

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

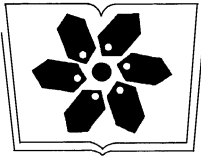
## Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 23 期 Vol.31 No.23 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 23 期 2011 年 12 月 (半月刊)

## 目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟	付 刚,周宇庭,沈振西,等	(6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等	(6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力	刘华雪,柯志新,宋星宇,等	(7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响	吴新卫,李国勇,孙书存	(7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究	陈 凯,刘增文,李 俊,等	(7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征	王 琰,陈建文,狄晓艳	(7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响	刘慧霞,郭兴华,郭正刚	(7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响	黄激激,张念念,胡庭兴,等	(7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响	张建军,李慧敏,徐佳佳	(7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征	王志峰,胥 晓,李霄峰,等	(7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等	(7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素	张才学,龚玉艳,王学锋,等	(7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构	张丽艳,苏永全,王航俊,等	(7097)
洱海入湖河流苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素	于 超,储金宇,白晓华,等	(7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力	熊 晶,谢志才,蒋小明,等	(7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等	(7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响	王红新,胡 锋,许信旺,等	(7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响	卢艳艳,宋付朋	(7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响	马 丽,李潮海,付 景,等	(7141)
DCD 不同施用时间对小麦生长期 N <sub>2</sub> O 排放的影响	纪 洋,余 佳,马 静,等	(7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等	(7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价	罗 燕,乔玉辉,吴文良	(7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响	许自成,邵惠芳,孙曙光,等	(7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响	宋 伟,赵长星,王月福,等	(7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价	李鸿波,史 亮,王建军,等	(7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响	邓明明,高欢欢,李 丹,等	(7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响	高建昌,郭广君,国艳梅,等	(7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究	陈 贺,杨 盈,于世伟,等	(7218)
两种典型养鸡模式的能值分析	胡秋红,张力小,王长波	(7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计	何宗祥,张庭廷	(7235)
流沙湾海草床重金属富集特征	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等	(7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析	张培峰,胡远满,熊在平,等	(7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例	车前进,曹有挥,于 露,等	(7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究	于文金,谢 剑,邹欣庆	(7271)
<b>专论与综述</b>		
北冰洋海域微食物环研究进展	何剑锋,崔世开,张 芳,等	(7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等	(7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应	方凤满,林跃胜,王海东,等	(7301)
<b>研究简报</b>		
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征	林英华,汪来发,田晓堃,等	(7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系	刘文爱,范航清	(7320)



**封面图说:** 黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

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

王志峰, 胥晓, 李霄峰, 杨鹏, 袁新利. 青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征. 生态学报, 2011, 31(23): 7067-7074.

Wang Z F, Xu X, Li X F, Yang P, Yuan X L. The distribution of male and female *Populus cathayana* populations along an altitudinal gradient. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7067-7074.

## 青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征

王志峰<sup>1,2</sup>, 胥晓<sup>1,2,\*</sup>, 李霄峰<sup>1,2</sup>, 杨鹏<sup>1,2</sup>, 袁新利<sup>3</sup>

(1. 西华师范大学生命科学学院, 南充 637002; 2. 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 南充 637009;  
3. 小五台山国家自然保护区, 蔚县 075700)

**摘要:**以小五台山天然青杨种群为试验对象, 通过在其分布海拔范围内(1400—1700 m)设置样方的方式研究青杨雌雄群体的平均胸径、密度、性比、大小级结构和空间分布的差异。结果显示: 雌株群体的平均胸径在整个海拔梯度上无显著差异, 而海拔 1700 m 处的群体密度显著低于其它海拔; 雄株群体的平均胸径在海拔 1700 m 最大, 显著高于其它海拔, 而群体密度在各海拔梯度间无显著差异。在海拔 1600 m, 雌雄群体的平均胸径最接近, 同时密度也最接近。从整个海拔范围来看, 青杨雌雄个体的比例(雄/雌)为 0.80:1, 性比不偏离 1:1 ( $\chi^2 = 2.94, P > 0.05$ )。但在不同海拔梯度上性比有所不同, 低海拔性比为 0.44, 显著偏雌 ( $\chi^2_{1400} = 5.91, P < 0.05$ ), 而高海拔性比为 2.55, 显著偏雄 ( $\chi^2_{1700} = 6.56, P < 0.05$ ); 随着海拔接近 1600 m, 性比逐渐趋于 1:1 ( $\chi^2_{1600} = 0, P > 0.05$ )。除海拔 1700 m 为下降型外, 青杨雌雄群体的大小级结构在其它海拔主要表现为稳定型。而最稳定群体结构的分布海拔在雌雄群体间不同。在海拔 1400 m, 雌株群体中 I 级和 II 级植株占群体比例最大; 雄株群体 I 级和 II 级植株占群体比例最大的海拔是 1600 m。群体空间分布以聚集分布为主, 彼此间无明显差异; 但群体间聚集强度的变化在海拔梯度上各有不同, 主要表现为雌株群体的 PAI 随海拔的升高逐渐增加, 而雄株群体的 PAI 则随海拔的升高呈现出先增加后减少的趋势。研究结果表明了青杨雌雄群体的分布特征沿海拔梯度的变化明显不同, 中等海拔区域可能为青杨种群的最适繁衍区。  
**关键词:**雌雄异株; 海拔梯度; 种群密度; 性比; 分布格局; 青杨

