

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

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 33 卷 第 19 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝桤柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蔺 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305231153

陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 吴文珊, 严菊媛, 刘燕. 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系. 生态学报, 2013, 33(19): 6058-6064.

Chen Y L, Sun L L, Wu L L, Wu W S, Yan J Y, Liu Y. The genetic evolutionary relationships of two *Eupristina* species on *Ficus altissima*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6058-6064.

高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系

陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 吴文珊*, 严菊媛, 刘 燕

(福建师范大学生命科学学院, 福建省发育与神经生物学重点实验室, 福州 350117)

摘要: 对生长在福州地区的高榕进行长期追踪观察, 发现高榕榕果内仅生活着 *Eupristina altissima* 和 *Eupristina* sp. 榕小蜂, 前者为高榕的传粉小蜂, 后者无传粉行为, 两者雌蜂之间在体色、触角、花粉袋和花粉刷等部位存在细微的差异, 而两者雄蜂之间无形态差异。通过克隆福建地区 5 个样地的高榕榕果内收集到的 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp. 榕小蜂, 以及细叶榕的传粉小蜂 *Eupristina verticillata* (外群) 的 Cytb 及 COI 基因, 并进行碱基组成及遗传距离分析, 用邻接法构建系统发育树, 分析两种榕小蜂群体之间的遗传进化关系, 结果显示: (1) 榕小蜂 COI 及 Cytb 序列碱基组成中 A+T 的含量 (Cytb 序列中 A+T=75.3%, COI 序列中 A+T=75.5%) 显著高于 G+C, 符合膜翅目昆虫线粒体基因碱基组成特征。 (2) 对两群体小蜂进行遗传距离分析显示, Cytb 序列中 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp. 群体内各样本之间的平均遗传距离分别为 0.0092 和 0.0030, 而 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp. 群体间的平均距离为 0.1588; COI 序列中 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp. 群体内各样本之间的平均遗传距离分别为 0.0065 和 0.0205, 而二者群体间的平均遗传距离为 0.1043, 表明两者群体间的遗传距离明显大于各自群体内各样本间的遗传距离。统计 GenBank 中下载的 6 个属 34 种榕小蜂 Cytb 序列的种间遗传距离为 0.0811—0.1723, 6 个属 28 种榕小蜂 COI 序列的种间遗传距离为 0.0939—0.1986。由此认为 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp. 之间的遗传距离差异已经达到了种间水平, 即 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp. 为两个不同的种。 (3) 在形态上, 两种小蜂的雌蜂之间有微小差异, 而二者雄蜂之间无差异, 但 Cytb 与 COI 序列分析结果一致表明: *E. altissima* 与 *Eupristina* sp. 雌蜂之间, 以及二者雌蜂之间的遗传距离均差异显著, 表明形态变异滞后于基因变异。雌蜂在表型上进化快于雄蜂, 可能是由于雌蜂羽化后从榕果出飞, 受到外界环境因素的影响较大, 且两种雌蜂在传粉功能上存在差异, 故二者之间的形态差异较大, 而雄蜂寿命短, 又终生生活在黑暗封闭、环境变化相对恒定的榕果内, 两种雄蜂在行为上不存在差异, 故二者表型变异较为缓慢。*E. altissima* 和 *Eupristina* sp. 小蜂对宿主的专一性不强, 在榕-蜂协同进化过程中, 可能发生宿主转移事件。

关键词: 高榕; 高榕传粉小蜂; DNA 条形码; 遗传结构; Cytb; COI

The genetic evolutionary relationships of two *Eupristina* species on *Ficus altissima*

CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, WU Wenshan*, YAN Juyuan, LIU Yan

Provincial Key Laboratory for Developmental Biology and Neurosciences, College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China

Abstract: We observed the habits of two *Eupristina* species living in *Ficus altissima*. Only two fig wasp species, *Eupristina altissima* and *Eupristina* sp., are found to be associated with the syconia of *Ficus altissima* around the Fuzhou area, China. The former wasp is the *Ficus altissima* pollinator, while the latter wasp does not have pollination behavior. Some subtle differences are found in females of both wasp species regarding body color, antennae, pollen pockets, comb of setae on the fore coxa. So far, no clear characters have been found to be used for distinguishing the males of these two wasp species. To better understand the genetic relationship between *E. altissima* and *Eupristina* sp., we cloned the mitochondrial Cytb and COI genes derived from both *E. altissima* and *Eupristina* sp. collected from five different locations in Fuzhou. *Eupristina verticillata*, the pollinator of *Ficus microcarpa*, was used as an outgroup control. We analyzed the base composition and genetic distance of the gene sequences and constructed a neighbor-joining phylogenetic tree to investigate the genetic

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31270440); 福建省科技厅重点项目 (2011N0014); 福建省高等学校学科带头人培养计划资助项目; 福建师范大学生命科学学院生物学拔尖生培养计划项目

