

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2017.20223

明兴加, 李博然, 叶陈娟, 伍淳操, 高美娇, 罗毅波. 齿瓣石斛的原生境播种及其株丛生长特性研究[J]. 植物科学学报, 2017, 35(2): 223-233

Ming XJ, Li BR, Ye CJ, Wu CC, Gao MJ, Luo YB. Study on the sowing and planting characteristics of *Dendrobium devonianum* Paxt. seeds sown directly on tree trunks in native habitats[J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35(2): 223-233

## 齿瓣石斛的原生境播种及其株丛生长特性研究

明兴加<sup>1,2</sup>, 李博然<sup>1,2</sup>, 叶陈娟<sup>1,2</sup>, 伍淳操<sup>1,2</sup>, 高美娇<sup>3</sup>, 罗毅波<sup>4\*</sup>

(1. 重庆市中药研究院, 濒危药材繁育国家工程实验室/重庆市中药资源学重点实验室, 重庆 400065;

2. 中国中医科学院中药资源中心重庆分中心, 重庆 400065; 3. 重庆邮电大学生物信息学院,  
重庆 400065; 4. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**摘要:** 兰科(Orchidaceae)植物是植物保护中的“旗舰”类群, 其种子细小粉末状, 缺乏萌发所需的营养物质, 研究种子萌发和幼苗生长特性对于兰科植物保育、资源可持续利用和产业化等具有重要意义。本研究以附生齿瓣石斛(*Dendrobium devonianum* Paxt.)为对象, 建立原生境播种方法, 研究其生活史周期和不同附主树种齿瓣石斛株丛生长特性。结果显示, 采取稀牛粪+种子(或米汤+种子)的原生境播种方法, 齿瓣石斛种子可大量萌发生长形成幼苗; 种子萌发当年生长缓慢, 完成由种子到种子的生活史周期需3~5年或更长; 不同附主树种的齿瓣石斛株丛生长及结果情况存在差异, 4年生假鳞茎在不同附主树种上的茎节数指标为: 李树>梨树>桃树>披针叶楠; 茎粗指标为: 披针叶楠>梨树>桃树>李树; 茎长指标为: 梨树>披针叶楠>李树>桃树; 结实率指标为: 梨树>桃树>李树>披针叶楠, 其中, 梨树上的齿瓣石斛株丛自然结果率达24.86%。该研究为附生石斛的原生态栽培和回归保育提供了一条新途径。

**关键词:** 兰科植物; 齿瓣石斛; 种子萌发; 有性繁殖; 生活史

中图分类号: Q948.12

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2017)02-0223-11

## Study on the sowing and planting characteristics of *Dendrobium devonianum* Paxt. seeds sown directly on tree trunks in native habitats

Ming Xing-Jia<sup>1,2</sup>, Li Bo-Ran<sup>1,2</sup>, Ye Chen-Juan<sup>1,2</sup>, Wu Chun-Cao<sup>1,2</sup>, Gao Mei-Jiao<sup>3</sup>, Luo Yi-Bo<sup>4\*</sup>

(1. Chongqing Key Laboratory of Chinese Traditional Medicine Resource, National Engineering Laboratory for Propagation of Endangered Traditional Chinese Medicine, Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400065, China;

2. Chongqing Sub-center of National Resource, Center for Chinese Materia Medica, Chongqing 400065, China;

3. College of Bio-Information, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

4. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** Seed germination and growth are critical for orchid conservation and sustainable utilization, yet most orchid seeds are tiny and lack an endosperm and suitable nutrition. Based on previous experience, two experimental sowing methods (sowing with diluted cow-dung + seed and rice-water + seed) for *Dendrobium devonianum* Paxt. were applied successively to sow on the trunks of different tree species in the field. The seedlings were monitored and recorded for four years. Results showed that many seeds germinated and developed into

收稿日期: 2016-05-31, 退修日期: 2016-07-15。

基金项目: 国家农业科技成果转化项目(cstc2014 jcsf-nycgzhB80001); 重庆市科技惠民项目(2013GS500102-D2014-2)。

This work was supported by grants from the National Agricultural Science and Technology Achievements Transformation Projects of China (cstc2014 jcsf-nycgzhB80001) and Huimin Projects of Science and Technology of Chongqing Province (2013GS500102-D2014-2)。

作者简介: 明兴加(1981-), 男, 副研究员, 研究方向为中药资源保护与利用(E-mail: xjming123@sina.com)。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: luoyb@ibcas.ac.cn)。

seedlings. The seedlings grew slowly in the first year and had short stems, with three to five years required to reach the flowering stage. Growth and fruiting varied greatly on the different tree trunks, with the highest fruiting set rate of 24.86% recorded from plants on the trunks of *Pyrus × michauxii*. Our study suggested that *D. devonianum* could be sown directly on trunks in native habitats. Based on our results and the large number of seeds per fruit, this method could be applied as a potential new strategy for commercial cultivation and for conservation in the field.

**Key words:** Orchidaceae; *Dendrobium devonianum* Paxt.; Seed germination; Seedling; Life cycle

种子是植物生活史的一个重要阶段，从其发生、发育到成熟、传播、萌发以及成苗都与周围环境有着密切联系<sup>[1]</sup>，而不同生境的植物在长期的自然选择过程中可能发展了其适应独特环境的种子萌发和休眠释放策略<sup>[2]</sup>，特殊的传播和萌发机制确保了植物种子在合适的时间和地点萌发与幼苗生长，使植物度过对外界的敏感期，有利于植物的生存和繁衍。兰科植物种子被称为灰尘性种子(dust seeds)<sup>[3]</sup>，非常细小，肉眼无法观察形态，是被子植物中种子最小的 12 个类群之一<sup>[4]</sup>，成熟种子没有胚乳，缺乏萌发所需的内源营养物质<sup>[5]</sup>。兰科植物种子萌发所需营养来源包括内源营养和外源营养，多数兰科植物种子仅依靠自身的内源营养物质常难以萌发，外源营养对种子萌发具有重要作用<sup>[6]</sup>。同时，兰科植物果实所含种子数量大，每个蒴果具有数万乃至数十万种子是其显著的优势，利用种子进行大规模繁殖是珍稀濒危兰科植物保育的重要手段<sup>[7,8]</sup>，同时也是兰科植物育苗产业发展的坚实基础。

