

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                  |                      |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| 白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....                | 王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591) |
| 造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....                     | 夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)  |
| 图们江下游湿地生态系统健康评价.....                             | 朱卫红,郭艳丽,孙 鹏,等 (6609) |
| 适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....                         | 陈 展,林 波,尚 鹤,等 (6619) |
| 基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....                     | 梁 婕,蔡 青,郭生练,等 (6628) |
| 崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....                 | 章振亚,丁陈利,肖 明 (6636)   |
| 中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析..... | 赵兴云,李宝惠,王 建,等 (6647) |
| 甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....                      | 高福元,赵成章 (6661)       |
| 川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....              | 谭 波,吴福忠,杨万勤,等 (6670) |
| 模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....                       | 邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679) |
| 苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....                            | 高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688) |
| 拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....                    | 郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695) |
| 落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....          | 苏冬雪,王文杰,邱 岭,等 (6705) |
| 人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....              | 张永宽,陶 冶,刘会良,等 (6715) |
| 山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....           | 王 强,袁兴中,刘 红 (6726)   |
| 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....               | 吴忠鑫,张 磊,张秀梅,等 (6737) |
| 北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....                         | 杨 青,王真良,樊景凤,等 (6747) |
| 鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....                           | 蒙古军,朱利凯,杨 倩,等 (6755) |
| 村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....                      | 高 虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)  |
| 不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....                      | 赵雪雁 (6776)           |
| 两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....                         | 张 霞,李占斌,张振文,等 (6788) |
| 四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....                            | 黄宝强,寇 勇,安德军 (6795)   |
| 硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....                        | 杨 扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803) |
| 新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....                         | 邓丽娟,娄 恺,曾 军,等 (6811) |
| 白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....                     | 赵玉娟,李凤超,张 强,等 (6819) |
| 双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....                       | 陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)   |
| 孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....                     | 曹梦洁,祝 思,蔡若茹,等 (6836) |
| 黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....                         | 李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842) |
| 互惠-寄生耦合系统的稳定性.....                               | 高 磊,杨 燕,贺军州,等 (6848) |
| 超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....                        | 谭周进,吴 海,刘富林,等 (6856) |
| <b>专论与综述</b>                                     |                      |
| 氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....                            | 陈 浩,莫江明,张 炜,等 (6864) |
| 全球 $\text{CO}_2$ 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....      | 赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880) |
| 跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....                      | 石龙宇,李 杜,陈 蕾,等 (6892) |
| <b>研究简报</b>                                      |                      |
| 会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....                       | 康文星,熊振湘,何介南,等 (6901) |
| 退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....                    | 任 珩,赵成章,高福元,等 (6909) |

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 326 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-11



**封面图说:** 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

**彩图提供:** 王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI: 10.5846/stxb201109301441

黄宝强,寇勇,安德军. 四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征. 生态学报, 2012, 32(21): 6795-6802.

Huang B Q, Kou Y, An D J. Pollination success of *Phaius delavayi* in Huanglong Valley, Sichuan. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6795-6802.

## 四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征

黄宝强<sup>1,\*</sup>, 寇 勇<sup>2</sup>, 安德军<sup>2</sup>

(1. 南昌工程学院, 南昌 330099; 2. 四川省黄龙国家级风景名胜区管理局, 黄龙 624000)

**摘要:**少花鹤顶兰(*Phaius delavayi*)是多年生、多次结实的具有克隆能力的地生兰科植物,是中国特有种。目前少花鹤顶兰开花物候、花寿命、繁殖成功等生物学特征尚不清楚,而这些资料是开展少花鹤顶兰进化和保护生物学研究的基础。利用 2005—2007 年四川黄龙沟少花鹤顶兰的调查数据,对少花鹤顶兰繁殖成功特征进行了研究。结果表明黄龙沟少花鹤顶兰每个花序的平均花朵数为 3(1—7)朵。叶和花的形态指标在年季间无显著变异。2005—2007 年 3 年间的开花物候没有明显的差异,花期始于 6 月中旬,于 7 月底至 8 月初结束,持续约 6—7 周,80%—90% 的花在 7 月初的开花高峰期开放,属花集中开放模式。花寿命与是否授粉密切相关,成功授粉的花寿命比没有授粉的花寿命短。少花鹤顶兰是自交亲和的,但其结实完全依赖于两种熊蜂的传粉,不存在自动自花授粉和无融合生殖现象。柱头可授性和花粉活力可维持 15 d 左右。繁殖成功率年季间的变化很大,并表现出逐年下降的趋势,花粉移走率为 18%—51%,自然结实率为 10%—36%。繁殖成功下降的趋势可能与黄龙沟喷洒农药有关。

**关键词:**少花鹤顶兰;开花物候;花粉移走率;结实率;繁育系统;保护

## Pollination success of *Phaius delavayi* in Huanglong Valley, Sichuan

HUANG Baoqiang<sup>1,\*</sup>, KOU Yong<sup>2</sup>, AN Dejun<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nan Chang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330099, China

<sup>2</sup> Huanglong Administration of National Scenic Spot, Huanglong, Sichuan 624000, China

**Abstract:** *Phaius delavayi* is a long-lived, polycarpic, pseudobulbous clonal orchid species and is endemic to China. Generally, the flower phenology, flower life span, and pollination success are important features for plant species evolution and conservation. Those features in *Phaius delavayi* were studied detailed in 2005—2007 in Huanglong Valley, Sichuan.

The results showed that the plants have 3 or 4 leaves, and the largest leaf were 16.9—17.5 cm long, 4.8—4.9 cm wide. The inflorescence is sparsely 1—7-flowered (with mean 3), exceeding height of leaves, 18.4—19.5 cm. Flowers widely opening, with 1.9—2.2 cm long, 1.1 cm wide labellum, and 1.0—1.2 cm long spur. Length of the leaf and floral traits were not significant different, as well as flower phenology during three years. Fruits were 20.78 mm long, 8.10 mm wide, and 0.0424 g weight. The inflorescence growth began in mid May and last about 50 days, continued until early July. Flowering began in mid June and last about 6—7 weeks, continued until late July/early August, with 80%—90% flowers flowered in a peak time (last about 10 days) in early July.

