

# 中国特有植物无距虾脊兰生物学特性及花部形态观察

连静静, 钱鑫, 王彩霞, 李全健, 田敏<sup>①</sup>

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 通过野外调查和定点观测、采用人工授粉以及扫描电镜观察方法, 对分布于浙江西天目山的中国特有兰科 (Orchidaceae) 植物无距虾脊兰 (*Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang) 野生植株的生长特性及花部形态特征进行了研究。结果表明: 无距虾脊兰分布于西天目山海拔 470~550 m 处, 在腐殖质丰富、湿度较大且排水良好、有岩石裸露的地带生长良好, 并能耐 0℃ 以下的低温。其生长发育过程可分为萌芽期、开花期、果期及衰亡期 4 个时期。每个基株可有多个分株, 但实生苗数量不足 50%; 该种具有有性和无性 2 种繁殖方式, 但以无性繁殖为主。该种为总状花序, 由 15~39 朵花聚集而成, 每朵花由 3 萼片、2 花瓣、1 唇瓣和 1 蕊柱构成, 其中萼片略长于花瓣, 二者均为紫褐色带淡绿色脉纹; 唇瓣黄色并有紫色斑点; 紫色花药内含有 8 个近卵形的花粉块。花期 3 月份至 4 月份, 持续时间约 19 d, 单花开放时间平均为 8.14 d。自然状态下结果植株数量较少, 一般每个花葶上有 1~4 个果实。开花后前 3 天实施人工自花授粉或人工异花授粉, 无距虾脊兰的结果率均可达 100%, 表明该种的交配系统为自交和杂交混合系统, 自交和异交能力均较高。

**关键词:** 无距虾脊兰; 生物学特性; 生境; 物候期; 花部形态; 繁殖

中图分类号: Q949.71+8.43; Q948.1; Q944.58 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)03-0100-07  
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.16

**Observation of biological characteristics and floral morphology of Chinese endemic species *Calanthe tsoongiana* Tang et Wang** LIAN Jingjing, QIAN Xin, WANG Caixia, LI Quanjian, TIAN Min<sup>①</sup> (Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(3): 100-106

**Abstract:** Through field survey and fixed-point observation and by means of artificial pollination and scanning electron microscopy observation, growth characteristics and floral morphological feature of wild individual of Chinese endemic species *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang distributing in Xitianmu Mountain of Zhejiang Province were researched. The results shows that *C. tsoongiana* distributes in altitude 470-550 m of Xitianmu Mountain, and grows well in rock exposed zone with humus-rich, high humidity and better drainage and can resist to low temperature below 0℃. Its growth and development process can be divided into four stages including budding, flowering, fruiting and decline stages. Each genet can germinate several ramets, but the percentage of number of seedlings from seeds is below 50%. The species possesses both sexual and asexual reproduction modes, in which asexual reproduction plays a predominant role. The species possesses raceme composed of 15-39 flowers, and each flower consists of three calyxes, two petals, one labellum and one gynostemium. In which, calyx is slightly longer than petal and both of them are purple-brown with light green veining; labellum is yellow with purple dots; purple anther contains eight subovate pollinia. Flowering stage of the species is from March to April with a duration time of about 19 d, and average opening time per flower is 8.14 d. Fruiting plant number is less under wild condition, and generally, only with 1-4 fruits of each scape. When artificial self-pollination or artificial cross-pollination are done in the first three days after flowering, its fruiting rate can achieve 100%, meaning that its mating system is a mixture of selfing and cross mating system with highly selfing and cross mating ability.

收稿日期: 2012-12-31

基金项目: 浙江省省院合作项目(2012SY02-3)

作者简介: 连静静(1987—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事兰科植物生殖生物学研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: tmin115@163.com

**Key words:** *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang; biological characteristics; habitat; phenology; floral morphology; reproduction

兰科(Orchidaceae)种类多为珍稀濒危植物,所有野生兰科植物都在“野生动植物濒危物种国际贸易公约”的保护范围之内<sup>[1]</sup>。由于生物学特性的复杂性使得兰科植物的保护及人工繁殖较为困难。对兰科植物生物学特性的研究有利于野生兰科植物居群的有效管理并且可预测这些野生居群的未来命运<sup>[2]</sup>;对兰科植物生长特性的研究不仅有助于了解维持该物种生存及其生活史不同阶段所需的最佳生境,还可以为创造或维持最佳生境所必须实施的措施提供理论依据,在兰科植物的保护方面有重要作用。

