	LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng	(565)
Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield	ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo	(575)
Advance in the research of phyllospheric microorganism	PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al	(583)

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 2 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 2 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@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		

