

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

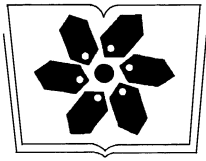
(Shengtai Xuebao)

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)
西藏斧钺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)

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布

潘春芳¹, 赵秀海^{1,*}, 夏富才^{1,2}, 张春雨¹, 吴 蕾¹, 周海成³, 林凤友⁴

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北华大学林学院, 吉林市 132013;
3. 长白山保护管理中心保护处, 延边 133613; 4. 中国科学院长白山森林生态系统定位研究站, 延边 133613)

摘要:以 5.2 hm² 固定监测样地内山杨雌、雄植株的长期定位观测数据为基础, 分析了长白山次生杨桦林内山杨 (*Populus davidiana*) 种群的性比格局、空间分布及其与环境因子间的关系。结果表明: 山杨雌树和雄树的胸径大小差异不显著, 始花大小相近, 雄树的生长速率大于雌树, 成熟个体的性比不显著偏离 1:1。山杨同性植株趋于相邻, 雌雄植株的空间分离不显著; O-ring 单变量点格局分析显示山杨在空间上呈异质泊松分布。山杨同性别大树与小树在 <18m 尺度上呈空间正相关; 不同性别之间空间独立, 说明性别之间的资源竞争不激烈。山杨雌树和雄树的空间分布与林分密度极显著正相关, 林分密度对山杨雌雄植株空间分布变异的解释量较小, 空间变量对雌树分布的解释量较大。

关键词:雌雄异株; 性比格局; 空间分布; 空间相关性; 方差分解; 山杨

Sex ratio and spatial pattern in *Populus davidiana* in Changbai Mountain

PAN Chunfang¹, ZHAO Xiuhai^{1,*}, XIA Fucan^{1,2}, ZHANG Chunyu¹, WU Lei¹, ZHOU Haicheng³, LIN Fengyou⁴

1 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Forestry College of Beihua University, Jilin 132013, China

3 Protection Section of Protection and Management Center of Changbai Mountain, Yanbian 133613, China

4 China Research Station of Changbai Mountain Forest Ecosystems, Chinese Academy of Sciences, Yanbian 133613, China

Abstract: Poplar *Populus davidiana* (Salicaceae) is one of pioneer species and a major timber species in northern China. Its sex ratio, spatial distribution and the relationship with environmental factors were studied over three consecutive years in a temperate secondary forest in Changbai Mountain, northeastern China. All trees with $DBH \geq 1$ cm within a 5.2 hm² (200 m × 260 m) plot were mapped, and all reproductive poplar trees were sexed. In total, 433 poplar trees with dbh above 5 cm were recorded, including 222 males, 183 females, 26 dead trees, and 2 trees with unclear sex identity. Almost all trees larger than 10 cm were flowered. The size distribution and the relative size variation were not significantly different between sexes. There were no differences in the threshold sizes for flowering between males and females. Although males outnumber than females in many classes, sex ratio of reproductive trees did not differ significantly from 1:1. Nearest neighbor analyses indicated that although trees tended to have an individual of the same sex as their neighbor, there was no significant spatial segregation or clumping between individuals of either sex. A univariate O-ring statistical analysis showed that under the complete spatial randomness null model, males and females occurred as clumped distributions at small scales, while under the heterogeneous Poisson process null model, both males and females were distributed randomly at 0–100 m scales. We conclude that the poplar spatial pattern was similar to one of the heterogeneous Poisson process. Clumping of the same sex trees at small scales was partially related to cloning. The bivariate O-ring statistics indicated that under the antecedent condition, big trees attracted small trees of the same sex within 18 m spatial scales, big trees independent from small trees of the opposite sexes; under independence null model, males and females independent from each other. Apparently, there is no difference in the spatial occupation or use of the environment between trees of either sex, although the differential use

基金项目: 财政部林业公益性行业科研专项项目 (200904022, 20100400204)

收稿日期: 2009-12-08; 修订日期: 2010-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

of the environment has been proposed as one of the evolutionary advantages of dioecy; To use the space as an explanatory variable, we applied the Principal Coordinates of Neighbourhood Matrices method. Variation partitioning with regression analyses was used to discover which variables better explained variation in the spatial pattern of males and females. Stand density was the only selected environmental factor by 999 permutation forward selection to perform variation partitioning both for males and females. The variation partitioning of the spatial pattern indicated that stand density showed almost no impact on females, litter effect (8.19%) on males, but spatial variables showed stronger effect (high to 48%) on females compared 13.65% on males. The combination of environmental factor and spatial variables explained 27% of males' spatial distribution, much less compared to 52% of females'. The study results suggest that spatial patterns of poplar may result from some processes not analysed in the current study, as seed dispersal, interspecies competition, and/or disturbance.

Key Words: dioecious; sex ratio; spatial pattern; spatial correlation; variation partitioning; poplar

雌雄异株植物的雌株和雄株在生长、存活、生殖格局、空间分布和资源配置等方面表现出明显差异^[1],性别之间生活史特征的差异导致与性别相关的种群结构,在特定的径级范围,雄性数量通常多于雌性,这导致性别之间大小结构的差异^[2-2]。环境条件在决定性别差异的本质、方向和幅度上起着关键作用^[4]。有研究发现沿着环境梯度,雌雄异株植物通常表现出空间分离现象^[5-8]。在同一种群内,性别之间的空间隔离可能受到研究尺度上种群结构的影响,例如,两性之间对于相邻植株敏感程度的不同导致的竞争排除效应差异^[5,9-10]。性比格局和空间分布对繁殖策略^[11]和存活率^[12]有着重要影响,因此,研究雌雄异株植物的性比结构以及性别相关的空间格局有助于深化对种群动态的认识。