兰科虾脊兰属(*Calanthe* R. Br.)种类均为多年生草本植物,全属约150种,分布于亚洲热带和亚热带地区、热带非洲以及新几内亚岛、澳大利亚和南太平洋上的某些岛屿;中国分布有49种5变种,主要产长江流域及其以南各省区<sup>[3]</sup>。无距虾脊兰(*Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang)是虾脊兰属内具最小花的种类之一,是中国特有兰科植物,分布于浙江、江西、福建和贵州等地,模式标本采自浙江西天目山<sup>[3]</sup>;其叶色浓密、株型美观且花色鲜艳,具有较高的观赏价值。迄今为止,除对该种的命名发表外<sup>[4]</sup>,其生长及分布状况、物候期、花部形态、开花动态和繁殖特性等基础信息均未见研究报道。

作者通过对浙江临安西天目山分布的野生无距虾脊兰的调查与定点观察,系统了解该种的生物学特性以及繁殖特性,以期为该种的就地保护、引种驯化及杂交育种提供基础研究资料。

## 1 样地自然概况和研究方法

### 1.1 样地自然概况及样地选择

样地为无距虾脊兰的模式产地,即浙江临安西天目山。该地为亚热带季风气候,具有中亚热带向北亚热带过渡的特征,并深受海洋暖湿气候影响;年平均气温8.8℃~14.8℃,年积温2500℃~5100℃,年降雨日159.2~183.1d,年降水量1390~1870mm,无霜期209~235d,空气相对湿度76%~81%<sup>[5]</sup>。

在西天目山分布的无距虾脊兰自然居群中,选择3个未遭破坏、分布较为集中且植株数量较多的居群进行观察。居群1的地理坐标为东经119°27'08"、北

纬30°19'30",海拔约为470m;居群2的地理坐标为东经119°27'06"、北纬30°19'30",海拔约为510m;居群3的地理坐标为东经119°27'07"、北纬30°19'30",海拔约为550m。

### 1.2 研究方法

1.2.1 生境和生长状况观察 在2011年2月份至2012年10月份对3个居群中无距虾脊兰的生长环境和生长状况进行观察记录,其中,林分郁闭度采用树冠投影法<sup>[6]</sup>测定。

1.2.2 生长特性观察 记录3个居群内无距虾脊兰每一基株的克隆分株数量、生长过程、开花状况以及结果数量等。

1.2.3 花部形态特征及开花动态观察 于盛花期在3个居群中共随机选取正在开放的花10朵,在解剖镜下观察花部形态特征,并用游标卡尺(精度0.01mm)测量萼片、花瓣、唇瓣、雌蕊和雄蕊等部位的长度和宽度;其中,长度为各部位基部至顶部的长度,宽度为各部位中部最大宽度。选取新鲜花药,用镊子挑出花粉块,用体积分数4%戊二醛固定,然后用0.2mol·L<sup>-1</sup>磷酸缓冲液洗去固定液;用乙醇-乙酸异戊酯系列梯度脱水,CO<sub>2</sub>临界点干燥后把花粉粒撒在样品台上,喷金后置于XL-30-ESEM型扫描电镜(荷兰Philips公司)下观察花粉粒的形态特征,记录并拍照。

于2011年至2012年对3个居群内的所有植株进行开花物候期观察,记录每一居群的始花期、盛花期、末花期。在开花前随机选取大小及长势基本一致的植株30株,对其中大小基本一致的花序进行标记,连续观察并记录各标记花序上的小花开放顺序、每天的开花数、花序开放时间以及单花开放持续时间。

1.2.4 人工自花授粉与人工异花授粉实验 在2011年无距虾脊兰的花期内,在居群3中选择并标记240朵花进行人工自花授粉(120朵花)和人工异花授粉(120朵花)。记录每一朵花的开放时间,在开花的当天(第0天)以及开花后第1天、第2天、第3天、第4天和第5天分别选择20朵花进行授粉,记录花朵的变化和结果状况。

### 1.3 数据分析

采用Excel 2010统计分析软件对实验数据进行分析,并计算花部各部位各参数的平均值和标准差。

## 2 结果和分析

### 2.1 生境和生长状况

西天目山位于中亚热带北缘,冬季易受到北方南下寒流的影响,多有霜雪降临。生长于此的无距虾脊兰能耐 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温,在霜雪覆盖下叶片能保持常绿不枯,且生长于不同小生境的植株长势没有明显区别。西天目山最高海拔为 $1\ 507\text{ m}$ ,无距虾脊兰主要分布在海拔 $470\sim 550\text{ m}$ 处,位于阔叶混交林或竹林中;林分郁闭度为 $0.2\sim 0.5$ ,林内地面有散射光分布,少阳光直射;地表枯枝落叶丰厚、草类稀疏。无距虾脊兰分布于山体的西南坡,全部为地生,呈斑块状分布,有集聚生长的特性;多生长在有岩石裸露的地带,特别是腐殖质丰富、湿度较大且排水良好的岩石上或缝隙间,有少数植株分布于岩石附近林下的地面。