Life span of inflorescences showed considerable variation among years, which were 23, 21, and 29 days for 2005, 2006, and 2007, respectively. The flower life span was closely correlated with pollination, that with successful pollination was 15—19 days, significantly shorter than that of flowers without pollination (17—22 days). Fruit maturity was in mid—latter September, and the leaves were yellow and withered.

The results of pollinia viability and stigma receptivity experiments showed that the flowers are self-compatible, but the

基金项目:国家自然科学基金项目(30770379);中国科学院重大创新项目(kzcx2-yw-414)

收稿日期:2011-09-30; 修订日期:2012-01-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hbq\_eric@163.com

reproductive success is strictly dependent on visitation by pollinia vectors (*Bombus hypnorum* and *B. lepidus*), and there is no autogamy and apogamy in this species.

The stigma has receptivity at the first day of flowering, and can last about 15 days, and lost receptivity completely 20 days after flowering. The fruit set was higher 1—10 days after flowering than that 15 days after flowering. The pollinia has also viability at the first day of flowering, and can last about 15 days, lost viability completely 20 days after flowering, but there was no differences in pollinia viability during one to 15 days. The lost of stigma receptivity was sharper than that of pollinia viability. The pollinia viability and stigma receptivity can last even to the flower withered.

Reproductive success showed considerable variation among years and was decline with year. The pollinia removal and nature fruit set were 18%—51% and 10%—36%, respectively, and spraying of pesticides in Huanglong Valley may play a role for the declination of pollination success.

**Key Words:** *Phaius delavayi*; flower phenology; pollinia removal; fruit set; breeding system; conservation

少花鹤顶兰 *Phaius delavayi* (Finet) P. J. Cribb & Perner, 分布于中国甘肃南部的天水 and 舟曲、四川的南川、南坪、宝兴、天全、泸定、康定和松潘以及云南南部至西部的洱源、云县、丽江等地<sup>[1]</sup>, 是一种长命的、能多次结实的、有克隆能力的植物, 为中国特有种。一般一个开花植株着生一个花序, 花序高度能达到 30 cm。每个花序上疏生 1—7 朵黄色的花, 唇瓣上有红色的斑点分布, 无花蜜分泌。每朵花有一个花药, 内含一个花粉块, 有 8 个花粉团<sup>[2]</sup>。过去有关少花鹤顶兰的研究很少, 只是在中国植物志上对该种的分布和形态特点有过简单的描述。最近, 李鹏等人对少花鹤顶兰的传粉生物学进行了研究<sup>[1]</sup>。到目前为止尚没有有关少花鹤顶兰开花物候、花寿命、繁殖成功等生物学特征方面的详细报道。而这些资料是研究珍稀植物种群结构和动态以及开展保育生物学研究基础<sup>[3-6]</sup>。

在通常情况下, 少花鹤顶兰花粉块仅具一个粘盘可以被传粉者一次成功的访问全部带走<sup>[1]</sup>。少花鹤顶兰花粉块这一特点, 使得很容易通过近距离的观察得出花粉块在花药中的有或无 (是否被带走), 花粉块的带走率可以作为雄性功能实现的间接测量指标<sup>[7-9]</sup>, 这是因为在有关兰科植物的研究中发现花粉块带走的比例与花粉被放置到柱头上的比例呈高度正相关关系<sup>[7,10]</sup>。而雌性繁殖成功可以通过计数果实的数量而获得。少花鹤顶兰花粉块的特点, 使得在本研究中可以同时检验雄性 (花粉移走率) 和雌性 (结实率) 功能的实现情况。本文综合 3a 年来在黄龙沟对少花鹤顶兰的调查数据, 对少花鹤顶兰的生物学特征, 特别是繁殖成功率及其特点进行定量描述, 以期今后进一步开展少花鹤顶兰的种群结构和变化动态以及保育生物学研究提供基础资料。

## 1 研究地概况

研究地位于四川省松潘县黄龙国家级自然保护区, 地理位置 103°44'—104°04'E, 32°39'—32°54'N, 是世界自然遗产地黄龙国家公园已开发的主要景区。海拔 3100—3350 m, 属典型的高原温带-亚寒带季风气候, 年平均降雨量 760 mm, 5—9 月的降雨量占全年的 70%—73%。土壤主要为钙华土及山地暗棕壤<sup>[11]</sup>。少花鹤顶兰主要分布于黄龙沟钙化滩流斑块状的植物群落中。主要乔木树种有黄果冷杉 (*Abies ernestii*)、岷江冷杉 (*Abies faxoniana*)、糙皮桦 (*Betula utilis*) 和落叶松 (*Larix potaninii*)。常见的灌木树种有四子柳 (*Salix tetrasperma*)、锥花小檗 (*Berberis aggregata*)、无柄杜鹃 (*Rhododendron watsonii*)、四川忍冬 (*Lonicera szechuanica*) 和花楸 (*Sorbus hupehensis*)。草本层主要植物有卵叶韭 (*Allium ovalifolium*)、红北极果 (*Arctous ruber*)、彭囊苔草 (*Carex lehmanii*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、龙胆 (*Gentiana scabra*)、圆穗蓼 (*Polygonum macrophyllum*) 以及兰科植物<sup>[12-13]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

2005—2007 年 5 月至 9 月在黄龙沟进行少花鹤顶兰数据调查。调查内容如下:

### (1) 形态特征与开花物候调查

2005、2006 和 2007 年分别随机标注了 270、615 和 2126 株植株。对每个试验的植株测量其最大叶的长度、叶片的最大宽度、开花的花朵数,花序的长度(花葶的自然长度)、唇瓣长、唇瓣宽以及距长。在开花期调查单花开花特性,即每朵花的开放时间和凋谢时间,并记录花粉是否带走。在果实成熟时记录结实的情况。2006 年采集了 173 个果实,用游标卡尺测量其长度和宽度(最大处),自然风干后带回实验室测量其重量。

### (2) 花序生长进程的调查

为掌握花序的生长特点,于 2006 年进行了花序生长进程的调查。在植株刚刚萌发时,随机标记 50 株有花序的植株,每 3 d 测量一次植株的高度直至生长末期。

### (3) 繁育系统试验

采用人工授粉的方法进行。试验于 2006 年和 2007 年进行。选取尚未开放的花朵(每个花序只选取最下部的 1—2 朵花用于实验,以避免可能存在的资源限制对结实带来的影响),用纱布做成的布袋套上,随机进行以下六个处理之一:1)对照即不作任何处理;2)自花授粉:花粉授到同一朵花的柱头;3)同株异花授粉,花粉取自同一花序上的另一朵花;4)异株异花授粉,花粉取自另一植株(最少 10 m 以外);5)去除唇瓣(验证是否存在自动自花授粉);6)去除花粉块和唇瓣(验证是否存在无融合生殖)。后 5 个处理套袋至花期结束。2006 年和 2007 年每个处理分别重复 20 次和 40 次。

### (4) 2007 年进行花粉活性和柱头可授性试验

**柱头可授性的检测** 选用开花天数分别为 1、5、10、15 和 20 d 的柱头,进行人工授粉,花粉均用至少 10 m 以外的 1—5 d 的花粉。每处理重复 20 次。

**花粉活性的检测** 花粉活性的检测采用不同时期的花粉进行人工授粉实验,将开花后 1、5、10、15 和 20 d 的花粉分别授到开花为 5 d 的柱头上(异交,花粉供体和受体之间至少相隔 10 m),比较不同处理之间的结实情况。每处理重复 20 次。

## 2.2 统计方法

雄性繁殖成功率(花粉移走率)定义为花序上花粉移走的花朵数/花朵总数 $\times 100\%$ ,雌性繁殖成功率(结实率)为结实个数/花朵总数 $\times 100\%$  [7,10]。

花粉带走率和结实率的检验用非参数检验,因为即使在进行数据转化的情况下,花粉带走率和结实率数据也不符合正态分布。年际间个体可能不是独立的,因此年际间形态特征和开花物候也用非参数检验。其他因子之间差异的检验用单因素方差分析。高生长过程用曲线参数方程进行拟合,利用复相关系数的大小来评判方程拟合的优劣。所有的计算都用 SPSS 11.5。

## 3 结果

### 3.1 形态特征

黄龙沟少花鹤顶兰花序的花朵数在 1—7 之间,平均 3 朵(表 1)。除 2005 年的花朵数比 2006 年的高外( $\chi^2$  检验, $\chi^2=0.153$ , $P=0.034$ ),叶和花的其他形态指标年度间的差异不显著( $\chi^2$  检验,所有的 $P>0.05$ ,

表 1 黄龙沟少花鹤顶兰叶和花形态特征(平均值 $\pm$ SE)

Table 1 Leaf and flower traits of *Phaius delavayi* in Huanglong valley (Mean $\pm$ SE)

| 年份<br>Year | 样本<br>n | 高度/cm<br>Height of<br>inflorescences | 叶 Leaf                                   |                                         |                       | 花 Flower                        |                                |                            |
|------------|---------|--------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|            |         |                                      | 最大叶长/cm<br>Length of the<br>largest leaf | 最大叶宽/cm<br>Width of the<br>largest leaf | 花朵数<br>No. of flowers | 唇瓣长/cm<br>Length of<br>labellum | 唇瓣宽/cm<br>Width of<br>labellum | 距长/cm<br>Length of<br>spur |
| 2005       | 270     | —                                    | —                                        | —                                       | 3.4 $\pm$ 0.03        | —                               | —                              | —                          |
| 2006       | 615     | 19.5 $\pm$ 0.2                       | 16.9 $\pm$ 0.1                           | 4.9 $\pm$ 0.05                          | 2.8 $\pm$ 0.04        | 1.9 $\pm$ 0.1                   | 1.1 $\pm$ 0.17                 | 1.0 $\pm$ 0.2              |
| 2007       | 2126    | 18.4 $\pm$ 0.1                       | 17.5 $\pm$ 0.1                           | 4.8 $\pm$ 0.02                          | 3.1 $\pm$ 0.02        | 2.2 $\pm$ 0.02                  | 1.1 $\pm$ 0.2                  | 1.2 $\pm$ 0.2              |

“—”表示没有进行调查

表 1)。说明少花鹤顶兰叶和花形态特征是相对稳定的。花序上最多结实的果实数为 5 个。2006 年采集的果实测量结果为:果实平均长为(20.78±2.56) mm ( $n=173$ ), 平均宽为(8.10±1.23) mm ( $n=173$ ), 果实平均重量为(0.0424±0.0177) g ( $n=173$ )。

3.2 高生长过程

黄龙沟少花鹤顶兰高生长进程拟合结果表明,三次曲线模型的拟合结果最好,其决定系数  $R^2=0.998$ 。方程形式:  $y=b_0+b_1t+b_2t^2+b_3t^3$ 。参数分别为  $b_0=3.1622$ ,  $b_1=-0.2806$ ,  $b_2=0.2439$ ,  $b_3=-0.0101$ 。高生长进程见图 1。