## The distribution of male and female *Populus cathayana* populations along an altitudinal gradient

WANG Zhifeng<sup>1,2</sup>, XU Xiao<sup>1,2,\*</sup>, LI Xiaofeng<sup>1,2</sup>, YANG Peng<sup>1,2</sup>, YUAN Xinli<sup>3</sup>

1 College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637002, China

2 Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Ministry of Education, Nanchong 637009, China

3 Xiaowutai Mountains National Nature Reserve, Yuxian 075700, China

**Abstract:** Dioecious plant species are an important component of terrestrial ecosystems. However, little is known about their ecology, including the factors affecting their distribution. We investigated the ecology of *Populus cathayana* Rehd, a dioecious and deciduous species that occupies a wide range of habitats in China. We measured the mean diameter at breast height (DBH), population density, sex ratio, size structure, and spatial distribution of male and female *P. cathayana* populations in a series of forest plots along an altitudinal gradient (1400—1700 m) in the Xiaowutai Mountains. The results showed that the trends in mean DBH and density were significantly different for males and females. There was no significant difference in mean DBH along the altitudinal gradient in female populations and the population density at 1700 m was lower than at other altitudes. Compared with females, the maximum mean DBH for males was observed at 1700 m and was significantly larger than at other altitudes. However, there was no variation in the population density of males associated with altitude. The mean DBH in male and female populations was nearly equal at 1600 m and the density at this altitude

基金项目: 国家自然科学基金项目(30771721)

收稿日期: 2010-09-30; 修订日期: 2011-02-14

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuxiao\_cwnu@163.com



was also very similar among male and female populations. The sex ratio (male:female) tended to increase along the altitudinal gradient. Although the sex ratio was close to 1:1 ( $\chi^2 = 2.94$ ,  $P > 0.05$ ) for the entire population (1400—1700 m), the ratio was biased towards females ( $\chi^2_{1400} = 5.91$ ,  $P < 0.05$ ) at low altitudes and biased toward males ( $\chi^2_{1700} = 6.56$ ,  $P < 0.05$ ) at high altitudes. The sex ratio approached 1:1 ( $\chi^2_{1600} = 0$ ,  $P > 0.05$ ) as the altitude tended towards 1600 m. Furthermore, the size structure of all male and female *P. cathayana* populations revealed a steady-state distribution along the altitudinal gradient (except for a decline-state distribution at 1700 m). However, the distribution of the size classes differed between male and female *P. cathayana* populations. A large proportion of class I and II were observed at 1400 m in female populations but at 1600 m in male populations. In addition, we also found that the distribution of male and female populations was affected by altitude. We observed a random distribution pattern at low altitudes and a clumped distribution pattern in most male and female populations at other altitudes, though we did not detect a difference among the sexes. However, the aggregation intensity between male and female *P. cathayana* populations differed markedly along the elevation gradient. The aggregation intensity of female populations increased gradually along the elevation gradient whereas the change in aggregation intensity was nonlinear in male populations. Below 1500 m, the aggregation intensity increased with increasing altitude, but then decreased with increasing altitude above 1500 m. This phenomenon may be explained by differences in the adaptability of male and female *P. cathayana* plants. In summary, we showed that differences in the distribution of male and female *P. cathayana* populations along an altitudinal gradient. And we conclude that *P. cathayana* populations are likely to reproduce and survive best at moderate altitudes.

**Key Words:** dioecious; altitudinal gradient; population density; sex ratio; distribution pattern; *Populus cathayana*

作为重要的一种生态因子,海拔对植物的生理过程、外部形态以及种群分布的影响已经在众多研究中得以报道。如吴栋栋等人发现长白山岳桦(*Betula ermanii*)叶片的比叶面积(SLA)和叶绿素(Chl)含量随着海拔的升高而减小,叶绿素 a/b(Chla/Chlb)比值含量和类胡萝卜素(Car)的相对含量(Car/Chl)随海拔升高而增加<sup>[1]</sup>。王赞等人发现岩白菜(*Bergenia purpurascens*)植株个体的大小随海拔的升高而减小<sup>[2]</sup>。周晓峰等人发现大兴安岭北部低海拔地带蒙古栎(*Quercus mongolica*)种群更新良好,趋于形成蒙古栎阔叶林,而较高海拔地带的蒙古栎更新不良,趋于形成兴安落叶松和阔叶树的混生林<sup>[3]</sup>。然而,从前人已完成的工作来看,海拔对植物影响的相关研究大多数集中在雌雄同株植物中,而很少有针对雌雄异株植物的研究,尤其是探究雌雄群体的分布特征沿海拔梯度的变化差异。