近年来,国外生态学家对雌雄异株植物的性比格局进行了广泛的研究^[10,13-15],而国内仅在环境胁迫影响下的性别差异^[1,16-18]、雌雄株植物的繁育系统^[19]和传粉特征等方面^[20-21]有所涉及,而关于雌雄异株植物种群生态学特征的研究相对较少。这是因为对雌雄异株树种性比格局的研究需要较大的取样面积以保证样本数,且需要对研究对象进行长期定位观测。本研究依托长白山 5.2 hm² 的次生杨桦林固定样地,对山杨的种群进行了性比格局和空间分布研究,旨在回答以下问题:(1) 山杨种群的性别比例是否偏离 1:1;(2) 山杨雌树和雄树是否空间分离;(3) 环境因子与空间变量对山杨性别格局的影响。

1 研究地区概况

研究区域位于吉林省白河林业局光明林场,海拔 899 m,地理坐标为 42°20.907'N, 128°07.988'E,立地类型为平缓的坡地。属典型的温带大陆性山地气候,同时受到东面海洋季风的影响,夏季温暖多雨,冬季寒冷干燥,年平均降雨量为 630—780 mm,主要集中在 6—8 月份,年平均温度为 -2.5 °C。土壤为发育在火山上的暗棕色森林土。

研究区林分蓄积量为 169.16 m³/hm²,其中山杨(*Populus davidiana*)蓄积量为 24.30 m³/hm²,占林分总蓄积量的 14.36%。胸径(*DBH*) ≥ 1 cm 个体的株数密度为 4058 株/hm²。乔木树种主要有红松(*Pinus koraiensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨、色木槭(*Acer mono*)等。

2 材料及研究方法

2.1 数据收集

2005 年 7—9 月在吉林省白河林业局光明林场次生杨桦林内,用 Topcon 全站仪建立了面积为 5.2 hm² (200 m × 260 m) 的固定样地。用铝合金号牌给所有 *DBH* ≥ 1 cm 的树木编号、每木定位、记录树种、测量胸径、树高、冠幅。

于 2007、2008 年和 2009 年山杨花期(4 月中旬)调查山杨性别,利用尼康 24 × 双筒望远镜观察山杨有无蒴荇花序来判断其是否性成熟,同时在展叶前记录结实植株,从而区分出雄树和雌树。本文根据这 3a 的调查结果确定山杨性别。将山杨 *DBH* ≥ 5 cm 的个体划分为:雌树、雄树以及由于观察期间缺少繁殖器官而无法

确定性别的植株;将 $1 \text{ cm} \leq DBH < 5 \text{ cm}$ 的个体定义为幼树。为了分析山杨不同生活史阶段的空间分布,将雌雄个体进一步划分为: $5 \text{ cm} \leq DBH < 25 \text{ cm}$ (小雌树、小雄树) 和 $DBH \geq 25 \text{ cm}$ (大雌树、大雄树)。

本文调查的环境因子包括非生物因子(土壤养分和土壤水分)和生物因子(叶面积指数和林分密度)。具体调查方法如下:将 5.2 hm^2 样地划分为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的连续样方,在每个样方土壤表层(0—20 cm)各取 2 个 500 g 的土壤样品,带回实验室进行分析。室内土壤样品分析方法依据《土壤农业化学分析方法》^[22] 的操作步骤进行:用开氏消煮法测定土壤中全氮含量,碳酸钠熔融法测定土壤中全磷含量,氢氧化钠熔融法测定土壤中全钾含量,高温外热重铬酸钾氧化-密度法测定土壤中有机质含量,用 pH 计测定土壤 pH 值。计算 2 个样品的平均值作为每个样方的值。用手持土壤水分测定仪(HH2 DeLla-TDevices Moisture Meter, U. K.)测定每个样方表层土壤水分含量。为了评价林分光照情况,在 2005 年 8 月,使用冠层分析仪(WinSCANOPY, Canada)在每个样方中距离地面 1 m 处拍摄 2 张半球状照片(hemispherical photographs),用对应的 WinSCANOPY 和 XLScanopy 软件处理照片,并依据 Bonhomme 等的方法测算冠层结构指标:叶面积指数(LAI)^[23]。研究样地地势平坦,坡度小于 5° ,故本文未考虑地形对树种分布的影响。乔木树种的密度通过计算每个样方内 $DBH \geq 10 \text{ cm}$ 乔木树种的株数得到。

2.2 数据分析方法

2.2.1 性比偏离程度的检验

单个样本数大于 5 时,用皮尔逊(Pearson)卡方检验确定性比(雄/雌)偏离 1:1 零假设的显著性程度,单个样本数小于或等于 5 时,用 Fisher's 检验确定性比(雄/雌)偏离 1:1 零假设的显著性程度;通过 t 检验确定雌雄植株的胸径大小差异,利用变异系数(CV = 标准偏差/均值)量化胸径大小相对变异^[24-25]。

2.2.2 种群空间格局分析

在点格局分析过程中,考虑边缘效应的二阶统计方法 Ripley's K 函数得到了广泛应用,但是 Ripley's K 函数在进行空间格局分析时,包括了以某一距离(尺度)为半径的圆中的所有信息,随着距离(尺度)的增大,大距离(尺度)上的分析结果就包括了较小距离(尺度)的信息,这种累积性的计算混淆了大尺度与小尺度的效应^[26-29]。为此,国外学者开始使用其他的二阶统计方法^[26-27]。Wiegand-Moloney's O-ring 统计基于 Ripley's K 函数和 Mark 相关函数,通过计算点在某一距离的发生频率来分析其空间格局,该方法用半径为 r ,宽度为 w 的圆环替代了 Ripley's K 函数计算中所使用的半径为 r 的圆,计算环内点的平均数目,从而孤立了特殊的距离等级^[28]。O-ring 统计包括单变量统计和双变量统计,单变量统计用于分析单个对象的分布格局,双变量统计用于分析两个对象的格局。双变量 O-ring 的统计值:

$$\hat{O}_{12}^w(r) = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \text{Points}_2[R_i^w(r)]}{\sum_{i=1}^{n_1} \text{Area}[R_i^w(r)]} \quad (1)$$