3.3 物候

黄龙沟少花鹤顶兰植株萌发时间在 5 月中旬(图 1)。花序和叶片同时萌出,到 6 月中旬花序和叶片生长达到最大值。开花开始时间一般在 6 月中旬,花期结束时间在 7 月下旬(个别植株可到 8 月初)。2005—2007 年 3a 间的开花物候没有明显的差异( $\chi^2$  检验,  $\chi^2=0.147$ ,  $df=2$ ,  $P=0.854$ ,图 2)。从 2005—2007 年的开花物候可看出,开花高峰出现在 7 月 3 日到 7 月 12 日,持续 10d 左右,如 2007 年 7 月 6 日和 9 日,开花的花朵数占全部开花数的 91%,2006 年 7 月 9 日,这一比例也达到将近 90%<sup>[14]</sup>(图 1)。果实成熟期为 9 月中下旬。叶片从 9 月下旬开始变黄、枯萎。

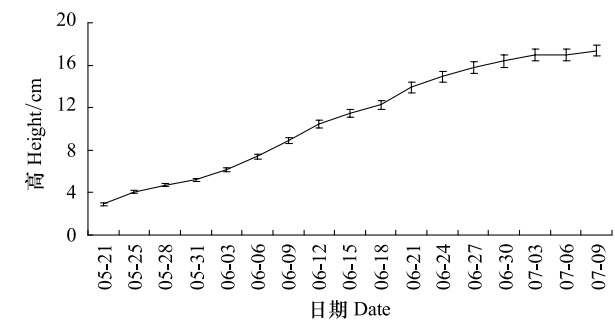


图 1 2006 年黄龙沟少花鹤顶兰开花植株高生长进程

Fig. 1 The height growth process of *Phaius delavayi* in 2006 in Huanglong valley

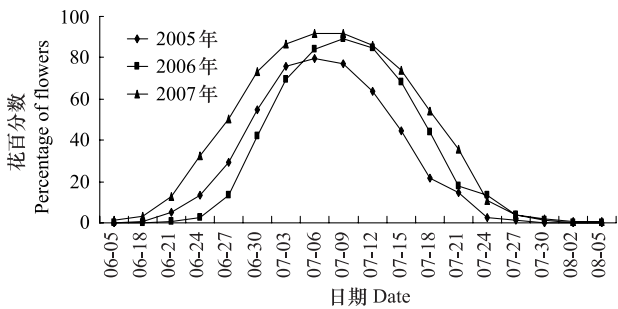


图 2 2005—2007 年黄龙沟少花鹤顶兰开花物候

Fig. 2 Floering phenology of *Phaius delavayi* between 2005 and 2007 in Huanglong valley

开花比例为:某一特定时刻开花的花朵总数/与调查植株开花总数×100; 物候分析的样本数(开花总数)分别为 912, 1680 和 817

3.4 花寿命

结实的单花寿命比不结实的单花寿命明显要短(所有的  $P<0.001$ ,表 2)。结实的单花寿命为 15—19 d, 而不结实的为 18—22 d。花序寿命在年季间的变化很大(21—29 d)。2007 年的花序寿命比 2005 年和 2006 年的花序寿命长( $P<0.001$ )。而花粉带走时间(从开花到花粉被带走的时间)也表现出类似的趋势,2007 年花粉被带走的时间明显比 2006 和 2007 年的时间长( $P<0.001$ ,表 2)。

表 2 黄龙沟少花鹤顶兰花寿命和花粉带走时间

Table 2 The flower life span and the time between the date of pollinia removal and anthesis of *Phaius delavayi* in Huanglong valley (Mean±SE)

| 年份<br>Year | 单花寿命 Life span of single flower |               | 花序寿命<br>Life span of<br>inflorescences | 花粉带走时间<br>The time of<br>pollinia removal |
|------------|---------------------------------|---------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
|            | 未结实<br>Non-fruit                | 结实<br>Fruit   |                                        |                                           |
| 2005       | 17.7±0.23 ***                   | 14.5±0.40 *** | 22.7±0.27 ***                          | 5.1±0.18 ***                              |
| 2006       | 16.9±0.11 ***                   | 14.6±0.17 *** | 20.9±0.18 ***                          | 6.9±0.19 ***                              |
| 2007       | 22.3±0.05 ***                   | 19.2±0.14 *** | 29.0±0.10 ***                          | 8.5±0.10 ***                              |

显著性水平: \*  $P<0.05$ ; \*\*  $P<0.01$ ; \*\*\*  $P<0.001$ ; 单花寿命进行年度中结实-未结实的比较;花序寿命及花粉带走时间进行年季间的比较(年度对年度的比较);平均值±SE; \*  $P<0.05$ ; \*\*  $P<0.01$ ; \*\*\*  $P<0.001$

### 3.5 繁育系统

2006 年所有进行人工授粉的花全部结实,即自花授粉、同株异花授粉和异株异花授粉的结实率均为 100% (每种处理,  $n=20$ ),而 2007 年这 3 种处理的结实率分别为 92.5%、90% 和 90% ( $\chi^2$  检验,  $\chi^2=0.066$ ,  $df=2$ ,  $P=0.968$ ),说明少花鹤顶兰自交亲和。而去除唇瓣和同时去除花粉块及唇瓣的实验,均没有结实,表明少花鹤顶兰不存在自动自花授粉和无融合生殖现象。少花鹤顶兰的繁殖成功必须要依靠传粉者的传粉才能实现。而 2006 年和 2007 年对照实验的植株结实率分别为 25% ( $n=20$ ) 和 12.5% ( $n=40$ )。

### 3.6 花粉活性和柱头可授性

开花第一天柱头即有可授性,一直到开花后 15d,20d 时可授性完全丧失(表 3) ( $\chi^2$  检验,  $\chi^2=133.269$ ,  $df=4$ ,  $P<0.001$ ),但 15d 时柱头的结实率明显低于 1—10 d 的柱头的结实率( $\chi^2=45$ ,  $P<0.001$ )。花粉从开花第 1 天一直到开花后 15d 都有活性,到 20d 时活性完全丧失(表 3) ( $\chi^2$  检验,  $\chi^2=83.57$ ,  $df=4$ ,  $P<0.001$ ),但 1—15d 之间的活性差异不明显( $\chi^2=6.594$ ,  $df=3$ ,  $P=0.086$ )。柱头可授性丧失的速度比花粉活性丧失的速度更快,到 15d 时,花粉保持有活性的比例为 70%,而柱头在这一时期有活性的比例仅为 10%。这一结果与观察到的单花寿命也比较一致,2005—2007 年单花寿命分别为 18、17 和 22d。也就是说少花鹤顶兰单花的花粉活性和柱头的可授性可以保持到花枯萎前夕。

