

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 3 期
Vol.31 No.3
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 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统

赵宏波^{1,3,*}, 周莉花¹, 郝日明², 赖齐贤¹, 石柏林⁴, 叶文国⁵

(1. 浙江农林大学农业与食品科学学院, 浙江临安 311300; 2. 南京农业大学园艺学院, 南京 210095
3. 浙江省现代森林培育技术重点实验室, 浙江临安 311300; 4. 浙江农林大学植物园, 浙江临安 311300
5. 浙江省天台县林业局, 浙江天台 317200)

摘要:夏蜡梅 *Sinocalycanthus chinensis* 具有局限的地理分布、片断化的生境、较小的种群规模和特殊的遗传结构, 研究其交配系统, 将为评估造成其目前这种遗传结构的内因、明确夏蜡梅遗传衰退机制和制定保护策略提供重要依据。通过野外观察、实验室检测和人工控制交配实验等研究, 结果表明: 夏蜡梅从开花到散粉雄蕊和退化雄蕊呈直立到平展再到合拢状的动态变化, 当花药处于最平展状态时, 柱头成熟具有粘性, 可授性最强; 说明夏蜡梅雌蕊先熟, 雌雄配子存在一定的时空隔离, 仅发育后期可遇。花粉胚珠比 (P/O)、杂交指数 (O/I) 和人工控制交配实验的结果较为一致, 表明夏蜡梅的交配系统为以异交为主的混合交配系统, 部分自交亲和, 完成授粉需要传粉者。综合种群结构、遗传结构和交配系统, 夏蜡梅种群内遗传多样性降低而种群间遗传分化加剧最重要和直接的原因是生境的破坏、种群规模变小而导致的近交或自交比例增加。人工控制交配实验结果进一步表明, 远交和混合授粉即用含有天台种群的花粉进行授粉具有显著的远交优势, 远交结实率高达 79.6%, 平均每果实结实 9.1 粒种子, 平均每胚珠结实 0.75 粒。因此, 人为地促进 2 种群间的基因流将有利于夏蜡梅自然种群的恢复和遗传多样性的增加, 对夏蜡梅保护策略的制定有重要参考价值。

关键词: 地理隔离; 遗传衰退; 交配系统; 近交; 远交; 夏蜡梅

Mating system of *Sinocalycanthus chinensis* (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China

ZHAO Hongbo^{1,3,*}, ZHOU Lihua¹, HAO Riming², LAI Qixian¹, SHI Bolin⁴, YE Wenguo⁵

1 Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China
2 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China
3 Zhejiang Provincial Key Lab for Modern Silvicultural Technology, Lin'an 311300, China
4 Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China
5 Forestry Bureau of Tiantai County, Tiantai 317200, China

Abstract: *Sinocalycanthus chinensis* (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang has a narrow geographic distribution, a fragmented habitat, a small population size, and a special genetic structure. It is indigenous to China, and due to its non-contiguous habitat and geographic isolation, several small regions have come into existence based on reproductive characteristics resulting in a very restricted distribution, mainly confined to Lin'an and Tiantai of Zhejiang Province. Genetic diversity for *S. chinensis* is relatively low in not only natural populations but also in artificially-cultivated populations; however, there is a definite genetic differentiation between the two geographically isolated Lin'an and Tiantai populations. The primary objectives of this study were to define the relationships among mating systems and genetic structures, to provide reasons for genetic degeneracy, and to develop successful conservation strategies in natural populations of *S. chinensis*. The floral biology and mating systems were assessed through field observations (including flower size, development and opening process), lab detection (including pollen quantity and viability, pistil receptivity and the

基金项目: 浙江省重大科技攻关项目(2006C12059-2); 浙江省自然科学基金项目(Y3100332); 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A15)