收稿日期: 2013-05-23; **修订日期:** 2013-07-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuwenshan@126.com

evolutionary relationships. The data are summarized as follows: (1) The base composition of Cytb and COI show a high adenine (A) and thymine (T) bias (Cytb, A+T=75.3%; COI, A+T=75.5%), which pattern is consistent with the typical characteristics of mitochondrial gene sequences of hymenopteran. (2) Genetic distance analyses of two wasps groups show that the average distance of the Cytb sequence within each group of *E. altissima* and *Eupristina* sp. are 0.0092 and 0.0030, respectively, far beyond the average genetic distance between *E. altissima* and *Eupristina* sp. that is 0.1588; COI sequence analyses show that the average genetic distances within each group of *E. altissima* and *Eupristina* sp. are 0.0065 and 0.0205, respectively, although the average genetic distance between *E. altissima* and *Eupristina* sp. is 0.1043. Thus, the genetic distance between the two groups is significantly greater than that found within each respective group. Statistic analyses of the Cytb sequences derived from 6 genera and 34 species of wasps from GenBank show that the interspecies genetic distances of the Cytb sequence are between 0.0811 and 0.1723, and the interspecies genetic distances in the COI sequences derived from 6 genera and 28 species of wasps are between 0.0939 and 0.1986. These data suggest that the genetic distance between *E. altissima* and *Eupristina* sp. has reached to an interspecies difference level. Therefore, our molecular marker studies support the morphological characterization, namely *E. altissima* and *Eupristina* sp. are indeed two different species. (3) Only a slight difference is found in females between the two species regarding the morphological characteristics, and no tangible difference is found in the males. However, the data of genetic distances derived from Cytb and COI sequence analyses consistently show the significant differences between the two species regardless their genders. It is likely that the morphological differentiation lags behind the genetic differentiation and the female wasps may evolve faster than the male wasps in the phenotypic features. The females fly out from figs after the emergence, which may be significantly affected by environmental factors resulting in the morphological differentiation between the female wasps of the two species. In contrast, the male wasps of the two species live in the closed darkness syconia with constantly environment lifelong, thus, no behavior differentiation may occur along with the extremely slow events of phenotypic mutating. The host specificity of *E. altissima* and *Eupristina* sp. is not as stringent as previously assumed. The host switching events may have occurred during the fig-wasps co-evolution process.

Key Words: *Ficus altissima*; *Eupristina altissima*; DNA barcoding; genetic structure; Cytb; COI

高榕 (*Ficus altissima* Blume) 隶属于桑科榕属, 雌雄同株, 常绿乔木, 高可达 30m。榕果成对腋生, 椭圆状或卵圆形, 幼时包藏于早落的风帽状苞片内, 无柄, 成熟时红色或带黄色。高榕原产于印度、尼泊尔、缅甸、泰国、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾等地区, 在我国主要分布于海南、广西、四川、云南南部至中部等地^[1-2]。1981 年 Nair 等人首次报道了印度地区的高榕榕果中的传粉小蜂为 *Eupristina altissima*^[3], 但未发现 *Eupristina* sp. 的存在。引种到美国的佛罗里达州栽培的高榕, 其传粉小蜂亦为 *E. altissima*, 同样在该地的高榕榕果内未发现 *Eupristina* sp.^[4-6]。高榕在中国引种栽培的历史悠久, 在长江以南地区, 高榕作为行道树而广为栽培。2003 年谷海燕等发现云南西双版纳地区的高榕榕果内有 23 种非传粉小蜂, 以及两种传粉小蜂, *E. altissima* 和 *Eupristina* sp., 两者差异主要体现在体色和触角索节数量的不同^[7]; 2008 年彭艳琼等对这两种小蜂的传粉效率进行了比较, 发现 *Eupristina* sp. 几乎没有传粉能力, 在形态上 *Eupristina* sp. 无传粉小蜂所特有的花粉刷, 且花粉筐极度退化^[8]。目前未发现两种小蜂的雄蜂在形态上存在差异。本实验室自 2005 年至 2012 年间对生长在福建地区的高榕进行长期的追踪观察, 结果表明, 福建高榕榕果中只有两种小蜂, 即 *Eupristina altissima* 和 *Eupristina* sp., 而无其他种类的非传粉小蜂, 本实验拟利用分子标记技术, 揭示高榕榕果内这两个形态高度相似, 功能性行为迥异的小蜂种群之间的遗传进化关系。

2003 年, 加拿大的 Hebert 教授以鳞翅目昆虫为研究对象, 提出了用基因片段来区分物种的 DNA 条形码技术 (DNA barcoding)^[9]。DNA 条形码技术是用短的 DNA 片段对物种进行识别和鉴定的分子生物学技术。线粒体细胞色素 b (Cytb) 和细胞色素 c 氧化酶亚基 I (COI) 是广泛应用于动物物种鉴定的 DNA 条形码^[10-13]。线粒体 Cytb 与 COI 基因具有进化速度适中, 序列没有内含子, 很少存在插入和缺失的特点, 且在细胞内为多拷贝能很容易地利用引物扩增, 是进行物种鉴定的优秀标记基因^[14-15]。近年, Cytb 与 COI 基因被广泛运用于榕小蜂与榕树的系统演化^[16-17]、榕小蜂新种和隐种的发现^[18-20]、榕小蜂宿主特异性分析^[21-22] 及榕小蜂雄性多型鉴定^[23] 等的相关研究中。