迄今，有关兰科植物种子萌发的研究主要集中在非共生萌发(asymbiotic germination)和共生萌发(symbiotic germination)两个方面<sup>[9]</sup>。通过种子无菌播种的非共生萌发，可大量培育种苗，这在拖鞋兰类、大花蕙兰和药用石斛等附生和部分地生兰科植物的生产上得到了充分应用，技术已比较成熟，是一次重要的技术革新<sup>[10]</sup>。但由于种子无菌播种技术具有成本高、投入大、技术要求严格等缺点，研究人员试图通过共生萌发繁育种苗，从而降低种苗培育成本，同时开展回归和保育等工作。共生萌发是指基于 1899 年 Bernard 首次认识到真菌的作用后，利用兰科植物与共生真菌的共生关系，在真菌侵染条件下实现兰科植物种子

萌发的过程<sup>[11]</sup>。目前，原地共生萌发技术(*in situ* seed baiting technique)和迁地共生萌发技术(*ex situ* seed baiting technique)分离共生真菌开展共生萌发已成为兰科植物保育的重要研究方向<sup>[12]</sup>。共生萌发已在腐生兰天麻的人工栽培中得到成功的应用<sup>[13]</sup>，但其它兰科植物仍处于室内研究阶段。

石斛属(*Dendrobium*)系兰科植物中物种数目超过 1200 个的大属之一，药用价值始载于 2000 多年前的《神农本草经》，为多年生附生性草本植物，多附生于高山悬崖或林间古树上，生境独特。笔者在从事石斛研究的过程中，发现一些小环境中石斛种子萌发较多，并据此提出了石斛种子自然繁殖方法(natural propagation of *Dendrobium* seeds，简称 NPDS)，认为适宜环境下可能广泛存在有利于种子萌发的真菌等微生物群落，直接从种子萌发的环境调控入手可能是实现其有性繁殖的一条捷径<sup>[14,15]</sup>。齿瓣石斛(*Dendrobium devonianum* Paxt.)又名紫皮石斛，是重要的中药石斛新资源<sup>[16]</sup>，由于其产量高、品质好而深受消费者青睐，其种植面积仅次于铁皮石斛。但近年来的过度采集和生境破坏，致使其野生资源急剧减少，已成为濒危植物。因此，我们以齿瓣石斛为对象，采用种子自然繁殖方法在滇西南原产地直接进行原生境播种，观察研究种子萌发、生长形成株丛、开花结果，完成从种子到种子的生活史周期全过程，该实验可为进一步研究石斛的生长发育规律和致危原因提供参考，为兰科植物特别是附生石斛的原生态栽培和回归保育，以及降低附生石斛的生产成本提供一条新途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点

云南省芒市勐戛镇勐旺村，地处我国西南边

陲, 云南西南部, 属亚热带气候。该地区海拔 $1300 \sim 1800\text{ m}$ , 年平均气温 $14 \sim 18^\circ\text{C}$ , 极端最高温 $34^\circ\text{C}$ 以下, 极端最低温 $1^\circ\text{C}$ 以上, 无霜期 $260\text{ d}$ 以上, 年日照时数 $2200 \sim 2500\text{ h}$ , 年积温 $6400 \sim 7300^\circ\text{C}$ , 年降雨量 $1200 \sim 1800\text{ mm}$ , 空气相对湿度约80%。20世纪80—90年代该地区曾大量出产野生齿瓣石斛, 村子附近包括房前屋后的披针叶楠(*Phoebe lanceolata* (Wall. ex Nees) Nees)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis* D. Don)、各种果树乃至瓦房上均有野生植株生长, 是齿瓣石斛原产地。本研究地点海拔 $1557.5 \sim 1564.8\text{ m}$ ,  $98^\circ 31' 37'' \sim 98^\circ 35' 09''\text{E}$ ,  $24^\circ 24' 50'' \sim 24^\circ 25' 51''\text{N}$ , 具有明显的雨季与旱季之分, 5—10月为雨季, 11月至次年3月为旱季。在齿瓣石斛原生境直接进行播种, 播种地附主树种及生境见图1。