所调查的居群1位于山体缓坡处的麻栎(*Quercus acutissima* Carr.)林林中空地,主要的伴生植物有六角莲 [*Dysosma pleiantha* (Hance) Woodson]、春兰 [*Cymbidium goeringii* (Rehb. f.) Rehb. f.]、鱼腥草 (*Houttuynia cordata* Thunb.)和箬竹 [*Indocalamus tessellatus* (Munro) Keng f.]等;居群2位于山体陡坡上,主要的伴生植物有鱼腥草、六角莲、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、多花黄精 (*Polygonatum cyrtoneura* Hua)和叉耳蕨 [*Polystichum tripterum* (Kunze) C. Presl]等,伴生植物中高大乔木少;居群3位于山涧溪流边,生境中多石且潮湿,主要的伴生植物有毛竹 (*Phyllostachys kwangsiensis* W. Y. Hsiung, Q. H. Dai et J. K. Liu)、马尾松、叉耳蕨、多花黄精和玉竹 [*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce]等。

### 2.2 生长特性

无距虾脊兰每个基株可有多个分株,多的达到 $5\sim 7$ 株,少的则有 $1\sim 2$ 株。有些分株可在当年抽葶开花,有些则当年不能开花。每年的10月份至翌年2月份,当年生植株的根上长出新的假鳞茎,假鳞茎在春夏生长季抽葶、开花并结果,同时老株叶片变黑枯死;新株常绿过冬,且在其基部有新的假鳞茎萌动,并开始1个新的生长周期。1株无距虾脊兰的无性繁殖植株从萌芽至衰亡大约历时 $17\sim 20$ 个月。

经过详细的观察和记录,无距虾脊兰植株生长发育各时期有以下特点:

1) 萌芽期:植株具有旺盛的无性萌芽能力,从10

月份开始,从当年生植株的基部萌出幼芽并伸出地面(图1-A),随气温降低幼芽进入休眠季;这些幼芽一般为混合芽,含有花芽的幼苗在其后的生长季中抽葶、开花并结果,不含花芽的幼苗则直接展叶且不入生殖期(图1-B)。

2) 开花期:假鳞茎向上生长且直径变粗,至高约 $10\text{ cm}$ 时鞘稍微分开;从每个开花的假鳞茎中只抽出1支带花蕾的花葶,但此时叶子并没有展开(图1-C);花葶渐抽渐长,直花葶全部抽出时始花开放(图1-D);花的开放顺序具有规律性,一般从花葶下部的花蕾开始,逐渐向上依次盛开;开花期间花序轴不再伸长(图1-E)。开花期叶子逐渐从鞘中抽出并长大,叶色翠绿,呈卵状披针形。

3) 果期:授粉3 d后花瓣枯萎、子房膨大;10 d后果实初具形状,表面棱纹明显。在野生居群中有自然结果的植株,但结果植株数量较少,一般每个花葶上有 $1\sim 4$ 个果实(图1-F~G)。

4) 衰亡期:开花1年后叶子逐渐老化、枯黄至枯死。

在所调查的3个居群中,在2月份即有实生幼苗萌芽(图1-H)。与无性繁殖苗相比,实生苗植株明显较小。实生苗多生长在母株的株旁或叶下,一般具2片小叶、高约 $0.5\text{ cm}$ ;至4月份实生苗可生长至株高 $5\sim 6\text{ cm}$ 。调查数据显示(表1):相对于无性繁殖苗,实生苗数量不足 $50\%$ ,表明野生状态下无距虾脊兰的繁殖方式以无性繁殖为主,同时兼具有性繁殖。

