

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 2012

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 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第12期 2012年6月 (半月刊)

目 次

河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例	孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征	张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
青岛市湿地生态网络评价与构建	傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例	叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态	王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响	何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系	姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价	邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应	朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险	赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系	张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
DEM 棚格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响	邱临静,郑粉莉, Yin Runsheng (3754)
粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响	郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例	陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例	林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例	王录仓,高 静 (3795)
太湖湖滨带生态系统健康评价	李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量	党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响	尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择	刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应	王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究	金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
不同径级油松径向生长对气候的响应	姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布	袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较	胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响	黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
基于氘示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究	孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性	张显强,曾建军,谌金吾,等 (3902)
含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响	陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
钝叶柃不同性别花的花部形态与传粉特征比较	王 苗,邓洪平,丁 博,等 (3921)
我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性	何奇瑾,周广胜 (3931)
烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响	樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)
专论与综述	
中国产业共生发展模式的国际比较及对策	石 磊,刘果果,郭思平 (3950)
研究简报	
吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化	张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
杨树人工林生态系统通量贡献区分析	金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目, 鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟, 鸯指雌鸟, 故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处, 雌雄偶居, 以植物性食物为主, 也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间, 雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中, 用干草和绒羽铺垫, 每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟, 中国传统文化又赋予它很多美好的寓意, 因此, 在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

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

DOI: 10.5846/stxb201108081162

王茜, 邓洪平, 丁博, 周光林. 钝叶柃不同性别花的花部形态与传粉特征比较. 生态学报, 2012, 32(12): 3921-3930.

Wang Q, Deng H P, Ding B, Zhou G L. Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in *Eurya obtusifolia*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3921-3930.

钝叶柃不同性别花的花部形态与传粉特征比较

王 茜¹, 邓洪平^{1,*}, 丁 博^{1,2}, 周光林¹

(1. 西南大学生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650201)

摘要: 据有关资料记载, 柃属(*Eurya* Thunb.)植物属于雌雄异株植物, 目前仅在柃木(*Eurya japonica* Thunb.)中有过两性花的报道。近年的调查发现, 钝叶柃(*Eurya obtusifolia* H. T. Chang)也有性别变异, 存在两性花。在其性别特征及功能研究的基础上, 进一步跟踪了钝叶柃的开花和传粉过程, 对不同性别花的花部形态和传粉特征进行了比较分析。在重庆市北碚区选取了4个样地, 测定了花部形态、花朵朝向、花粉活力、柱头可授性、花粉对水的耐受性、单花花粉量和单花泌蜜体积等形态和传粉相关指标, 并对其开花动态、传粉昆虫种类和昆虫传粉行为进行了仔细观察, 还进行了套袋试验。结果发现钝叶柃不同性别花的花部形态和传粉特征既有一些共同点, 又存在着明显差异, 性别变异株则呈现出雌雄植株间的过渡特征。钝叶柃是一种花期短, 花小而多, 开花同步性高的植物, 雌花和雄花色味相同。该植物的主要传粉方式为虫媒, 主要传粉者为两种蜜蜂科昆虫, 但风媒也在其传粉中起着一定作用。该植物不同性别花的主要差异有: 1) 雄花呈灯笼状, 花瓣不反卷, 雌花辐射状, 花瓣反卷; 2) 雄花较雌花大; 3) 雄花倾向于垂直朝下, 雌花倾向于斜向下朝向枝条末端; 4) 雌花寿命较雄花长。钝叶柃在开花和传粉上的许多特征都在一定程度上体现了其对雌雄异株性的适应。相应地, 传粉者在不同性别植株上的行为也存在一定差异。钝叶柃不同性别花在形态上的差异是其周围各种生物因素及非生物因素共同作用的结果, 其中传粉昆虫和雨水的选择可能在这些差异的塑造中起着重要作用。

关键词: 钝叶柃; 开花; 传粉; 性别差异; 生态适应性

Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in *Eurya obtusifolia*

WANG Qian¹, DENG Hongping^{1,*}, DING Bo^{1,2}, ZHOU Guanglin¹

1 Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Kunming 650201, China

Abstract: Flowering and pollination are important processes for reproduction of flowering plants, especially for the dioecious ones. Until now, flowering and pollination of *Eurya* plants have not been reported. Plants of this genus are described as dioecy in most of the literatures. Hermaphrodite flowers had only been reported in *Eurya japonica* Thunb.. In our recent study, gender variation was found in *Eurya obtusifolia* H. T. Chang, as well as hermaphrodite flowers. After primary investigation of its floral structure and function gender, floral morphology and pollination characteristics were studied in detail through field and lab. observation.

We set four plots in Beibei District, Chongqing (one plot at Xishanpin, three others at Jinyun Mountain). Indicators related to floral morphology and pollination, such as size of flower structures, flower orientation, pollen viability, stigma

基金项目: 重庆市重点科技项目(CSTC, 2008BB5256)

收稿日期: 2011-08-08; 修订日期: 2012-04-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: denghp@swu.edu.cn

receptivity, pollen resistance to water, pollen amount and nectar volume of a single flower, as well as flowering dynamics, the pollinator species, and the pollination behavior were observed or determined. The bagging experiments were also carried out at the same time. The findings were as below.

E. obtusifolia is a species with short florescence, small but massive blossoms and highly-synchronous flowering, the color and the smell of both sexes of which are the same. The pollination of this species is mainly entomophilous, which depend on two Apidae insects. Insect pollination is relatively dominating compared to wind pollination (anemophilous), which plays a tiny role.

The male and the female of *E. obtusifolia* have some similar characteristics, but also have many obvious differences in respect of the floral morphology and the pollination character. The main differences are as follows: 1) The male flower is lantern-like with non-reflexed petals, while the female flower is radial with reflexed petals. 2) The male possesses significantly bigger flowers compared to the male. 3) The flower apex of the males tends to vertically downwards, while which of the female tends to obliquely downward to the terminal of the branch. 4) The female flower lives longer than the male one. Accordingly, the pollinators behave differently on two sexes. The gender variant individuals present some transitional traits between the male and the female. For *E. obtusifolia*, many features on the flowering and the pollination reflect its adaptability to the dioecy sexual system to some extent.