式中, n_1 为格局 1 的点的数目, $\text{Points}_2[R_i^w(r)]$ 表示以格局 1 中第 i 个点为圆心, r 为半径, w 为宽度的圆环中包括的格局 2 的点的数目。 $\text{Area}[R_i^w(r)]$ 表示研究区域的面积。在单变量 O-ring 分析中,假设格局 1 的点和格局 2 的点相同。

在本研究中,单变量 O-ring 统计方法用于分析山杨的分布格局,而双变量 O-ring 统计方法用于分析山杨不同性别之间、大树与小树之间的种内关联性。O-ring 统计方法要求慎重选择零假设^[28]。对于单变量分析,首先采用完全空间随机零假设(complete spatial randomness, CSR)进行计算,如果该物种表现出明显的聚集性分布,则采用异质性泊松过程(heterogeneous poisson process, HP)零假设进行计算。对于双变量 O-ring 统计,比较同一径级的雌树和雄树的空间关联时,用完全独立零假设,既让两个对象的格局都随机变化,重复旋转;比较同性别或不同性别的大树与小树的关联性时,假设大树对小树的生长和建成有一定的影响,而小树对大树没有影响,因此采用前提条件零假设,保持大树位置不变,让小树的位置随机变化。在单变量 O-ring 分析

中,如果在某一距离处, $O_{11}(r)$ 值高于置信区间的上限,该物种在该距离是聚集性分布;若在置信区间之间,是随机分布;低于置信区间的下限,则是规则分布;在双变量 O-ring 分析中,如果在某一距离处, $O_{12}(r)$ 值高于置信区间的上限(低于置信区间的下限),则格局 2 与格局 1 在距离 r 处是正(负)相关的;若 $O_{12}(r)$ 在置信区间之间,则表明两个格局之间空间独立。

数据分析过程使用生态学软件 Programita^[28](Wiegand, 2006 版)完成。采用的空间尺度为 0—100 m, 999 次 Monte Carlo 模拟得到 99.9% 的置信区间。

2.2.3 最近邻体的性别和距离统计

计算与山杨雌树/雄树距离最近的同性和异性树之间的距离,利用 Mann-Whitney 随机相关性检验来确定雌树/雄树与最近个体(雌树/雄树)之间距离的显著性;用 Fisher's 检验来检验雌树和雄树之间差异的显著性^[24]。

2.2.4 环境因子和空间变量与山杨分布的相关性分析

将山杨在 20 m × 20 m 样方中的分布矩阵作为因变量,将 20 m × 20 m 样方中的环境因子矩阵作为自变量,用 999 次向前选择的方法剔除冗余的环境因子变量。参考 Borcard & Legendre^[30]的方法,以 20 m × 20 m 样方的坐标计算出 PCNM (Principal Coordinates of a Neighbour Matrix) 特征向量,将 Moran's I 值大于 0 的 PCNM 特征向量矩阵作为空间变量 (W),将被选择的环境因子作为环境因子变量 (X),将相应性别山杨在每个 20 m × 20 m 样方中的分布矩阵作为因变量 (Y) 进行方差分解 (variation partitioning)。因变量 (Y) 的方差将被分成四部分:① 环境因子 (X) 可解释的部分;② 环境因子 (X) 和空间变量 (W) 同时解释的部分;③ 空间变量 (W) 单独解释的部分;④ 不能被环境变量 (X) 和空间变量 (W) 解释的部分。本研究通过 packfor 程序包和 PCNM 程序包 (http://r-forge.r-project.org/R/?group_id=195) 分别进行 999 次向前选择和生成 PCNM 特征向量矩阵,用 vegan 程序包 (<http://ftp.ctex.org/mirrors/CRAN/>) 进行方差分解,以上过程通过 R 2.10.0 软件实现。

3 结果分析

3.1 大小分布及性比格局

2009 年在样地内共调查 $DBH \geq 5$ cm 的山杨 433 株,其中雄树 222 株,雌树 183 株,枯立木 26 株以及 2 株暂未确定性别的植株(图 1)。整体上,山杨性比不显著偏离 1:1(雌树:雄树 = 1.21, $\chi^2 = 3.756$, $P = 0.053$)。为了进一步分析山杨的性比格局,以 5 cm 为径级,将 $DBH < 35$ cm 的性成熟个体划分为 5 个径阶,除了在 30—35 cm 径阶性比显著偏雄性(Fisher's 检验, $P = 0.017$)外,其它径阶性比不显著偏离 1:1(卡方检验, $P > 0.05$),这说明虽然雄树在数量上超过雌树,但是性别比例基本维持平衡(图 2)。雌树和雄树的平均胸径分别为 21.56 cm 和 21.17 cm。 $DBH \geq 5$ cm 的枯立木的平均胸径是 18.21 cm。雌树胸径的大小相对变异系数 $CV_{\text{female}} = 26.53\%$,雄树的大小相对变异系数 $CV_{\text{male}} = 24.42\%$ 。山杨雌树与雄树的胸径大小差异不显著(t 检验, $P = 0.490$)。5—10 cm(t 检验, $P = 0.263$)和 5—15 cm(t 检验, $P = 0.929$)范围内雌树与雄树的胸径差异都不显著,性比均不显著偏离 1:1(卡方检验, $P > 0.05$),说明雌树和雄树的始花大小相近。所有胸径不小于 10 cm 的个体均能繁殖开花、结实。雌树和雄树主要分布在 15—30 cm 胸径范围内。