收稿日期: 2009-12-13; 修订日期: 2010-05-31

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

number of ovules), and, for the Lin'an population, artificial pollination experiments (including natural pollination, emasculation, directly bagging selfing, artificial selfing, geitonogamy, xenogamy, outbreeding and two different mixed pollination). Results of the field observation and lab detection showed that during bloom and pollen dispersion, stamen and staminode development changed from erect to exserted to folding with pistil receptivity reaching a peak when the stamens were at the exserted stage. Also, pistil receptivity was 7 to 8 d, lasting from the small bud stage until the pistil wilted, with pollen viability of more than 40%. In artificial pollination experiments: (1) outbreeding had the highest seed set (79.6%) with seed number per fruit of 9.1 and per ovule of 0.75; (2) mixed pollinations of geitonogamous pollen and outbreeding pollen had seed set of 55.0% with seed number per fruit of 7.3 and per ovule of 0.60; (3) mixed pollinations of xenogamous inbreeding pollen and outbreeding pollen had seed set of 64.3% with seed number per fruit of 7.5 and per ovule of 0.61; (4) geitonogamy had seed set of 19.6% and seed number per fruit of 6.7, whereas xenogamous inbreeding had seed set of 32.3% and seed number per fruit of 5.3; and (5) no fruits were produced with natural selfing under a bag, but artificial self-pollination with pollen from the same flowers had seed set of 49.6%. Also, from a pollen-ovule (P/O) ratio of 11740:1, an outcrossing index (OCI) of 3, and artificial pollination experiments, the mating system showed xenogamy with partial self-compatibility (a mixed-mating system) requiring pollinators. Additionally, results of artificial pollination, using pure or mixed pollens from the Tiantai population, showed outbreeding had the highest seed set as well as seed number per fruit (9.1) and per ovule (0.75). Thus, from field and lab observations, *S. chinensis* was protogynous with temporal and spatial isolation of male and female gametes within the same flower, there was some potential for self-compatibility; meanwhile, pistil receptivity and pollen viability increased reproductive success during pollination. Additionally, combining population structure, genetic structure, and mating system, an increased percentage of self-pollination and inbreeding, due to habitat destruction and decreased population size, caused low genetic diversity and high genetic differentiation. Also, pollination tests using pollen from the geographically isolated populations, showed strong outbreeding advantages meaning artificially accelerating gene exchange among isolated populations could contribute to increase population size and genetic diversity. Finally, artificial outbreeding using pollen of geographically isolated populations for species conservation as well as intercropping with *S. chinensis* seeds, seedlings, or adult trees, could be undertaken.

Key Words: geographic isolation; genetic depression; mating system; inbreeding; outbreeding; *Sinocalycanthus chinensis*

夏蜡梅 *Sinocalycanthus chinensis* (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang 隶属于蜡梅科 Calycanthaceae 夏蜡梅属 *Sinocalycanthus*, 为第三纪孑遗植物, 主要分布于中国浙江省(临安市和天台县)狭小的区域内, 为中国二级珍稀濒危保护植物^[1]。因其系统地位特殊, 且具有较高的观赏价值, 倍受喜爱和重视。目前, 夏蜡梅自然分布区狭窄, 种群规模小, 呈片断化分布, 同时无论是天然种群还是人工繁育种群其遗传多样性均相对较低, 而存在地理隔离的两大天然种群(临安和天台)间却存在较大的遗传分化^[2-4]。生境片断化将造成种群的遗传变异程度降低, 而残留小种群间的遗传分化程度增加^[5]; 且小种群易受环境因子影响, 对因种群规模变小而增加的自交或近交和增强的遗传漂变更为敏感^[6]。因此, 濒危植物在片断化、小而孤立的种群中由于遗传多样性的丧失等原因将面临很高的灭绝风险^[5,7]。因此, 狭域、片断化的分布格式下造成夏蜡梅这种遗传结构的原因是值得深入研究的问题。

生境片断化造成种群规模变小, 小种群间生殖隔离加剧, 从而产生严重的遗传后果; 而要了解这种遗传后果首先必须检测与种群遗传动态密切相关的交配系统, 包括异交和自交比例以及是否存在近交衰退^[6, 8-9]。交配系统是影响植物种群遗传多样性及其分布式样的最关键的生物学因素之一^[10-11], 在确定植物种群的遗传组成、遗传结构以及基因流等方面都有重要的作用^[12]。近交衰退与植物的交配系统关系密切, 是交配系统进化的主要选择压力^[12], 反过来交配系统也是近交衰退存在与否的决定因素之一。较高水平的自交及亲缘

个体的近交,将降低种群的有效大小^[10],使得后代的相对适合度下降,造成近交衰退,反过来这些变化会增强自交和遗传漂变对小种群的影响。虽然在很多植物种群中均存在近交衰退现象,但在异交无法完成的情况下,如缺少传粉者、种群规模小等,即使近交衰退非常剧烈,自交或近交也会受到选择以保障胚珠的受精^[13-14]。因此,通过研究植物的交配系统,可以明确造成遗传衰退的内因,从而揭示遗传多样性降低甚至丧失的本质。

前人虽对夏蜡梅的花发育特性^[15]、开花物候^[16]、花部特征和繁育系统的基本数据^[17]等进行了研究,但与成功交配密切相关的开花进程及动态变化、利于自交(远交)或远交的花部特征分析、不同交配方式的交配行为以及地理隔离的不同小种群间的交配亲和性等研究较少。本文拟在前面研究的基础上,通过研究夏蜡梅的交配系统基本数据、开花进程及动态变化,并结合人工控制交配处理,比较研究野生种群内和存在地理隔离的种群间不同交配方式的亲和性,摸清花部性状、交配系统与其遗传结构的内在关系,明确夏蜡梅遗传衰退的原因,为很好地保护和开发利用该重要资源奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 研究材料和地点