Morphological differences between the male and the female of *E. obtusifolia* have been resulted from various biotic and abiotic factors in surrounding, of which, pollinator and rain selection might play important roles.

Key Words: *Eurya obtusifolia* H. T. Chang; flowering; pollination; sexual differences; ecological adaptability

柃属包含约130种植物,是山茶科(Theaceae)厚皮香亚科(Ternstroemoideae)中最大1属,分布于亚洲热带、亚热带及西南太平洋各岛屿^[1-3]。我国共83种(63种中国特有)^[3]。该属植物是重要的蜜粉源^[4],也是极具开发潜力的园林植物^[5-6]。但目前对本属的研究还较少,多限于经典分类及资源利用^[6]。本属植物具有稳定的雌雄异株性系统^[1,7-8],目前只在少数物种中发现性别变异现象(性别表达偏离于正常的雌株及雄株)^[9-12],且仅在柃木(*Eurya japonica* Thunb.)中报道过两性花^[10-12]。野外调查发现,缙云山的一些钝叶柃(*Eurya obtusifolia* H. T. Chang)具有性别变异现象。研究发现,正常的雌花和雄花具有稳定的结构,性别变异株上的花或是雄蕊数量减少,或是胚珠数量减少,或是雄蕊、雌蕊在形态上出现明显的退化。正常雌花、雄花具有各自正常的性功能,个别性别变异株上的某些花具有两性功能。开花、传粉是有花植物完成有性生殖的必要条件,对于两性器官分离的雌雄异株植物尤为重要。柃属植物中除少数能进行克隆生殖外^[13],多数仅具有性生殖。本文以北碚缙云山及西山坪的钝叶柃作为研究对象,对其开花及传粉特性进行了初步研究,并对性别间存在的各方面差异进行了比较分析,以期为深入研究该属植物的生殖适应机制及系统进化提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 研究地点

缙云山金果园3个样地:JOd(Jinguo Orchard-down, N 29°51'41", E 106°23'34", 海拔341 m), JOm(Jinguo Orchard-middle, N 29°51'39", E 106°23'37", 海拔375 m), 以及 JOu(Jinguo Orchard-up, N 29°51'34", E 106°23'41", 海拔412 m);西山坪一个样地:XSP(Xishanping, N 29°51'52", E 106°25'23", 海拔450 m)。其中 JOm 及 JOu 具性别变异株及正常雌雄异株个体, JOd 样地雌株、雄株及性别变异株的比例为 1:1.5:4.5, JOu 中为 1:0.5:1.25。JOd 及 XSP 样地中仅具正常雌雄异株个体, JOd 样地雌株与雄株的比例为 1:1.2, XSP 中为 1:1.11。

1.2 物种

据各种植物志记载,钝叶柃为雌雄异株^[1,7-8]。雌株花仅具雌蕊,无退化雄蕊;雄株花具10枚左右雄蕊,中央具1形态稳定的退化子房(半圆形突起)^[9]。初步研究发现缙云山具正常雌雄异株个体(包括雌株、雄

株)及性别变异株。雌株上仅具雌花;雄株上仅具雄花;性别变异株在性别表达上偏离于正常雌株及雄株:有的具有两性功能(具有两性花或同时具有雌花及雄花);有的仅具雌性功能,但具不同程度退化的雄蕊;有的仅具雄性功能,但不育雌蕊发育明显。若无特殊说明,本文所提雌花及雄花分别指正常雌株及雄株上的花。

1.3 花部形态及开花动态

对野外植株挂牌标记。取新鲜花枝于冰盒中保鲜,带回室内置于NikonSM21000体视镜下观察、拍照及测量。共获得6雌株(JOd、XSP各3株),4雄株(JOd、XSP各2株)及12性别变异株(JOm及JOu)上224朵花(完全开放,每株9—15朵)的13项形态数据。花粉及柱头形态于Phenix PH100光学显微镜下观察。

2011年2月10日至3月20日,每日对金果园3个样方中10株(3雌株,5雄株,2性别变异株)上338朵花(雌株136,雄株154,性别变异株48)观测、记录、拍照。并注意观察花形态、泌蜜及花的色味变化,花药及柱头的形态变化。以花瓣展开出现开口为开花标志,花瓣变黄或脱落为开花结束标志。共记录了254朵花(雌株97、雄株137、性别变异株20)从开始开花至开花结束的完整变化。注意记录每日天气状况、温度及湿度。

1.4 花朵朝向

每株上随机选取不同方位花共30朵,用量角器测量其中轴与铅垂线近地一侧的夹角。角度等于0°者为垂直朝下,大于90°者为朝上,0°至90°间者为斜向下。共随机测量了5雌株,6雄株及4性别变异株。

1.5 花粉活力及柱头可授性

用1%MTT水溶液检测花粉活力。被染成蓝色者为具活力花粉,不被染色者为不具活力花粉。花粉活力为被染色花粉的百分比。柱头可授性测定方法与花粉测定方法类似,具可授性的部分被染成蓝色^[14-15]。

1.6 花粉对水的耐受性检测

参考Mao等^[16]检测花粉对水耐受性的方法。9:00之前取当天开放花的新鲜花粉,分别于蒸馏水,无蔗糖花粉培养液,10%蔗糖花粉培养液及50%蔗糖花粉培养液中,于即时温度(10℃左右)下培养,每组3个重复。每隔一段时间,取出3滴于载玻片上,用1%MTT染色10 min,于显微镜下分别观察并计算染色率及萌发率。

1.7 花粉量测定

取将开放花,投入装有1 mL蒸馏水的1.5 mL离心管中,用镊子将花朵于液体中碾碎。置离心管于超声波清洗仪中处理30 min,使花粉从花药中分离并均匀分散于液体中。处理完成后,每管取10 μL于载玻片上记录花粉数量,重复5次,计算单花花粉量。