## 1.2 研究材料

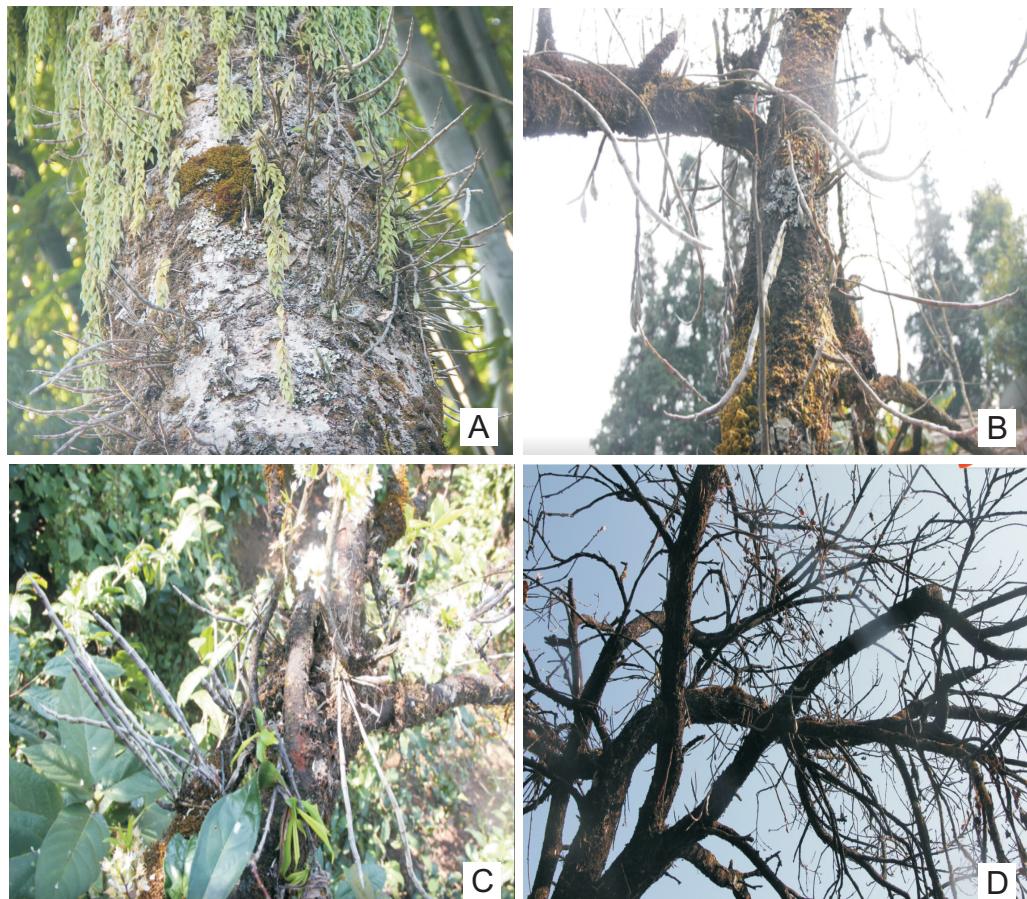
齿瓣石斛为兰科石斛属多年生附生草本植物,

分布于我国云南、贵州、广西和藏南地区, 以及缅甸、泰国、越南等国, 属热带、亚热带植物, 生长于海拔 $600 \sim 2000\text{ m}$ 的山地林中树干上, 我国滇西南为其主产区。本研究齿瓣石斛果实采自云南省芒市勐戛镇勐旺村红木梁社。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 果实采集与种子形态观察

于2010年3月采集当地野生齿瓣石斛成熟果实, 部分蒴果自然开裂, 种子呈淡黄色、粉尘状。用剪刀剪去果实一端, 种子散落, 用报纸收集并保存于室内通风处、备用。采用尼康SMZ1500体视显微镜观察种子形态, 测量种子和种胚的长、宽等形态参数。按Arditti等<sup>[17]</sup>的方法计算种子和胚的体积, 种子体积 $V_1 = 2 \times [(W_1/2)^2 \times (L_1/2) \times 1.047]$ , 其中 $W_1$ =种子宽度,  $L_1$ =种子长度,  $1.047 = \pi/3$ ; 种胚体积 $V_2 = 4/3 \times \pi \times (L_2/2) \times (W_2/2)^2$ , 其中 $W_2$ =胚宽度,  $L_2$ =胚长度。



A: 披针叶楠; B: 梨树; C: 李树; D: 桃树。

A: *Phoebe lanceolata*; B: *Pyrus × michauxii*; C: *Prunus salicina*; D: *Amygdalus persica*.

图1 齿瓣石斛播种附主树种

Fig. 1 Trunks of different tree species on which *Dendrobium devonianum* seeds were sown

### 1.3.2 播种方法

随机选择披针叶楠、桃(*Amygdalus persica* L.)、梨(*Pyrus × michauxii*)和李(*Prunus salicina* Lindl.)等4种树木作为附主树种播种齿瓣石斛，每个树种1株。其中，披针叶楠为野生树种，桃树、梨树、李树为栽培20年以上的人工树种，树木生境概况见表1。

于2010年4月中旬雨季来临前进行播种。将齿瓣石斛种子与稀牛粪混合(1个蒴果拌稀牛粪约3000 g)，搅拌均匀，用毛刷将混合后的牛粪涂于附主树木表面。由于树干部分区域被雨水冲刷，幼苗生长较少，于次年(2011年4月)进行补种，将种子与米汤混合(1个蒴果兑米汤约2500 g)，用喷雾器直接进行喷雾播种。种子播种后，不需进行特殊管理，让其自然生长。

### 1.3.3 种子萌发动态观察

采集不同萌发阶段的种子和幼苗在尼康SMZ1500体视显微镜下，观察原球茎形成、原球茎膨大、芽生长点形成、叶片展开、生根等不同萌发阶段生长发育动态并拍照。

### 1.3.4 株丛观察与测量

于2015年2月21日采集原生境播种生长形成的部分齿瓣石斛株丛进行统计，统计指标包括不同生长年龄茎条的茎节数、茎粗、茎长以及枯萎和死亡情况。同时，统计各附主树种齿瓣石斛总株丛数、结果株丛数、果实数量等，比较不同附主树种齿瓣石斛的结果情况。

1年生茎条：种子萌发当年形成假鳞茎；2年生茎条：种子萌发次年3—4月份从1年生茎条基部发芽形成的假鳞茎；3年生茎条：种子萌发后第3年3—4月份从2年生茎条基部发芽形成的假鳞茎；4年生茎条：种子萌发后第4年3—4月份从3年生茎条基部发芽形成的假鳞茎。

### 1.4 数据统计分析

采用Excel 2003和SPSS 17.0软件对数据进行统计分析，结果以平均值±标准差(SD)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 齿瓣石斛种子形态特征

齿瓣石斛蒴果呈纺锤形，腹裂，果实长3.8~5.1 cm，宽1.66~2.28 cm。蒴果内含种子数量大，细小粉末状，肉眼观察果实内种子呈淡黄色。体视显微镜下观察种子呈不规则纺锤形，中部膨大，两端狭小，且一端宽钝，一端稍细长。种子由种皮和胚两部分组成，种皮透明，胚为浅绿色(图2: A)。种子长298.64~448.74 μm，宽60.11~96.71 μm，长宽比为4.96，体积约548 490.12 μm<sup>3</sup>；胚长146.34~208.24 μm，宽55.25~86.43 μm，长宽比为2.56，体积约444 777.84 μm<sup>3</sup>。