近年来的一些研究已经表明,雌雄异株植物的雌株个体对环境因子(如干旱、温度、CO<sub>2</sub>和光照等)的敏感性显著高于雄株<sup>[4-7]</sup>。这种性别间的响应差异最终将导致种群的性比和分布沿海拔梯度发生变化<sup>[8]</sup>。虽然少数研究已经揭示雌雄异株植物的性比随海拔而发生变化,如颤杨(*Populus tremuloides*)的性比(雄/雌)会随着海拔的增加而增加<sup>[9]</sup>;山榿(*Mercurialis perennis*)的性比会随着海拔的增加而减少<sup>[10]</sup>;沙棘(*Hippophae rhamnoides*)的性比随海拔的增加表现出先减少后增加的趋势<sup>[11]</sup>。但是,有关雌雄异株植物种群的空间分布特征随海拔的变化规律却未曾得到报道,甚至其随环境梯度变化关系的研究目前也不多。作为被子植物的重要组成部分,雌雄异株植物(如杨柳科和槭树科植物)广泛地分布在我国及世界各地,并在维护当地森林生态系统的稳定性方面起着不可忽略的作用。由于性别的分化,雌雄个体在不同环境中所表现出来的适应性差异最终将影响该类植物种群的组成、结构、繁衍和分布。因此,本试验以我国常见的雌雄异株植物青杨(*Populus cathayana*)天然种群为研究对象,通过分析种群中雌雄植株的数量和分布在不同海拔梯度的变化特点,以揭示雌雄异株植物种群的性比和分布格局随环境梯度的变化规律。研究结果为进一步探究雌雄异株植物种群与环境之间的适应关系提供参考。

## 1 研究区域和调查实验方法

### 1.1 研究区域概况

小五台山自然保护区位于燕山、恒山和太行山山脉的交汇地带,分布范围为东经 114°47′—115°30′,北纬

39°50′—40°07′。该区域属东亚大陆性季风气候,垂直气候明显、气候差异大。区内海拔高差较大,最高海拔为 2882 m(主峰东台),最低海拔为 1190 m(西金河口)。植被保存较完好,现存大片原生林。主要植被类型有亚高山草甸、落叶针叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林和落叶灌丛<sup>[12]</sup>。在海拔 1400—1700 m 内的沟谷中有成群的天然青杨林。土壤类型主要为褐土、山地棕壤及亚高山草甸土。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样地设置与调查

以青杨天然种群的实际分布海拔范围(1400—1700 m)为研究区域,分别在海拔 1400、1500、1600、1700 m 处各选取 4 个 20 m × 20 m 的群落样方,共计 16 个。采用群落常规调查方法调查各样地内青杨雌雄植株的数量、胸径、树高,并用 GPS 对每株定位;同时对各海拔梯度的大气湿度、光照强度、土壤含水量以及土壤肥力指标等环境因子进行测定(表 1)。

表 1 海拔梯度上的环境指标

Table 1 The indexes of the environment at different altitudes

海拔 Altitude/m	1400	1500	1600	1700
土壤含水量 Soil moisture/%	16.40±2.70ab	11.53±1.83b	16.35±0.71ab	18.45±0.88a
空气湿度 Air humidity/%	95.25±0.25a	95.00±0.00a	95.00±0.00a	89.50±0.87b
光照强度 Light intensity/lx	0.20±0.05a	0.11±0.01a	0.20±0.02a	0.27±0.10a
有机质 Organic matter/(g/kg)	92.74±15.70a	70.72±13.01a	81.40±5.32a	86.95±13.42a
pH	6.22±0.14a	6.50±0.09a	6.36±0.18a	6.45±0.05a
N/(g/kg)	3.87±0.58a	3.59±0.64a	4.31±0.21a	4.45±0.74a
P/(g/kg)	0.83±0.03a	0.77±0.03a	0.82±0.03a	0.84±0.04a
K/(g/kg)	22.28±0.44a	22.25±1.98a	19.49±0.26a	19.31±0.21a

测定值以平均值±标准误表示,同一行中测定值后标有不同字母则表明相互间有显著差异(采用邓肯多重范围检验法(Duncan's Multiple Range Test))

青杨性别主要是通过观察雌雄株的花序与花型的不同来区分。对于未开花的植株,主要通过观察是否是无性繁殖来确定其性别。

### 1.2.2 种群结构

种群结构一般通过大小级结构来表征,常采用径级法确定乔木的年龄。根据小五台山青杨的胸径和生长史,将青杨大小级分为 3 个径级:Ⅰ,  $DBH < 20$  cm,代表幼树和小树;Ⅱ,  $20 \text{ cm} \leq DBH < 35$  cm,代表中树;Ⅲ,  $DBH \geq 35$  cm,代表老树。