1.8 花蜜体积的测定

采用滤纸条法^[17]。于测量前一天吸干花蜜并对花枝套袋^[15],1 d后用1 mm宽滤纸条测量花蜜沾湿长度。以20%蔗糖溶液制作标准曲线,计算单花单日泌蜜量。

1.9 套袋及套网实验

于开花前对雌株及两性株分别进行3组处理^[18]:1)套硫酸纸袋,2)套80目尼龙网袋,3)仅标记不套袋。分别检测钝叶柃的无融合生殖情况,风媒传粉情况及自然结实率。于5月中旬果实发育但未成熟时统计结实率。由于钝叶柃花小且多,本试验对其枝条进行整枝套袋、套网^[18]。

1.10 传粉昆虫及传粉行为

于盛花期连续数日观察访花者类别及访花频率^[15]。采集访花者制成标本以备鉴定。摄像记录访花者的访花行为及访花时间^[19]。注意记录各时段温度、湿度及天气变化。

2 结果与分析

2.1 开花动态

2.1.1 种群开花概况

钝叶柃花蕾期长,头年10月就已出现花蕾。雌雄花形态在花蕾期就有明显差异:雌花花蕾较小,先端较

尖;雄花花蕾较大,先端较圆。这与包裹其内的雌蕊、雄蕊形态相适应。花期为翌年2—3月,一旦花期到来,短时间内全部开放,致使同株上几乎所有花同时呈现。花小而多,1株上可达数千甚至上万朵。花期短,十多天后迅速凋谢。开花时花瓣逐步展开,展开即散发香味,持续散香直至花期结束,不同性别植株香味相同。花期过后,雌花仅花瓣萎蔫、脱落,雄花自花梗基部一同脱落。某些具退化雌蕊的雄花(性别变异株上),花瓣先脱落,一段时间后留下的不育子房连同花梗一起脱落。

2011年,金果园种群的始花日为2月7日(雄花最先开放),2月16日进入开花高峰期,2月25日以后花朵迅速凋谢进入终花期。但有几株性别变异株的始花时间(2月20日左右)明显晚于其他个体。

2.1.2 雌株开花动态

雌花柱头在花蕾期就已开裂,但裂片不展开。开花过程中雌花花部形态的变化如图1A所示。开花第1天,雌花花瓣微展,露出柱头先端,此时花瓣与柱头处在同一高度;之后花瓣逐渐反卷,柱头裂片逐渐伸长并向外翻。花开放2—9 d(平均 (5.88 ± 0.12) d, Mean±ED, 下同),雌花才能完全展开。此时,雌花花瓣反卷,暴露柱头,子房基部开始分泌花蜜。单花单日泌蜜量约为 $2.65\ \mu\text{L}$ ($n=60$),持续分泌至开花结束。花开放7—18 d(即花寿命,平均 (13.35 ± 0.23) d)雌花花瓣开始萎蔫或脱落。

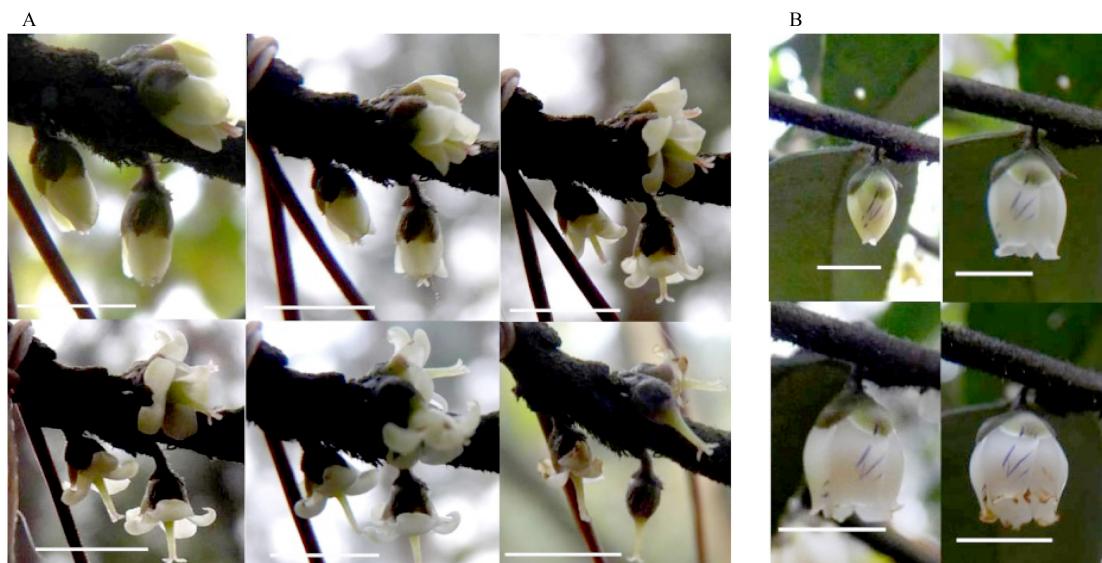


图1 开花过程中雌花及雄花的花部形态变化

Fig. 1 Change of floral morphology of female and male flowers during anthesis

A从左到右从上到下分别是开花第1、2、4、7、12、15天的雌花,B从左到右从上到下分别是开花1、3、6、8天的雄花,标尺均为5mm

柱头裂片表面具腺状突起,这些突起在柱头裂片伸长及反卷过程中逐渐发育完善。经检验,具腺状突起的部位与具可授性的部位一致。柱头可授性保持时间长,花瓣刚展开柱头裂片内侧就能检测出可授性,完全开放时可授性最强,裂片内外两侧均能检测出可授性。授粉后,部分腺状突起会变形,至柱头完全萎蔫。

