



### 珍稀濒危植物紫纹兜兰的种群结构和数量动态

潘发光, 叶钦良, 李玉峰, 钟智明, 陈红锋, 易绮斐

引用本文:

潘发光, 叶钦良, 李玉峰, 等. 珍稀濒危植物紫纹兜兰的种群结构和数量动态[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 375–384.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4180>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 安徽宁国珍稀濒危植物华东黄杉的种群动态研究

Studies on Population Dynamics of An Endangered Plant of *Pseudotsuga gaussenii* in Ningguo, Anhui Province

热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 385–393 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4177>

#### 广州市珍稀濒危植物资源状况及保护策略

Conservation on the Rare and Endangered Plants in Guangzhou

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 227–235 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4145>

#### 极小种群博罗红豆的群落物种组成和空间分布格局

Species Composition and Spatial Distribution Pattern of *Ormosia boluoensis* with Extremely Small Population

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 301–309 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4151>

#### 尧山国家级自然保护区种子植物区系研究

Floristic Studies of Seed Plants in Yaoshan National Nature Reserve

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 217–226 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4097>

#### 二色仙人掌, 中国仙人掌科一新归化种

*Opuntia cespitosa* Rafinesque, A New Naturalized Species of Cactaceae from China

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 192–196 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4140>

# 珍稀濒危植物紫纹兜兰的种群结构和数量动态

潘发光<sup>1,2</sup>, 叶钦良<sup>3</sup>, 李玉峰<sup>3</sup>, 钟智明<sup>3</sup>, 陈红锋<sup>2</sup>, 易绮斐<sup>2\*</sup>

(1. 仲恺农业工程学院, 广州 510230; 2. 中国科学院华南植物园, 中国科学院植物资源保护与可持续重点实验室, 广东省应用植物学重点实验室, 广州 510650; 3. 广东省紫金白溪省级自然保护区管理处, 广东 河源 517400)

**摘要:**通过对广东省河源市紫金县白溪省级自然保护区紫纹兜兰(*Paphiopedilum purpuratum*)进行样方调查,运用种群生命表、存活曲线、种群生存函数值和时间序列预测分析方法,研究紫纹兜兰种群的动态变化过程,揭示各龄级植株的数量动态和变化规律。结果表明,紫纹兜兰龄级以幼龄为主,幼龄阶段占整个种群的54.73%,年龄结构为稳定型。种群年龄结构的动态指数 $V_{pi}$ 为0.33、 $V_{pi}'$ 为0.07,均大于0,紫纹兜兰的存活曲线更接近Deevey-II型,表明该种群目前属于稳定型种群。累计死亡率函数和危险率函数上升,生存率函数下降,死亡密度函数波动较大。从时间序列预测分析表明,种群具备一定的恢复能力,但是种群整体数量随时间的增加,成年植株逐渐增加,幼苗减少。平均开花和结实率仅为16.94%和3.29%,种子没有胚乳而营养不足,在自然环境下很难发育成幼苗,主要靠分蘖植株繁殖,因此对紫纹兜兰幼苗的保护很关键。

**关键词:**紫纹兜兰; 种群结构; 数量动态; 龄级; 珍稀濒危植物

doi: 10.11926/jtsb.4180

## Population Structure and Quantitative Dynamics of Rare and Endangered Plant *Paphiopedilum purpuratum*

PAN Fa-guan<sup>1,2</sup>, YE Qing-liang<sup>3</sup>, LI Yu-feng<sup>3</sup>, ZHONG Zhi-ming<sup>3</sup>, CHEN Hong-feng<sup>2</sup>, YI Qi-fei<sup>2\*</sup>

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510230, China; 2. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization, Chinese Academy of Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 3. Baixi Provincial Nature Reserve of Zijin in Guangdong, Heyuan 517400, Guangdong, China)

**Abstract:** Sample quadrat survey was conducted on *Paphiopedilum purpuratum* in Baixi Provincial Nature Reserve of Zijin County, Heyuan City, Guangdong Province. The dynamic changes of the planting stages of population of *P. purpuratum* were studied by using population life table, survival curve table, survival function value and time series prediction analysis method. Quantitative dynamics and variation of plants. The results showed that seedling was the dominant species, approximately 54.73% of the population, and the age structure was stable. The dynamic index  $V_{pi}$  of population age structure was 0.33,  $V_{pi}'$  was 0.07. Both dynamic indices were more than 0, the survival curve type is closer to Deevey-II, indicating that the population was stable at present. Both of them while the cumulative mortality and risk function increase, survival function decreases, and death density function fluctuates greatly. The time sequence prediction analysis shows that *P. purpuratum* has a certain recovery ability, but the overall population increased with time, the adult plants gradually increased, and the seedlings decreased. The average flowering and seed setting rate of *P. purpuratum* is only 16.94% and 3.29%. The seed has no endosperm and under nutrition, which makes it difficult to develop into a seedling in the nature, and

收稿日期: 2019-12-02 接受日期: 2020-01-10

基金项目: 广东省林业发展及保护专项(2130207); 国家林业局项目资助

This work was supported by the Special Project for Forestry Development and Protection in Guangdong Province (Grant No. 2130207); and the Project of State Forestry Administration.

作者简介: 潘发光(1993~), 男, 硕士研究生, 主要从事珍稀植物保育研究。E-mail: 979927774@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: yiqifei@scbg.ac.cn

propagation mainly by tillers, so it was very important for the protection of *P. purpuratum* seedlings.