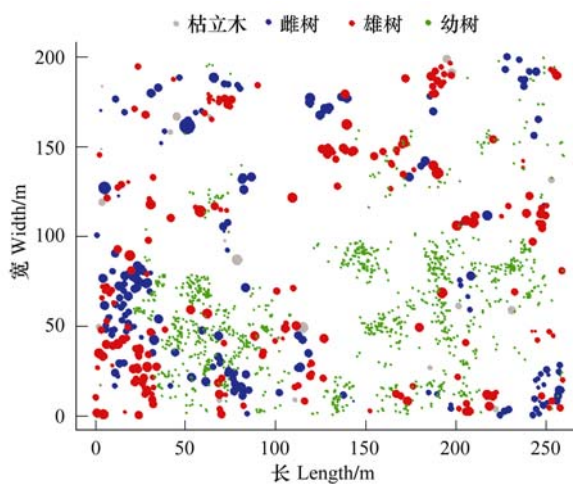


图 1 个体分布图

Fig. 1 Distribution of individuals

3.2 胸径年平均生长量和死亡率

根据测得的山杨 2008 年和 2005 年的胸径差推算出山杨雌树和雄树的胸径年平均增长量。山杨雌、雄树的胸径年平均增长量分别为 0.216 cm 和 0.309 cm, 卡方检验结果表明雄树的胸径年平均增长量显著高于雌树 ($\chi^2 = 4.545, P = 0.033$)。2009 年新增的 26 株枯立木中, 除 1 株胸径为 5.4 cm 的不能确定性别外, 枯死的雌树 9 株, 雄树 16 株, 雄树的死亡率 (3.70%) 高于雌树 (2.08%)。由图 2 可知, 在 5—15 cm 径阶和 20—25 cm 径阶, 雄树枯立木多于雌树, 在 15—20 cm 径阶雌树死亡率更高。可见, 不同径阶的死亡率存在性别差异。

3.3 与性别相关的空间格局

单变量空间格局分析表明, 在完全空间随机零假设下, 全部山杨植株和幼树在 0—100 m 的所有空间尺度上呈明显的聚集的分布, 枯立木在 0—100 m 尺度上呈随机分布, 雄树、雌树、大雄树、大雌树及小雄树分别在 13、27、12、13、15 m 之前的尺度上呈聚集性分布, 之后随机分布, 小雌树在 22 m 之前的尺度上呈聚集性分布, 22 m 之后呈随机分布, 并在 89—99 m 呈规则分布 (图 3)。由于枯立木以外的其它树均表现出明显的聚集性分布, 还计算了异质性泊松分布零假设下的空间格局。结果显示, 在移动窗口的半径^[28]为 10 m 的假设下, 雌树、大雌树、小雌树、大雄树、小雄树均在所有研究尺度上呈随机分布, 雄树 (图 3, 雄树 (a)) 和幼树分别在 < 3 m 和 < 6 m 的空间尺度上聚集性分布, 之后呈随机分布; 在移动窗口半径为 5 m 的假设下, 雄树 (图 3, 雄树 (b)) 在所有研究尺度上随机分布, 全部植株在 0—1 m 的尺度上呈聚集的分布, 之后随机分布。这说明山杨不同性别和大小的植株在研究区域中呈斑块性分布, 它们的分布格局近似于异质性泊松分布。假设山杨聚集分布在一个圆内, 移动窗口的半径代表这个圆的半径, 因此, 移动窗口半径反应了异质性泊松分布假设下山杨的聚集尺度。