2.1.3 雄株开花动态

花瓣展开前雄花花药就已经开裂。开花过程中,雄花花部形态的变化如图1B所示。开花第1天,花瓣稍稍张开,在先端形成一小孔。枝条颤动,花粉则可从小孔大量散出。经检测,花粉活力可达99%以上。这些花粉置于空气中,10 d后仍能保持活力50%以上。此后,花瓣逐渐开展,但不反卷,先端小孔逐渐扩大。完全开放的雄花呈灯笼状,5片花瓣相互重叠将雄蕊保护于其中,仅在先端形成一圆形开口。花开放1—2 d,雄花便可完全展开。花开放5—10 d(平均 (7.5 ± 0.13) d),雄花花瓣开始萎蔫,不久连同花梗一起脱落。

2.1.4 性别变异株开花动态

与雌花、雄花类似,性别变异株上的花在完全开放前也需在形态上经历一段逐步变化的过程。完全开放时则呈现出雌花、雄花间的过渡特征。但个体间差异较大,有的花瓣不反卷,类似雄花的灯笼形,但花瓣先端

分离程度比雄花更大。有的花瓣反卷,类似雌花露出其中花蕊,但反卷的程度不如雌花(图2)。其雌蕊或雄蕊若发育完善,变化动态与雌花或雄花一致。性别变异株大多能泌蜜,只要雌蕊在形态上稍有发育。性别变异株上花寿命为3—9 d(平均(6.45 ± 0.29)d)。

2.2 3种植株花形态比较

从表1所示13项形态指标(图3)来看,雄株花的整体大小及花瓣、花萼均明显大于雌株($P<0.05$),具体表现为:雄株花梗长约为雌株2.02倍,花长度约为雌株的1.35倍,花径约为雌株的1.13倍,花瓣长约为雌株的1.89倍,花瓣宽约为雌株的1.81倍,花萼长约为雌株的1.24倍,花萼宽约为雌株的1.42倍。性别变异株则介于两者间。

2.3 3种植株花朝向比较

对3种植植物花朝向的测量结果如表2所示,雄花倾向于垂直朝下,雌花倾向于斜向下朝向枝条末端。性别变异株在朝向上也具有雌雄株间的过渡特征,且个体间差异大,有的与雌株更接近,有的与雄株更接近。



图2 性别变异株上各种形态的花

Fig. 2 Various flowers on gender variant plants

左上植株仅具雄性功能,右上及左下植株仅具雌性功能,右下植株具两性功能,标尺为5mm

表1 不同性别植株的花部形态比较

Table 1 Comparison of floral morphology between gynoecious, androecious and gender variant plants (Mean+ED)

形态指标 Floral morphology	雌株 Gynoecious plants	雄株 Androecious plants	性别变异株 Gender variant plants
花梗长 Pedicel length/ μm	983.73 ± 33.05 a	1990.25 ± 64.60 c	1501.70 ± 39.39 b
花长 Flower length / μm	3289.28 ± 52.39 a	4452.58 ± 119.85 c	3526.71 ± 47.58 b
花径 Flower diameter/ μm	3609.42 ± 51.37 a	4094.20 ± 65.83 b	3932.36 ± 90.35 a
开口直径 Opening diameter/ μm	1435.70 ± 25.82 a	2687.20 ± 101.73 b	2541.73 ± 66.58 b
花瓣长 Petal length/ μm	2308.02 ± 26.48 a	4367.15 ± 95.51 c	3448.58 ± 38.94 b
花瓣宽 Petal width/ μm	1667.70 ± 25.12 a	3025.58 ± 54.61 c	2269.89 ± 33.58 b
花瓣长宽比 Petal length/ petal width	1.40 ± 0.02 a	1.45 ± 0.03 ab	1.54 ± 0.02 b
花萼长 Calyx length/ μm	1404.58 ± 36.33 a	1735.78 ± 52.10 b	1410.17 ± 23.79 a
花萼宽 Calyx width/ μm	1332.05 ± 22.11 a	1886.13 ± 59.87 c	1476.30 ± 21.30 b
花萼长宽比 Calyx length / calyx width	1.06 ± 0.03 b	0.95 ± 0.04 a	0.97 ± 0.02 ab
小苞片长 Bracteole length/ μm	469.58 ± 16.29 b	516.80 ± 19.70 b	381.41 ± 9.90 a
小苞片宽 Bracteole width/ μm	669.22 ± 19.10 ab	737.50 ± 26.73 b	622.00 ± 10.85 a
小苞片长宽比 Bracteole length/ bracteole width	0.71 ± 0.2 b	0.71 ± 0.2 b	0.62 ± 0.01 a

列间不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$

表2 不同性别植株的花朵朝向比较

Table 2 Comparison of flower orientation between gynoecious, androecious and gender variant plants

花朵朝向 Flower orientation	雌株 Gynoecious plants	雄株 Androecious plants	性别变异株 Gender variant plants
朝上 Upwards/%	1.35	1.1	0
垂直朝下 Vertically downwards /%	8.78	92.31	76.61
斜向下 Obliquely downwards /%	89.86	6.59	23.39

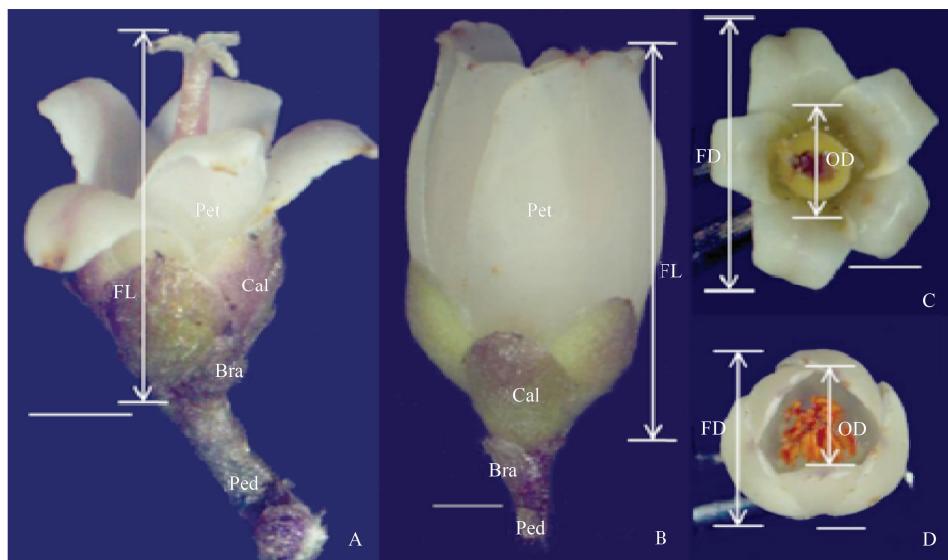


图3 雌花与雄花的结构与形态指标

Fig. 3 Floral structure of female and male flowers and the morphometric variables