研究地点位于浙江省临安市大明山(30°02' N, 118°59' E, 海拔 850m)和天台县大雷山(28°59' N, 120°49' E, 海拔 750m),两地均位于中亚热带地区,属于亚热带季风气候,临安全年平均气温 16.4℃,全年降雨量 1628.6 mm,天台全年平均气温 16.8℃,降雨量 1320 mm。选择发育良好、树冠大的植株进行相关研究;研究地点均位于小溪旁边,周围植被保存较好,主要伴生种有乔木青钱柳 *Cyclocarya paliurus*、树三加 *Acanthopanax evodiaefolius*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca*、四照花 *Dendrobenthamia japonica*、香果树 *Emmenopterys henryi*、长柱紫茎 *Stewartia rostrata* 等,灌木蝴蝶菜 *Viburnum plicatum*、野珠兰 *Stephanandra chinensis*、阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius* 等,草本淡竹叶 *Lophatherum gracile* 等。野外实验于 2007 年、2008 年和 2009 年的 4—6 月进行。

1.2 研究方法

1.2.1 花开放进程观测

待小蕾时,各选择 30 朵发育基本一致的花挂牌,以后每天观察花蕾、花冠、雄蕊、退化雄蕊、柱头的发育状态;待花冠松开开始展开时每隔 2 h 观察 1 次。

1.2.2 花粉活力和柱头可授性检测

花粉活力检测采用离体萌发法,参照周莉花等^[18]的方法。柱头可授性检测:(1)从紧蕾期开始直至花朵开放但花药未裂之前,每天选择 15 朵花进行检测;(2)选择 30 个松蕾期的花,去雄、套袋,每天检测柱头可授性,直至柱头萎蔫。检测具体方法:去雄,用已经开裂的花粉进行授粉,套袋,待授粉后 24h 取下花,用 FAA 溶液固定;将固定 24h 以上的花剥开,取出柱头,用 2 mol·L⁻¹ NaOH 软化脱色 2h,然后用 0.1% 苯胺蓝溶液浸泡染色 8h 以上,用甘油压片,在 Olympus 荧光显微镜下观察、拍照。

1.2.3 花粉胚珠比(P/O)及杂交指数(OCI)

花粉胚珠比(P/O)为平均单花花粉总量除以单花胚珠数。花粉计数^[19]:取 15 朵花收集所有花药,将花药用玻棒捣碎,定容至 25 mL,取 5 μL 统计所有花粉数,最后换算成单花花粉量;胚珠计数:取 15 朵花将果实状的花托剥开,统计胚珠数量;然后根据 Cruden^[20]的标准评判交配系统类型。杂交指数(OCI)由 3 个花部特征(花序直径、花朵大小及开花行为)决定,根据 Dafni^[21]的标准进行测定、计算和评判。

1.2.4 人工交配处理

利用人工控制交配检测夏蜡梅的交配系统。进行以下 9 个处理,挑选生长良好、株型较大、开花量较多的植株为实验对象(分别标记为 DMS2、DMS7、DMS8、DMS9 和 DMS10),每个处理花数不少于 20 朵,每个处理根据开花进程同步进行:

- (1)自然 随机取不同开放程度的花朵挂牌;
- (2)去雄 在松蕾花药还未开裂时去雄挂牌;

(3)套袋自交 在大蕾期,直接挂牌、套袋;

(4)自花授粉 在大蕾期套袋,第2天或3天待柱头生长至最长具有粘性时,用牙签取自花花粉授予柱头,挂牌;

(5)同株异花授粉 去雄、套袋,第2天取同株不同花的新鲜花粉授予柱头,挂牌、套袋;

(6)异株授粉 去雄、套袋,取同种群异株的新鲜花粉授粉;

(7)远交 去雄、套袋,取天台种群的花粉授粉;

(8)混合授粉1 去雄、套袋,将天台种群的花粉与同株异花花粉等量混合进行授粉;

(9)混合授粉2 去雄、套袋,将天台种群的花粉与同种群异株花粉等量混合进行授粉。

授粉后1个月左右,待整个种群中所有花均已凋谢后去除套袋;2个月后检测各处理结实率;10月份采集果实统计种子数,计算平均每果实种子数。所有处理均进行3a的重复。

1.2.5 不同交配方式荧光镜检

授粉后6h、12h、1d、2d、3d、4d取下用FAA固定液固定,固定24h以上后,进行荧光镜检,方法同上。

2 结果与分析

2.1 花部性状和花开放进程

夏蜡梅花较大,花径5.5—7.5 cm;花被片二型,外轮花被片白色,平均12.6枚,内轮花被片黄色或淡黄色,平均为9.7枚;平均每花具有花药18.2枚;每花药平均花粉量为7869.7粒(表1)。夏蜡梅花发育进程可以分为5个阶段:紧蕾期、大蕾期、松蕾期、花开放而花药未裂和花开放花药开裂等时期^[15]。从花开放到散粉雄蕊和退化雄蕊呈直立到平展再到合拢的动态变化;在花开放而花药未裂阶段,柱头发育逐渐成熟并具有粘性,而花药呈平展状态(图1B和1C)。这种花部动态变化特征有利于异交。