### 1.2.3 种群空间分布格局测定

测定空间分布格局的数学模型很多,但结果可能不一致,因此往往采用多指标测定结果进行综合分析。一般认为扩散系数基本上可以确定种群的分布格局类型<sup>[13]</sup>;丛生指数和 Cassie 指标能够验证扩散系数的测定结果。丛生指标、负二项式、平均拥挤指数和聚块性指标彼此间相互关联<sup>[14]</sup>,可以有效的分析种群的聚集强度。根据青杨在各样方中的位置信息,以 10 m × 10 m 为标准对雌雄个体在空间上的分布格局类型及聚集程度进行分析研究。公式如下:

(1) 扩散系数(Dispersal index,  $C$ )及其  $t$  检验

$$C = S^2/\bar{x}$$

当  $C = 1$  时为随机分布,  $C > 1$  时趋于聚集分布,  $C < 1$  时趋于均匀分布。为检验  $C$  偏离 Poisson 分布的显著性,可进行  $t$  检验,其表达式为

$$t = (C - 1) / \sqrt{2/n - 1}$$

(2) 丛生指标(Index of clumping,  $I$ )

$$I = (S^2/\bar{x}) - 1$$

当  $I = 0$  时为随机分布,  $I > 0$  时为聚集分布, 值越大聚集强度越大,  $I < 0$  时则为均匀分布, 值越小强度越大。

(3) 负二项式(Negative binomial parameter,  $K$ )

$$K = \bar{x}^2 / (S^2 - \bar{x})$$

$K$  值越小聚集程度越大。

(4) Cassie 指标(Cassie index,  $Ca$ )

$$Ca = (S^2 - \bar{x}) / \bar{x}^2$$

$Ca = 0$  为随机分布,  $Ca > 0$  为聚集分布,  $Ca < 0$  为均匀分布。

(5) 平均拥挤指数(Index of mean crowding,  $M$ ) 和 Lloyd 聚块性指标(Lloyd index of patchiness,  $PAI$ )

$$M = \bar{x} + (S^2/\bar{x} - 1)$$

$$PAI = M/\bar{x}$$

式中,  $M$  表示平均每个个体有多少个在同单位的其它个体, 数值越大拥挤效应越大。  $PAI$  不涉及到密度的影响, 值越大聚集性越强。

以上公式中,  $S^2$  是样方中个体数的方差,  $\bar{x}$  是样方中个体数的均值,  $n$  为样方数。

#### 1.2.4 数据分析

采用 SPSS13.0 统计软件进行统计分析。性比(雄/雌)偏离 1:1 零假设的显著性程度采用卡方检验确定。环境指标的显著性采用单因素方差分析。

## 2 研究结果

### 2.1 青杨雌雄群体的平均胸径和密度沿海拔的变化规律

图 1 中, 雌株群体平均胸径在海拔梯度上的分布无显著差异; 雄株群体的平均胸径在海拔 1700 m 最大, 与其它海拔差异显著。雌株群体的密度在海拔 1700 m 最小, 与其它海拔有显著差异; 雄株群体的密度在海拔梯度并无显著差异(图 1)。图 1 中, 海拔 1600 m 处, 雌雄群体的平均胸径值最接近, 同时密度值也最接近。

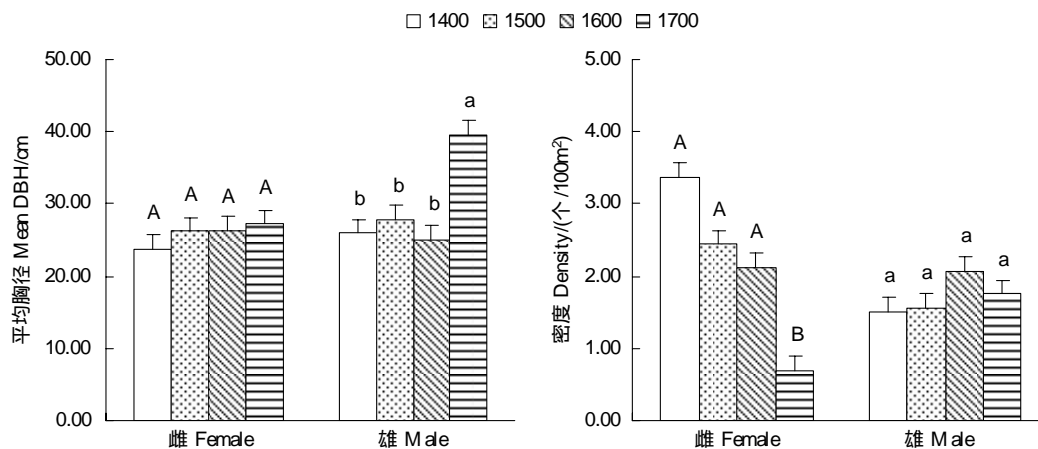


图 1 海拔梯度上青杨雌雄群体平均胸径和密度

Fig. 1 Mean DBH and density of male and female plants of *Populus cathayana* along an altitudinal gradient