**Key words:** *Paphiopedilum purpuratum*; Population structure; Quantitative dynamics; Age class; Rare and endangered plant

兜兰属(*Paphiopedilum*)是兰科(Orchidaceae)的一个濒危类群,目前全世界兜兰属总数约为 80 种左右,我国是世界上兜兰属植物种类最多的国家之一,占全世界的 1/3 以上<sup>[1-2]</sup>。兜兰属植物具有很高的观赏价值,由于野生资源受到不合理的采集,走私猖獗以及生态环境受到严重的破坏等原因,从而导致野生兜兰的数量和种类急剧减少,很多种已经濒临灭绝,少量的种类已经没有野生种<sup>[3]</sup>。由于兜兰属野生种受到偷盗采挖和不合理的商品交易而导致该属植物数量急剧下降,《华盛顿公约》(即《濒危野生动植物种国际贸易公约》, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)中,兜兰属植物为附录一中禁止贸易的物种<sup>[4-5]</sup>。

紫纹兜兰(*P. purpuratum*)为我国重点保护野生植物,隶属兰科兜兰属,主要分布于我国广东、香港、广西、云南和海南,广东主要分布于龙门、深圳、河源、阳春、阳西、电白等地<sup>[6-7]</sup>。我们近年的调查发现,紫纹兜兰在野外分布的范围狭窄,人为采挖严重,野外资源越来越少,急需保护。刘仲健等<sup>[5]</sup>对紫纹兜兰进行了保护生物学研究。杜晓洁等<sup>[8]</sup>对紫纹兜兰的生境、伴生植物及群落结构特征进行了研究。但目前对紫纹兜兰的种群结构与数量动态方面探讨研究较少。

从植物种群龄级和种群大小可以得知种群中不同大小、不同龄级的个体数的分布情况,也反映了种群的大小、年龄个体的分配状况及其未来的发展趋势<sup>[9-10]</sup>;植物种群的龄级和大小还能够反映该种群与环境之间的联系及其在群落中的作用和地位<sup>[11-12]</sup>。种群是构成群落的基本单位,种群结构能够直接影响到群落的未来发展和演变趋势<sup>[13-14]</sup>;分析种群的龄级结构是掌握种群生存状况和再生能力的有效方法,同时也能反映种群与环境的关系<sup>[15-16]</sup>。

研究植物种群的年龄结构、生命表、生存函数值、时间序列模型等数量动态,不仅反映植物种群的现实状况,也能说明种群的稳定性、生态特点和更新机制,有非常重要的意义<sup>[17-18]</sup>。本研究根据野外样方调查结果,编制紫纹兜兰的生命表、存活曲线表、种群生存函数值和时间序列预测分析等方法,探讨紫纹兜兰种群动态过程,定量地分析紫纹兜兰种群动态变化特征,为紫纹兜兰的保护与利用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

广东省白溪省级自然保护区位于东江中游、河源市紫金县的东北部,平均海拔 500 m,总面积 5 755.5 hm<sup>2</sup>,位于东经 115°8'54"~115°17'53",北纬 23°40'43"~23°45'43"。该区域属于典型的南亚热带季风气候,年均温为 21℃,夏季极端高温为 38.5℃,冬季极端低温为-4℃,全年无霜期 300~309 d;年均降雨量高达 1 800 mm,4-9 月为雨季,干湿季节非常明显,夏季高温多雨经常受台风的影响。

### 1.2 方法

**野外调查和种群龄级划分** 在充分现场踏查基础上,选取紫纹兜兰分布集中的 3 个点(表 1),分别设置 3 个样方,其中 2 个 10 m×10 m 和 1 个 15 m×15 m 的样方,记录每株紫纹兜兰的盖度、株高、分株数量、位置、开花状况和结果数量等信息。根据紫纹兜兰主要通过无性繁殖来繁衍后代的生物学特性,参照刘仲健等<sup>[19]</sup>和吴沙沙等<sup>[20]</sup>的方法,本文尝试将紫纹兜兰的克隆数量代替龄级,根据每年每基株只进行 1 次克隆新分株的特点,分株干枯或分株“逃跑”后留下 1 个地下茎的特性,统计紫纹

表 1 紫纹兜兰分布的生境

Table 1 Habitat conditions of *Paphiopedilum purpuratum*

样方 Plot	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	土壤类型 Soil type
1	365	20	东南 SE	腐殖质土 Humus
2	372	48	东南 SE	腐殖质土 Humus
3	341	70	东南 SE	砂质土 Sandy

兜兰主茎痕迹和地上分株数, 每个地下茎和地上分株数代表1个龄级, 对生分株只统计为1株。

**种群结构和动态分析** 运用陈晓德等<sup>[21]</sup>的方法定量描述紫纹兜兰种群的结构动态。种群结构动态的计算公式如下:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\% \quad (1)$$

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} S_n} \cdot \sum_{n=1}^{k-1} (S_n \cdot V_n) \quad (2)$$

$$V'_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)}{k \times \min(S_1, S_2 \cdots S_k) \times \sum_{n=1}^{k-1} S_n} \quad (3)$$

式中,  $V_n$  表示该种群两个龄级之间的数量变化过程,  $V_{pi}$  表示种群中所有个体年龄结构和数量变化的动态指数,  $S_n$  和  $S_{n+1}$  表示种群在  $n$ 、 $n+1$  中龄级的个体数,  $K$  则是整个种群龄级数,  $V_n$ 、 $V_{pi}$  可以取值为正、零、负值, 分别表示整个种群或2个龄级间个体数量的增长、稳定、衰退的动态关系<sup>[22]</sup>。如果考虑到以后受到外界环境的干扰, 则动态指数与所有龄级数量和各年龄级个体数量有密切的关联,  $V'_{pi}$  表示种群结构对于外界干扰影响敏感程度的反映<sup>[23]</sup>。