表1 夏蜡梅花部性状

Table 1 Floral characteristics in *Sinocalycanthus chinensis*

花径/cm Flower diameter	外被片数/枚 No. of outer tepals	内被片数/枚 No. of inner tepals	花药数/枚 No. of anthers	单花药花 粉量/粒 Pollen quantity per anther	单花花粉 量/粒 Pollen quantity per flower	单花胚珠数/个 No. of ovules per flower	花粉胚珠比 P/O
5.6 ± 0.3	12.6 ± 1.1	9.7 ± 1.0	18.2 ± 1.5	7869.7 ± 708.9	143229.2 ± 12902.7	12.2 ± 1.5	11740.1 ± 1057.6



图1 夏蜡梅花发育进程

Fig. 1 Flower development process of *Sinocalycanthus chinensis*

A—D: 开放而花药未裂阶段; E—H: 花药开裂柱头开始褐化

2.2 花粉活力与柱头可授性

花粉活力较高,平均活力在 40% 以上(图 2)。柱头从小蕾时便具有可授性,直到柱头萎蔫,可维持 7—8d,在第 4 天或第 5 天可授性达到最强^[15];而此时花药和退化雄蕊处于平展状态,将柱头完全暴露出来(图 1)。从柱头可授性和花药相对运动来看,夏蜡梅雌雄配子存在一定程度的时空隔离,仅发育后期雌雄配子可遇,但此时柱头可授性已逐渐减弱,有不遇趋势。

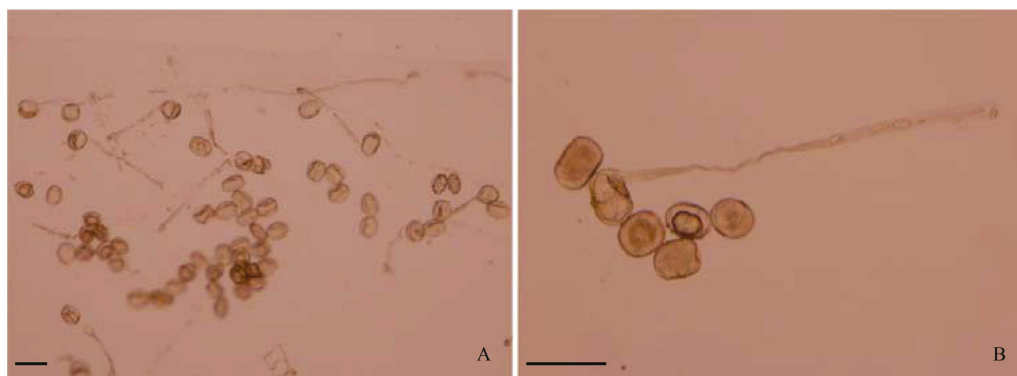


图 2 夏蜡梅花粉离体萌发

Fig. 2 Pollen germination in vitro of *Sinocalycanthus chinensis* (Bar 10 μm)

2.3 花粉胚珠比(P/O)及杂交指数(OCI)

夏蜡梅花径较大,平均花径远大于 6mm;雌蕊先熟;柱头和花药在空间上基本处于同一个水平位置,二者间有可能接触;得出 OCI 为 3,以该指标看属于兼性异交型(facultative xenogamy)范围,自花可孕型,且雌蕊先熟,这类型的植物常产生蜜汁,部分种需要传粉者。花粉胚珠比(P/O)为 11740.1,介于 2 108.0—195 525.0 之间;从 P/O 来看,夏蜡梅的交配系统为专性异交。因此,综合花粉胚珠比及杂交指数的结果,表明夏蜡梅交配系统以异交为主,具有一定的自交可能。

2.4 不同交配处理荧光镜检

通过荧光镜检测不同交配方式花粉管生长情况,结果表明各处理间花粉管行为较为一致,近交、远交、自花(人工授粉)和混合授粉花粉在柱头上均能正常萌发并生长,图 3 显示远交处理授粉后不同时间花粉管的生长情况。结果表明,远交的花粉(天台种群的花粉)能很好地在临安种群植株柱头上萌发。授粉后 6h,花粉黏附在柱头上开始萌发(图 3-A);授粉后 12h,花粉管快速生长至花柱基部,并开始进入胚囊(图 3-B);24h 后,花粉管进入胚囊(图 3-C)。由于夏蜡梅幼嫩子房壁密被长柔毛,因此对花粉管进入胚囊后的生长情况我们未能观察到;但从最终的结实情况可以判断,远交花粉的花粉管进入胚囊后能顺利完成受精作用。