条形图中, 大写字母标注雌株群体间的平均值差异, 小写字母标注雄株群体的平均值差异; 具有不同字母则表明相互间有显著差异(采用邓肯多重范围检验法(Duncan's Multiple Range Test))

### 2.2 青杨雌雄群体的性比沿海拔的变化规律

在整个海拔梯度上, 除未确定性别的植株外, 共调查到  $DBH \geq 4$  cm 的青杨 311 株, 其中雌树 138 株, 雄树 110 株, 枯立木 63 株。青杨雌雄性比随海拔梯度的增加而增加(表 2)。在低海拔, 性比显著偏雌性( $\chi^2_{1400} = 5.91, P < 0.05$ ); 而在高海拔 1700 m, 则显著偏雄性( $\chi^2_{1700} = 6.56, P < 0.05$ )。随着海拔向 1600 m 接近, 性比

逐渐趋于 1:1 ( $\chi^2_{1500} = 2.64, P > 0.05$ ;  $\chi^2_{1600} = 0, P > 0.05$ )。从整个青杨种群分布的海拔范围来看,雌雄群体的性比接近 1:1 ( $\chi^2 = 2.94, P > 0.05$ )。

表 2 海拔梯度上青杨雌雄群体性比

Table 2 Sex ratio of male and female plants of *Populus cathayana* at different altitudes

海拔 Altitude/m	雄株 Males	雌株 Females	雄株/雌株 M/F	$\chi^2$	P
1400	24	54	0.44	5.91	<0.05
1500	25	39	0.64	2.64	>0.05
1600	33	34	0.97	0.00	>0.05
1700	28	11	2.55	6.56	<0.05
总计 Total	110	138	0.80	2.94	>0.05

### 2.3 青杨雌雄群体的大小级结构沿海拔的变化规律

图 2 中,在海拔 1700 m,群体中由于 I 级植株数量减少,III 级植株数量增多,导致群体在此海拔梯度上都表现为下降型。在其它海拔梯度上, I 级和 II 级植株占群体比例大, III 级植株占群体的比例小,群体都表现为稳定型。图 2 A 中, I 级和 II 级植株占雌株群体比例最大的海拔是 1400 m。与雌株群体不同,雄株群体中 I 级和 II 级植株占群体比例最大的海拔是 1600 m(图 2 B)。

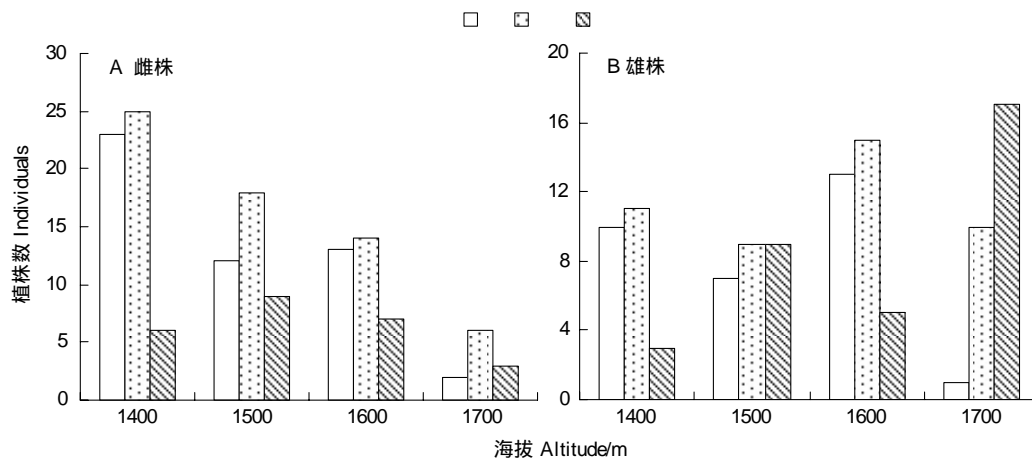


图 2 海拔梯度上青杨雌雄群体大小级结构

Fig. 2 Size structure of male and female plants of *Populus cathayana* along an altitudinal gradient

### 2.4 青杨雌雄群体的空间分布和聚集强度沿海拔的变化规律

由表 3 可知,青杨雌雄群体的分布格局与海拔有关。在海拔 1400 m,雌雄群体均表现为随机分布。在海拔 1700 m,雌株群体表现为聚集分布、雄株群体表现为随机分布。其它海拔梯度上,雌雄群体都表现为聚集分布。另外聚集强度指标研究结果显示,海拔梯度对雌雄群体聚集强度有明显的影响。随着海拔的变化,群体的聚集强度也发生变化,并且这种变化在雌雄群体之间也有差异。雌株群体的 PAI 值随着海拔的升高逐渐增加,雄株群体的 PAI 值却随着海拔的升高呈现出先增加后减少的趋势。