**静态生命表编制** 根据多年观测和野外调查发现, 紫纹兜兰植株呈单链状并且有明显的时空标记生长特性, 因此运用“空间推时间”的方法进行静态生命表的编制<sup>[19]</sup>; 静态生命表是植物种群在一定时间中依据年龄结构特征而建立起来的<sup>[24]</sup>, 根据静态生命表的编制方法<sup>[25-26]</sup>, 通过静态生命表获得存活率、死亡率、消失率、期望寿命等参数, 为种群数量动态变化的统计和分析提供有效信息<sup>[27]</sup>。静态生命表各项计算公式如下:  $l_x = (a_x/a_0) \times 1000$ ,  $d_x = l_x - l_{x+1}$ ,  $q_x = (d_x/l_x) \times 100\%$ ,  $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$ ,  $T_x = \sum L_x$ ,  $e_x = T_x/L_x$ ,  $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ ,  $S_x = l_{x+1}/l_x$ , 式中,  $x$  为龄级;  $a_x$  为在  $x$  龄级的存活数;  $l_x$  是在  $x$  龄级开始时标准化存活数;  $d_x$  是从  $x$  到  $x+1$  龄级的死亡数;  $q_x$  是从  $x$  到  $x+1$  龄级的死亡率;  $L_x$  是从  $x$  龄级到  $x+1$  龄级的存活数;  $T_x$  是  $\geq x$  龄级的总数;  $e_x$  是进入  $x$  龄级的生命期望寿命;  $K_x$  是消失率;  $S_x$  是存活率。

**存活率曲线和死亡率曲线的绘制** 存活率

曲线能够反映种群各龄级当前的存活状况<sup>[28]</sup>, 依据静态生命统计结果, 以龄级为横坐标, 分别以死亡数  $d_x$  和存活数量  $l_x$  为纵坐标, 分别绘制存活率曲线和死亡率曲线。参照 Hett 等<sup>[29]</sup>的方法, 采用 Deevey-II 型和 Deevey-III 型 2 种曲线对紫纹兜兰存活率进行检验, Deevey-II 和 Deevey-III 型曲线分别是指数函数方程  $N_x = N_0 e^{-bx}$  和幂函数  $N_x = N_0 x^{-b}$ , 运用 SPSS 17.0 分析软件对 2 种数学模型进行指数函数和幂函数拟合, 然后建立相应模型。

**生存分析** 为了解紫纹兜兰在野外的生活规律, 把 4 个常用的函数应用于种群生存分析中<sup>[30-31]</sup>; 分别为:  $S_{(t)} = S_1 \times S_2 \times S_3 \times \dots \times S_t$ ,  $F_{(t)} = 1 - S_{(t)}$ ,  $f_{(t)} = (S_{i-1} - S_i)/h_i$  和  $\lambda_{(t)} = 2[1 - S_{(t)}]/h_i[1 + S_{(t)}]$ , 式中,  $S_{(t)}$  为种群生存率函数;  $F_{(t)}$  为累计死亡率函数;  $f_{(t)}$  为死亡密度函数;  $\lambda_{(t)}$  为危险率函数;  $S_i$  为存活率,  $h_i$  为龄级宽度。

**时间序列分析** 参考吴承祯等<sup>[32]</sup>方法, 应用时间序列模型中的移动平均法对紫纹兜兰种群动

态进行预测<sup>[33-34]</sup>。计算公式为  $M_t^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t X_k$ ,

式中,  $t$  表示要预测的时间,  $M_t^{(1)}$  则是在未来  $t$  个龄级后  $n$  龄级种群的大小,  $X_k$  表示目前  $k$  龄级种群的大小, 可预测紫纹兜兰未来 3、6 和 9 个龄级的种群发展趋势。

## 2 结果和分析

### 2.1 生境和野外分布情况

通过调查, 紫纹兜兰种群 3 个样方的坡向均为东南方向, 都是群居生长(图 1: D), 样方 3 坡度比样方 1 和 2 陡, 植株均分布在荫蔽的阔叶林下, 周围有较多其他兰科植物(图 1: A~C, F)。这说明紫纹兜兰大多生长在腐殖土丰富、空气湿度大、通风良好、排水顺畅的地方。2018 年 10 月野外调查时, 紫纹兜兰正是花期(图 1: E), 3 个样地共有开花植株 41 株, 占调查总株数的 16.94%; 2019 年 4 月再次调查, 此时为果期(图 1: F), 仅有 8 株有未成熟的果实, 结实率仅为 3.29%, 说明野外结实率非常低。

结合实地调查, 对 3 个样方内所有紫纹兜兰进行统计和位置标记, 以分析其空间分布结构(图 2)。样方 1 和 2 位于水量较大的溪边, 上层植物较浓密, 湿度较大, 土壤中腐殖质丰富, 紫纹兜兰较多, 样方 3 位于水量较小的小溪旁(图 1: C), 上层植物稍稍

疏，地势陡峭，土壤多为砂质，较干燥，紫纹兜兰数量较少。

### 2.2 年龄结构分析

以龄级为横坐标，植株数量为纵坐标，绘制紫纹兜兰种群年龄结构图(图 3)。可见，龄级 I 的比例最高，有 50 株，占 20.56%，龄级 I~III 的植株数占

54.73%，说明紫纹兜兰种群幼龄个体比较多；随龄级增加种群的个体数量逐渐减少，尤其在龄级 V~VI 的数量急剧下降，龄级 IV、V 和 VI 的植株数分别占总数的 15.64%、12.34% 和 6.58%，总计占 34.56%。龄级 VII~X 分别有 12、7、5 和 2 株，仅占总数的 10.69%。可见，整个龄级结构呈金字塔型分布。

紫纹兜兰 10 个龄级间的个体数量动态指数( $V_n$ )



图 1 紫纹兜兰及其生境。A, B, C: 生境; D: 居群; E: 开花植株; F: 结果植株。

Fig. 1 *Paphiopedilum purpuratum* and its habitat. A, B, C: Habitat; D: Population; E: Flowering plant; F: Fruiting plant.