表 3 黄龙沟少花鹤顶兰花粉活性和柱头可授性检验结果

Table 3 Result of pollinia viability and stigma receptivity experiments for *Phaius delavayi* in Huanglong valley

|                                       | 从开始开花到授粉处理的天数/d<br>Days between the treatment and anthesis |     |    |    |    |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|----|----|----|
|                                       | 1                                                          | 5   | 10 | 15 | 20 |
| 花粉活性实验 Pollinia viability experiment  |                                                            |     |    |    |    |
| 结实个数 No. of fruits                    | 19                                                         | 20  | 16 | 14 |    |
| 结实率 Fruit set/%                       | 95                                                         | 100 | 80 | 70 | 0  |
| 柱头可授性实验 Stigma receptivity experiment |                                                            |     |    |    |    |
| 结实个数 No. of fruits                    | 19                                                         | 16  | 14 | 2  | 0  |
| 结实率 Fruit set/%                       | 95                                                         | 80  | 70 | 10 | 0  |

### 3.7 繁殖成功及特点

少花鹤顶兰开花的植株数为 60%—80% (表 4)。2005—2007 年 3a 间黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功率的变化很大,并表现出逐年下降的趋势。2007 年花粉移走率不到 20%,而 2005 年花粉移走率高达 51%,是 2006 年的 1.7 倍,2007 年的 2.8 倍。同样结实率也是 2005 年最高,2007 年最低。2007 年的结实率只有 2006 年的一半,不到 2005 年的 30% (表 4)。

表 4 2005—2007 年黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功率(平均值 $\pm$ SE)

Table 4 Male and female reproductive success of *Phaius delavayi* between 2005 and 2007 in Huang long valley (Mean $\pm$ SE)

| 年份<br>Year | 样本数<br>N | 开花植株比例/%<br>Flower individuals rate | 花粉移走率/%<br>Pollinia removal | 结实率/%<br>Fruit set |
|------------|----------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 2005       | 270      | —                                   | 50.93 $\pm$ 2.06            | 36.13 $\pm$ 1.91   |
| 2006       | 615      | 60                                  | 29.70 $\pm$ 1.32            | 20.89 $\pm$ 0.89   |
| 2007       | 2126     | 78.23                               | 18.24 $\pm$ 0.56            | 10.14 $\pm$ 0.41   |

在繁殖成功特点方面,2005 年实现了繁殖成功的比例(有花粉带走或结实或两者均有的)达到 83%,显著高于 2006 年的 60% 和 2007 年的 55% ( $\chi^2$  检验, 2006:  $P=0.05$ ; 2007:  $P=0.017$ , 表 5)。只实现雌性功能(结实),而不实现雄性功能(只结实,没有花粉带走)的比例在 3 年都最低。相反只实现雄性功能,而不实现雌性功能的比例在 2006 年和 2007 年比较接近。雌雄功能都实现的比例在 3 年都最高,说明花粉被带走的花,其结实的可能性也是最高的。

#### 4 讨论

黄龙沟少花鹤顶兰的最大叶和花形态特征年度间的变化不明显。这些形态指标可能受基因控制,但主要受环境条件的影响<sup>[15-17]</sup>。一般认为植物的大小(如高度,叶片大小等)是对立地质量的综合反映<sup>[18]</sup>。因此可以认为黄龙沟环境条件在年季间的变化不大。

表 5 2005—2007 年黄龙沟少花鹤顶兰单花繁殖成功的特点

Table 5 The characteristics of reproductive success of *Phaius delavayi* (single flower) between 2005 and 2007 in Huanglong valley

| 年份<br>Year | 样本<br>N | 只有花粉带走/%<br>Pollinia removal only | 只结实/%<br>Fruit set only | 花粉带走并结实/%<br>Pollinia removal and fruit set | 无花粉带走且不结实/%<br>No pollinia removal and no fruit set |
|------------|---------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2005       | 918     | 12.59                             | 0.4                     | 68.52                                       | 18.52                                               |
| 2006       | 1722    | 19.97                             | 6.27                    | 35.15                                       | 38.61                                               |
| 2007       | 6578    | 18.10                             | 3.44                    | 22.86                                       | 55.60                                               |

少花鹤顶兰开花的植株的高生长过程并不符合常见的逻辑斯特方程模式,而以三次曲线模型的拟合结果最好。这可能与黄龙沟的气候特性有关。在生长的前期(5月中旬到6月上旬开花前),由于气温和地温都较低,因而前期的生长比较缓慢,随着气温的升高,植株的高生长呈加速生长,到开花高峰时(7月9日)高生长基本停止。

黄龙沟少花鹤顶兰在 2005—2007 年 3a 间的开花物候没有明显的差异。开花开始时间一般在 6 月上中旬,开花结束时间在 7 月下旬(个别植株可到 8 月初)。而每年的 7 月 3 日到 12 日为开花高峰期,在这一阶段同时开放的花朵数最多。物候被认为是植物对气候条件的综合反映。尽管 2006 年黄龙沟出现了多年不遇的高温少雨天气,但少花鹤顶兰的开花物候与前一年和后一年的物候相比,并没有表现出明显的差异,表明少花鹤顶兰具有较强的应对环境条件变化的能力。