## 3 讨论

对青杨种群调查发现,雌雄群体的平均胸径在海拔梯度上的分布趋势不同。雄株的平均胸径在海拔 1600 m 处最小,而雌株的平均胸径最小的海拔是 1400 m。雌株在低于海拔 1600 m 的密度都大于雄株(图 1 B)。但随着海拔增加,雌株密度逐渐减小。高于海拔 1600 m 以后,雌株密度迅速下降,说明环境变化对雌株生长的影响较大<sup>[11]</sup>,使得它不利于在高海拔生长。图 1 中,在海拔 1600 m 处,雌雄群体的平均胸径值最相



近,密度值也最相近,表明在该海拔梯度上雌雄群体的生长繁殖速率最接近。雌雄群体平均胸径的海拔分布规律在群体结构的海拔梯度分布上有所反映。研究表明,随着平均胸径的增大,Ⅰ级和Ⅱ级植株占群体比例会下降,群体会从稳定型转变为下降型。海拔 1700 m 是雄株群体平均胸径最大的海拔,群体结构表现为下降型,说明虽然雄株在高海拔占优势,但依然是不利于其生存的。雌株群体平均胸径最小的海拔是 1400 m,群体结构也是所有海拔梯度中稳定性最高的;雄株群体结构则是在海拔 1600 m 稳定性最高。这种现象说明,随着海拔的变化,雌雄群体会选择最适合其自身生长的环境进行繁殖。该研究结果也证实了雌株适合在低海拔进行繁殖生长,雄株则适合在较高海拔生长的结论<sup>[8]</sup>。由平均胸径和群体密度在海拔梯度上的变化规律,以及实地调查中发现青杨种群幼株数量在海拔 1600 m 最多,海拔 1600 m 可能是种群最适繁衍区域。根据李春阳等人的研究,沙棘(*Hippophae rhamnoides*)在最佳生长条件下的性比接近 1:1<sup>[11]</sup>。因此,推测雌雄性比在海拔 1600 m 这个种群最适繁衍区域内的性比可能符合 1:1 的比例关系。

表 3 青杨雌雄群体的分布格局与聚集强度

Table 3 Distribution pattern and aggregation intensity of male and female plants of *Populus cathayana*

海拔 Altitude/m	类别 Class	<i>C</i>	<i>t</i> 检验 <i>t</i> -test	分布类型 Distribution type	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>M</i>	<i>PAI</i>
1400	雌株	1.05	0.13	随机	0.05	74.63	0.01	3.48	1.01
	雄株	1.16	0.43	随机	0.16	9.64	0.10	1.66	1.10
1500	雌株	2.30	3.55	聚集	1.30	1.88	0.53	3.73	1.53
	雄株	3.07	5.67	聚集	2.07	0.76	1.32	3.63	2.32
1600	雌株	3.07	5.66	聚集	2.07	1.03	0.97	4.19	1.97
	雄株	2.15	3.19	聚集	1.16	1.77	0.56	3.23	1.56
1700	雌株	1.69	1.89	聚集	0.69	1.00	1.01	1.38	2.01
	雄株	1.18	0.50	随机	0.18	9.67	0.10	1.93	1.10

对雌雄性比研究的结果显示,在海拔 1600 m 雌雄性别比例正好接近于 1:1(表 2),从而证明上述推测是正确的。另外,研究显示:在整个海拔梯度上,青杨雌雄群体的性别比例没有偏离 1:1。但在不同海拔梯度上雌雄群体则出现了明显的性别空间隔离。在低海拔 1400 m,雌雄性比为 0.44,显著偏雌性;在高海拔 1700 m,雌雄性比为 2.55,雄株在高海拔区域又占据了显著优势。随着海拔向 1600 m 接近,性比逐渐趋向于 1:1。该结论与 Grant 等人对颤杨性比的研究结果完全吻合。Grant 等人发现颤杨性比在整个海拔梯度上没有发生偏倚。但在不同海拔梯度的划分上性比会偏离 1:1。随海拔的升高,雌株所占种群的比例从 56% 降低至 36%。在海拔 2700 m 以上雄株占优势,性别比例约为 2:1,但在海拔 2700 m 以下,雌株占优势<sup>[9]</sup>。此外,从种群的更新来看,雌雄植株的性比会对其产生影响。当雌雄植株的性比偏离 1:1 时,植株有性繁殖的机率降低,种群中实生幼苗数目减少,天然更新能力下降,植物种群的扩展和繁衍受到限制。尽管在适宜的条件下部分植株也可通过无性繁殖来维持种群的规模,但长期无性繁殖的结果将会导致遗传基因多样性下降,从而对外界环境的抗逆能力降低,最终导致种群的衰退。而当雌雄植株的性比接近 1:1 时,会使该类植物有性繁殖的机率最大化,有利于维持种群的遗传多样性,弥补种群通过无性繁殖去适应环境变化的局限性,从总体上促进种群的天然更新和扩展能力,进而保证该类植物种群对复杂多变环境的适应。