A、C 雌花, B、D 雄花, FL(flower length)-花长, FD(flower diameter)-花径, OD(opening diameter)-开口直径, Pet(petal)-花瓣, Cal(calyx)-花萼, Bra(bracteole)-小苞片, Ped(pedicel)-花梗, 标尺为1mm

2.4 单花花粉量, 花粉形态及花粉对水的耐受性

钝叶柃雄花单花花粉量为(29268 ± 3735) 粒($n=70$)。性别变异株上多数雄蕊严重退化不产生花粉, 对1两性株上30朵花进行检测, 平均(4231 ± 1048) 粒/朵, 其中8朵无花粉, 但花粉多者也可达22880粒/朵。

钝叶柃花粉长椭圆形, 3孔沟, 外壁较光滑, 遇水膨胀成近圆形(图4)。花粉萌发实验表明, 钝叶柃花粉在蒸馏水中就能萌发(图4), 且具较高的萌发率; 在10%蔗糖花粉培养液中萌发率最高; 在50%蔗糖花粉培养液中不萌发; 在无蔗糖花粉培养液中有极少量花粉萌发(图5)。从不同溶液中染色率及萌发率的变化看, 花粉萌发后迅速失去活力(图5)。钝叶柃花粉在蒸馏水中易萌发, 失活快, 说明水对其具明显破坏作用。

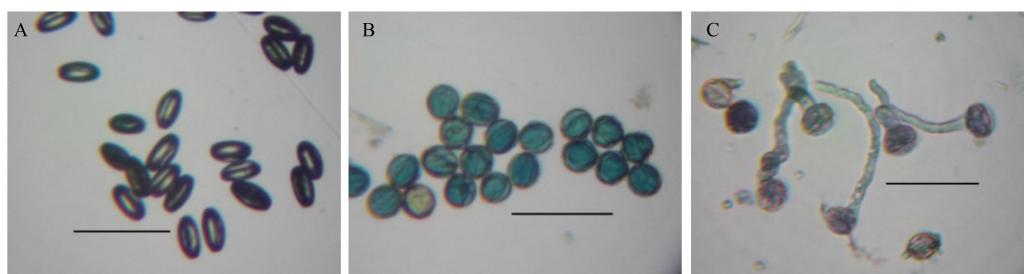


图4 不同状态下的钝叶柃花粉

Fig. 4 Pollen grains of *E. obtusifolia* in different conditions

A 干燥花粉, B 经 MTT 水溶液染色的花粉, C 蒸馏水中萌发的花粉, 标尺均为 $50\mu\text{m}$

2.5 传粉系统

2.5.1 套袋套网实验

自然传粉条件下, 雌株间结实率差异很大(表3), 高者可达90%, 低者不足15%, 平均结实率为54.75%, 较两性株(23.24%)大。雌株的套袋花朵均未结实说明钝叶柃不具无融合生殖, 两性株的套袋具有较低的结实率(9.55%), 说明两性钝叶柃个体可以实现自交。但属于花内自花授粉还是花间自花授粉还有待证实。套网者有较低的结实率(2.33%), 说明风媒传粉存在, 但作用微小。

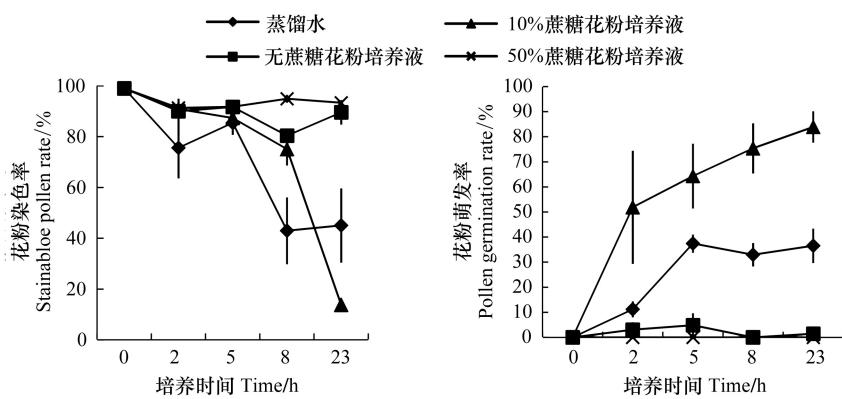


图 5 不同溶液中染色率及萌发率随时间变化的折线图

Fig. 5 Change of stainable pollen rate and pollen germination rate with time

表 3 钝叶柃不同处理下的结实率统计

Table 3 Fruit set of *Eurya obtusifolia* under different treatments

植株编号 Individual ID	样地 Site	性别 Sex	套袋		套网		自然传粉	
			Bagged with parchment paper		Bagged with nylon net		Natural pollination	
			结实率 Fruit set/%	花数 Flower number	结实率 Fruit set/%	花数 Flower number	结实率 Fruit set/%	花数 Flower number
J1	JOd	雌	0.00	41	24.39	82	69.42	216
J2	JOd	雌	0.00	100	0.00	48	77.42	185
J3	JOd	雌	0.00	24	0.00	23	90.36	83
J4	JOd	雌	0.00	41	-	0	64.08	94
J5	JOd	雌	0.00	320	0.00	164	64.18	192
X1	XSP	雌	0.00	114	0.26	268	15.03	315
X2	XSP	雌	0.00	116	1.28	173	16.08	232
X4	XSP	雌	0.00	66	0.00	31	83.04	112
X5	XSP	雌	0.00	178	0.00	184	51.62	340
X6	XSP	雌	0.00	142	2.08	48	55.63	382
X7	XSP	雌	0.00	61	0.00	55	14.14	211
X8	XSP	雌	0.00	74	0.00	44	95.54	104
X9	XSP	雌	0.00	73	0.00	51	15.19	79
平均结实率 Mean of fruit-set/%			0.00		2.33		54.75	
两性 j	JOm	两性	14.37	148	-	-	30.11	213
两性 s	JOm	两性	0.00	192	-	-	25.09	271
两性 k	JOu	两性	21.97	169	-	-	30.42	283
两性 l	JOu	两性	1.85	228	-	-	7.36	332
平均结实率 Mean of fruit-set/%			9.55		-	-	23.24	-