本文通过克隆高榕榕果内的 *Eupristina altissima* 和 *Eupristina* sp. 榕小蜂, 以及细叶榕 (*Ficus microcarpa*) 榕果的传粉小蜂 *Eupristina verticillata* (外群) 的 COI 和 Cytb 基因, 并与通过 GenBank 下载的榕小蜂科 (Agaonidae) 榕小蜂的 COI 和 Cytb 序列进行系统发育树的构建, 探讨共存于高榕榕果内的两种榕小蜂之间的遗传关系, 并进一步推测它们可能的遗传进化模式。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验中所涉及的实验材料及采集样地见表 1。

表 1 实验材料、样本代码及采集样地
Table 1 Origin of the tested wasps materials

寄主 Ficus host	小蜂种类 Wasp Species	样本代码 Code	采集地 Sampling locality	Cytb 登录号 Accession Number	COI 登录号 Accession Number
高榕 <i>F. altissima</i>	<i>E. altissima</i> ♀	EupAlt1/1	福州白马河	KC593576	KC593557
		EupAlt1/2	福州金山	KC593578	KC593559
		EupAlt1/3	福州旗山	KC593580	KC593560
		EupAlt1/4	福建泉州	KC593581	KC593562
		EupAlt1/5	福州仓山	KC593583	—
	<i>E. altissima</i> ♂	MEupAlt1/1	福州白马河	KC593577	KC593558
		MEupAlt1/2	福州金山	KC593579	—
		MEupAlt1/3	福州旗山	KC593597	KC593561
		MEupAlt1/4	福建泉州	KC593582	—
		MEupAlt1/5	福州仓山	KC593584	KC593563
	<i>Eupristina</i> sp. ♀	EupSp1/1	福州白马河	KC593585	KC593564
		EupSp1/2	福州金山	KC593587	KC593566
		EupSp1/3	福州旗山	KC593589	KC593567
		EupSp1/4	福建泉州	KC593591	KC593568
		EupSp1/5	福州仓山	KC593593	KC593570
	<i>Eupristina</i> sp. ♂	MEupSp1/1	福州白马河	KC593586	KC593565
		MEupSp1/2	福州金山	KC593588	KC593574
		MEupSp1/3	福州旗山	KC593590	KC593575
		MEupSp1/4	福建泉州	KC593592	KC593569
		MEupSp1/5	福州仓山	KC593594	KC593571
细叶榕	<i>E. veriticillata</i> ♀	EupVer1/1	福州旗山	KC593595	KC593572
<i>F. microcarpa</i>	<i>E. veriticillata</i> ♂	MEupVer1/2	福州旗山 Qishan	KC593596	KC593573

“—”表示无此样本

1.2 实验方法

1.2.1 实验样本的采集与保存

将野外采集处于雄花期即将出蜂的高榕和细叶榕榕果带回到实验室,利用单果收蜂的方法^[24]收集榕小蜂。在解剖镜下,对出飞的雌蜂形态进行观察和鉴定,收集单个榕果内出飞的雌蜂为单一种类(*E. altissima* 与 *Eupristina* sp.两种小蜂仅存在一种)的榕果内的雌、雄蜂,分别存放在含 95%乙醇溶液的 1.5 mL 的离心管中,使小蜂迅速死亡,贴上标签,置于 4 ℃ 保存。为了保证保存液始终为高浓度的乙醇,在保存期间要定期更换乙醇。

1.2.2 基因组 DNA 的提取及目的基因的扩增

取 95%酒精下储存的榕小蜂样品用酚氯仿抽提法进行基因组 DNA 提取。对提取的基因组 DNA 进行目的片段的 PCR 扩增。扩增引物如下:

COI-F 5'CAACATTTATTTTGATTTTTTGG3'
COI-R 5'TCCAATGCACTAATCTGCCATATTA3'
Cytb-F 5'TATGTACTACCATGAG GACAAATATC3'
Cytb-R 5'ATTACACCTCCTAATTTATTAGGAAT3'

COI 基因扩增条件为:94 ℃ 预变性 3 min;94 ℃ 变性 30 s,54℃ 退火 30 s,72℃ 延伸 40 s(34 个循环);72 ℃ 延伸 7 min。Cytb 基因扩增条件为:94 ℃ 预变性 4 min;94 ℃ 变性 30 s,57 ℃ 退火 60 s,72 ℃ 延伸 60 s(35 个循环);72 ℃ 延伸 5 min。