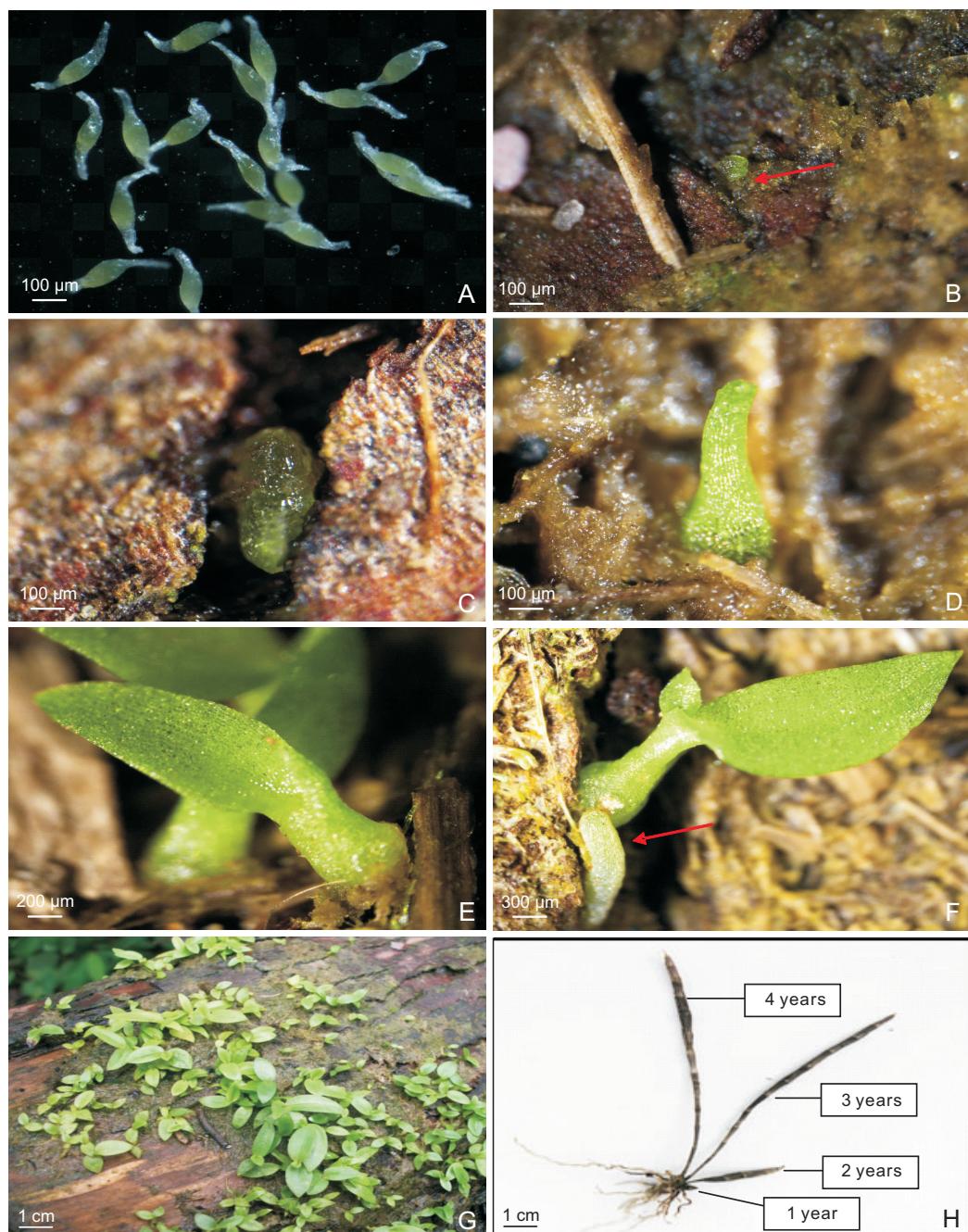
### 2.2 原生境齿瓣石斛种子萌发及株丛形成

原生境播种后，齿瓣石斛种子大量萌发，其萌发过程见图2: B~G。随着雨季的来临，种子开始吸水膨胀，20 d后种子开始变绿，种胚逐渐膨大，由长椭圆形逐渐变成圆形绿色小球体并突破种皮(图2: B)，6~7月开始大量形成绿色的原球茎(图2: C)。原球茎进一步伸长，出现芽生长点并长出叶片(图2: D、E)。8月中旬，部分幼苗开始生根(图2: F)，此时可观察到大量的齿瓣石斛幼苗(图2: G)。

齿瓣石斛种子萌发及幼苗生长周期较长，在其萌发生长过程中，部分小球体或幼苗受雨季雨水冲刷和冬春干旱而死亡，但不同附主树种上仍有大量幼苗生长形成株丛(图2: H)。种子播种当年萌发长成的幼苗(即1年生茎条，假鳞茎)通常2~3个茎节，少数可达5个茎节，长度小于1 cm。次年3~4月从1年生茎条基部发芽形成2年生茎条，

表1 齿瓣石斛原生境播种实验点自然概况  
Table 1 Natural conditions of the *D. devonianum* seed sowing experiments

序号 No.	附主树种/胸径 Tree species/DBH (cm)	海拔 Altitude (m)	纬度 Latitude	经度 Longitude	朝向 Orientation
A	披针叶楠/70 <i>Phoebe lanceolata</i> /70	1559.8	24°25' 43"N	98°35' 09"E	西北 Northwest
B	梨/50 <i>Pyrus × michauxii</i> /50	1564.8	24°25' 46"N	98°33' 22"E	正北 North
C	李/18 <i>Prunus salicina</i> /18	1563.2	24°24' 50"N	98°31' 37"E	东北 Northeast
D	桃/35 <i>Amygdalus persica</i> /35	1557.5	24°25' 51"N	98°34' 51"E	东北 Northeast



A: 齿瓣石斛种子；B: 种子萌发形成绿色原球茎(箭头示)；C: 原球茎膨大伸长；D: 原球茎伸长并出现芽生长点；E: 幼苗长出叶片；F: 幼苗生根(箭头示)；G: 种子大量萌发形成幼苗；H: 原生境种子萌发后4年的齿瓣石斛株丛。

A: Seeds of *D. devonianum*; B: Green protocorm after seed germination (arrow); C: Inflated and elongated protocorm; D: Elongated protocorm developed into a gemmule; E: Leaf growing from protocorm; F: Root developed from protocorm base (arrow); G: Germinated seedlings; H: Four-year-old *D. devonianum* after seed germination in the field.