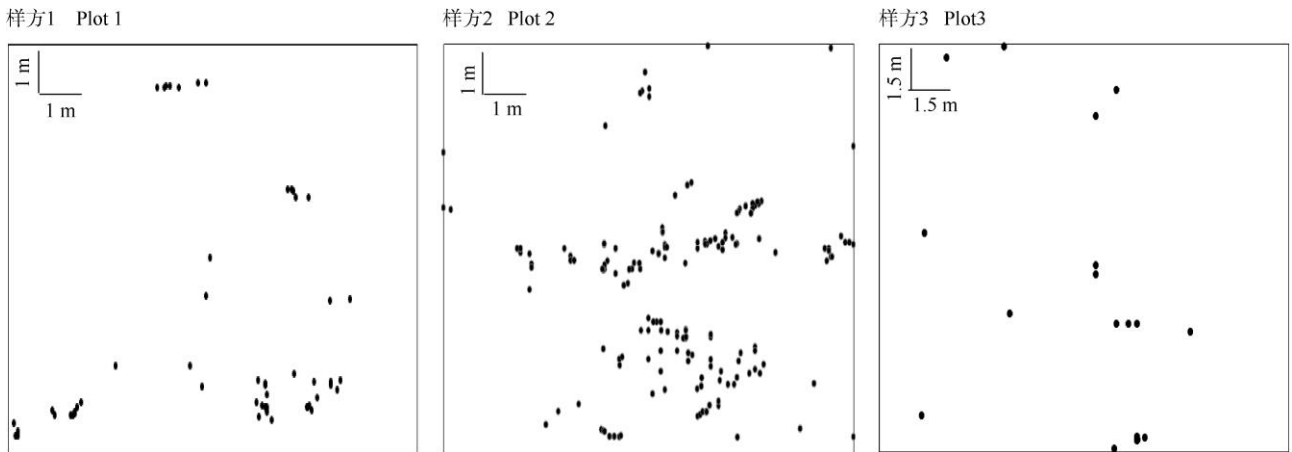


图 2 3 个样方中紫纹兜兰的分布情况

Fig. 2 Distribution of *Paphiopedilum purpuratum* in three plots

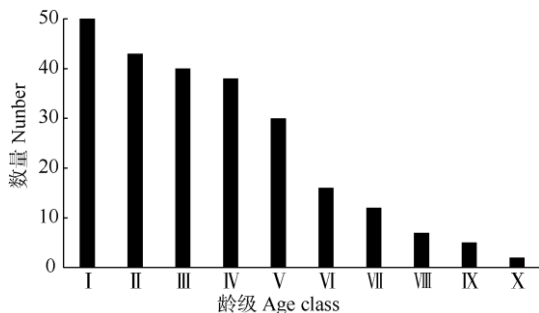


图 3 紫纹兜兰种群的年龄结构

Fig. 3 Age structure of *Paphiopedilum purpuratum* population

分别为 0.14、0.07、0.66、0.05、0.21、0.47、0.26、0.42、0.29 和 0.61，均大于零，说明整个种群呈现出增长的动态关系。没有干扰时的种群年龄结构动态指数( $V_{pi}$ )为 0.33 $>0$ ，表明该种群目前属于稳定型

种群；而受干扰时的  $V_{pi}'$  为 0.07 $>0$ ，趋于零，说明干扰是其种群退化的主要驱动因素。紫纹兜兰种群的  $V_{pi}$  大于受干扰时的  $V_{pi}'$ ，说明白溪自然保护区紫纹兜兰种群结构趋向于稳定型。

### 2.3 静态生命表

由紫纹兜兰静态生命表可知(表 2)，龄级 I 的植株有 50 株，数量最多，说明整个种群以幼苗为主，龄级 III 的死亡率( $q_x$ )最低，为 5.0，其消失率  $K_x$  为 0.06，亦为最低，说明紫纹兜兰种群营养生长的幼苗数量充足，虽然环境恶劣，分布区域狭窄，龄级 I~III 的数量能够维持整个种群的稳定。整个种群中死亡率波动比较大，从龄级 IV 后，随着个体之间存在水分、光照、养分等的竞争，中龄级个体通过一系列竞争和筛选后，随着龄级的增加死亡率也越来

表 2 紫纹兜兰种群静态生命表

Table 2 Static life of *Paphiopedilum purpuratum* population

龄级 Age class	存活数 Survival number ( $a_x$ )	标准化存活数 Standardized survival number ( $l_x$ )	死亡数 Death number ( $d_x$ )	死亡率 /% Mortality ( $q_x$ )	存活数 Survival individuals ( $L_x$ )	总数 Total ( $T_x$ )	期望寿命 Life expectancy ( $e_x$ )	$\ln l_x$	消失率 Disappearance rate ( $K_x$ )	存活率 Survival ( $S_x$ )
I	50	1 000	140	14.0	930.0	3 960.0	3.96	6.91	0.16	0.86
II	43	860	60	6.9	830.0	2 030.0	2.36	6.75	0.07	0.93
III	40	800	40	5.0	780.0	2 200.0	2.75	6.68	0.06	0.95
IV	38	760	60	7.9	680.0	1 420.0	1.86	6.63	0.23	0.79
V	30	600	280	46.7	460.0	740.0	1.23	6.40	0.64	0.53
VI	16	320	80	25.0	90.0	280.0	1.40	5.76	0.28	0.75
VII	12	240	100	41.7	70.0	190.0	0.87	5.48	0.54	0.58
VIII	7	140	40	28.6	50.0	120.0	0.85	4.94	0.33	0.71
IX	5	100	60	60.0	50.0	70.0	0.70	4.61	0.92	0.40
X	2	40	40	100.0	20.0	20.0	0.50	3.69		

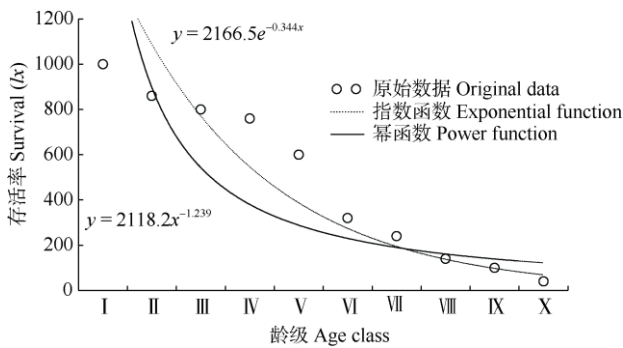


图 4 紫纹兜兰种群的存活曲线和拟合曲线  
Fig. 4 Survival curve and fitting curve of *Paphiopedilum purpuratum* population