2.5.2 传粉昆虫及传粉行为

钝叶柃的访花昆虫类群多样。已观察到2种蜜蜂(蜜蜂科 Apidae),3种食蚜蝇(食蚜蝇科 Syrphidae),2种蝇(蝇科 Muscidae),1种天蛾(天蛾科 Sphingidae),1种叶甲(叶甲科 Chrysomelidae)及2种蚁(蚁科 Formicidae)。访花频率最高的为蜜蜂科的意大利蜂(*Apis mellifera*),平均(2.30 ± 0.25)只·min⁻¹·株⁻¹(n=96);其次是黑带食蚜蝇(*Episyrrhus balteatus*),平均(0.41 ± 0.11)只·min⁻¹·株⁻¹(n=96);再次是1种蝇及1种熊蜂,访花频率分别为 0.14 ± 0.03 只·min⁻¹·株⁻¹(n=96)及 (0.09 ± 0.03) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=96)。

钝叶柃以白色花瓣、香味、花粉(雄)及花蜜(雌)作为昆虫访花的诱物。昆虫访花时间在7:00左右至17:30左右,温度达10℃以上时,访花频率高,昆虫访花不断。温度低于10℃时,除熊蜂外,其它昆虫都很少

见。以上4种访花频率较高的昆虫在雌株、雄株及性别变异株上均出现,这是钝叶柃有效传粉的保证。

两种蜜蜂科昆虫行动敏捷,在雄株上采食、收集花粉,在雌株上吸食花蜜,为钝叶柃的主要传粉者(图6)。由于钝叶柃花腋生,访花时,它们以足抓住花瓣,倒挂于枝上(图6)。访问雄花时,两种蜂的单花访问时间有较大差异,受花粉量影响大。当天开放的花,花粉丰富,单花访问时间可达30 s以上。盛花期之后,多数时间则用在寻找花粉上,每花搜寻1—2 s既离开。访问雄花时,花粉掉落在其胸部。访问雌花时两种蜂多沿枝条,以爬行的方式连续访花,用吸管吸食花蜜,每朵花的访问时间约1—2 s,访花过程中昆虫的胸部与雌花柱头充分接触。性别变异株上,观察到的主要吸蜜行为。两种蜂在雄株上的访花频率均大于雌株。意大利蜂在雌株上的访花频率为 (2.55 ± 0.36) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=31),雄株上为 (3.55 ± 0.55) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=30),性别变异株上为 (0.5 ± 0.17) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=30)。熊蜂在雌株上的访花频率为 (0.01 ± 0.007) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=31),雄株上为 (0.12 ± 0.05) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=30),性别变异株上为 (0.13 ± 0.06) 只·min⁻¹·株⁻¹(n=30)。

食蚜蝇及蝇在雄株雌株中均出现,但仅观察到其吸蜜动作。它们出现在雄株可能是因为对性别的辨识力不高,被雌雄株间相同诱物所吸引。它们体表较光滑,携带花粉的能力不如两种蜂,在传粉中起一定作用。两者中黑带食蚜蝇具有较高的访花频率,但其行动较缓慢,在花间飞行的时间长,喜长时间停留在花、叶或枝上,传粉效率不高。蚁类吸食花蜜,其体型小,难与花药、花柱充分接触,身体光滑,不易携带花粉,行动缓慢难以有效转移花粉,为偷蜜者(图6)。天蛾仅观察到1次。叶甲在花上出现,但目的不明。

3 讨论

对于进行有性生殖的雌雄异株植物来说,雄株上的雄花花粉有效到达雌株上的雌花柱头是其完成有性生殖的重要保证。钝叶柃在开花和传粉上的诸多特性都体现了其对雌雄异株性系统的适应。钝叶柃主要依靠虫媒传粉,风媒传粉也起着微小作用。这种混合的传粉系统在黄花柳(*Salix caprea L.*)等其他雌雄异株的有花植物中也存在^[20]。研究指出,雌雄异株与风媒传粉有着紧密的联系^[20-23],甚至有人认为这种混合式的传粉系统是虫媒传粉向风媒传粉进化的过渡^[20]。

不同性别的钝叶柃具有一些共同特征。花期短,花小而多,开花同步性高。花期较短的物种往往产生许多同时开放的花。这有助于吸引昆虫,增加传粉,又不会像雌雄同花及雌雄同株异花植物那样有增加同株内异花授粉的顾虑^[24]。花多利于保证能有效授粉的花的数量。不同性别的花具有相同的颜色和香味,利于昆虫在两者间活动。其主要传粉昆虫在雌雄株上均出现,且都具较高的访花频率。这些传粉者(意大利蜂、熊蜂)对花的选择性不高,也为山莓(*Rubus corchorifolius L. f.*)、鼓子花(*Calystegia silvatica (Kitaib.) Griseb. subsp. orientalis Brummitt*)等形态颜色各异的植物传粉。但其他植物对钝叶柃传粉昆虫的竞争并不大,其是缙云山早春第一批开花的植物之一,与其花期重叠的植物少,几乎不存在Charlesworth^[25]所提的雄株花粉向雌株转移的障碍。