图2 原生境齿瓣石斛种子萌发及株丛形成

Fig. 2 Seed germination and plant development of *D. devonianum* in the field

且不同株丛间茎节数差异显著，2~12个茎节数均有，相差6倍；茎的长度则相差更大，最短的仅为0.3 cm，最长的为16.5 cm，相差近55倍。生长较好的2年生茎条可分化出花芽并结果，即具备

有性繁殖能力。2年生茎条能结果，于次年3月果实成熟，即种子播种后第3年即可完成由种子萌发到下一代种子成熟的生活史周期。但多数株丛3、4年生的茎条才可大量分化出花芽。因此，原生境

下齿瓣石斛完成一个生活史周期需3~5年，部分生长缓慢的株丛则需要更长时间。

## 2.3 原生境齿瓣石斛株丛生长特性

### 2.3.1 株丛生长情况

从不同附主树种上采集的齿瓣石斛株丛数量分别为：披针叶楠(A)：64丛、梨树(B)：19丛、李树(C)：17丛、桃树(D)：31丛，共计131丛，对1、2、3、4年生假鳞茎的茎节数、茎粗和茎长进行了统计分析，结果见表2。其中，1、2、3年生的部分假鳞茎出现枯萎或缺损，1年生枯萎或缺损假鳞茎32条，损坏率24.4%；2年生枯萎或缺损假鳞茎1条，损坏率0.8%；3年生枯萎或缺损假鳞茎5条，损坏率3.8%；4年生假鳞茎无枯萎或缺损情况。种子萌发当年形成的1年生假鳞茎茎节数为1~5个，多数2~3个，占92.9%；次年萌发的2年生假鳞茎茎节数各株丛间差异增大，茎节数2~12个，多数3~7个，3、4、5、6、7个茎节数的假鳞茎数量均超过10条，占总茎条数的79.2%，2、8、9、10、11、12个茎节数的假鳞茎数量均少于10条，特别是茎节数达到11、12个的假鳞茎均为1条；3、4年生假鳞茎茎节数各株丛间的差异进一步增大，4年生假鳞茎茎节数最高的达到27个。茎长与茎节数密切相关，其变幅亦随着生长年龄的增长而增加。而茎粗的变幅则相对较小。因此，在原生境播种萌发的齿瓣石斛幼苗，1~4年生假鳞茎的茎节数、茎粗和茎长的平均值均随着生长年龄的增长而增加，但在生长过程中各株丛间的差异较大。

### 2.3.2 不同附主树种对齿瓣石斛株丛生长的影响

分别对不同附主树种上齿瓣石斛假鳞茎的茎节数、茎粗和茎长等生长情况进行对比分析(统计株丛同2.3.1)，结果可见(表3~表5)，不同附主

树种齿瓣石斛株丛的茎节数、茎粗和茎长均随着生长年限的增加而增加，但树种之间齿瓣石斛株丛的生长情况具有一定差异。

附主树种披针叶楠上的齿瓣石斛1年生假鳞茎节数为1~5个，梨树为1~3个，李树和桃树为2~3个。齿瓣石斛1年生茎节数平均值以李树最好，为2.63个，其次为披针叶楠2.61个(表3)。从第2年开始，附主树种梨树和李树的齿瓣石斛假鳞茎节数增长明显加快，至第4年，茎节数平均值分别为14.64个和15.47个，稍高于披针叶楠和桃树上的齿瓣石斛，最大茎节数为第4年李树上生长的齿瓣石斛茎条，茎节数达到27个。截止统计日(2015-02-21)，株丛茎节生长量(即4年生茎条茎节数)在各附主树种上表现为：李树>梨树>桃树>披针叶楠，但其差异不显著( $P > 0.05$ )。

由表4可知，不同附主树种上齿瓣石斛1年生假鳞茎的茎粗表现为：李树>桃树>梨树>披针叶楠，但随着年限的增长，各附主树种上的齿瓣石斛株丛茎粗增幅有所差别，披针叶楠和梨树上齿瓣石斛的增幅大于李树和桃树，且李树上4年生齿瓣石斛假鳞茎茎粗略低于3年生。4年生假鳞茎茎粗的平均值在不同附主树种上表现为：披针叶楠>梨树>桃树>李树，茎粗为0.3~0.9 cm。

不同附主树种上齿瓣石斛株丛的茎长有所不同，以梨树茎长最长(表5)，其1~4年生假鳞茎茎长均大于其余树种上的齿瓣石斛株丛。4年生假鳞茎茎长的平均值在不同附主树种上表现为：梨树>披针叶楠>李树>桃树。4年生齿瓣石斛株丛假鳞茎极大值的大小依次为：李树(66.0 cm)>梨树(57.2 cm)>披针叶楠(56.0 cm)>桃树(39.2 cm)，与3年生的极大值：桃树(47.1 cm)>披针叶楠(36.4 cm)>梨树(35.8 cm)>李树(28.0 cm)正好相反，这可能是个体差异的缘故。

表2 播种后齿瓣石斛株丛连续4年的生长情况

Table 2 Individual growth conditions of *D. devonianum* over four consecutive years after sowing

生长年限 Year	茎节数 No. of stem nodes					茎粗 Diameter of stems (cm)					茎长 Length of stems (cm)				
	Max	Min	Mean	SD	CV	Max	Min	Mean	SD	CV	Max	Min	Mean	SD	CV
1	5	1	2.54	0.66	0.26	0.7	0.1	0.28	0.11	0.39	2.7	0.12	0.53	0.39	0.74
2	12	2	4.62	1.82	0.39	0.8	0.1	0.41	0.14	0.34	16.5	0.3	2.42	2.44	1.01
3	19	2	8.75	4.08	0.47	0.9	0.2	0.49	0.14	0.29	47.1	0.52	11.00	9.19	0.84
4	27	4	4.62	1.82	0.35	0.93	0.3	0.43	0.30	0.75	66	1.4	2.42	2.44	1.01

## 2.4 原生境不同附主树种对齿瓣石斛结果率的影响

对4个附主树种上的齿瓣石斛总株丛数和果实数量进行了统计(包括上述采集用于生长情况观察的株丛和保留于树上作为继续观察的株丛), 不同附主树种上齿瓣石斛总株丛数的多少依次为: A: 200丛、B: 173丛、C: 20丛、D: 110丛, 共

计503丛(表6)。从不同附主树种上齿瓣石斛株丛的结果情况可看出(表6), 披针叶楠上齿瓣石斛株丛较多, 但结果株丛较少; 梨树上萌发的幼苗比较分散, 生长较好, 结果多; 李树主干及枝条上均附生有大量齿瓣石斛株丛, 结果率低; 桃树上萌发的齿瓣石斛幼苗比较分散, 结果多。结果数量以梨树

表3 播种后不同附主树种齿瓣石斛株丛连续4年的茎节数

Table 3 Number of *D. devonianum* stem nodes on different tree species over four consecutive years after sowing

附主树种 Tree species	茎节数 No. of stem nodes			
	1年生 1 year	2年生 2 years	3年生 3 years	4年生 4 years
A: 披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	2.61 ± 0.70 a	4.22 ± 1.55 b	7.30 ± 3.26 b	13.43 ± 3.98 a
B: 梨 <i>Pyrus × michauxii</i>	2.35 ± 0.79 a	5.33 ± 1.88 a	10.26 ± 4.91 a	14.64 ± 6.87 a
C: 李 <i>Prunus salicina</i>	2.63 ± 0.52 a	5.00 ± 1.87 ab	9.81 ± 4.07 a	15.47 ± 7.05 a
D: 桃 <i>Amygdalus persica</i>	2.48 ± 0.51 a	4.81 ± 2.15 ab	10.10 ± 4.21 a	13.94 ± 4.22 a

注: 同列数字后不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ , LSD法检验)。下同。

Note: Data followed by different letters within the column indicate significant differences at the 0.05 level by LSD. Same below.