两年繁育系统实验表明少花鹤顶兰自交亲和,但不存在自动自花授粉和无融合生殖。说明少花鹤顶兰的繁殖成功强烈依赖于传粉者的有效传粉。李鹏等人的传粉观察证明,少花鹤顶兰的传粉者主要是两种熊蜂(*Bombus hypnorum* 和 *B. lepidus*)。尽管异交是得到鼓励的(being encouraged),但少花鹤顶兰的一些特性使得同株异花授粉的可能性是存在的。首先少花鹤顶兰是自交亲和的,其自花授粉、同株异花授粉的结实率与异交的结实率没有差异,表明果期不存在自交衰退的现象。没有自交不亲和及自交衰退被认为是珍稀植物的特性之一<sup>[19]</sup>。其次,熊蜂的访问特性也可能导致同株异花授粉。曾经观察到熊蜂在一个回合的访问中连续访问了 7 个花序中的 12 朵花,这说明熊蜂完全有可能将花粉带到同一花序中其它花的柱头上,从而实现同株异花授粉。不过仅仅用是否结实来判断近交衰退的存在还是不够的,还应检测自交(含自交和同株异花授粉)果实中的种子和异交的种子的萌芽率及幼苗的存活等指标是否存在差异来做进一步的判断。

花粉和柱头从一开花就具有活性,活性随着时间的延长而下降,这种活性一直延续到 15d,到 20d 时花粉和柱头的活性完全丧失。在活性丧失过程中,柱头活性的丧失比花粉活性的丧失的速度要快。花粉在 15d 时有活性比例为 70%,而柱头仅为 10%。2005—2006 年 3a 的观察数据表明,从开花到花粉被带出的时间在 5—9 d,这一时期的花粉具有很高的活性。在没有报偿的兰科植物中,其传粉者的访问具有很大的不确定性<sup>[20]</sup>,花粉被带出并不能保证在短时间内就被授到柱头上,因此花粉必须保持较长时间的活性<sup>[21]</sup>。而花粉能在较长时间内保持活性这一特点,可以提高授粉的成功率。

植物的花寿命有两种类型:一种是固定的,与雄性或雌性功能的实现与否无关;另一种是不固定的,与雄性或雌性功能的实现与否密切相关<sup>[22]</sup>。少花鹤顶兰的花寿命属于后面一种类型,单花的寿命长短与是否结实关系密切,结实的花寿命明显短于没有结实的花。这与以前的一些研究结果相一致<sup>[22]</sup>。花的枯萎可能是由于花粉被带走或在柱头上的沉降所触发的<sup>[23]</sup>,这种现象可能与植物对资源的配置方式有关<sup>[22]</sup>。开花是需要资源来维持的<sup>[24]</sup>,花开放的目的是为了能使胚珠受精,它一旦授粉已达到了目的后,没有必要继续付出

资源,

而是将资源用在果实的发育上,而用于维持开花的资源迅速减少,因而花很快就会枯萎<sup>[25]</sup>。这种花寿命与结实的关系在年度间的繁殖成功率方面也得到了体现。如 2005 年的结实率很高,而对应的单花的平均寿命最短,花粉被带走的时间也是最快的(平均 5 d)。而 2007 年的单花的平均寿命最长,花粉被带走的时间也最长,约 9 d,而结实率最低。这是因为在 2007 年有更多的花没有实现雌性功能,所以单花的平均寿命就更长。

与以前大多数研究一样<sup>[26]</sup>,黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功率在年季间的变化很大。2005—2007 年,雄性功能和雌性功能都没有实现的花的比例分别为 18.52%、38.61% 和 55.60%。少花鹤顶兰使用欺骗性传粉策略,不给传粉者提供任何形式的报偿。当一只没有经验的熊蜂访问少花鹤顶兰的花时,可能将花粉带出,但由于没有得到任何的回报,经过多次这样的访问后,熊蜂有了鉴别能力,可能避免再次访问少花鹤顶兰。因此少花鹤顶兰花粉被带走的可能性要比花粉被授到柱头上的可能性更大。2005—2007 年,在有花粉移走的花中,实现结实的比例分别为 84.45%、63.72% 和 55.81%,这说明熊蜂似乎能较快地学会这种识别能力,特别是 2006 年和 2007 年的有花粉带走的花中结实的分别只有 64% 和 56%。少花鹤顶兰花的枯萎是由是否结实(实现花粉授到柱头上)而不是由花粉是否被带走来决定,从