不同性别钝叶柃具有明显差异。1)雄花呈灯笼状,花瓣不反卷,将雄蕊保护于其内,雌花辐射状,花瓣反卷,暴露出柱头。这既能防止雨水对花粉的直接冲刷和对花粉活力造成的破坏,又利于昆虫在吸食花蜜时,使



图6 钝叶柃的访花昆虫

Fig. 6 Insect visitors of *E. obtusifolia*

左上为意大利蜂访问雌株,右上为熊蜂访问雄株,左下为意大利蜂访问雄株,右下为蚂蚁在雌株上偷蜜,标尺为5mm

其胸部携带的花粉与柱头充分接触,从而有利于授粉。2)雄花明显大于雌花。这一现象在许多雌雄异株植物中都存在^[26-28]。研究证明,昆虫的访花对雄性适合度的影响大于雌性适合度^[22,29]。雄花花冠大,利于吸引昆虫,昆虫访花频率越高,越有利于花粉输出。而只要花粉输出量充足,雌花接受一次访问便可完成受精。另外,从资源优化配置的角度来看,由于雌株在生殖上需比雄株投入更多的能量^[11],因此其尽可将花大小上的投入节约下来,用于果实及种子的孕育^[21,30]。3)雄花倾向于垂直朝下,雌花倾向于斜向下朝向枝条末端。这同样也可避免雨水对花粉的冲刷及对花粉活力造成的破坏。另外,访花昆虫需从开口处访花,雄花顶端向地,利于花粉掉落到传粉昆虫上,而雌花多斜向下朝向花枝末端,利于昆虫在花枝上连续爬行时对雌花高效授粉;4)雌花寿命长于雄花。多数雌雄异株植物都具有雌花寿命长于雄花这一规律^[24,31]。雌花寿命较长更能保证花朵接受花粉^[24]。

相应地,传粉昆虫的行为在雌雄株上也存在一定差异。它们在雄株上采食、收集花粉,在雌株上吸食花蜜,且在雄株上出现的频率稍高于雌株。这可能是由于雄花较大,但也与花数量,花香味,访花报酬等多种因素相关。雄株上高的访花频率可促进花粉的输出。

花是植物的生殖器官,其特征会对基因传递,种群基因结构及选择应答等造成影响,在进化中具有重要意义^[32]。传粉者选择被认为是塑造有花植物花特征的重要因素^[33-34],在性二态有花植物的花特征塑造上,同样起着重要作用^[33]。钝叶柃花在性别间的差异可能与昆虫选择有一定关系。在传粉昆虫的作用下,花大,垂直朝下,花瓣不反卷者更易输出花粉,花小,斜向下,花瓣反卷者更易接受花粉。另外还可能与雨水的选择有关。一直以来非生物因素对花特征的塑造作用常被忽略,近年来才逐渐受到重视^[35]。Huang 等^[36], Mao 等^[16], Wang 等^[35]先后研究了雨水对花朝向的影响。在雨水的选择压力下,花粉对雨水耐受性低的有花植物往往进化出保护花粉的特征^[16]。钝叶柃花粉活力易被水破坏,在雨水的选择压力下,具花粉的雄花逐步进化出了保护花粉的形态及着生方式(灯笼形,花朝下)。钝叶柃雌雄花形态上的差异,是其周围各种生物因素及非生物因素共同作用的结果,其中传粉昆虫和雨水的选择可能起着重要作用。

致谢:西南大学陶建平教授、四川农业大学操国兴副教授在论文撰写及修改过程中提供帮助,西南大学谢嗣光副教授在昆虫识别及鉴定上帮助,西南大学生命科学学院周莎,周凤,罗超,周彩华,秦凤等在野外观察记录及数据统计中提供帮助;西南大学外国语学院周莉翻译日文文献,特此致谢。

References:

- [1] Ling L K. Flora Reipublicae Popularis Sinicae Tomus 50(1). Beijing: Science Press, 1998.
- [2] Wu C C, Hsu Z F, Tsou C H. Phylogeny and taxonomy of *Eurya* (Ternstroemiacae) from Taiwan, as inferred from ITS sequence data. Botanical Studies, 2007, 48: 97-116.
- [3] Ming T L, Bartholomew B. Theaceae//Wu Z Y, Raven P H, Hong D Y, eds. Flora of China. Vol. 12. Beijing: Science Press, 2007.
- [4] Ma D F, Liang S K. The Nectar and Pollen Resource Plants in China and Their Utilization. Beijing: Agriculture Press, 1993.
- [5] Pan J. The Research of Rooting Mechanism in Three Species of *Eurya* Cuttings [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007.
- [6] Wang Y, Bao Z Y. Wild plant resources and landscape application prospects of *Eurya* in China. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(8): 118-122.
- [7] Xiong J H. Flora of Sichuan Volume 8. Sichuan: Sichuan Nationalities Publishing House, 1990.
- [8] Chen F H. Flora of Guangdong Volume 2. Guangdong: Guangdong Technological Press, 1991.
- [9] Ling L K. A revision of genus *Eurya* in China. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1966, 11(3): 263-342.
- [10] Murata H, Uchiyama H, Motomura M, Fujiwara M, Inada A, Nakanishi T, Murata J. Variation of sex expression and flower structure in a population of *Eurya japonica* Thunb. Journal of Japanese Botany, 1991, 66(4): 229-234.
- [11] Suzuki A A. Reproductive investment in male and female *Eurya japonica* (Theaceae) at tree and branch levels. American Journal of Botany, 2005, 92(12): 2003-2009.
- [12] Luna I, Ochoterena H. Phylogenetic relationships of the genera of Theaceae based on morphology. Cladistics, 2004, 20(3): 223-270.
- [13] Chung M G, Epperson B K. Clonal and spatial genetic structure in *Eurya emarginata* (Theaceae). Heredity, 2000, 84(2): 170-177.
- [14] Rodriguez-Riano T, Dafni A. A new procedure to assess pollen viability. Sexual Plant Reproduction, 2000, 12(4): 241-244.
- [15] Li Y Q, Zhang D X. Fly pollination of *Antidesma montanum* (Euphorbiaceae) in Hainan, China. Acta Phytotaxonomica Sinica, 2007, 45(2):