### 2.3 花部形态特征和开花动态过程

2.3.1 花部形态特征 无距虾脊兰花部及扫描电镜下花粉块的形态特征见图2,其花各部位(萼片、花瓣、唇瓣、花粉块、子房和柱头)长度和宽度的测量结果见表2。结果显示:无距虾脊兰具总状花序,花序长 $8\sim 24\text{ cm}$ ,由 $15\sim 39$ 朵花聚集而成,每朵花由3萼片、2花瓣、1唇瓣和1蕊柱构成(图2-1,2)。萼片和花瓣均为紫褐色带淡绿色脉纹,萼片平均长度略大于花瓣;唇瓣黄色并分布有紫色斑点,基部合生于整个蕊柱翅上,明显3裂且裂片等长;唇瓣的侧裂片先端正圆形并向前伸,而中裂片强烈内弯成 $90^{\circ}$ 至 $180^{\circ}$ 不等(图2-3)。紫色花药包膜内含有8个花粉块,近卵形,成2群,蜡质,多数具明显黏盘(图2-4)。在扫描电镜下,花粉块由数以万计且形状极不规则的单粒花粉粒黏结而成,花粉粒之间无明显黏结物;花粉壁表面有微弱的小凹陷,未见萌发孔(图2-5,6)。柱头



A. 无性繁殖的幼芽 Asexual reproducing bud; B. 无花芽幼苗 Seedling without flower bud; C. 具花芽植株 Plant with flower bud; D. 初开放的花序 Inflorescence at the beginning of flowering; E. 末花期的花序 Inflorescence at the end of flowering; F. 自然结果的植株 Plant with natural fruiting; G. 上一年残存的果实 Remaining fruits from last year; H. 箭头所示为实生苗 Arrow indicating seedlings from seeds.

图1 野生环境中无距虾脊兰植株的生长发育过程

Fig. 1 Growth and development process of *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang under wild environment

表1 无距虾脊兰野生居群中结果植株数量分析

Table 1 Analysis of fruiting plant number in *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang populations under wild environment

居群编号 No. of population	植株数 Plant number	开花株数 Number of flowering plant	结果株数 Number of fruiting plant	结果株比例/% Ratio of fruiting plant	每株平均果实数 Average number of fruit per plant	上年残存果实数 Number of remaining fruit from last year	实生幼苗数 Number of seedling from seed	实生幼苗比例/% Ratio of seedling from seed
1	31	12	2	6.5	3	0	14	45.2
2	23	13	0	0.0	0	0	9	39.1
3	68	36	3	4.4	4	4	23	33.8



1. 盛开期的花形态 Flower morphology at full flowering stage; 2. 萼片和花瓣形态 Morphology of calyx and petal; 3. 唇瓣形态 Morphology of labellum; 4. 合蕊柱形态 Morphology of gynostemium; 5, 6. 扫描电镜下花粉块形态 Morphology of pollinium under scanning electronic microscope.

图2 无距虾脊兰花部形态及扫描电镜下其花粉块形态

Fig. 2 Floral morphology of *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang and its pollinium morphology under scanning electronic microscope表2 无距虾脊兰花各部位的长度和宽度 ( $\bar{X} \pm SD$ ,  $n=10$ )Table 2 Length and width of different parts of *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang flower ( $\bar{X} \pm SD$ ,  $n=10$ )

部位 Part	长度/mm Length	宽度/mm Width
萼片 Calyx	7.34±0.31	3.54±0.17
花瓣 Petal	6.65±0.29	1.91±0.09
唇瓣 Labellum	3.53±0.21	1.87±0.11
花粉块 Pollinium	1.01±0.07	0.51±0.02
子房 Ovary	1.78±0.06	0.23±0.01
柱头 Stigma	3.03±0.19	0.97±0.05

位于唇瓣基部的前面,紫色,长椭圆形,表面有明显的液体分泌物,花粉接受面朝下;子房长棒状,稍向下弯曲,被白绿色短毛。

2.3.2 开花动态过程 在西天目山无距虾脊兰的花期为每年的3月份至4月份。在2011年,3月18日

居群中第1朵花开放,为始花期;3月27日达到盛花期,有约83%的花朵开放,单日开花数占总开花数的38%;至4月8日花败并开始枯萎,花期持续时间为20 d。在2012年,始花期为4月2日;盛花期出现在4月13日,有约69%的花朵开放;4月20日达到末花期,花期持续时间为18 d。统计结果显示:无距虾脊兰单花开放时间为7~9 d,平均花期8.14 d。

## 2.4 人工授粉结果分析

通过人工自花授粉和人工异花授粉后无距虾脊兰的结果率见表3。观察结果显示:授粉3 d后,授粉成功的子房变为深绿色且子房膨大,未授粉成功的子房自子房梗处开始变黄并逐渐萎蔫脱落。由表3可见:在无距虾脊兰开花当天授粉,结果率可达100%,说明开花当天柱头已具有较强可受性,花粉活力较