对 PCR 扩增的产物直接进行测序,所有 PCR 产物均送至生工生物公司进行测序。将测序所得序列上传 GenBank 上。

1.2.3 序列比对和系统发育树的建立

测序结果利用 CLUSTAL X 1.83 进行序列比对,BioEdit 3.3 校正比对结果,用 MEGA4.0 软件进行实验样本序列间的碱基替

换机碱基组成分析,并用 Mega4.0 软件中的邻接(Neighbor-Joining NJ)法对 COI 和 Cytb 序列建立系统发育树并进行分析。

2 结果

2.1 Cytb 与 COI 基因序列分析

2.1.1 Cytb 基因片段碱基组成分析

采用 Mega4.0 软件,对 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp.小蜂(20 个样本)校准后的 371 bp 序列进行碱基组成分析,结果表明:Cytb 基因序列中,不变位点 317 个,变异位点 52 个,简约信息位点 47 个,自裔位点 5 个,变异性为 14.0%。

T,C,A,G 四种碱基的平均含量分别为 41.5%,14.9%,33.8%,9.8%,A+T 的含量为 75.3%,而 G+C 的含量为 24.7%,A+T 的相对含量明显高于 G+C 的含量,这是膜翅目昆虫线粒体基因序列的共同特点。

Cytb 密码子不同位点的核苷酸频率及碱基替换情况见表 2,由表 2 可知,在密码子的各个位点上 A+T 含量均偏高,尤其在第二位点上 A+T 的含量高达 85.4%,偏向最为明显,其中 T 的使用最为频繁达到 46.7%,反映出 Cyt b 基因在密码子使用上具有偏向性。*E. altissima* 和 *Eupristina* sp.小蜂的 Cytb 基因序列上核苷酸的转换数(si)大于颠换数(sv)。密码子第二位点的转换和颠换发生的频率明显高于第一、三位点。

表 2 Cytb 密码子不同位点的碱基频率及碱基替换
Table 2 Nucleotide frequency and substitution of Cytb coden in vary site

密码子位点 Codon sites	T	C	A	G	A+T	si	sv	R (si/sv)
第一位 First	41.4	19.2	32.0	7.4	73.4	1	3	0.5
第二位 Second	46.7	9.2	38.7	5.4	85.4	9	8	1.2
第三位 Third	36.1	16.3	30.7	16.8	66.8	3	1	3.1
总碱基频率 Total	41.5	14.9	33.8	9.8	75.3	13	11	1.2

2.1.2 COI 基因的碱基组成分析

用 Mega4.0 软件对 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp.小蜂(17 个样本)校准后的 501bp 序列进行碱基组成分析,结果表明:COI 基因序列中,不变位点 434 个,变异位点 60 个,简约信息位点 55 个,自裔位点 4 个,变异性为 12.0%,与 Cytb 序列的变异性(14.0%)相似。

A,T,G,C 的平均含量分别为 32.4%,43.0%,15.9%,8.7%,A+T 的含量为 75.5%,G+C 含量为 24.5%,A+T 的含量明显高于 G+C 的含量,符合膜翅目昆虫线粒体基因序列的共同特点。

COI 密码子不同位点的核苷酸频率及碱基替换统计见表 3,表中可知,与 Cytb 序列相似 COI 序列密码子的各个位点上 A+T 含量均偏高,第一位点 A+T 的含量为 85.3%,A+T 偏向尤为明显,其中 T 的使用最为频繁为 44.5%。说明 COI 基因在密码子使用上也具有偏向性。*E. altissima* 和 *Eupristina* sp.小蜂 COI 基因序列上核苷酸颠换数(sv)大于转换数(si)。密码子第一位点的转换和颠换发生的频率明显高于第二、三位点。

表 3 COI 密码子各碱基频率及碱基替换
Table 3 Nucleotide frequency and substitution of COI coden in vary site

密码子位点 Codon sites	T	C	A	G	A+T	si	sv	R (si/sv)
第一位 First	44.5	3.0	40.8	10.0	85.3	6	13	0.5
第二位 Second	33.9	10.2	33.1	22.7	67.0	2	1	0.5
第三位 Third	50.4	12.8	23.7	13.2	74.1	1	3	0.6
总碱基频率 total	42.9	8.7	32.6	15.9	75.5	9	18	0.5

2.2 Cytb 及 COI 序列遗传距离分析

2.2.1 Cytb 基因遗传距离分析

用 Mega4.0 软件中对 *Eupristina* 属小蜂 Cytb 序列计算 K2P 遗传距离计算,结果表明:*E. altissima* 10 个样本之间的遗传距离为 0—0.0287,平均遗传距离为 0.0092;*Eupristina* sp. 10 个样本之间的的遗传距离为 0—0.0055,平均遗传距离为 0.0030,表明同种个体之间遗传距离差异小,而 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.之间的遗传距离为 0.1527—0.1678,平均距离为 0.1588,表明 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.之间的遗传距离明显大于它们各自个体之间的遗传距离。