越高, 数量大幅度减少, 消失率逐渐增加。总体趋势上, 紫纹兜兰早期存活个体数较多, 死亡率较低, 死亡率随龄级的增加而增加。

### 2.4 存活率曲线和死亡率曲线分析

用 SPSS 17.0 分析软件中的指数函数和幂函数模型进行拟合(图 4), 拟合议程分别为:  $y = 2166.5e^{-0.344x}$

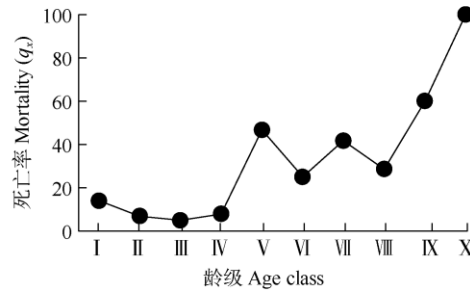
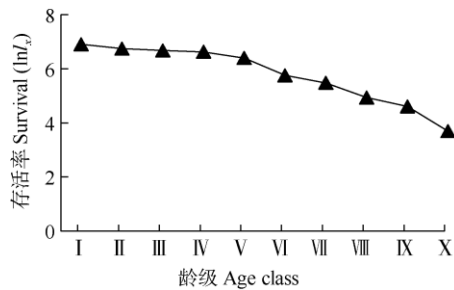


图 5 紫纹兜兰种群的存活率和死亡率曲线  
Fig. 5 Survival and mortality curves of *Paphiopedilum purpuratum* population

表 3 紫纹兜兰种群的生存函数

Table 3 Survival functions of *Paphiopedilum purpuratum* population

龄级 Age class	生存率函数 Survival function [ $S_{(i)}$ ]	死亡率函数 Mortality function [ $F_{(i)}$ ]	死亡密度函数 Death density function [ $f_{(i)}$ ]	危险率函数 Hazard function [ $\lambda_{(i)}$ ]
I	0.860	0.140	0.860	0.151
II	0.799	0.201	0.061	0.335
III	0.759	0.241	0.040	0.388
IV	0.601	0.399	0.158	0.570
V	0.318	0.682	0.283	0.811
VI	0.239	0.761	0.079	0.864
VII	0.138	0.862	0.101	0.926
VIII	0.098	0.902	0.040	0.948
IX	0.039	0.961	0.059	0.980
X	0	1.000	0.039	1.000

( $R^2=0.915$ ,  $F=86.011$ )和  $y=2118.2x^{-1.239}$  ( $R^2=0.694$ ,  $F=18.166$ )。可见, 指数函数的  $R^2$  (0.915)大于幂函数(0.694), 因此, 紫纹兜兰种群的存活曲线更接近 Deevy-II 型。从紫纹兜兰种群的存活率和死亡率曲线(图 5)可见, 随着龄级的增加, 存活率下降, 但是种群整体上还是呈现稳定型。由于种内、种间的竞争和外部环境因素的影响, 伴生草本植物生命力比紫纹兜兰强, 使其在养分、光照等的竞争中处于劣势, 且生长在石壁上的紫纹兜兰植株根系不牢固, 容易被雨水冲刷, 导致整个种群的死亡率波动较大, 龄级 I ~ III 的死亡率逐渐减少, 龄级 III 是整个种群死亡率最低的, 仅为 5%, 龄级 III 到 VIII 之间的死亡率有一个波动, 龄级 VIII 以后, 死亡率明显快速增加。

### 2.5 种群生存分析

由表 3 可见, 随着龄级的增加, 紫纹兜兰种群的生存率函数  $S_{(i)}$  逐渐下降, 而死亡率函数  $F_{(i)}$  逐渐增加, 呈互补状态, 龄级 I ~ III 间的变化较小, 龄级 III ~ VII 间的变化较大, 其中龄级 IV 和 V 间的波

动最大。死亡密度函数  $f_{(t)}$  的变化幅度较大, 龄级 I 的最大(0.680), 龄级 X 的最小(0.039)。而危险率函数  $\lambda_{(t)}$  随龄级递增, 说明紫纹兜兰随龄级增加种群的数量逐渐减少。

## 2.6 时间序列分析

紫纹兜兰时间序列预测以其种群各个龄级对应的原始数据为基准年数据, 按照一次移动平均法预测各龄级在未来 3、6、9 个龄级的个体数(表 4), 紫纹

兜兰目前的总数为 243 株, 在未来几年, 整个种群数量呈下降趋势, 9 a 后整个种群下降为 49 株。在未来几年, 紫纹兜兰整个种群还是以幼龄级为主, 但是随着年限的增加, 幼龄级的数量呈下降的趋势, 中老龄级随着年龄的增加数量也逐渐增多。因此, 在未来 9 a 内, 紫纹兜兰种群整体数量上随时间和年龄的增加反而减小, 虽然幼苗整体数量多, 但是死亡率比较高, 中、老龄级数量增加, 整个种群数量呈下降趋势, 因此要防止生境遭受破坏, 加强对幼龄植株的保护。

表 4 紫纹兜兰年龄结构的时间预测序列表

Table 4 Time sequence of *Paphiopedilum purpuratum* population

年龄 Age class	原始数据 Origin data	未来植株数量 Number of individual in the future		
		3 个龄级 3 age classes ( $M_3^{(1)}$ )	6 个龄级 6 age classes ( $M_6^{(1)}$ )	9 个龄级 9 age classes ( $M_9^{(1)}$ )
I	50			
II	43			
III	40	44		
IV	38	40		
V	30	36		
VI	16	28	36	
VII	12	19	30	
VIII	7	12	24	
IX	5	8	18	28
X	2	5	12	21
合计 Total	243	192	120	49