高;开花后的前3天进行人工授粉,结果率均可达100%;但在开花后的第4天和第5天进行人工授粉,其结果率均有所降低。此外,人工异花授粉与人工自

花授粉的结果率无明显差异,但均明显高于自然条件下无距虾脊兰的结果率,说明无距虾脊兰有很高的自交亲和性。

表3 采用人工自花授粉或人工异花授粉后无距虾脊兰结果率比较

Table 3 Comparison of fruiting rate of *Calanthe tsoongiana* Tang et F. T. Wang with artificial self-pollination and artificial cross-pollination

授粉时间 Pollination time	人工自花授粉 Artificial self-pollination			人工异花授粉 Artificial cross-pollination		
	授粉花数 Number of pollination flower	结果花数 Number of fruiting flower	结果率/% Fruiting rate	授粉花数 Number of pollination flower	结果花数 Number of fruiting flower	结果率/% Fruiting rate
开花当天 At the flowering day	20	20	100	20	20	100
开花后第1天 First day after flowering	20	20	100	20	20	100
开花后第2天 Second day after flowering	20	20	100	20	20	100
开花后第3天 Third day after flowering	20	20	100	20	20	100
开花后第4天 Fourth day after flowering	20	16	80	20	18	90
开花后第5天 Fifth day after flowering	20	15	75	20	10	50
合计 Total	120	111	93	120	108	90

### 3 讨 论

据文献记载,无距虾脊兰的花期为每年的4月份至5月份<sup>[3]</sup>。而作者的调查结果显示:在2011年无距虾脊兰的花期为3月22日至4月8日,2012年其花期为4月2日至4月20日,与文献记载的略有差异。关于兰花花期变化的原因,张永柏<sup>[7]</sup>、韩云花等<sup>[8]</sup>和郑宝强等<sup>[9]</sup>均认为温度和光照强度在一定范围内可以调控兰花的花期。从光照时数上看,2011年3月份临安地区的光照时数为149 h,4月份的光照时数为162 h;而2012年3月份临安地区的光照时数为99 h,较2011年3月份明显减少;2012年4月份的光照时数为155 h,与2011年4月份基本持平。从气温看,2011年3月份和2012年3月份该地区月平均温度基本持平,分别为8.4℃和9.2℃;2011年4月份的月平均温度略低于2012年4月份,分别为14.6℃和16.5℃。据此判断:2012年无距虾脊兰花期晚于2011年,其原因与气温无关;而该地区2012年3月份光照时数减少是导致无距虾脊兰花期推迟的主要原因。

无距虾脊兰为两性花,其花色艳丽,这是其生殖阶段对传粉昆虫的诱因之一<sup>[10]</sup>;其花中有1个花瓣特化为唇瓣,唇瓣中裂片强烈内弯呈90°至180°不等,可吸引昆虫并给昆虫提供立足的平台<sup>[11]</sup>;该种的花粉聚集成8个近卵形的花粉块,有利于传粉昆虫在碰到花药时将花粉块带走,以提高传粉效率;其花粉

块显著小于柱头,且柱头表面有明显液体分泌物,有利于花粉块的黏附。无距虾脊兰的这些花部特征是对传粉过程的适应,使得其野生居群中能够有一定量的自然结果植株。

兰科植物有3种交配方式:自交、异交和混合交配<sup>[10]</sup>。人工授粉结果显示:采用人工自花授粉或人工异花授粉,无距虾脊兰的结果率都可达90%,表明该种具有高度的自交和异交能力,具有自交和杂交的混合交配系统。自交优势表现在生殖成功保障和传递2套完全相同的基因,但自花受精会造成自交退化,即自交所产生的后代适应性降低;而异交恰好弥补了自交的不足,可以提高居群遗传多样性,有利于植物对潜在环境变化的适应;但异交的缺点是代价较高,受外界条件影响较大。在长期的进化进程中,无距虾脊兰发育出1套折中的交配系统<sup>[12]</sup>,这种交配系统可使该种既能产生出一些具遗传多样性的后代又能产生出一些遗传基因稳定的后代。在自然界中绝对自交或杂交的兰科种类很少,大多数是两者兼而有之的混合交配模式,如春兰<sup>[13]</sup>、墨兰〔*Cymbidium sinense* (Jacks. ex Andr.) Willd.〕<sup>[14]</sup>和褐花杓兰〔*Cypripedium smithii* Schltr.〕<sup>[15]</sup>,控制这些交配方式的不仅有自身的遗传特性还有环境条件。在生境入侵、不可靠的传粉条件(如授粉者或交配对象稀少)以及居群局部适应等特定条件下,自交系统可能会受到青睐,如大根槽舌兰〔*Holcoglossum amesianum* (Rehb. f.) Christenson〕在干旱和缺乏传粉昆虫的条件下可进行自花传粉<sup>[16]</sup>。