对于雌雄异株植物性比的变化原因,Meagher、Waser 和 Allen 等认为种群偏雄性是由于雌树较高的繁殖投资导致雌树产生高死亡率,以致种群性比出现偏倚<sup>[15-17]</sup>。在对样地内青杨枯木进行统计时发现所有枯木胸径均未达到开花年龄时的胸径,说明这些植株并不是由于繁殖投资过多而死亡。因此,该结论不适合解释本试验中出现种群偏雄的原因。对此,推测出现这种现象的原因可能与雌雄个体之间对环境因子梯度变化的响应差异有关。通过对不同海拔梯度的环境指标测定发现,除土壤含水量和空气湿度在个别海拔之间略有差异外,其它指标在海拔梯度上均无显著差异(表 1),而温度受海拔的影响最大<sup>[18]</sup>。根据胥晓等人的试验结



果,青杨雌株适宜在温暖湿润的环境中生存,而雄株胁迫环境下的适应能力明显高于雌株<sup>[4,19]</sup>。所以,可以认为雌雄异株植物种群的性比在低海拔偏雌、高海拔偏雄的现象很可能与雌雄个体在不同海拔的温度条件适应差异有关,这种适应差异将直接决定雌雄之间的竞争和生存能力的大小。同时,由于受到不同海拔区域温度的影响,种子萌发也有可能影响种群性比的偏倚。在高海拔区域(低温环境中)雄株的抗寒性比雌株强<sup>[5]</sup>,这种长期适应环境的结果可能会导致发育成雄株的种子更易萌发和生长,而在低海拔区域(温暖环境)则正好相反。

此外,海拔梯度对雌雄群体的空间分布有一定的影响。在低海拔,群体都表现为随机分布;随着海拔的升高,群体则表现为聚集分布。研究认为,随机分布多出现在资源分布均匀、丰富的情况下<sup>[20]</sup>。而植物本身繁殖体散布的有限性、环境因子的异质性以及种间竞争是植物种群形成集群分布的几个重要原因<sup>[21-22]</sup>。结合野外调查情况和青杨本身的繁殖特性,笔者认为造成随机分布的原因可能与种子的散布有关。青杨种子是风媒传播,传播距离远,有较强的散布能力。而青杨植株自身也存在无性繁殖现象(野外调查发现,有以一母株为中心伴生有数量不等无性分株的丛生现象),这种现象可能有利于雌雄植株形成聚集分布。同时,由于青杨雌雄植株在各海拔上的适应性具有性别差异,其结果则导致雌雄群体聚集强度沿海拔呈现出不同的变化特征。

综上所述,青杨雌雄群体的分布特征沿海拔梯度的变化明显不同,中等海拔区域可能为青杨种群的最适繁衍区。此外,由于雌雄性比会对种群更新产生影响,因而在使用青杨进行人工造林时应考虑种群中雌雄植株的数量比例。

**致谢:** 在野外调查中,得到了小五台山国家自然保护区金河口管理区袁新利主任的大力帮助,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Wu D D, Zhou Y B, Yu D P, Dai G H. Physiological response of *Betula ermanii* at different altitudes in Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2279-2285.
- [ 2 ] Wang Y, Hu L J, Duan Y W, Yang Y P. Altitudinal variations in reproductive allocation of *Bergenia purpurascens* (Saxifragaceae). *Acta Botanica Yunnanica*, 2010, 32(3): 270-280.
- [ 3 ] Zhou X F, Zhang Y D, Sun H Z, Chai Y X, Wang Y H. The effect on climate change on population dynamics of *Quercus mongolica* in north Greater Xing'an Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1035-1040.
- [ 4 ] Xu X, Peng G Q, Wu C C, Korpelainen H, Li C Y. Drought inhibits photosynthetic capacity more in females than in males of *Populus cathayana*. *Tree Physiology*, 2008, 28(11): 1751-1759.
- [ 5 ] Li C Y, Yang Y Q, Junttila O, Palva E T. Sexual differences in cold acclimation and freezing tolerance development in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) ecotypes. *Plant Science*, 2005, 168(5): 1365-1370.
- [ 6 ] Wang X Z, Curtis P S. Gender-specific responses of *Populus tremuloides* to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *New Phytologist*, 2001, 150(3): 675-684.
- [ 7 ] Obeso J R, Retuerto R. Sexual dimorphism in holly *Ilex aquifolium*: cost of reproduction, sexual selection or physiological differentiation? *Revista Chilena de Historia Natural*, 2002, 75(1): 67-77.
- [ 8 ] Xu X, Yang F, Yin 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.
- [ 9 ] Grant M C, Mitton J B. Elevational gradients in adult sex ratios and sexual differentiation in vegetative growth rates of *Populus tremuloides* Michx. *Evolution*, 1979, 33(3): 914-918.
- [ 10 ] Cvetković D, Jovanović V. Altitudinal variation of the sex ratio and segregation by gender in the dioecious plant *Mercurialis perennis* L. (Euphorbiaceae) in Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 2007, 59(3): 193-198.
- [ 11 ] Li C Y, Xu G, Zang R G, Korpelainen 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.
- [ 12 ] Yu P T, Liu H Y, Cui H T. Vegetation and its relation with climate conditions near the timberline of Beitai, the Xiaowutai Mountains, Northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 523-528.
- [ 13 ] Zheng Y R. The applicability of various methods in analysis of *Picea mongolica* population spatial distribution pattern. *Chinese Journal of Plant*