2.5 不同交配处理结实率

通过人为控制进行不同交配处理,检测不同交配方式的成功率,来比较各交配方式的亲和力强弱。结果表明(表 2),自然情况下平均结实率为 29.8%,平均每果实有 4.9 粒种子;去雄处理结实率低或不结实,可能是由于去雄后(去除花被片、花药和退化雄蕊)缺少了吸引传粉昆虫的诱物而导致;直接套袋自交不结实,而人工自花授粉平均结实率达到 49.6%;这说明自然情况下具有一定的自交可能,直接套袋自交不结实可能是由于套袋后缺少传粉媒介所致。同株异花授粉平均结实率为 19.6%,平均每果实结种子 6.7 粒;异株即同种群植株花粉授粉平均结实率为 32.3%,平均每果实有种子 5.3 粒;远交即天台种群和临安种群间授粉结实率为 79.6%,平均每果实有 9.1 粒种子,平均每胚珠结实 0.75 粒。无论是结实率还是每个果实所结种子数均表明远交即不同种群间交配(临安种群和天台种群)具有显著的优势,但不同处理植株之间存在一定的差异,这可能是由于不同植株发育程度存在差别导致;混合授粉 1 和混合授粉 2 分别介于异花和异株与远交之间,可能是由于授粉后在不同来源的花粉在柱头上的竞争导致。因此,从人为控制不同交配方式的结实情况来看,用含有天台种群的花粉进行授粉也就是具有较大地理隔离、存在遗传分化的不同种群之间进行交配存在较大

的优势,而直接套袋自交不结实,人工自交结实率较高表明具有一定的自交可能,这进一步验证夏蜡梅的交配系统为以异交为主的混合交配系统,具有一定的自交可能。

3 讨论

交配系统与植物种群的遗传组成、遗传结构、分布式样、基因流和环境适应能力等关系密切;是植物内部遗传机制和外部环境相互作用的一种表现形式,在决定植物的进化路线和表征变异上起着重要作用^[22]。植物自交虽然具有很多益处,例如占据新的生境、克服传粉媒介的短缺、实现繁殖保障、有利于植物种群的局部适应等,但是长期自交引起的近交衰退会导致后代适应性下降^[23]。近交衰退是植物交配系统进化的主要选择压力之一,植物或者形成适应近交的机制,或者通过避免近交来防止近交衰退。要避免近交衰退的影响,一是形成克服近交衰退的机制;二是在交配系统中避免自交和(或)近交,如雌雄异株、雌雄异熟、左右花柱、花柱异长和自交不亲和等^[12],其中雌雄异株和自交不亲和是专性远交机制,而其他机制由于具有一定程度的雌性和雄性重叠,因而存在一定程度的自交比例^[23]。按Cruden^[20]的标准以 P/O 来评价夏蜡梅的交配系统为专性异交;而按照Dafni^[21]的标准根据 O/C 其交配系统为兼性异交,具有一定的自交可能,需要传粉者。人工控制交配实验显示,夏蜡梅套袋自交不结实,而人工辅助自花授粉具有较高结实率,说明其具有保障繁殖成功的自交亲和机制;去雄后能少量结实,人工辅助同株异花和异株异花授粉具有较高结实率,远交具有最高的结实率;进一步表明夏蜡梅为避免近(自)交衰退形成了以异交为主的交配系统,但仍存在一定程度的雌、雄性重叠,自交具有一定的亲和性。另外,在花部特征和花发育进程上,夏蜡梅雌蕊先熟,在柱头具有最强可授时期,雄蕊和退化雄蕊未裂且平展将柱头完全暴露(图1),利于异交。

由于夏蜡梅分布的狭域、星散以及种群规模变小,再加上人为干扰和破坏,使得各自隔离的小种群内遗传多样性降低,而种群间的遗传分化加剧^[2-4]。造成植物种群内遗传多样性下降的原因通常有自然选择、环境条件恶化和生境破坏、种群数量和有效规模下降、遗传漂变以及交配系统等;而自交和异交相对频率是植物种群遗传结构最重要的决定因素^[10]。近交衰退程度、交配机会和授粉成本是影响自交和异交程度的决定因素^[24],这些因素明显与种群大小和自身交配系统密切相关^[6]。种群变小直接导致交配对象减少,自交和近交机率明显增加^[25-26];同时,总的花粉供应量减少而使自交的机会增加^[27-28];同样,种群变小则邻近个体提供花粉的优势更显著^[29]。因而种群变小直接和间接地导致自交或近交机率增加,对于稀有的或分布区狭窄的物种,虽然实现了一定程度的繁殖保障,却导致种群遗传多样性的丧失,最终会失去生存和发展的基础^[11, 30-32];