有效的昆虫传粉可使开花植株结实,果实包含大量种子,而其中少量种子就可以有效萌发并形成新的基株,野生状态下无距虾脊兰则具有类似有效的有性生殖方式。由于野生状态下无距虾脊兰的生长环境具有不可预测的变化,其开花及授粉过程面临不良气候的影响,因而,为避免生境条件导致繁殖失败、保障种群的延续,在漫长的进化过程中无距虾脊兰演化出另一种保障繁衍的无性繁殖机制,无论植株开花与否其假鳞茎均可产生无性芽以维持种群规模,这与疣花三角兰(*Trias verrucosa* Z. J. Liu, L. J. Chen et S. P. Lei)的生殖策略相似<sup>[17]</sup>。相对于有性生殖,无性繁殖产生的幼苗更多。野生无距虾脊兰主要以无性繁殖为主,每个基株可有多个分株,分株的分布较为密集,且与母株有一定的连接和整合;无性分株从当年生植株的基部抽出后,母株的叶片逐渐老化、枯黄甚至干枯而死亡,这是为了避免亲代与子代间的生长冲突,将有限的环境资源留给新植株<sup>[18-19]</sup>。无性生殖作为一种生殖补偿机制,其产生的克隆植株可以最大限度实现有性繁殖成效,保持其种群的繁衍能力<sup>[20]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 罗毅波,贾建生,王春玲. 中国兰科植物保育的现状和展望[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 70-77.
- [2] 罗毅波. 中国兰科植物的保护策略[J]. 中国林业, 2003, 11B: 24-25.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第十八卷[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 279.
- [4] 唐进,汪发纛. 东亚兰科植物之研究二[J]. 植物分类学报, 1951, 1(1): 23-54.
- [5] 丁炳扬,李根有,傅承新,等. 天目山植物志: 第1卷[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2009: 1-2.
- [6] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究, 2008, 21(1): 40-46.
- [7] 张永柏. 文心兰花期调控技术研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 315-318.
- [8] 韩云花,李平英,师春娟,等. 温度和光照条件对野生兰花开花习性的影响[J]. 甘肃农业科技, 2009(4): 13-17.
- [9] 郑宝强,王雁,彭镇华,等. 不同温度处理对杂种卡特兰开花的影响[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(1): 155-159.
- [10] 赵运林. 兰科植物传粉生物学研究概述[J]. 植物学通报, 1994, 11(3): 27-33.
- [11] 李鹏,郭桂灵,周峰. 兰花的传粉与保护研究[J]. 北方园艺, 2009(5): 133-136.
- [12] 何亚平,刘建全. 植物繁育系统研究的最新进展和评述[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 151-163.
- [13] 庾晓红,罗毅波,董鸣. 春兰(兰科)传粉生物学的研究[J]. 植物分类学报, 2008, 46(2): 163-174.
- [14] 刘仲健,陈利君,刘可为,等. 气候变暖致使墨兰(*Cymbidium sinense*)野外种群趋向灭绝[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3443-3455.
- [15] 李鹏,罗毅波. 中国特有兰科植物褐花杓兰的繁殖生物学特征及其与西藏杓兰的生殖隔离研究[J]. 生物多样性, 2009, 17(4): 406-413.
- [16] 刘仲健,刘可为,陈利君,等. 濒危物种杏黄兜兰的保育生态学[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2791-2800.
- [17] 刘仲健,陈利君,雷嗣鹏. 疣花三角兰(*Trias verrucosa*)的生殖策略[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4460-4468.
- [18] HARDLING R, NILSSON P. Parent-offspring and sexual conflicts in the evolution of angiosperm seeds[J]. Oikos, 1999, 84: 27-34.
- [19] OBESO J R. The costs of reproduction in plants[J]. New Phytologist, 2002, 155: 321-348.
- [20] 刘仲健,张建勇,茹正忠,等. 兰科紫纹兜兰的保育生物学研究[J]. 生物多样性, 2004, 12(5): 509-516.

(责任编辑: 惠红)