- 217-226.
- [16] Mao Y Y, Huang S Q. Pollen resistance to water in 80 angiosperm species: flower structures protect rain-susceptible pollen. *New Phytologist*, 2009, 183(3): 892-899.
- [17] Li Z D, Liu J X, Huang S Q. A comparison of several methods used in the field for nectar collection and concentration analysis. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2006, 44(3): 320-326.
- [18] Wang Y H, Shen S K, Shen G Z, Wang B Y, Hu X L, Wang M, Liu X Y. Pollination biology of endangered *Euryodendron excelsum*. *Journal of West China Forestry Science*, 2007, 36(4): 11-15.
- [19] Gong Y B, Huang S Q. On methodology of foraging behavior of pollinating insects. *Biodiversity Science*, 2007, 15(6): 576-583.
- [20] Culley T M, Weller S G, Sakai A K. The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends in Ecology and Evolution*, 2002, 17(8): 361-369.
- [21] Zhang D Y. *The Evolution of Life-History and Reproductive Ecology of Plants*. Beijing: Science Press, 2004.
- [22] Ashman T L. Pollinator selectivity and its implications for the evolution of dioecy and sexual dimorphism. *Ecological Society of America*, 2000, 81(9): 2577-2591.
- [23] Vamosi J C, Otto S P, Barrett S C H. Phylogenetic analysis of the ecological correlates of dioecy in angiosperms. *Journal of Evolutionary Biology*, 2003, 16(5): 1006-1018.
- [24] Rathcke B, Lacey E P. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1985, 16(1): 179-214.
- [25] Charlesworth D. Why are unisexual flowers associated with wind pollination and unspecialized pollinators? *The American Naturalist*, 1993, 141(3): 481-490.
- [26] Lloyd D G, Webb C J. Secondary sex characters in plants. *Botanical Review*, 1977, 43(2): 177-216.
- [27] Delph L F, Galloway L F, Stanton M L. Sexual dimorphism in flower size. *The American Naturalist*, 1996, 148(2): 299-320.
- [28] Obeso J R. The costs of reproduction in plants. *New Phytologist*, 2002, 155(3): 321-348.
- [29] Vaughton G, Ramsey M. Floral display, pollinator visitation and reproductive success in the dioecious perennial herb *Wurmbea dioica* (Liliaceae). *Oecologia*, 1998, 115(1/2): 93-101.
- [30] Miller J S, Venable D L. Floral morphometrics and the evolution of sexual dimorphism in *Lycium* (Solanaceae). *Evolution*, 2003, 57(1): 74-86.
- [31] Borkent C J. The Association of Fly Pollination and the Dioecious Breeding System in Flowering Plants: An Empirical Examination [D]. Calgary: University of Calgary, 2004.
- [32] Barrett S C H. Major evolutionary transitions in flowering plant reproduction: an overview. *International Journal of Plant Sciences*, 2008, 169(1): 1-5.
- [33] Ashman T L, Swetz J, Shultz S. Understanding the basis of pollinator selectivity in sexually dimorphic *Fragaria virginiana*. *Oikos*, 2000, 90(2): 347-356.
- [34] Harder L D, Barrett S C H. *Ecology and Evolution of Flowers*. New York: Oxford University Press, 2006.
- [35] Wang Y, Meng L L, Yang Y P, Duan Y W. Change in floral orientation in *Anisodus Luridus* (Solanaceae) protects pollen grains and facilitates development of fertilized ovules. *American Journal of Botany*, 2010, 97(10): 1618-1624.
- [36] Huang S Q, Takahashi Y, Dafni A. Why does the flower stalk of *Pulsatilla cernua* (Ranunculaceae) bend during anthesis? *American Journal of Botany*, 2002, 89(10): 1599-1603.

参考文献:

- [1] 林来官. 中国植物志 第五十卷 第一分册. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 马德风, 梁诗魁. 中国蜜粉源植物及其利用. 北京: 农业出版社, 1993.
- [5] 潘建. 三种柃属植物扦插生根机理研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [6] 王焱, 包志毅. 我国柃属植物种质资源及其园林应用前景. 林业科学, 2007, 43(8): 118-122.
- [7] 熊济华. 四川植物志 (第八卷). 四川: 四川民族出版社, 1990.
- [8] 陈封怀. 广东植物志 (第二卷). 广东: 广东科技出版社, 1991.
- [9] 林来官. 中国柃属植物的订正. 植物分类学报, 1966, 11(3): 263-342.
- [15] 李永泉, 张奠湘. 山地五月茶的蝇类传粉研究. 植物分类学报, 2007, 45(2): 217-226.
- [17] 李左栋, 刘静萱, 黄双全. 传粉生物学中几种花蜜采集和糖浓度测定方法的比较. 植物分类学报, 2006, 44(3): 320-326.
- [18] 王跃华, 申仕康, 申国柱, 王博轶, 胡晓立, 王敏, 刘湘永. 濒危植物猪血木的传粉生物学特性研究. 西部林业科学, 2007, 36(4): 11-15.
- [19] 龚燕兵, 黄双全. 传粉昆虫行为的研究方法探讨. 生物多样性, 2007, 15(6): 576-583.
- [21] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学. 北京: 科学出版社, 2004.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32 ,No. 12 June ,2012(Semimonthly)
CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Quanjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphor in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzi watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration; a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level; a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiupei, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathcartii</i>	YUAN Chunning, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Enmian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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:1000717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 1000717, China

印 刷 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

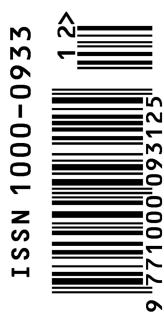
Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

订 购 国 外 发 行
全国各 地邮局
中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 1000717, China
Tel: (010) 64034563
E-mail: journal@cspg.net

广 告 经 营 许 可 证
京海工商广字第 8013 号

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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