这一点看,这对具有欺骗性传粉系统的少花鹤顶兰是有利的<sup>[22]</sup>。

特别值得关注的是,黄龙沟少花鹤顶兰结实率从 2005 年到 2007 年呈逐年下降的趋势。造成这种变化的原因可能有以下几个方面:一是由其繁殖生物学特征所决定的。由于少花鹤顶兰繁殖成功必须依赖传粉者的传粉,因此繁殖成功受外界环境因素的影响很大,容易出现年度间繁殖成功率大幅度变化的情况<sup>[26]</sup>。第二可能是因为取样的差异造成的。2005 年的花粉移走率和结实率都比 2006 和 2007 年的高。2005 年所选用的试验植株都分布在比较开阔的地带,而 2006 年和 2007 年所选的植株在开阔地带和半开阔的地带都有。这种微环境的差异,可能对少花鹤顶兰的传粉者(*B. hypnorum* 和 *B. lepidus*)的行为产生影响。熊蜂一般比较喜欢阳光充足的环境条件,因而在开阔地带的植株可能会有较高的花粉移走率和结实率<sup>[14]</sup>。第三可能与黄龙沟喷洒杀虫剂有关。据了解,为了防治黄龙沟内杜鹃和冷杉的病虫害,黄龙管理局于 2005 至 2007 年的 6—7 月份多次组织喷洒杀虫剂和杀菌剂<sup>[2]</sup>。有研究表明杀虫剂可能对传粉者带来负面影响,从而降低植物的结实率<sup>[27-28]</sup>。这些药剂可能对熊蜂产生毒害,使得熊蜂的种群数量下降,以至少花鹤顶兰有效传粉者数量连年下降,从而导致繁殖成功率的连年下降。熊蜂具有较长的觅食期,从早春开始一直延续到晚秋,在这期间,熊蜂种群对喷洒药剂都是非常敏感的。农药不仅会直接毒死蜂王或工蜂,还可能因工蜂采集受到药剂污染的花粉或花蜜并带回巢穴,使得幼虫的死亡率增加,从而降低熊蜂的种群数量<sup>[19]</sup>。因此少花鹤顶兰繁殖成功率下降的趋势需要做进一步的监测,尤其是要关注在今后少花鹤顶兰繁殖成功率的下降趋势是否还会延续,监测这种下降是否与药剂的喷洒有直接关系。鉴于熊蜂在少花鹤顶兰以及黄龙沟内其他兰科植物的传粉过程中扮演了不可或缺的重要角色<sup>[29]</sup>,因此在研究制定对这些珍稀植物的管理策略及保护的实践过程中,必须要将传粉者的重要性考虑进去。保护其食源植物(提供花粉或花蜜)显得尤为重要。由于熊蜂的活动期从早春一直延续到晚秋,活动期很长,因此比兰科植物开花早的食源植物对维持该地区熊蜂的种群也非常重要。在黄龙沟,比黄花杓兰(*Cypripedium flavum*)、西藏杓兰(*C. tibeticum*)和少花鹤顶兰等兰科植物开花早的,可能是熊蜂食源植物的有瑞香(*Daphne dora*)、四川忍冬(5 月 20 日左右开花)、锥花小檗(5 月底)、多色杜鹃(*Rhododendron rupicola*)(5 月 25 日左右盛花,花期比较长)、绒毛杜鹃(*R. pathytrichum*)(5 月上中旬)、亮叶杜鹃(*R. vernicosum*)、四川杜鹃(*R. sutchuenense*)(5 月 20 日左右盛花)、七筋菇(*Clintonia udensis*)(5 月 20 左右开花)以及矮马先蒿(*Pedicularis humilis*)等。因而黄龙管理局在兰科植物分布的沟内进行喷洒农药的这种行为要采取十分慎重的态度。要科学评估这种措施是否会对植物-传粉者相互关系产生影响,以避免不良后果带来难以挽回的损失<sup>[28]</sup>。