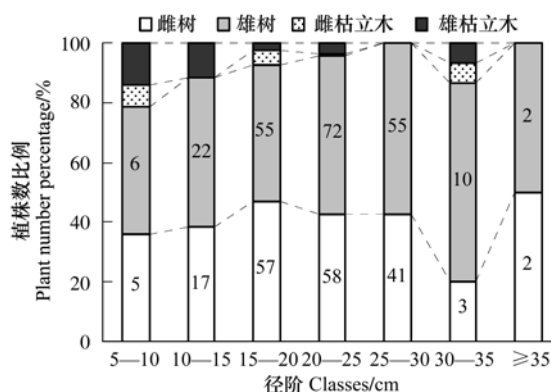


图 2 径级分布图

Fig. 2 The DBH class distribution

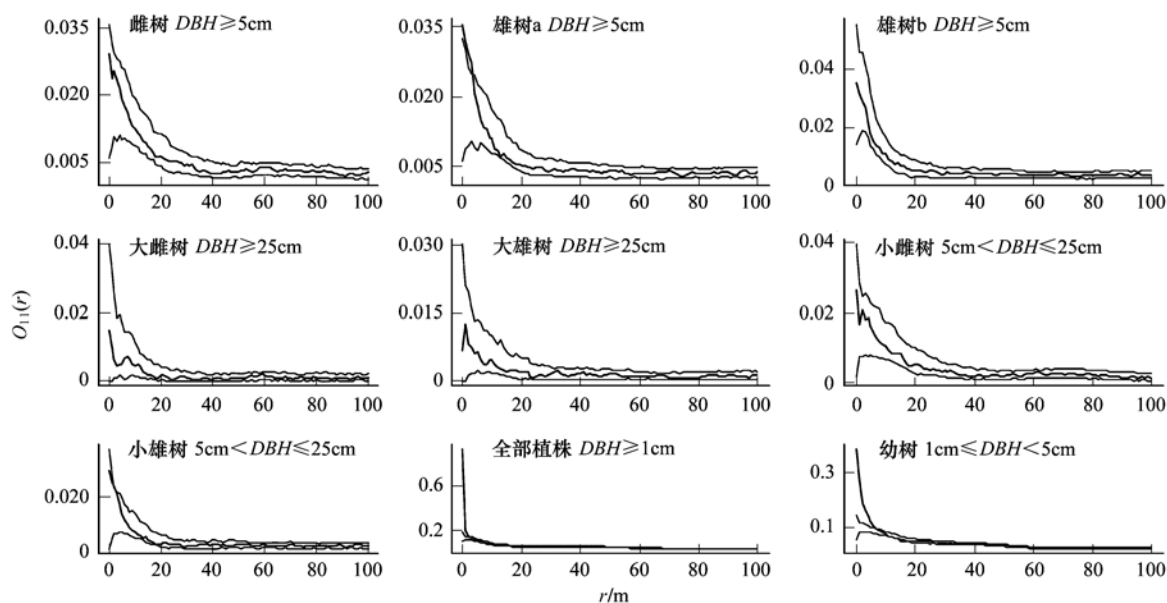


图 3 异质性泊松分布零假设下山杨个体的空间格局

Fig. 3 Spatial pattern in poplar under heterogeneous Poisson process null model

浅色线代表完全随机假设下 95% 置信区间, 圆环宽度 $w = 3$ m

3.4 与性别相关的空间相关性

双变量 O-ring 统计分析表明:在前提条件零假设下,山杨大雌树和小雌树、大雄树和小雄树分别在小于 18 m 和小于 17 m 空间尺度上正相关,之后空间独立,大雄树和小雌树、大雌树和小雄树均在 0—100 m 研究尺度上空间独立;在完全随机零假设下,大雌树和大雄树、小雌树和小雄树均在 0—100 m 尺度上空间独立(图 4)。这说明山杨同性别大树与小树在小尺度上相互吸引,而异性之间在所有研究尺度上空间独立说明性别之间的资源竞争不激烈。

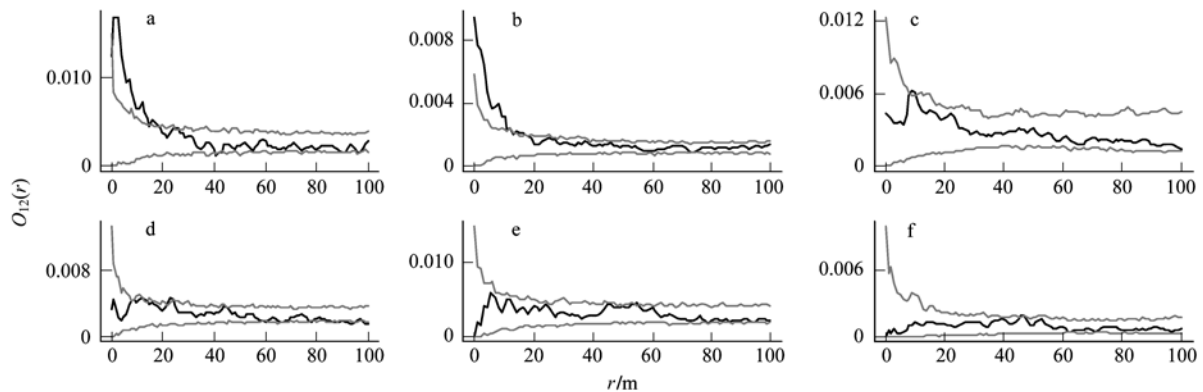


图 4 山杨同性或异性不同大小个体之间的空间关系

Fig. 4 Spatial relationships between the same sex/opposite sexes

(a) 大雌树 ($DBH \geq 25$ cm) 和小雌树 ($5 \text{ cm} \leq DBH < 25$ cm); (b) 大雄树 ($DBH \geq 25$ cm) 和小雄树 ($5 \text{ cm} \leq DBH < 25$ cm); (c) 小雌树和小雄树 ($5 \text{ cm} \leq DBH < 25$ cm); (d) 大雄树 ($DBH \geq 25$ cm) 和小雌树 ($5 \text{ cm} \leq DBH < 25$ cm); (e) 大雌树 ($DBH \geq 25$ cm) 和小雄树 ($5 \text{ cm} \leq DBH < 25$ cm); (f) 大雌树 ($DBH \geq 25$ cm) 和大雄树 ($DBH \geq 25$ cm); 浅色线代表 95% 置信区间

3.5 最近相邻个体的性别和距离的统计

山杨同性植株趋于相邻(表 1),并且达到极显著的水平。对最近邻的距离研究表明,雄树之间的平均距离为 4.0 m,雌树之间的平均距离为 3.3 m,雄树—雌树之间的平均距离为 5.1 m,雌树—雄树之间的平均距离为 4.6 m,说明雄树之间的距离大于雌树之间的距离,同性植株之间的距离小于异性植株之间的距离。尽管如此,Mann-Whitney 秩相关检验表明雌树与雄树之间的距离差异不显著 ($P > 0.05$),也就是说雌雄树个体之间的空间聚集或分离未达到显著水平。

表 1 Fisher's 检验法检验雌树/雄树的最近相邻个体的频度

Table 1 Fisher's exact test of 2×2 contingency table comparing the number of male and female nearest neighbors (NN) from male and female trees of poplar

性别 Sex	个体数 Number	最近为雄树 Male NN	最近为雌树 Female NN	Fisher's 检验 Significance of Fisher's exact test
♂	222	178	44	<0.0001
♀	183	35	148	

3.6 环境因子对性别分布的影响

用 999 次向前选择的方法剔除与山杨雌树、雄树、大雌树、大雄树和幼树的分布相关性不显著的环境因子,决定系数 R^2 反映该环境因子的贡献度。筛选结果表明(表 2),仅林分密度与雄树和大雄树的分布极显著正相关,与雌树的分布显著正相关,故仅林分密度作为环境变量 (X),其他环境因子与山杨分布的相关性不显著。将 Moran's I 值大于 0 的 64 个 PCNM 特征向量作为空间解释变量 (W),将山杨雌树、雄树和大雄树的分布分别作为因变量 (Y),对因变量 (Y) 进行方差分解。