## 3 结论和讨论

通过对河源市紫金县白溪省级自然保护区紫纹兜兰样方调查分析, 紫纹兜兰是 1 个狭窄区域的分布种, 分布比较集中, 而且对生境有着极强的依赖性, 均分布于东南坡向, 坡度相对较急, 急坡利于排水, 但是土层浅薄, 需要发达的根系才能有利于生长, 不然极易被雨水冲走。东南坡向能够获得早晨太阳光照射, 使其种群在林下荫蔽环境下有一定散射光来满足其生长需求<sup>[12]</sup>, 这是大多数兰科植物的共同生长特性。从种群结构与数量动态的研究表明, 紫纹兜兰是 1 个相对稳定的群体, 但是其对生境要求极高, 受到环境的制约, 如果环境遭到破坏, 紫纹兜兰极易遭到种群灭绝, 因而紫纹兜兰被评为濒危等级, 因此, 植物种群存活能力和外部环境因素相互作用能够决定植物种群数量动态变化<sup>[35]</sup>。

紫纹兜兰的种群结构为稳定型, 虽然幼苗数量多, 但是死亡率比较高, 导致高龄级植株没有得到

充分的更新, 对种群长期生存带来严重的影响。野生的兰科植物通常与其他植物伴生, 在自然环境下, 通过幼苗的增加来壮大种群, 幼苗及时补充阶段是兰科植物很重要的生活史阶段<sup>[36]</sup>。通常情况下, 兰科植物 1 个荚果内有上万粒种子, 可以利用这些种子进行大规模扩繁, 这是紫纹兜兰重要的迁地保护有效措施<sup>[37]</sup>。一般情况下, 兰科植物的繁殖方式主要是通过种子来繁殖, 分株克隆的无性繁殖只是一种辅助方式<sup>[38-39]</sup>。通过调查得知, 紫纹兜兰平均开花率和结实率仅为 16.94% 和 3.29%, 开花率与刘仲健等<sup>[5]</sup>的研究结果相近, 但结实率远低于他们的研究结果(85.25%), 不同分布区的结实率不同, 是否与分布区传粉昆虫的数量有关, 有待进一步研究。本文研究的紫纹兜兰种群正处于幼龄和中龄阶段, 由于生境坡度较大, 常年雨水冲刷, 加上种子没有胚乳而营养不足, 种子很难在自然环境下发育成幼苗, 此外, 亦可以通过克隆分株产生幼苗, 具有天然的更新能力, 结合种群动态指数( $V_{pi}$ , 0.33), 说明该种群目前属于一个稳定型种群。



Deevey<sup>[29]</sup>将种群存活曲线划分为 3 种类型, 分别为 Deevey- I、Deevey- II 和 Deevey-III 型。依据静态生命表和对 2 种数学模型进行拟合, 紫纹兜兰种群的存活曲线为 Deevey- II 型, 为稳定型群落, 中龄级个体对整个种群有一定的维持作用。生存函数在很大程度上阐述了种群的年龄结构和动态变化<sup>[4]</sup>, 由生存分析得知, 紫纹兜兰种群幼苗数量多, 到中龄级后数量锐减, 高龄级数量最少, 与前面的年龄结构、静态生命表分析结果吻合。时间序列分析是时间数列和回归预测两种方法的综合形式, 该分析方法不适用于因果关系的分析, 侧重于根据时间序列过去的动态变化来推测种群未来的趋势。由时间系列分析可知, 9 a 后紫纹兜兰种群数量呈下降的趋势。

紫纹兜兰具有很高的观赏价值, 对生活环境要求特殊, 除了数量稀少、分布区狭窄外, 最大的威胁来自人类对生境的破坏和非法采集。紫纹兜兰对生活环境极其苛刻, 如果生境遭到破坏或植株被盗采, 紫纹兜兰生存就变得非常困难, 可能导致种群消失<sup>[5]</sup>。因此, 维持紫纹兜兰分布区域的生态环境稳定, 防止人为干扰和非法采集对于紫纹兜兰的保护非常重要。此外, 加强无菌播种和离体快速繁殖<sup>[40-41]</sup>等技术的研究, 并通过人工栽培回归野外, 是扩大其种群面积的一个方式<sup>[12]</sup>。