- Ecology, 1997, 21(5): 480-484.
- [14] Zhang Z X, Liu P, Liu C S, Li C H, Zhang J Y, Liao J P, Xu S. Studies on the population structure and spatial distribution pattern of *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2009, 29(1): 7-14.
- [15] Meagher T R. Population biology of *Chamaelirium luteum*, a dioecious lily. II. mechanisms governing sex ratios. Evolution, 1981, 35(3): 557-567.
- [16] Waser N M. Sex ratio variation in population of a dioecious desert perennial, *Simmondsia chinensis*. Oikos, 1984, 42(3): 343-348.
- [17] Allen G A, Antos J A. Sex ratio variation in the dioecious shrub *Oemleria cerasiformis*. The American Naturalist, 1993, 141(4): 537-553.
- [18] Pan H L, Li M H, Cai X H, Wu J, Du Z, Liu X L. Responses of growth and ecophysiology of plant to altitude. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(2): 722-730.
- [19] Xu X, Yang F, Xiao X W, Zhang S, Korpelainen H, Li C Y. Sex-specific responses of *Populus cathayana* to drought and elevated temperatures. Plant Cell and Environment, 2008, 31(6): 850-860.
- [20] Niu C J, Lou A R, Sun R Y, Li Q F. Fundamentals of Ecology, 2nd edition. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [21] Pielou E C. Mathematical Ecology. New York: Wiley, 1977.
- [22] Xie Z Q, Chen W L, Liu Z Y, Jiang M X, Huang H D. Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(1): 95-101.

#### 参考文献:

- [1] 吴栋栋, 周永斌, 于大炮, 戴冠华. 不同海拔长白山岳桦的生理变化. 生态学报, 2009, 29(5): 2279-2285.
- [2] 王赞, 胡莉娟, 段元文, 杨永平. 岩白菜(虎耳草科)不同海拔居群的繁殖分配. 云南植物研究, 2010, 32(3): 270-280.
- [3] 周晓峰, 张远东, 孙慧珍, 柴一新, 王义弘. 气候变化对大兴安岭北部蒙古栎种群动态的影响. 生态学报, 2002, 22(7): 1035-1040.
- [8] 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.
- [12] 于澎涛, 刘鸿雁, 崔海亭. 小五台山北台林线附近的植被及其与气候条件的关系分析. 应用生态学报, 2002, 13(5): 523-528.
- [13] 郑元润. 不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究. 植物生态学报, 1997, 21(5): 480-484.
- [14] 张志祥, 刘鹏, 刘春生, 李成惠, 张家银, 廖进平, 徐晟. 珍稀濒危植物南方铁杉种群结构与空间分布格局研究. 浙江林业科技, 2009, 29(1): 7-14.
- [18] 潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 吴杰, 杜忠, 刘兴良. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性. 生态环境学报, 2009, 18(2): 722-730.
- [20] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 李庆芬. 基础生态学(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [22] 谢宗强, 陈伟烈, 刘正宇, 江明喜, 黄汉东. 银杉种群的空间分布格局. 植物学报, 1999, 41(1): 95-101.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient ..... FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)

Changes in the concentrations of airborne *Picea schrenkiana* pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area ..... PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)

Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period ..... LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)

Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China ..... WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)

SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau ..... CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)

Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.) ..... WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)

Effect of silicon supply on Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) growth under the salinization conditions ..... LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)

Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of *Simmondsia Chinensis* seedlings from different provenances ..... HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)

Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau ..... ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)

The distribution of male and female *Populus cathayana* populations along an altitudinal gradient ..... WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)

Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring ..... DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)

The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China ..... ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)

Population genetic structure of *Pneumatophorus japonicus* in the Taiwan Strait ..... ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)

Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors ..... YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)

Population dynamics and production of *Bellamyia aeruginosa* (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan ..... XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)

Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland ..... WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)

Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil ..... WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)

Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland ..... LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)

Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field ..... MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)

Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period ..... JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)

The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress ..... LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)

Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain ..... LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)

Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco ..... XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)

Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (*Arachis hypogea* L.) ..... SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)

Rapid cold hardening of Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and its ecological cost ..... LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)



- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) ..... DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions .....  
 ..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland .....  
 ..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems; a perspective of organic production model in China .....  
 ..... HU Qihong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic  
*Microcystis aeruginosa* ..... HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay ..... XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery .....  
 ..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization; an example from Yangtze River in Jiangsu Province .....  
 ..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies .....  
 ..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean ..... HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces .....  
 ..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust .....  
 ..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorges Reservoir Areas .....  
 ..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors ..... LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

# 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 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 23 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  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**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  
**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@espg.net

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China  
**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**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