E. altissima 雌蜂样本间的遗传距离为 0,雄蜂样本之间的遗传距离为 0.0000—0.0287,平均遗传距离为 0.0157;*Eupristina* sp.雌蜂样本中除了旗山采集的样本与别的样本之间的遗传距离为 0.0055,其余各样本之间的遗传距离都为 0;雄蜂样本中除了仓山采集的样本与别的样本之间的遗传距离为 0.0055,其余样本之间的距离都为 0。两种小蜂的雌蜂之间的遗传距离在 0.1582—0.1587 之间,平均遗传距离为 0.1586,两种雄蜂之间的遗传距离为 0.1527—0.1678,平均遗传距离为 0.1590,表明

*E.altissima*与 *Eupristina* sp.之间,雄蜂之间 Cytb 遗传距离大于雌蜂。

2.2.2 COI 基因遗传距离分析

用 Mega4.0 软件中对 *Eupristina* 属小蜂 COI 序列计算 K2P 遗传距离计算,结果表明;*E. altissima* 7 个样本之间的遗传距离为 0—0.0165,平均遗传距离为 0.0065;*Eupristina* sp. 10 个样本之间的的遗传距离为 0—0.0379,平均遗传距离为 0.0205,表明种内个体之间遗传距离差异较小,而 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.之间的遗传距离为 0.0940—0.1149,平均距离为 0.1043,表明 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.之间的遗传距离远远大于它们各自个体之间遗传距离。

E. altissima 雌蜂样本间的遗传距离为 0,雄蜂样本之间的遗传距离为 0.0020—0.0144,平均遗传距离为 0.0110;*Eupristina* sp.雌蜂样本之间的遗传距离为 0—0.0102,平均遗传距离为 0.0057,雄蜂样本之间的遗传距离为 0.0061—0.0252,平均遗传距离为 0.0139,表明种内雄蜂个体之间的遗传距离大于雌蜂。两小蜂的雌蜂之间的遗传距离在 0.1015—0.1042 之间,平均为 0.1036,两雄蜂之间的遗传距离为 0.0940—0.1149,平均遗传距离为 0.1052,表明 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp. 雄蜂之间的 COI 序列遗传距离大于雌蜂。

2.3 系统发育树的构建

从 GenBank 上下载 *Eupristina* 属和 *Blastophaga* 属(作为外群)榕小蜂的 Cytb 和 COI 序列(表 4),与实验样本一起构建系统发育树(图 1,图 2)。

表 4 GeneBank 中下载的相关榕小蜂序列
Table 4 Cytb and COI sequences of wasps download from GenBank

属名 Wasp genus	小蜂种类 Wasp species	代码 Code	样本数/ Cytb 登陆号 N / Accession number	样本数/ COI 登陆号 N / Accession number
<i>Eupristina</i>	<i>E. altissima</i>	EupAlt	1 GQ367994	1 FJ619220
	<i>Eupristina</i> . sp.	EupSp		2 FJ619232 FJ619230
	<i>E. koningsbergeri</i>	EupKon	6 FJ438102-FJ438107	1 GQ367924
	<i>E. verticillata</i>	EupVer	3 HQ890655 HQ890656 GQ368000	
	<i>E. cyclostigma</i>	EupCyc	1 GQ367995	1 FJ619221
<i>Blastophaga</i>	<i>B. quadrupes</i>	BlaQua		1 GQ367927
	<i>B. silvestriana</i>	BlaSil	1 GQ368004	
	<i>B. javana</i>	BlaJav	1 GQ368003	1 GQ367907
	<i>B. esquirolianae</i>	BlaEsq	1 GQ367996	1 GQ367901
	<i>B. psenes</i>	BlaPse		1 GQ367895

用 Mega4.0 软件对实验所得与 GenBank 中下载的榕小蜂 Cytb 与 COI 序列用 NJ(Neighbor-joining)法,同时用重复抽样 1000 次检验分子系统树各分支的置信值,建立系统发育树见图 1、图 2。图中显示,*E. altissima* 的各样本与 *Eupristina* sp.各样本各自汇聚成一支,显示出较近的亲缘关系。基于两种分子标记序列建立的系统发育树显示出相似的拓扑结构,*E. altissima* 与 *Eupristina* sp.榕小蜂个体先分别汇聚成一支然后两群体再汇聚到一起与该属的别的种类的小蜂汇聚,最后与外群 *Blastophaga* 属小蜂汇聚,这显示出两群体亲缘关系较近的同时两群体之间产生了变异。两个属及属内的各种小蜂都能够明显的区分开来,这说明 Cytb 与 COI 基因可以作为榕小蜂鉴别的分子标记。