## 参考文献

- [1] LIU Z J, ZHANG J Y, RU Z Z, et al. Conservation biology of *Paphiopedilum purpuratum* (Orchidaceae) [J]. Biodiv Sci, 2004, 12(5): 509–516. doi: 10.3321/j.issn:1005-0094.2004.05.006.  
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. doi: 10.3321/j.issn:1005-0094.2004.05.006.
- [2] ZHANG J H, KANG H T, ZOU J M, et al. Advances in aseptic sowing and tissue culture techniques of *Paphiopedilum* [J]. Fujian Sci Technol Trop Crops, 2017, 42(2): 61–64. doi: 10.3969/j.issn.1006-2327.2017.02.016.  
张敬虎, 康红涛, 邹金美, 等. 兜兰无菌播种与组培技术研究进展 [J]. 福建热作科技, 2017, 42(2): 61–64. doi: 10.3969/j.issn.1006-2327.2017.02.016.
- [3] LONG B, LONG C L. Amazing *Paphiopedilum* and its research status [J]. Chin J Nat, 2006, 28(6): 341–344. doi: 10.3969/j.issn.0253-9608.2006.06.008.  
龙波, 龙春林. 兜兰属植物及其研究现状 [J]. 自然杂志, 2006, 28(6): 341–344. doi: 10.3969/j.issn.0253-9608.2006.06.008.
- [4] CHEN S C. Orchids and their conservation [C]// Proceedings of the 5th Asia Pacific Orchid Conference & Show. Beijing: China Flower Association, 1996: 49–52.
- [5] WANG Z, CONG L, LIU Y. A review of *Paphiopedilum* research [J]. Sci Silv Sin, 2006, 42(7): 113–119. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2006.07.020.  
王贞, 丛磊, 刘燕. 兜兰属植物研究现状 [J]. 林业科学, 2006, 42(7): 113–119. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2006.07.020.
- [6] YE H G, PENG S L. Plant Diversity Inventory of Guangdong [M]. Guangzhou: Guangdong World Book Publishing Company, 2006: 569.  
叶华谷, 彭少麟. 广东植物多样性编目 [M]. 广州: 广东世界图书出版公司, 2006: 569.
- [7] LIU Z J, CHEN X Q, CHEN L J, et al. The Genus *Paphiopedilum* in China [M]. Beijing: Science Press, 2009: 181–182.  
刘仲健, 陈心启, 陈利君, 等. 中国兜兰属植物 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 181–182.
- [8] DU X J, YI Q F, YE Q L, et al. Study on the community characteristics and conservation of endangered species *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein [J]. Plant Sci J, 2017, 35(6): 844–850. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2017.60844.  
杜晓洁, 易绮斐, 叶钦良, 等. 濒危植物紫纹兜兰群落特征及其保护 [J]. 植物科学学报, 2017, 35(6): 844–850. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2017.60844.
- [9] HU G, LI J, QIN Y Y, et al. Population structure and dynamics of mangrove species in Beilun Estuary, Guangxi, southern China [J]. Acta Ecol Sin, 2018, 38(9): 3022–3034. doi: 10.5846/stxb201705170918.  
胡刚, 黎洁, 覃盈盈, 等. 广西北仑河口红树植物种群结构与动态特征 [J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3022–3034. doi: 10.5846/stxb201705170918.
- [10] GALAL T M. Size structure and dynamics of some woody perennials along elevation gradient in Wadi Gimal, Red Sea coast of Egypt [J]. Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants, 2011, 206(7): 638–645. doi: 10.1016/j.Flora.2010.11.010.
- [11] SHEN S K, MA H Y, WANG Y H, et al. The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 28(5): 2404–2412. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.05.058.  
申仕康, 马海英, 王跃华, 等. 濒危植物猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang) 自然种群结构及动态 [J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2404–2412. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.05.058.
- [12] LI W, ZHANG G F. Population structure and spatial pattern of the endemic and endangered subtropical tree *Parrotia subaequalis* (Hama-

- melidaceae) [J]. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants*, 2015, 212: 10–18. doi: 10.1016/j.flora.2015.02.002.
- [13] NIU C J. *Fundamentals of Ecology* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 67.  
牛翠娟. 基础生态学 [M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 67.
- [14] JIANG Z M, HE Z S, SU H, et al. Population structure and dynamic characteristics of endangered *Syringa pinnatifolia* Hemsl [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38(7): 2471–2480. doi: 10.5846/stxb201704250753.  
姜在民, 和子森, 宿昊, 等. 濒危植物羽叶丁香种群结构与动态特征 [J]. *生态学报*, 2018, 38(7): 2471–2480. doi: 10.5846/stxb201704250753.
- [15] LI W Y, LI X, GANG X H. Population structure and dynamics of endangered plant *Tetracentron sinense* [J]. *Subtr Plant Sci*, 2018, 47(3): 222–228. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2018.03.006.  
李文英, 李欣, 甘小洪. 濒危植物水青树的种群结构与数量动态 [J]. *亚热带植物科学*, 2018, 47(3): 222–228. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2018.03.006.
- [16] XU H, LIU Y H. The population structure dynamics features and protection strategy of *Acer catalpifolium* extremely small population [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci)*, 2019, 43(2): 47–54. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.201803040.  
许恒, 刘艳红. 极小种群梓叶槭种群结构及动态特征 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(2): 47–54. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.201803040.
- [17] WEI X Z, WU H, MENG H J, et al. Regeneration dynamics of *Euptelea pleiospermum* along latitudinal and altitudinal gradients: Trade-offs between seedling and sprout [J]. *For Ecol Manage*, 2015, 353: 232–239. doi: 10.1016/j.foreco.2015.06.004.
- [18] WANG L L, WANG L, ZHANG L F, et al. Structure and dynamic characteristics of *Gymnocarpus przewalskii* in different habitats [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2015, 39(10): 980–989. doi: 10.17521/cjpe.2015.0095.  
王立龙, 王亮, 张丽芳, 等. 不同生境下濒危植物裸果木种群结构及动态特征 [J]. *植物生态学报*, 2015, 39(10): 980–989. doi: 10.17521/cjpe.2015.0095.
- [19] LIU Z J, CHEN L J, RAO W H, et al. Correlation between numeric dynamics and reproductive behaviour in *Cypripedium lentiginosum* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, 28(1): 111–121. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.01.013.  
刘仲健, 陈利君, 饶文辉, 等. 长瓣杓兰(*Cypripedium lentiginosum*) 种群数量动态与生殖行为的相关性 [J]. *生态学报*, 2008, 28(1): 111–121. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.01.013.
- [20] WU S S, ZHOU Y Z, LI S X, et al. Population dynamics and reproductive modes of *Pleione formosana* Hayata [J]. *J Fujian Coll For*, 2014, 34(4): 297–303. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2014.04.018.  
吴沙沙, 周育真, 李淑娴, 等. 台湾独蒜兰种群动态与繁殖方式研究 [J]. *福建林学院学报*, 2014, 34(4): 297–303. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2014.04.018.
- [21] CHEN X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics [J]. *Acta Ecol Sin*, 1998, 18(2): 214–217. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1998.02.017.  
陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究 [J]. *生态学报*, 1998, 18(2): 214–217. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1998.02.017.
- [22] YU Q, XIE Z Q, XIONG G M, et al. Community characteristics and population structure of dominant species of *Abies fargesii* forests in Shennongjia National Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, 28(5): 1931–1941. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.05.006.  
于倩, 谢宗强, 熊高明, 等. 神农架巴山冷杉(*Abies fargesii*)林群落特征及其优势种群结构 [J]. *生态学报*, 2008, 28(5): 1931–1941. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.05.006.
- [23] LIU H Y, YANG N K, ZOU T C, et al. Population structure and dynamics of the endemic plant *Acer guizhouense* in Guizhou Province [J]. *Guihaia*, 2016, 36(5): 548–556. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201512006.  
刘海燕, 杨乃坤, 邹天才, 等. 贵州特有植物贵州槭的种群结构及动态研究 [J]. *广西植物*, 2016, 36(5): 548–556. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201512006.
- [24] JIANG H. *Population Ecology of Picea asperata* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 55–135.  
江洪. 云杉种群生态学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 55–135.
- [25] PIELOU E C. *Mathematical Ecology* [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1977: 15–95.
- [26] SILVERTOWN J W. *Introduction to Plant Population Ecology* [M]. London: Longman Press, 1982: 75–155.
- [27] HUANG Z S, LIU J F, HONG W, et al. Life table analysis of *Castanopsis fabri* population in Daiyun Mountain National Nature Reserve [J]. *J Fujian Coll For*, 2009, 29(3): 226–230. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2009.03.010.  
黄志森, 刘金福, 洪伟, 等. 戴云山国家级自然保护区罗浮栲种群生命表分析 [J]. *福建林学院学报*, 2009, 29(3): 226–230. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2009.03.010.
- [28] ZHANG J, SHANGGUAN T L, DUAN Y H, et al. Age structure and dynamics of *Quercus wutaishanica* population in Lingkong Mountain of Shanxi Province, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, 25(11): 3125–3130. doi: 10.13287/j.1001-9332.20140918.010.  
张婕, 上官铁梁, 段毅豪, 等. 灵空山辽东栎种群年龄结构与动态 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25(11): 3125–3130. doi: 10.13287/j.1001-9332.20140918.010.