方差分解结果表明(图 5),空间变量对雌树的可解释量高达 48%,说明雌树分布的空间特征明显。相比

之下,林分密度对雌树分布的可解释量几乎为零。空间变量和林分密度对雄树的可解释量分别为 13.65% 和 8.19%。林分密度和空间变量对雌树、雄树和大雄树分布的综合影响分别为 52%、27% 和 16%。因此,本研究区域,已调查到的上述环境因子不是影响山杨雌树和雄树分布的主要因素。空间变量对雌树分布解释量较大,说明雌树分布的区域性明显。

表 2 999 次向前选择的方法选择到的与山杨分布显著相关的环境变量

Table 2 The remained environmental variables after forward selection with 999 permutations

性别 Sex	有机质 O. M	全磷 P	全钾 K	全氮 N	pH	土壤水分 Soil water	叶面积指数 LAI	林分密度 Stand density
雌树 Females	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	0.049 *
雄树 Males	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	0.138 ***
大雌树 Big females	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
大雄树 Big males	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	0.115 ***
幼树 Saplings	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

表内数值表示决定系数 (R^2) 和模拟检验的显著性; * * * $P < 0.001$, * $P < 0.05$, Ns $P > 0.1$

4 讨论

山杨雌树和雄树的胸径大小差异不显著,说明雌雄个体的分化程度不显著。Clark 等认为由于雌树更高的繁殖代价,苏铁类植物 *Zamia skinneri* 雌树较雄树更晚开花^[31]。假设山杨雌树较雄树更晚开花,那么小径范围内的性比应该显著偏雄性,或者雌树的平均胸径显著大于雄树,然而 5—10 cm 和 5—15 cm 径阶范围内雌树与雄树的胸径差异都不显著,并且性比也不显著偏离 1:1,说明雌树和雄树的始花大小相近。虽然山杨雄树的数量超过雌树,但是整体上性成熟山杨的性比不显著偏离 1:1,这与大多数雌雄异株植物的性别格局一致^[18,32-35]。Fisher 于 1930 年首次提出雌雄异株植物的性别比率(性比)问题,认为当雌雄植株对后代的投资相同时,性比应该是均衡的(即 1:1);当某个性别个体的丰富度更高时,选择作用趋向于产生丰富度较低的性别的后代,以促使性比回归 1:1;当性别由环境条件决定时,选择作用仍然趋向于一个均衡的性比,环境因素的改变会引起种群性比结构相当大的变化^[36]。Li 等^[17]对我国西北地区不同海拔梯度下沙棘雌株和雄株的形态和生理差异的研究发现,在理想生境下,沙棘的性比是均衡的,当受到资源制约时,性比明显偏雄。通常在有利的环境下性别比例偏雌性,在逆境下偏雄性,这是雌雄异株植物性别分离的常见模式^[18]。本研究中性比不显著偏离 1:1,说明山杨不同性别的繁殖代价差异对性比格局的影响不突出,环境条件与山杨分布的相关性也较微弱,研究区域中的山杨种群比较稳定。不同径阶枯立木的性比格局不同和性别之间生长速率的差异导致了径阶之间性比的波动。

山杨同性植株趋于相邻。完全空间随机零假设下小尺度上的聚集性分布可能跟山杨较强的根际萌蘖^[37]有关。萌蘖产生的植株具有和母株同样的性别,形成以母株为圆心的辐射圈,从而导致小尺度范围内同性别的聚集和更多的以同性别植株为邻的分布格局。尽管如此,整体上,山杨性别之间的空间分离并没有达到显著水平,这和大多数研究结果相符^[24,38-39]。在异质性泊松分布零假设下几乎所有山杨均在研究尺度上呈随机分布,说明本研究中山杨的分布受到环境异质性或异质性斑块的影响,Levin^[40]认为在较大的尺度上,异质性或者斑块性存在于所有的生态系统中。环境异质性或斑块性导致了在不同尺度上形成不同的空间分布格

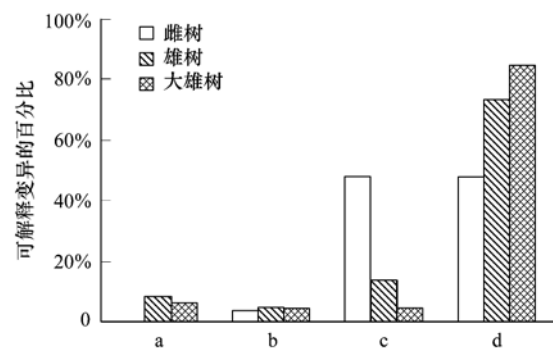


图 5 林分密度与空间变量对山杨分布影响的方差分解

Fig. 5 Partitioning the variation of the distribution pattern in *Populus davidiana*; between stand density and spatial variables

图中柱状图的高度表示调整 R^2 , a 表示只林分密度的可解释量, b 表示林分密度和空间变量共同作用的解释量, c 表示只空间变量的可解释量, d 表示不能被林分密度和空间变量解释的部分

局^[41-42]。然而,环境因子对山杨雌树分布的可解释量几乎为0,对雄树分布的可解释量不超过10%,有可能是种间竞争、人为干扰、种子散布等因素造成的斑块性或随机过程^[43]导致山杨在研究区域中不完全随机分布。点格局对空间关联性的分析表明,同性别大树和小树在小尺度上正相关,山杨种群中不存在与性别相关的空间关联性,这与山杨植株更多地与同性别个体为邻,性别之间不存在空间分离的研究结果也是一致的,说明不同性别个体间的资源竞争不激烈。