3 讨论

3.1 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp.小蜂之间的分子遗传关系

本研究用线粒体 Cytb 及 COI 序列对福州地区高榕榕果内存在的 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.小蜂进行分析,Cytb 序列分析显示;*E. altissima* 和 *Eupristina* sp. 群体内各样本间的平均遗传距离分别为 0.0092 和 0.0030;而 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp. 群体间的平均距离为 0.1588,表明两者群体间的遗传距离明显大于各自群体内各样本间的遗传距离。统计 GenBank 中下载的 6 个属 34 种榕小蜂 Cytb 序列的种间遗传距离为 0.0811—0.1723,因此,Cytb 序列分析表明 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.为两个不同的种。COI 序列分析显示;*E. altissima* 7 个样本之间的平均遗传距离为 0.0065, *Eupristina* sp. 10 个样本之间的平均遗传距离为 0.0205;而二者之间的平均遗传距离为 0.1043,表明二者之间的遗传距离明显大于它们各自个体之间遗传距离。统计 GenBank 中下载的 6 个属 28 种榕小蜂 COI 序列的种间遗传距离为 0.0939—0.1986,表明 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp.之间的遗传距离差异已经达到了种间水平,因此,分子标记的实验结果支持形态标记的鉴定结果,即 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.为两个不同的种。由于同物种的不同个体间差异小,不存在地理差异,而同属不同种间遗传距离的差异明显,因此可以将本实验序列作为分析及鉴别 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.的依据。

3.2 雌、雄蜂进化速度分析

在形态上,*E. altissima* 与 *Eupristina* sp.的雌蜂之间有微小差异,而二者雄蜂之间无差异,但 Cytb 与 COI 序列分析结果一致

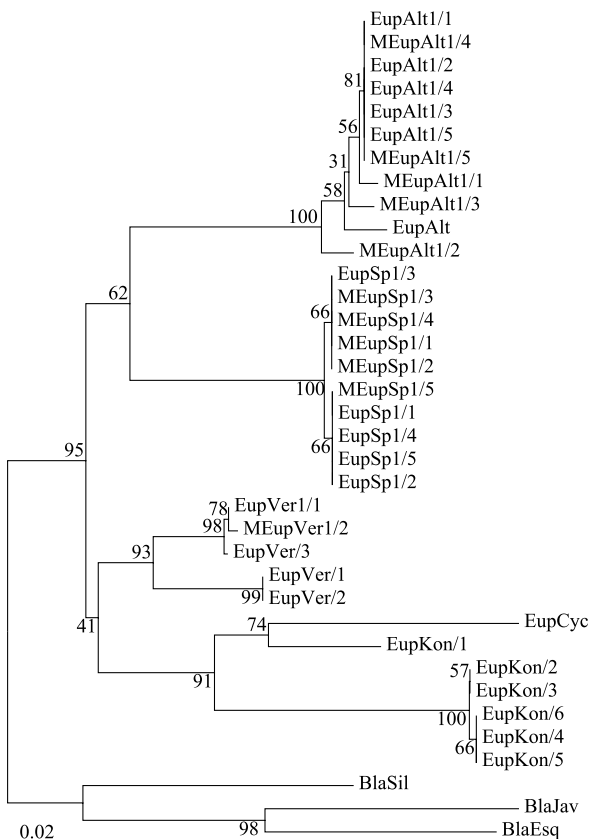


图1 邻接法构建的 *Eupristina* 属榕小蜂 Cytb 基因系统发育树
Fig.1 NJ dendrograms based on the Cyt b gene sequence of *Eupristina* fig wasps

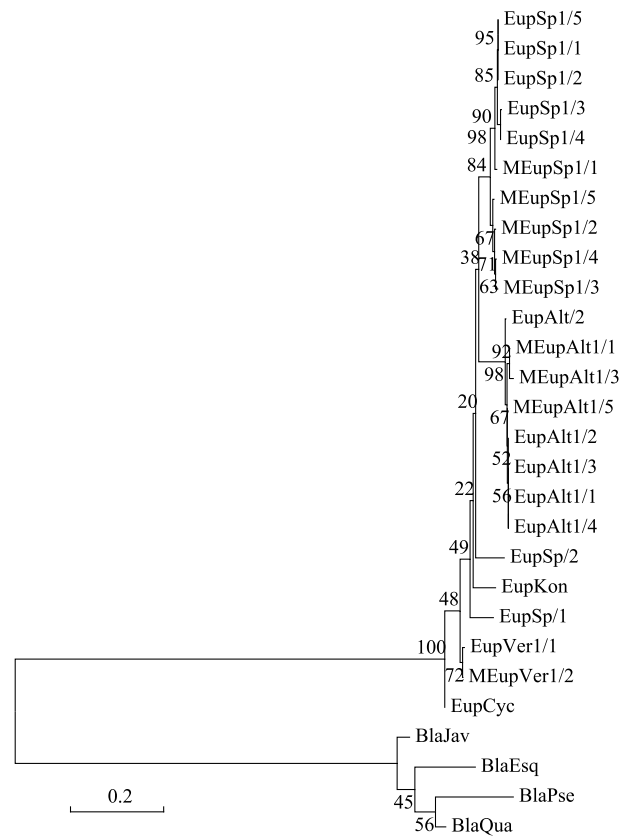


图2 邻接法构建的 *Eupristina* 属榕小蜂 COI 基因系统发育树
Fig.2 NJ dendrograms based on the COI gene sequence of *Eupristina* fig wasps