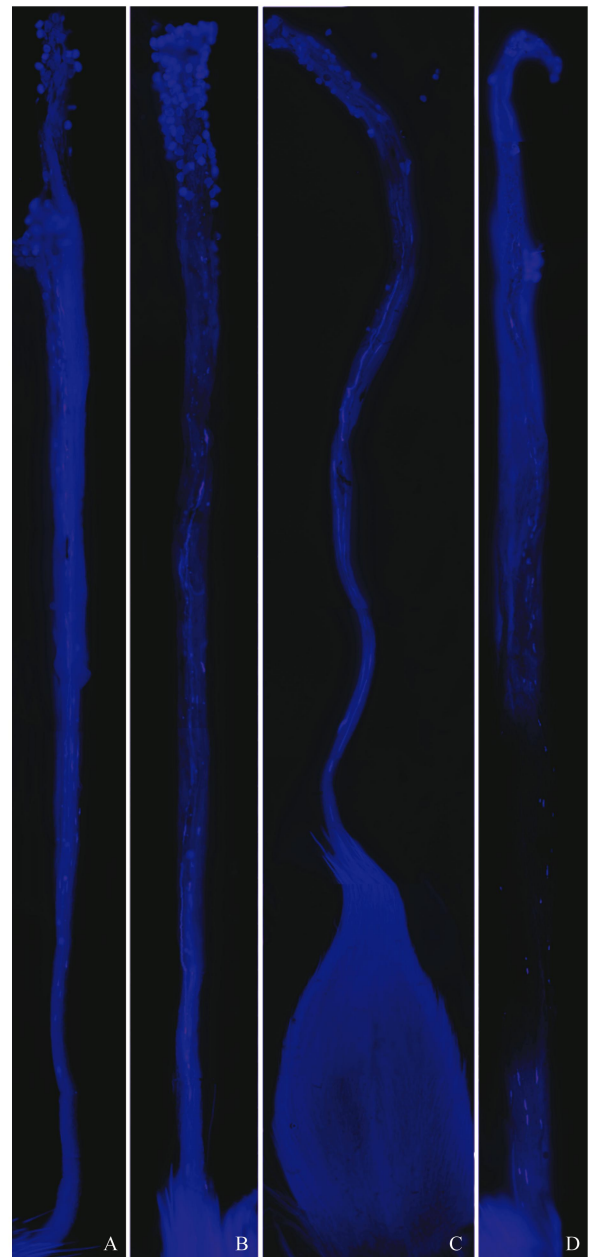


图3 远交交配花粉管生长情况

Fig. 3 Pollen tube growth in Lin'an pop. by outbreeding pollination with the pollens of Tiantai pop

A-D 分别为授粉 6h、12h、24h 和 2d

前人在很多植物如加拿大耬斗菜 *Aquilegia canadensis*^[33]、*Pachira quinata*^[34]、糖槭 *Acer saccharum*^[35] 等植物小种群的交配系统研究中得到了相似结果。夏蜡梅种群内遗传多样性降低而种群间遗传分化加剧最重要或直接的原因是生境的破坏、种群规模变小而导致的自交或近交比例增加。在各自隔离的小种群内,为了实现繁殖保障,夏蜡梅邻近植株(近亲)交配的频率大大增加,造成杂合度的降低,从而导致后代遗传多样性下降;而种群间的基因流大大降低或隔绝,存在生殖隔离的种群间遗传分化加剧。

表 2 不同交配方式的结实率和结实性

Table 2 Seed sets of different hand-pollinated treatments												
处理 Treatments	DMS2		DMS7		DMS8		DMS9		DMS10		平均 Average	
	结实率/%	种子数/粒	结实率/%	种子数/粒	结实率/%	种子数/粒	结实率/%	种子数/粒	结实率/%	种子数/粒	结实率/%	种子数/粒
	Seed set	No. of seeds	Seed set	No. of seeds	Seed set	No. of seeds	Seed set	No. of seeds	Seed set	No. of seeds	Seed set	No. of seeds
自然 Natural pollination	36.4	3.3	60.0	7.9	20.0	4.3	12.5	2.5	20.0	6.7	29.8 ± 17.0def	4.9 ± 2.0c
去雄 Emasculation	0	0	10.0	1.0	25.0	6.5	0	0	0	0	7.0 ± 9.8fg	1.5 ± 2.5df
套袋自交 Bagging selfing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0g	0f
人工自花 Artificial selfing	—	—	48.3	5.5	53.3	6.0	50.0	7.5	46.7	6.3	49.6 ± 2.4bcd	6.3 ± 0.7bc
同株异花 Geitonogamy	18.2	3.5	7.7	10.0	31.3	5.9	32.9	7.1	7.7	7.0	19.6 ± 10.9efg	6.7 ± 2.1bc
异株 Xenogamous inbreeding	26.7	4.0	27.8	4.6	68.8	9.2	18.2	4.8	20.0	4.0	32.3 ± 18.6cde	5.3 ± 2.0bc
远交 Outbreeding	92.9	10.0	90.0	10.1	77.8	9.0	71.4	7.7	65.7	8.6	79.6 ± 10.4a	9.1 ± 0.9a
混合 1 Mixed pollination 1	50.0	7.0	15.4	5.5	80.0	10.0	92.3	7.8	37.5	6.2	55.0 ± 28.0bc	7.3 ± 1.6abc
混合 2 Mixed pollination 2	80.0	6.0	36.4	7.6	25.0	9.8	100.0	6.0	80.0	8.3	64.3 ± 28.6ab	7.5 ± 1.4ab