不同性别的个体占据不同的微环境被认为是雌雄异株植物的进化优势^[44],多数研究认为水分^[16,45]等环境状况^[44,46]是限制其雌雄株分布的重要因子,而在本研究中,仅林分密度与山杨的分布显著相关。林分密度大的区域往往非生物因素较适宜树木生存,种间竞争也较激烈。林分密度与山杨雌树和雄树的正相关关系说明种间竞争对山杨雌树和雄树的影响较小。林分密度对雌树分布的可解释量几乎为0,对雄树分布的可解释量不超过10%,这说明相对于空间变量和其它未知因素,林分密度对山杨分布的影响较弱。另外,本研究只在特定的年份调查了环境因子,而山杨的生活史周期长达几十年,随着林分的发育,环境条件也在不断变化,因此,不能完全否定土壤养分、pH 和土壤水分等环境因子过去对山杨性比格局和山杨分布的影响。除此之外,其它未知的环境因子、异质性斑块或随机过程等因素都可能影响山杨的分布。

References:

- [1] Xu X, Yang F, Ying C Y, Li C Y. Research advances in sex-specific responses of dioecious plants to environmental stresses. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2626-2631.
- [2] Opler P A, Bawa K S. Sex ratios in tropical forest trees. *Evolution*, 1978, 32(4): 812-821.
- [3] Thomas S C, LaFrankie J V. Sex, size, and interyear variation in flowering among dioecious trees of the Malayan rain forest. *Ecology*, 1993, 74(5): 1529-1537.
- [4] Zhang D Y, Jiang X H, Lei G C. *Theory Ecology Research*. Beijing: Higher Education Press, 2000: 82-84.
- [5] Meagher T R. Population biology of *Chamaelirium luteum*, a dioecious lily. I. Spatial distributions of males and females. *Evolution*, 1980, 34(6): 1127-1137.
- [6] Cavigelli M, Poulos M, Lacey E, Mellon G. Sexual dimorphism in a temperate dioecious tree, *Ilex montana* (Aquifoliaceae). *American Midland Naturalist*, 1986, 115(2): 397-406.
- [7] Eppley S M. Spatial segregation of the sexes and nutrients affect reproductive success in a dioecious wind-pollinated grass. *Plant Ecology*, 2005, 181(2): 179-190.
- [8] Garcia-ramos G, Stieha C, Mclethie D N, Crowley P H. Persistence of the sexes in metapopulations under intense asymmetric competition. *Journal of Ecology*, 2007, 95(5): 937-950.
- [9] Sakai A K, Oden N L. Spatial pattern of sex expression in silver maple (*Acer saccharinum* L.); Morisita's index and spatial autocorrelation. *The American Naturalist*, 1983, 122(4): 489-508.
- [10] Bertiller M B, Sain C L, Bisigato A J, Coronato F R, Aries J O, Graff P. Spatial sex segregation in the dioecious grass *Poa ligularis* in northern Patagonia: the role of environmental patchiness. *Biodiversity and Conservation*, 2002, 11(1): 69-84.
- [11] Renner S S, Ricklefs R E. Dioecy and its correlates in the flowering plants. *American Journal of Botany*, 1995, 82(5): 596-606.
- [12] Freeman D C, Klikoff L G, Harper K T. Differential resource utilization by the sexes of dioecious plants. *Science*, 1976, 193(4253): 597-599.
- [13] Ueno N, Seiwa K. Gender-specific shoot structure and functions in relation to habitat conditions in a dioecious tree, *Salix sachalinensis*. *Journal of Forest Research*, 2003, 8(1): 9-16.
- [14] Schlessman M A. Size, gender, and sex change in dwarf ginseng, *Panax trifolium* (Araliaceae). *Oecologia*, 1991, 87(4): 588-595.
- [15] Decker K L, Pilon D. Biased sex ratios in the dioecious annual *Crotontexensis* (Euphorbiaceae) are not due to environmental sex determination. *American Journal of Botany*, 2000, 87(4): 221-229.
- [16] Xu X, Yang F, Xiao X W, Zhang S, Korplainen H, Li C Y. Sex-specific responses of *Populus cathayana* to drought and elevated temperatures. *Plant, Cell and Environment*, 2008, 31(6): 850-860.
- [17] Li C Y, Xu G, Zang R G, Korplainen H, Berninger F. Sex-related differences in leaf morphological and physiological responses in *Hippophae rhamnoides* along an altitudinal gradient. *Tree Physiology*, 2007, 27(3): 399-406.
- [18] Ying C Y, Li C Y. Gender differences of dioecious plants related sex ratio: recent advances and future prospects. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2007, 13(3): 419-425.
- [19] Liu L D, Zhu N, Shen J H, Zhao H X. Comparative Studies on floral dynamics and breeding system between *Eleutherococcus senticosus* and *E. sessiliflorus*. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1041-1048.
- [20] Lu X W, Ma R J, Sun K. Determination of the wind pollination distances and flowering characteristics of *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis* Rousi (Elaeagnaceae). *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2518-2525.
- [21] Zhang Y N, Sun K, Zhang H, Wen J B. Characteristics of wind pollination in a natural population of *Hippophae neurocarpa* S. W. Liu et T. N. He (Elaeagnaceae). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 508-514.
- [22] Soil Science Society of China. *Soil Agricultural Chemical Analysis Procedure*. Beijing: China Agricultural Press, 1999.