表明: *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.雄蜂之间的遗传距离与二者雌蜂之间的遗传距离接近,甚至略大于雌蜂。因此,仅比较 Cytb 与 COI 基因序列,雌、雄的进化速度是基本一致的,同时,也表明形态变异滞后于基因变异。雌蜂在表型上进化快于雄蜂,可能是由于雌蜂羽化后从榕果出飞,寻找雌花期榕果产卵,雌蜂在果外生活期间受到外界温度,湿度,光照等环境因素的影响较大,尤其在传粉行为上的差异,导致 *E. altissima* 与 *Eupristina* sp.雌蜂之间的形态发生变异,而雄蜂终生生活在黑暗封闭、温度和湿度都相对恒定的榕果内,且雄蜂羽化后存活寿命短。*E. altissima* 与 *Eupristina* sp.雄蜂之间生存周期、生活环境和活动行为的高度一致性,导致其表型变异极为缓慢。

3.3 两种小蜂可能的进化模式

段注标等对云南西双版纳地区高榕榕果中小蜂种群全年动态追踪观察结果表明,在4—7月间高榕的榕果只有 *Eupristina* sp.,未见 *E. altissima*,推测 *E. altissima* 小蜂可能发生了周期性的宿主转移的现象^[25]。本课题组从2005年到2012年对福州地区高榕榕果中小蜂种群全年动态追踪观察结果发现,每年3—7月份生长在福州地区的高榕榕果内没有 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp.小蜂,而在8月份两种小蜂又重新出现,还观察到在实验室内 *E. altissima* 小蜂快速进入聚果榕雌花期花序中(本实验室未发表数据),上述观察结果表明,两种小蜂对宿主的专一性不强,可能易发生宿主转移现象。由于 *E. altissima* 和 *Eupristina* sp.之间的形态极为相似,推测这两种小蜂早期可能是同一种蜂,在宿主转移过程中发生种群分化。可能性一, *Eupristina* sp.原本是一种传粉小蜂,其原宿主可能并不是高榕,由于原宿主灭绝, *Eupristina* sp.通过宿主转移成功定居于高榕榕果中,高榕专一性传粉小蜂 *E. altissima* 的存在保障了高榕的繁殖, *Eupristina* sp.逐渐丧失了传粉功能,尽管 *Eupristina* sp.不传粉,也没有因选择作用而被排斥,两种小蜂由于生活在同一个宿主内,在形态上发生了趋同进化,因而二者形态相似。另一种可能是,高榕的传粉小蜂 *E. altissima* 通过宿主转移定居于新宿主榕果中,由于新宿主原有的专一性传粉小蜂行传粉功能,保障了榕树的繁殖,使 *E. altissima* 小蜂在新宿主榕果内逐渐丧失了传粉功能,而逐渐演化成为“*Eupristina* sp.”。 *Eupristina* sp.可能既可寄生于新宿主榕树,也可寄生于原宿主高榕,其雌蜂因未行传粉作用,在形态上与传粉相关的结构退化或消失,而雄蜂的功能没有改变,故形态尚未变异。

致谢:感谢福建师范大学南方生物医学研究中心陈骐教授对本文写作的帮助。

References:

- [1] Hill D S. Figs (*Ficus* spp.) of Hong Kong. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1967.
- [2] Zhang X S, Wu Z Y, Cao Z Y. Flora of China. Vol. 23, No. 1. Beijing: Science Press, 1998: 95-97.
- [3] Nair P B, Joseph M, Abdurahiman U. New fig wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea) from *Ficus altissima*. Entomology (Proceedings C), 1981, 84 (2): 145-153.
- [4] McKey D. Population biology of figs: applications for conservation. Experientia, 1989, 45(7): 661-673.
- [5] Patel A, Hossaert-McKey M, McKey D. Ficus-pollinator research in India: past, present and future. Current Science, 1993, 65(3): 243-243.
- [6] Bouček Z. The genera of chalcidoid wasps from *Ficus* fruit in the New World. Journal of Natural History, 1993, 27(1): 173-217.
- [7] Gu H Y, Yang D R, Zhang G M, Peng Y Q, Song Q S. Species of fig wasps in *Ficus altissima* and their ecological characters. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(2): 70-73.
- [8] Peng Y Q, Duan Z B, Yang D R, Rasplus J Y. Co-occurrence of two *Eupristina* species on *Ficus altissima* in Xishuangbanna, SW China. Symbiosis, 2008, 45(1/3): 9-14.
- [9] Hebert P D N, Cywinska A, Ball S L, de Waard J R. Biological identifications through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society of London. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2003, 270(1512): 313-321.
- [10] Pestano J, Brown R P, Suárez N M, Báez M. Diversification of sympatric *Sapromyza* (Diptera: Lauxaniidae) from Madeira: six morphological species but only four mtDNA lineages. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2003, 27(3): 422-428.
- [11] Hebert P D, Penton E H, Burns J M, Janzen D H, Hallwachs W. Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astraptes fulgerator*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(41): 14812-14817.
- [12] Foster B T, Cognato A I, Gold R E. DNA-based identification of the eastern subterranean termite, *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). Journal of Economic Entomology, 2004, 97(1): 95-101.
- [13] Ward R D, Zemlak T S, Innes B H, Last P R, Hebert P D N. DNA barcoding Australia's fish species. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 360(1462): 1847-1857.
- [14] Cao X R, Shu F Y, Zhang X R, Bi C M, Li C J, Hu J, Fang J Y. Phylogenetic relationships of *Elaphodus Cephalophus* and three *Muntiacus* species revealed by mitochondrial cytochrome B nucleotide sequence. Acta Zoologica Sinica, 2002, 48(1): 44-49.
- [15] Xiao J H, Xiao H, Huang D W. DNA barcoding: new approach of biological taxonomy. Acta Zoologica Sinica, 2004, 50(5): 852-855.
- [16] Herre E A, Machado C A, Bermingham E, Nason J D, Windsor D M, McCafferty S S, van Houten W, Bachmann K. Molecular phylogenies of figs and their pollinator wasps. Journal of Biogeography, 1996, 23(4): 521-530.
- [17] Su Z H, Iino H, Nakamura K, Serrato A, Oyama K. Breakdown of the one-to-one rule in Mexican fig-wasp associations inferred by molecular phylogenetic analysis. Symbiosis, 2008, 45(1/3): 73-81.
- [18] Molbo D, Machado C A, Sevenster J G, Keller L, Herre E A. Cryptic species of fig-pollinating wasps: Implications for the evolution of the fig-wasp mutualism, sex allocation, and precision of adaptation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(10): 5867-5872.
- [19] Xiao J H, Wang N X, Li Y W, Murphy R W, Wan D G, Niu L M, Hu H Y, Fu Y G, Huang D W. Molecular approaches to identify cryptic species and polymorphic species within a complex community of fig wasps. PLoS One, 2010, 5(11): 1-7.
- [20] Zhou M J, Xiao J H, Bian S N, Li Y W, Niu L M, Hu H Y, Wu W S, Murphy R W, Huang D W. Molecular approaches identify known species, reveal cryptic species and verify host specificity of Chinese Philotrypesis (Hymenoptera: Pteromalidae). Molecular Ecology Resources, 2012, 12 (4): 598-606.
- [21] Li Y W, Zhou X, Feng G, Hu H Y, Niu L M, Hebert P D, Huang D W. COI and ITS2 sequences delimit species, reveal cryptic taxa and host specificity of fig-associated *Sycophila* (Hymenoptera, Eurytomidae). Molecular Ecology Resources, 2010, 10(1): 31-40.
- [22] McLeish M J, Van Noort S. Codivergence and multiple host species use by fig wasp populations of the *Ficus* pollination mutualism. BMC Evolutionary Biology, 2012, 12(1): 1-12.
- [23] Jousset E, van Noort S, Greeff J M. Labile male morphology and intraspecific male polymorphism in the *Philotrypesis* fig wasps. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2004, 33(3): 706-718.
- [24] Wu W S, Chen Y L, Wu X G, Zhang Y J, Zheng C F. Chalcid wasps on *Ficus virens* Ait. Var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou. Journal of Environmental Entomology, 2012, 34(1): 57-62.
- [25] Duan B Z, Peng Y Q, Yang D R, Xu L. Fig wasp community in the syconia of *Ficus altissima*. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2589-2594.

参考文献:

- [2] 张秀实, 吴征镒, 曹子余. 中国植物志 (第二十三卷, 第一分册). 北京: 科学出版社, 1998: 95-97.
- [7] 谷海燕, 杨大荣, 张光明, 彭艳琼, 宋启示. 高榕隐头果内寄生蜂种类及生态学特征初步观察. 生态学杂志, 2003, 22(2): 70-73.
- [14] 曹祥荣, 束峰珏, 张锡然, 毕春明, 李朝军, 胡均, 方斐阳. 毛冠鹿与 3 种鹿属动物的线粒体细胞色素 b 的系统进化分析. 动物学报, 2002, 48(1): 44-49.
- [15] 肖金花, 肖晖, 黄大卫. 生物分类学的新动向——DNA 条形码. 动物学报, 2004, 50(5): 852-855.
- [24] 吴文珊, 陈友铃, 伍小刚, 张彦杰, 郑翠芳. 福州大叶榕隐头果内榕小蜂的分类. 环境昆虫学报, 2012, 34(1): 57-62.
- [25] 段柱标, 彭艳琼, 杨大荣, 徐磊. 高榕隐头果内小蜂群落的动态变化. 生态学报, 2005, 25(10): 2589-2594.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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		



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 90.00 元