DMS2、DMS7、DMS8、DMS9 和 DMS10 分别代表不同的实验对象(植株)

通过人为控制交配实验发现,远交存在较大的优势,即存在生殖隔离的种群间进行交配具有优势;模拟自然传粉过程进行的混合授粉 1(天台种群和同株异花花粉混合)和混合授粉 2(天台种群和同种群异株花粉混合)相对于同株异花和异株异花而言,同样具有明显的优势。这表明天台种群花粉即远源花粉大大提高了结实率。虽混合授粉所获得的后代是自交后代或近交后代还是远交后代及其遗传多样性还有待进一步研究;但从结实率来看,远交及其混合花粉均能提高结实率即提高了繁殖后代的成功率,有利于种群遗传多样性的恢复,提高对环境的适应性,促进种群规模的恢复和扩大。因此,人为地加速不同种群间的基因流将有利于整个种群的恢复和遗传多样性的增加,从而起到保护整个种群甚至物种的作用;具体策略可以采用:一是人为将存在生殖隔离的种群间花粉进行混合授粉,二是将不同种群间的种子、幼苗或植株进行交叉种植,以促进自然异交,产生远交后代。这类措施对于其他一些种群数量较少、生境片段化、存在地理隔离、种群内遗传多样性较低种群间遗传分化的珍稀濒危植物的保护应该具有一定的参考价值。

References:

[1] Zhang R H, Liu H E. Wax Shrubs in World (Calycanthaceae). Beijing: China Science and Technology Press, 1998.

[2] Li J M, Jin Z X. High genetic differentiation revealed by RAPD analysis of narrowly endemic *Sinocalycanthus chinensis* Cheng et S. Y. Chang, an endangered species of China. Biochemical Systematics and Ecology, 2006, 34: 725-735.

[3] Zhou S L, Ye W G. The genetic diversity and conservation of *Sinocalycanthus chinensis*. Biodiversity Science, 2002, 10(1): 1-6.

[4] Jin Z X, Li J M. ISSR analysis on genetic diversity of endangered relic shrub *Sinocalycanthus chinensis*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007,