- [29] DEEVEY JR E S. Life tables for natural populations of animals [J]. *Q Rev Biol*, 1947, 22(4): 283–314. doi: 10.1086/395888.
- [30] YANG F X, WANG S Q, XU H G, et al. The theory of survival analysis and its application to life table [J]. *Acta Ecol Sin*, 1991, 11(2): 153–158.  
杨凤祥, 王顺庆, 徐海根, 等. 生存分析理论及其在研究生命表中的应用 [J]. *生态学报*, 1991, 11(2): 153–158.
- [31] FENG S Y. Survival analysis (III) [J]. *Math Prac Theory*, 1983(1): 70–76.  
冯士雍. 生存分析(III) [J]. *数学的实践与认识*, 1983(1): 70–76.
- [32] WU C Z, HONG W, XIE J S, et al. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2000, 11(3): 333–336. doi: 10.13287/j.1001-9332.2000.0085.  
吴承祯, 洪伟, 谢金寿, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析 [J]. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 333–336. doi: 10.13287/j.1001-9332.2000.0085.
- [33] XIE Z J. *Time Series Analysis* [M]. Beijing: Peking University Press, 1990, 88–145.  
谢衷洁. *时间序列分析* [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 88–145.
- [34] ZU Y G, ZHANG W H, YAN X F, et al. *Conservation Biology of Endangered Adenophora lobophylla* Hong [M]. Beijing: Science Press, 1999: 215–224.  
祖元刚, 张文辉, 阎秀峰, 等. 濒危植物裂叶沙参保护生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 215–224.
- [35] LIU Q, YIN S H, LAN Q Y. Research advances in population dynamics of Orchidaceae [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, 21(11): 2980–2985. doi: 10.13287/j.1001-9332.2010.0394.  
刘强, 殷寿华, 兰芹英. 兰科植物种群动态研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(11): 2980–2985. doi: 10.13287/j.1001-9332.2010.0394.
- [36] WINKLER E, HIETZ P. Population structure of three epiphytic orchids (*Lycaste aromatica*, *Jacquinilla leucomelana*, and *J. teretifolia*) in a Mexican humid montane forest [J]. *Selbyana*, 2001, 22(1): 27–33. doi: 10.2307/41760079.
- [37] LUO Y B, JIA J S, WANG C L. Conservation strategy and potential advantages of the Chinese *Paphiopedilum* [J]. *Biodiv Sci*, 2003, 11(6): 491–498. doi: 10.3321/j.issn:1005-0094.2003.06.009.  
罗毅波, 贾建生, 王春玲. 初论中国兜兰属植物的保护策略及其潜在资源优势 [J]. *生物多样性*, 2003, 11(6): 491–498. doi: 10.3321/j.issn:1005-0094.2003.06.009.
- [38] WANG T X, QI S J, SONG X Q, et al. Correlation analysis between population dynamics and reproduction strategies in *Dendrobium sinense* (Orchidaceae), an endemic orchid in Hainan Island [J]. *J Trop Biol*, 2018, 9(2): 189–197. doi: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2018.02.010.  
王童欣, 戚山江, 宋希强, 等. 华石斛种群动态与繁殖策略的相关性分析 [J]. *热带生物学报*, 2018, 9(2): 189–197. doi: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2018.02.010.
- [39] LIAN J J. *Reproductive biology of Calanthe tsoongiana* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2013: 12–16.  
连静静. 无距虾脊兰生殖生物学研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013, 12–16.
- [40] HUA M, XIANG Z Y, KONG J J, et al. Asymbiotic germination analysis of *Paphiopedilum wenshanense* seed [J]. *J W China For Sci*, 2019, 48(2): 109–113. doi: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2019.02.018.  
华梅, 向振勇, 孔继君, 等. 文山兜兰种子非共生萌发方法的研究 [J]. *西部林业科学*, 2019, 48(2): 109–113. doi: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2019.02.018.
- [41] ZHANG M, HU J, ZHOU Y, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Paphiopedilum emersonii* [J]. *Seed*, 2019, 38(3): 45–49. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.03.045.  
张梅, 胡瑾, 周艳, 等. 白花兜兰的无菌播种和离体快速繁殖 [J]. *种子*, 2019, 38(3): 45–49. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.03.045.