**致谢:**本研究得到中国科学院植物研究所与四川黄龙国家级风景区管理局合作研究博士工作站的支持。中国

科学院植物研究所孙阳纳同学参加了野外调查工作,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Chen X Q, Ji Z H, Lang K Y, Zhu G H. Flora of China ( V. 18 ). Beijing: Science Press, 1999: 258-321.
- [ 2 ] Perner H, Cribb P J. Orchid wealth (orchids of N. Sichuan, S. Gansu and SE Qinghai). Alpine Gardener, 2002, 70: 285-294.
- [ 3 ] Wilkie P, Argent G, Cambell E, Saridan A. The diversity of 15 ha of lowland mixed dipterocarp forest, Central Kalimantan. Biodiversity and Conservation, 2004, 13(4): 695-708.
- [ 4 ] Saunders N E, Sipes S D. Reproductive biology and pollination ecology of the rare Yellowstone Park endemic *Abronia ammophila* (Nyctaginaceae). Plant Species Biology, 2006, 21(2): 75-84.
- [ 5 ] Heckel C D, Legee L M. Life history and reproductive biology of the endangered *Trillium reliquum*. Plant Ecology, 2007, 189(1): 49-57.
- [ 6 ] Tsiftsis S, Tsiripidisa I, Karagiannakidou V, Alifragis D. Niche analysis and conservation of the orchids of east Macedonia (NE Greece). Acta Oecologica, 2008, 33(1): 27-35.
- [ 7 ] Fritz A L, Nilsson L A. Reproductive success and gender variation in deceit-pollinated orchids // Lloyd D G, Barrett S C H, eds. Floral Biology: Studies on Floral Evolution in Animal-Pollinated Plants. New York: Chapman and Hall, 1996: 319-338.
- [ 8 ] Vallius E, Salonen V. Effects of defoliation on male and female reproductive traits of a perennial orchid, *Dactylorhiza maculata*. Functional Ecology, 2000, 14: 668-674.
- [ 9 ] Parra-Tablaa V, Vargas C F. Flowering synchrony and floral display size affect pollination success in a deceit-pollinated tropical orchid. Acta Oecologica, 2007, 32(1): 26-35.
- [ 10 ] Broyles S B, Wyatt R. Paternity analysis in a natural population of *Asclepias exaltata*: multiple paternity, functional gender, and the "pollen-donation hypothesis." Evolution, 1990, 44: 1454-1468.
- [ 11 ] Ran J H, Liu S Y. Scientific Expedition of Huanglong Nature Reserve, Sichuan. Chengdu: Sichuan Forestry Press, 2002.
- [ 12 ] Huang B Q, Luo Y B, An D J, Kou Y. Characteristics of plant species in herb community in Huanglong Valley, Sichuan. Bulletin of Botanical Research, 2010, 30(5): 543-548.
- [ 13 ] Huang B Q, Yang X Q, Yu F H, Luo Y B, Tai Y D. Surprisingly high orchid diversity in travertine and forest areas in the Huanglong valley, China, and implications for conservation. Biodiversity and Conservation, 2008, 17(11): 2773-2786.
- [ 14 ] Huang B Q. Orchid Diversity and Reproductive Success Effect Factors in Huanglong Valley, Sichuan[D]. Beijing: Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [ 15 ] Lawrence W S. Resource and pollen limitation: plant size-dependent reproductive patterns in *Physalis longifolia*. American Naturalist, 1993, 141(2): 296-313.
- [ 16 ] Mattila E, Kuitunen M T. Nutrient versus pollination limitation in *Platanthera bifolia* and *Dactylorhiza incarnata* (Orchidaceae). Oikos, 2000, 89(2): 360-366.
- [ 17 ] Pausas J G, Austin M P. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal. Journal of Vegetation Science, 2001, 12(2): 153-166.
- [ 18 ] Roll J, Mitchell R J, Cabin, R J, Marshall D L. Reproductive success increases with local density of conspecifics in a desert mustard (*Lesquerella fendleri*). Conservation Biology, 1997, 11(3): 738-746.
- [ 19 ] Sipes S D, Tepedino V J. Reproductive biology of the rare orchid, *Spiranthes diluvialis*: breeding system, pollination, and implication for conservation. Conservation Biology, 1995, 9(4): 929-938.
- [ 20 ] Neiland M R M, Wilcock C C. Fruit set, nectar reward, and rarity in the Orchidaceae. American Journal of Botany, 1998, 85(12): 1657-1671.
- [ 21 ] Pacini E, Franchi G G, Lischi M, Nepi M. Pollen viability related to type of pollination in six angiosperm species. Annals of Botany, 1997, 80(1): 83-87.
- [ 22 ] Proctor H C, Harder L D. Effect of pollination success on floral longevity in the orchid *Calypso bulbosa* (Orchidaceae). American Journal of Botany, 1995, 82(9): 1131-1136.
- [ 23 ] Ackerman J D. Limitations to sexual reproduction in *Encyclia krugii* (Orchidaceae). Systematic Botany, 1989, 14(1): 101-109.
- [ 24 ] Sola A J, Ehrlén J. Vegetative phenology constrains the onset of flowering in the perennial herb *Lathyrus vernus*. Journal of Ecology, 2007, 95(1): 208-216.
- [ 25 ] Liu Z J, Chen L J, Lei S P, Rao W H, Li L Q. The reproduction strategy of *Trias verrucosa* from China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4460-4468.
- [ 26 ] Tremblay R L, Ackerman J D, Zimmerman J K, Calvo R N. Variation in sexual reproduction in orchids and its evolutionary consequences: a spasmodic journey to diversification. Biological Journal of the Linnean Society, 2005, 84(1): 1-54.
- [ 27 ] Liu H, Koptur S. Breeding system and pollination of a narrowly endemic herb of the lower Florida Keys: impacts of the urban-wildland interface. American Journal of Botany, 2003, 90(8): 1180-1187.
- [ 28 ] Phillips L. Pollination of western prairie fringed orchid, *Platanthera praeclara* Sheviak & Bowles: implications for restoration and management. Restoration and Reclamation Review Student on-Line Journal, 2003, 8(1), URL: hort. agri. umn. edu/h501/rrr. htm.
- [ 29 ] Li P, Luo Y B, Bernhardt P, Yang X Q, Kou Y. Deceptive pollination of the lady's slipper *Cypripedium tibeticum* (Orchidaceae). Plant Systematics and Evolution, 2006, 262: 53-63.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 陈心启, 吉占和, 郎楷永, 朱光华. 中国植物志第 18 卷. 北京: 科学出版社, 1999: 258-321.
- [ 11 ] 冉江洪, 刘少英. 黄龙自然保护区综合考察报告. 成都: 四川林业出版社, 2002.
- [ 12 ] 黄宝强, 罗毅波, 安德军, 寇勇. 四川黄龙沟草本层植物种类组成与数量特征. 植物研究, 2010, 30(5): 543-548.
- [ 14 ] 黄宝强. 四川黄龙沟兰科植物多样性及影响繁殖成功的生态因子 [D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2008.
- [ 25 ] 刘仲健, 陈利君, 雷嗣鹏, 饶文辉, 李利强. 疣花三角兰 (*Trias verrucosa*) 的生殖策略. 生态学报, 2007, 27(11): 4460-4468.

CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle .....                                                                                                               | WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)       |
| Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent .....                                                                                                                    | XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaoxia, et al (6599)         |
| Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream .....                                                                                                                                                                         | ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)            |
| An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland .....                                                                                                                          | CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)                 |
| MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake .....                                                                                                                                             | LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)          |
| The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary .....                                                                               | ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)             |
| Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis .....                                                                                                 | ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)          |
| In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species .....                                                                                                                                   | GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)                        |
| Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan .....                                                                                                           | TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)             |
| Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains .....                                                                                                                                      | DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)        |
| The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree .....                                                                                                                                                          | GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688) |
| The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry ( <i>Fragaria ananassa</i> Duch) ...                                                                                            | HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)       |
| Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties .....                                                                  | SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)           |
| Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China ..... | ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)        |
| Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China .....                                                                                                   | WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)               |
| Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng .....                                                                                                             | WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)        |
| Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009 .....                                                                                                                        | YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)     |
| Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China .....                                                                                                                                             | MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)              |
| Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests .....                                                                                     | GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)             |
| Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau .....                                                                                                                                          | ZHAO Xueyan (6776)                                        |
| Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics .....                                                                                                                                                              | ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)        |
| Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan .....                                                                                                                                                                | HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)                 |
| Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil .....                                                                                                                                                | YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)      |
| Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang .....                                                                                                                                                                      | DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)              |
| Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors .....                                                                                                          | ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)       |
| Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i> .....                                                                                                                                     | LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)               |
| Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i> .....                                                                                                                            | CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)              |
| Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs .....                                                                                                                                   | LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)    |
| Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system .....                                                                                                                                                                                | GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)               |
| Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice .....                                                                                                                                     | TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)              |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                                                                                     |                                                           |
| The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review .....                                                                                                                                                               | CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)           |
| Effect of enhanced CO <sub>2</sub> level on the physiology and ecology of phytoplankton .....                                                                                                                                                   | ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)       |
| Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation .....                                                                                                                                                                     | SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)                 |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                                                                                                          |                                                           |
| The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting .....                                                                                                                                     | KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)   |
| Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland .....                                                                                                                   | REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)       |

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 32 卷 第 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 2012)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:1000717                                                                      | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                          | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                 |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元