- 18(2): 247-253.
- [5] Chen X Y. Effects of habitat fragmentation on genetic structure of plant populations and implications for the biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 884-892.
- [6] Ye P Y, Dong S S, Lu B R, Chen J K, Song Z P. Mating system and genetic diversity in a small population of perennial wild rice *Oryza rufipogon*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 28(4): 1608-1615.
- [7] Frankham R, Ballou J D, Briscoe D A. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2002.
- [8] Kittelson P M, Maron J L. Outcrossing rate and inbreeding depression in the perennial yellow bush lupine, *Lupinus arboreus* (Fabaceae). *American Journal of Botany*, 2000, 87 (5): 652-660.
- [9] Neel M C. Conservation implications of the reproductive ecology of *Agalinis acuta* (Scrophulariaceae). *American Journal of Botany*, 2002, 89(6): 972-980.
- [10] Zhang D Y. The Evolution of Plant Life History and Reproductive Ecology. Beijing: Science Press, 2004.
- [11] Demauro M M. Relationship of breeding system to rarity in the lakeside Daisy (*Hymenoxys acaulis* var. *glabra*). *Conservation Biology*, 1993, 7: 542-550.
- [12] Chen X Y, Song Y C. Mating system and inferred inbreeding depression of a *Cyclobalanopsis glauca* population in Diaojiao, Huangshan. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 462-468.
- [13] McCall C, Waller D M, Mitchell-Olds T. Effects of serial inbreeding on fitness components in *Impatiens capensis*. *Evolution*, 1994, 48: 818-827.
- [14] Cheptou P O, Berger A, Blanchard A, Collin C, Escarre J. The effects of drought stress on inbreeding depression in four populations of the Mediterranean outcrossing plant *Crepis sancta* (Asteraceae). *Heredity*, 2000, 85: 294-302.
- [15] Zhao H B, Zhou L H, Hao R M. Flower development and pistil receptivity in *Sinocalycanthus chinensis* and *Calycanthus floridus* var. *oblongifolius*. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2009, 26(3): 302-307.
- [16] Zhang W B, Jin Z X. Flowering phenology and pollination success of an endangered plant *Sinocalycanthus chinensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 4037-4046.
- [17] Zhang W B, Jin Z X. Floral syndrome and breeding system of endangered plant *Sinocalycanthus chinensis*. *Journal of Zhejiang University: Science Edition*, 2009, 36(2): 204-210.
- [18] Zhou L H, Hao R M, Zhao H B. Pollen viability test of *Chimonanthus praecox*. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2006, 23(3): 270-274.
- [19] Zhou L H, Hao R M, Wu J Z. The Pollination Biology of *Chimonanthus praecox* (L.) Link (Calycanthaceae). *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(2): 323-327.
- [20] Cruden R W. Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*, 1977, 31: 32-46.
- [21] Dafni A. Pollination Ecology: a Practical Approach. Oxford: Oxford University Press, 1992: 1-57.
- [22] Grant V. Plant Speciation. 2nd ed. NewYork: Columbia University Press, 1981.
- [23] 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): 986-993.
- [24] Schemske D W, Lande R. The evolution of self-fertilization and inbreeding depression in plants. II Empirical observations. *Evolution*, 1985, 39(1): 41-52.
- [25] Surles S E, Hamrick J L, Bongarten B C. Mating systems in open-pollinated families of black locust (*Robinia pseudoacacia*). *Silvae Genetica*, 1990, 39(1): 35-40.
- [26] Kercher S M, Sytsma K J. Genetic and morphological variation in populations of the rare prairie annual *Agalinis skinneriana* (Wood) Britton (Scrophulariaceae). *Natural Areas Journal*, 2000, 20: 166-175.
- [27] Larson B M H, Barrett S C H. A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2000, 69(4): 503-520.
- [28] Koenig W D, Ashley M V. Is pollen limited? The answer is blowing in the wind? *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(4): 157-159.
- [29] Smouse P E, Meagher T R, Kobak C J. Parentage analysis in *Chamaelirium luteum* (L.) Gray (Liliaceae): why do some males have higher reproductive contributions? *Journal of Evolutionary Biology*, 1999, 12(6): 1069-1077.
- [30] Charlesworth B, Charlesworth D. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1987, 18: 237-268.
- [31] Holsinger K E. Pollination biology and the evolution of mating system in flowering plants. *Evolutionary Biology*, 1996, 29: 107-149.
- [32] Whitlock M C, David E M. Indirect measures of gene flow and migration: $F_{ST} \neq 1/(4Nm + 1)$. *Heredity*, 1999, 82: 117-125.
- [33] Routley M B, Eckert C G, Mavraganis K. Effect of population size on the mating system in a self-compatible, autogamous plant, *Aquilegia canadensis* (Ranunculaceae). *Heredity*, 1999, 82(5): 518-528.

- [34] Fuchs E J, Lobo J A, Quesada M. Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the tropical dry forest tree *Pachira quinata*. *Conservation Biology*, 2003, 17 (1): 149-157.
- [35] Gunter L E, Tuskan G A, Gunderson C A, Norby R J. Genetic variation and spatial structure in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) and implications for predicted global-scale environmental change. *Global Change Biology*, 2000, 6: 335-344.

参考文献:

- [1] 张若蕙, 刘洪涛. 世界蜡梅. 北京: 中国科学技术出版社, 1998.
- [3] 周世良, 叶文国. 夏蜡梅的遗传多样性及其保护. *生物多样性*, 2002, 10(1): 1-6.
- [4] 金则新, 李钧敏. 珍稀濒危植物夏蜡梅遗传多样性的 ISSR 分析. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 247-253.
- [5] 陈小勇. 生境片段化对植物种群遗传结构的影响及植物遗传多样性保护. *生态学报*, 2000, 20(5): 884-892.
- [6] 叶平扬, 董姗姗, 卢宝荣, 陈家宽, 宋志平. 普通野生稻小种群的交配系统与遗传多样性. *生态学报*, 2007, 28(4): 1608-1615.
- [10] 张大勇. 植物生活史进化和繁殖生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [12] 陈小勇, 宋永昌. 黄山钓桥青冈种群的交配系统与近交衰退. *生态学报*, 1997, 17(5): 462-468.
- [15] 赵宏波, 周莉花, 郝日明. 夏蜡梅和光叶红蜡梅花发育特性和柱头可授性. *浙江林学院学报*, 2009, 26 (3): 302-307.
- [16] 张文标, 金则新. 濒危植物夏蜡梅 (*Sinocalycanthus chinensis*) 的开花物候与传粉成功. *生态学报*, 2008, 28(8): 4037-4046.
- [17] 张文标, 金则新. 濒危植物夏蜡梅花部综合特征与繁育系统. *浙江大学学报(理学版)*, 2009, 36(2): 204-210.
- [18] 周莉花, 郝日明, 赵宏波. 蜡梅花粉活力检测方法筛选和保存活力观察. *浙江林学院学报*, 2006, 23(3): 270-274.
- [19] 周莉花, 郝日明, 吴建忠. 蜡梅传粉生物学研究. *园艺学报*, 2006, 33(2): 323-327.
- [23] 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): 986-993.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

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 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 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		