表4 播种后不同附主树种齿瓣石斛株丛连续4年的茎粗生长情况

Table 4 *D. devonianum* stem diameters on different tree species over four consecutive years after sowing

附主树种 Tree species	茎粗 Diameter of stems (cm)			
	1年生 1 year	2年生 2 years	3年生 3 years	4年生 4 years
A: 披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	0.26 ± 0.12 a	0.37 ± 0.12 b	0.48 ± 0.12 a	0.63 ± 0.09 a
B: 梨 <i>Pyrus × michauxii</i>	0.27 ± 0.12 a	0.38 ± 0.12 b	0.48 ± 0.11 a	0.59 ± 0.15 ab
C: 李 <i>Prunus salicina</i>	0.33 ± 0.11 a	0.40 ± 0.17 b	0.52 ± 0.19 a	0.50 ± 0.16 b
D: 桃 <i>Amygdalus persica</i>	0.30 ± 0.09 a	0.51 ± 0.13 a	0.51 ± 0.15 a	0.53 ± 0.15 ab

表5 播种后不同附主树种齿瓣石斛株丛连续4年的茎长生长情况

Table 5 Stem length growth of *D. devonianum* on different tree species over four consecutive years after sowing

附主树种 Tree species	茎长 Length of stems (cm)			
	1年生 1 year	2年生 2 years	3年生 3 years	4年生 4 years
A: 披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	0.55 ± 0.38 a	2.11 ± 1.69 a	8.27 ± 7.68 cd	26.83 ± 11.74 a
B: 梨 <i>Pyrus × michauxii</i>	0.57 ± 0.32 a	3.10 ± 2.17 a	14.32 ± 10.73 ab	29.62 ± 19.63 a
C: 李 <i>Prunus salicina</i>	0.40 ± 0.13 a	2.39 ± 3.01 a	12.02 ± 8.89 abd	26.73 ± 18.47 a
D: 桃 <i>Amygdalus persica</i>	0.50 ± 0.52 a	2.68 ± 3.40 a	13.73 ± 9.87 ab	20.92 ± 7.94 a

表6 不同附主树种齿瓣石斛株丛结果情况

Table 6 Fruit sets of *D. devonianum* on different tree species

附主树种 Tree species	株丛数 No. of plants	结果株丛数 No. of plants bearing fruit	株丛结果率 Fruit sets of plants (%)	果实数量 No. of fruits	结果株丛的平均结果数 Mean fruit number of plants bearing fruits
A: 披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	200	5	2.50	6	1.20
B: 梨 <i>Pyrus × michauxii</i>	173	43	24.86	79	1.84
C: 李 <i>Prunus salicina</i>	20	1	5.00	1	1.00
D: 桃 <i>Amygdalus persica</i>	110	12	10.91	16	1.33

最多,统计齿瓣石斛173丛植株有43丛结果,数量达到79个,株丛结果率24.86%,其自然结果率较高,部分茎条蒴果数量达到6个,这与梨树上齿瓣石斛株丛生长较好有关,此外还可能与梨树开花多、传粉者访问频繁有关。不同附主树种齿瓣石斛结果率的大小依次为:梨树>桃树>李树>披针叶楠,披针叶楠上的齿瓣石斛虽然株丛较多,但结果率最低,这可能与株丛密集、大小不均以及传粉者访问少有关。可见,不同附主树种齿瓣石斛株丛结果率存在较大差异。同时,通过原生境播种,经过种子萌发生长,不同附主树种上的齿瓣石斛株丛均有挂果株丛,完成了由种子到种子的生活史周期。

### 3 讨论

#### 3.1 齿瓣石斛原生境播种及繁育体系的建立

以种子为研究对象的种子生态学(seed ecology)已发展成现代植物生态学、进化生物学领域的研究热点之一,植物种子萌发和幼苗生长对环境的适应能力是决定植物种群分布的关键因素<sup>[1,18,19]</sup>。兰科植物是植物保护中的“旗舰”类群,全世界所有野生兰科植物均被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES),尽管近年来相关机构和人员积极参与到兰科植物的保护中,但其保护形势仍有待进一步加强<sup>[20]</sup>。种子萌发和幼苗生长是兰科植物保护和可持续利用的关键,但兰科植物种子细小,致使其研究难度较大,迄今对兰科植物种子在自然条件下的萌发动态仍知之甚少。探索适合兰科植物种子萌发和幼苗生长的方法已成为兰科植物保育研究的基础和关键。

目前,对兰科植物繁殖生物学的研究主要集中在兰科植物与共生真菌的关系以及利用共生真菌来促进种子萌发和幼苗生长方面。共生萌发技术源于地生兰,并在部分地生兰和腐生兰的回归保育和人工培植中得到了成功应用<sup>[21]</sup>。如天麻与共生真菌蜜环菌(*Armillariella mella*)和紫萁小菇(*Mycena osmundicola*)关系的研究,从而实现了天麻的人工培植并促进了产业发展。在石斛等附生兰科植物上也有类似的研究<sup>[9,22-28]</sup>,并完成了一些有效共生真菌的筛选工作,但目前在对附生兰科植物的保育和人工栽培研究中还没有大的突破。