- [23] Zhang C Y, Zhao X H, Zhao Y Z. Community structure in different successional stages in north temperate forests of Changbai mountains, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(6): 1090-1100.
- [24] Morellato L P. Phenology, sex ratio, and spatial distribution among dioecious species of *Trichilia* (Meliaceae). *Plant Biology*, 2004, 6(4): 491-497.
- [25] Nanami S, Kawaguchi H, Yamakura T. Sex ratio and gender-dependent neighboring effects in *Podocarpus nagi*, a dioecious tree. *Plant Ecology*, 2005, 177(2): 209-222.
- [26] Condit R, Ashton P S, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell S P, Foster R B, Itoh A, LaFrankie J V, Lee H S, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, 288(5470): 1414-1418.
- [27] Schurr F M, Bossdorf O, Milton S J, Schumacher J. Spatial pattern formation in semi-arid shrubland: a priori predicted versus observed pattern characteristics. *Plant Ecology*, 2004, 173(2): 271-282.
- [28] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, 2004, 104(2): 209-229.
- [29] Zhang J, Hao Z Q, Song B, Ye J, Li B H, Yao X L. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1681-1687.
- [30] Borcard D, Legendre P, Avois-Jacquet C, Tuomisto H. Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. *Ecology*, 2004, 85(7): 1826-1832.
- [31] Clark D A, Clark D B. Temporal and environmental patterns of reproduction in *Zamia skinneri*, a tropical rain forest cycad. *Journal of Ecology*, 1987, 75(1): 135-149.
- [32] Rottenberg A. Sex ratio and gender stability in the dioecious plants of Israel. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1998, 128(2): 137-148.
- [33] Schmidt J P. Sex ratio and spatial pattern of males and females in the dioecious sandhill shrub, *Ceratiola ericoides* (Empetraceae) Michx. *Plant Ecology*, 2008, 196(2): 281-288.
- [34] Ackerly D D, Rankin-de-Merona J M, Rodrigues W A. Tree densities and sex ratios in breeding populations of dioecious Central Amazonian Myristicaceae. *Journal of Tropical Ecology*, 1990, 6(2): 239-248.
- [35] Wheelwright N T, Bruneau A. Population sex ratios and spatial distribution of *Ocotea tenera* (Lauraceae) trees in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 1992, 80(3): 425-432.
- [36] Fisher R A. *The Genetic Theory of Natural Selection*. Oxford: Oxford University Press, 1930.
- [37] Zheng W J. *Chinese Silva Sylva* (volume II). Beijing: Chinese forestry Press, 1985(11): 1954-1962.
- [38] Obeso J R, Alvarez-Santullano M, Retuerto R. Sex ratios, size distributions, and sexual dimorphism in the dioecious tree *Ilex aquifolium* (Aquifoliaceae). *American Journal of Botany*, 1998, 85(11): 1602-1608.
- [39] Herrera C M. Plant size, spacing patterns, and host-plant selection in *Osyris quadripartita*, a hemiparasitic dioecious shrub. *Journal of Ecology*, 1988, 76(4): 995-1006.
- [40] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 1992, 73(6): 1943-1967.
- [41] Hall J S, McKenna J J, Ashton P M S, Gregoire T G. Habitat characterizations underestimate the role of edaphic factors controlling the distribution of *Entandrophragma*. *Ecology*, 2004, 85(8): 2171-2183.
- [42] Boyden S, Binkley D, Shepperd W. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 2005, 219(1): 43-55.
- [43] Vandepitte K, Honnay O, De Meyer T, Jacquemyn H, Roldán-Ruiz I. Patterns of sex ratio variation and genetic diversity in the dioecious forest perennial *Mercurialis perennis*. *Plant Ecology*, 2010, 206(1): 105-114.
- [44] Lloyd D G, Webb C J. Secondary sex characters in plants. *The Botanical Review*, 1977, 43(2): 177-216.
- [45] Dawson T E, Bliss L C. Patterns of water use and the tissue water relations in the dioecious shrub, *Salix arctica*: the physiological basis for habitat partitioning between the sexes. *Oecologia*, 1989, 79(3): 332-343.
- [46] Levine M T, Feller I C. Effects of forest age and disturbance on population persistence in the understory herb, *Arisaema triphyllum* (Araceae). *Plant Ecology*, 2004, 172(1): 73-82.

参考文献:

- [1] 胥晓, 杨帆, 尹春英, 李春阳. 雌雄异株植物对环境胁迫响应的性别差异研究进展. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2626-2631.
- [4] 张大勇, 姜新华, 雷光春. 理论生态学研究. 北京: 高等教育出版社, 2000: 82-84.
- [18] 尹春英, 李春阳. 雌雄异株植物与性别比例有关的性别差异研究现状与展望. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(3): 419-425.
- [19] 刘林德, 祝宁, 申家恒, 赵惠勋. 刺五加、短梗五加的开花动态及繁育系统的比较研究. *生态学报*, 2002, 22(7): 1041-1048.
- [20] 鲁先文, 马瑞君, 孙坤. 中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis* Rousi)的开花特性及风媒传粉距离的检测. *生态学报*, 2008, 28(6): 2518-2525.
- [21] 张玉娜, 孙坤, 张辉, 苏雪, 温江波. 肋果沙棘(*Hippophae neurocarpa* S. W. Liu et T. N. He)自然种群的风媒传粉特征. *生态学报*, 2009, 29(1): 508-514.
- [22] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [23] 张春雨, 赵秀海, 赵亚洲. 长白山温带森林不同演替阶段群落结构特征. 2009, 33(6): 1090-1100.
- [29] 张健, 郝占庆, 宋波, 叶吉, 李步杭, 姚晓琳. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性. *应用生态学报*, 2007, 18(8): 1681-1687.
- [37] 郑万钧. 中国树木志(第2卷). 北京: 中国林业出版社, 1985: 1954-1962.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 2 January, 2011 (Semimonthly)

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力因子前 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	影响力因子 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;影响力因子 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		