自然环境条件极为复杂,种子萌发特性受纬度、海拔、土壤湿度、土壤营养、温度、植物种类

和密度、种群受破坏程度等环境因素的影响,但大多数学者认为,温度、降水和光照等差异是影响种子萌发差异的主要因素<sup>[18]</sup>。而兰科植物种子萌发及幼苗生长不仅与温度、光照、湿度等常规因素相关,还涉及到与真菌共生体系的建立,以及共生体系与周围环境的关系等诸多因素<sup>[29,30]</sup>。在当前难以揭示兰科植物种子萌发、幼苗生长与环境的关系以及兰科植物迫切需要保护的情况下,本研究对种子原生境播种进行了尝试,以齿瓣石斛为对象,在滇西原生境采取稀牛粪+种子(或米汤+种子)的方法进行播种,播种后无需特殊管理,所播种子能大量萌发并生长成苗,从而初步建立了原生境齿瓣石斛种子直播的繁育技术体系。播种后的生长情况显示,在未使用任何真菌制剂的情况下,原生境下齿瓣石斛种子亦可大量萌发,说明此生境可能存在有利于种子萌发的真菌。同时,播种20 d后,肉眼即可观察到种子变绿,我们推测齿瓣石斛种子在萌发初期就已具备光合作用的能力,即可通过光自养获取碳源。种子萌发初期,绿色小球体和幼苗较多,但在生长过程中受暴雨、狂风和干旱等自然因素影响较大,部分幼苗因无法适应环境而流失或死亡。附主树种树干阳面的种子萌发生长明显优于树干阴面,树干阴面的小苗到第2、3年仍有部分死亡的情况,这可能是树干阴面接触雨水的频次较低和缺乏光照的原因。

石斛种子细小,附着于适宜的附主是其能在自然环境下萌发的基础,本研究采用牛粪(或米汤)与种子混合的方法播种,可更好地将种子固定于附主树种上,同时,牛粪富含多种有机质和矿物质<sup>[31]</sup>,米汤富含淀粉、蛋白质、脂肪、氨基酸和矿质元素等<sup>[32]</sup>,对于缺乏营养的石斛种子而言,可提供一定的营养物质供种子萌发生长。

#### 3.2 齿瓣石斛生活史周期及不同附主树种石斛株丛生长特性

有关兰科植物生活史的研究仅见腐生兰天麻的报道<sup>[33-37]</sup>,尽管石斛产业已达到一定规模,但至今还未见有关其生活史的报道。笔者首次对自然环境下石斛的生活史周期及不同附主树种上石斛株丛生长特性进行了研究。成熟齿瓣石斛种子细小,由种皮和胚组成,种胚处于原胚阶段,种子为淡黄色,体视显微镜下种皮透明,胚浅绿色。原生境播种结果表明,齿瓣石斛种子萌发经过原球茎、芽生长点形成、展叶、生根等阶段,从而形成了1年生

假鳞茎, 次年于1年生假鳞茎基部发芽形成2年生假鳞茎, 3、4、5年生假鳞茎等依次类推。生长较好的株丛2年生假鳞茎即可开花结果, 于次年3月果实成熟, 即完成由种子到种子的生活史周期至少需要3年, 多数株丛需4~5年才可完成, 而生长较弱的株丛则需要更长的时间。

对4种不同附生树种进行原生境播种, 各树种均有大量种子萌发并长成株丛, 且截止统计日, 各树种均有株丛挂果, 完成了生活史周期, 株丛生长指标统计结果表明, 茎节数、茎粗和茎长均随着生长年限延长而增加, 但不同树种之间齿瓣石斛株丛的生长及挂果率有一定差异。4年生齿瓣石斛假鳞茎节数生长表现为: 李树>梨树>桃树>披针叶楠; 茎粗表现为: 披针叶楠>梨树>桃树>李树; 茎长表现为: 梨树>披针叶楠>李树>桃树。不同附生树种齿瓣石斛株丛结果率依次为: 梨树>桃树>李树>披针叶楠。从茎长和结果率来看, 以梨树上的齿瓣石斛生长最佳, 株丛自然结果率达到24.86%, 部分茎条挂果达到6个, 这与普遍认为石斛开花多结果少不同, 可见自然环境下亦有结果较多的情况。

### 3.3 基于原生境播种的石斛原生态栽培及应用前景

2005年以来, 我国以铁皮石斛为代表的石斛产业得到了快速发展, 迄今已突破6667 hm<sup>2</sup>, 成为种植面积、产量和产值较大的一类中药材。石斛产业从无到有, 经历了设施仿生地栽、设施仿生床栽、盆栽等发展历程, 石斛的移栽成活率和种植产量均得到了大幅度提高。同时, 为了提高药材质量, 尽可能与野生药材的品质接近, 近几年石斛栽培有往原生态栽培的发展趋势, 包括贴石(含崖栽)和贴树栽培<sup>[38~40]</sup>, 石斛药材产区均有规模不等的原生态栽培基地。为了将产业发展与资源保护有机结合, 根据石斛的生物学特性和中国国情, 刘虹等<sup>[41]</sup>以铁皮石斛为例, 提出了以产业化促进物种保护和可持续利用的新模式, 即: 发达地区集约经营带动山区发展的产业模式、西南岩溶地貌的生态治理模式和丹霞地貌立体利用模式。

石斛种子原生境播种方法的优势在于成本较低。据浙江、云南等地石斛组培工厂化生产经验, 从种子无菌播种到成苗, 其成本包括: 组培设施运行过程中的水电、设备和人工费用, 以及种苗运输、清洗、定植、驯化等多个环节的费用。而本研究在4种不同附生树种上播种经萌发生长形成株

丛, 种苗培育成本较低, 其成本仅为果实购买和播种用工, 无需水电费和设备费, 并大幅度降低了人力费。

石斛原生态栽培和回归保育关键在于种苗的培育与定植。目前, 种苗主要通过种子无菌播种和组织培养育苗获得, 经驯化后方可定植, 其优点是技术比较成熟, 可批量生产, 但也存在设备要求高、程序复杂、成本高、技术要求严格、定植困难等缺点。因此, 可充分发挥石斛果实含种子数量大的特性, 在原生境直接进行播种, 以简化操作程序, 降低原生态栽培和回归保育的成本。同时, 通过原生境播种进行原生态栽培和回归保育, 便于对石斛的生长发育规律和致危机制进行深入研究, 以实现资源的可持续利用, 具有重要的科研和应用价值。当然, 我们也认识到该研究建立的技术体系是基于前人的经验而建立起来一种方法, 虽然成本低廉, 但也存在米汤或牛粪的浓度不好定量控制、其对种子在树干上的黏附程度无法定量估计的问题, 因此该实验可能存在可重复性较差等不足之处。这些缺陷有望今后通过进一步优化实验条件和流程得到解决。

### 参考文献:

- [1] 黄振英, 曹敏, 刘志民, 王雷. 种子生态学: 种子在群落中的作用[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 705~707.  
Huang ZY, Cao M, Liu ZM, Wang L. Seed ecology: roles of seeds in communities [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 705~707.
- [2] 刘会良, 张永宽, 张道远, 尹林克, 张元明. 不同居群准噶尔无叶豆果实和种子特性及种子萌发差异[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 802~811.  
Liu HL, Zhang YK, Zhang DY, Yin LK, Zhang YM. Variation in fruit and seed traits and seed germination among different populations of *Eremosparton songoricum* [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 802~811.
- [3] Arditti J, Ghani AKA. Tansley review No. 110 numerical and physical properties of orchid seeds and their biological implications[J]. New Phytol, 2000, 145(3): 367~421.
- [4] Eriksson O, Kainulainen K. The evolutionary ecology of dust seeds[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics (PPEES), 2011, 13(2): 73~87.
- [5] McCormick MK, Jacquemyn H. What constrains the distribution of orchid populations? [J]. New Phytol, 2014, 202(2): 392~400.
- [6] 明兴加, 张笑逸, 伍淳操, 钟国跃, 肖波, 王昌华, 张植

- 玮, 赵德良. 兰科植物种子的营养萌发[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2012, 14(5): 2077–2081.
- Ming XJ, Zhang XY, Wu CC, Zhong GY, Xiao B, Wang CH, Zhang ZW, Zhao DL. Nutrient germination of orchid seeds[J]. *World Science and Technology/Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica*, 2012, 14(5): 2077–2081.
- [7] 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.
- Luo YB, Jia JS, Wang CL. Conservation strategy and potential advantages of the Chinese *Paphiopedilum* [J]. *Biodiversity Science*, 2003, 11(6): 491–498.
- [8] Verma J, Sharma K, Thakur K, Sembi JK, Vij SP. Study on seed morphometry of some threatened Western Himalayan orchids[J]. *Turk J Bot*, 2014, 38(2): 234–251.
- [9] 刘思思, 陈娟, 郭顺星. 兰科植物种子萌发的研究进展[J]. 种子, 2015, 34(6): 43–50.
- Liu SS, Chen J, Guo SX. Review on germination of orchid seeds[J]. *Seed*, 2015, 34(6): 43–50.
- [10] Yam TW, Arditti J. History of orchid propagation: a mirror of the history of biotechnology[J]. *Plant Biotechnol Rep*, 2009, 3(3): 1–56.
- [11] 郑晓君, 叶静, 管常东, 马海英. 兰科植物种子萌发研究进展[J]. 北方园艺, 2010 (19): 206–209.
- Zheng XJ, Ye J, Guan CD, Ma HY. Review on recent progress of orchid seeds germination[J]. *Northern Horticulture*, 2010 (19): 206–209.
- [12] 盛春玲, 李勇毅, 高江云. 硬叶兰种子的迁地共生萌发及有效共生真菌的分离和鉴定[J]. 植物生态学报, 2012, 36 (8): 859–869.
- Sheng CL, Lee YI, Gao JY. *Ex situ* symbiotic seed germination, isolation and identification of effective symbiotic fungus in *Cymbidium mannii* (Orchidaceae) [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(8): 859–869.
- [13] 徐锦堂, 郭顺星, 范黎, 娜仁. 天麻种子与小菇属真菌共生萌发的研究[J]. 菌物系统, 2001, 20(1): 137–141.
- Xu JT, Guo SX, Fan L, Na R. Symbiotic germination between *Gastrodia elata* and fungal species of *Mycena* [J]. *Mycosistema*, 2001, 20(1): 137–141.
- [14] 明兴加, 冯婷婷, 钟国跃, 张明, 秦松云. 石斛属植物一种新型种苗快繁途径——种子自然繁殖方法学探讨[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(7): 3390–3392.
- Ming XJ, Feng TT, Zhong GY, Zhang M, Qin SY. A new method of *Dendrobium* seedling rapid propagation [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2010, 38 (7): 3390–3392.
- [15] 明兴加, 刘家保, 钟国跃, 伍淳操, 段兴恩, 张明学. 珍稀齿瓣石斛的生物学特性及其野生资源保护[J]. 中国野生植物资源, 2011, 30(6): 24–27, 43.
- Ming XJ, Liu JB, Zhong GY, Wu CC, Duan XE, Zhang MX. Discussion of biological characteristics and wild resources protection of precious *Dendrobium devonianum* Paxt. [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2011, 30(6): 24–27, 43.
- [16] 顺庆生. 中药石斛的新资源——齿瓣石斛(紫皮)[J]. 中国现代中药, 2011, 13(11): 23–24.
- Shun QS. A new resource of traditional Chinese medicine: *Dendrobium devonianum* Paxt. (Zipi) [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2011, 13(11): 23–24.
- [17] Arditti J, Michaud JD, Healey PL. Morphometry of orchid seeds. I. *Paphiopedilum* and native California related species of *Cypripedium* [J]. *Am J Bot*, 1979, 66 (10): 1128–1137.
- [18] 宋松泉, 程红焱, 姜孝成. 种子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Song SQ, Cheng HY, Jiang XC. Seed Biology [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [19] 于顺利, 方伟伟. 种子生态学研究动态[J]. 科技导报, 2012, 30(30): 68–75.
- Yu SL, Fang WW. Research advances in seed ecology [J]. *Science & Technology Review*, 2012, 30(30): 68–75.
- [20] 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.
- Luo YB, Jia CS, Wang CL. A general review of the conservation status of Chinese orchids [J]. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1): 70–77.
- [21] 柯海丽, 宋希强, 谭志琼, 刘红霞, 罗毅波. 兰科植物种子原地共生萌发技术及其应用前景[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 125–129.
- Ke HL, Song XQ, Tan ZQ, Liu HX, Luo YB. The technique of orchid seeds baiting *in situ* and its applications [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(5): 125–129.
- [22] 郭顺星, 徐锦堂. 真菌在罗河石斛和铁皮石斛种子萌发中的作用[J]. 中国医学科学院学报, 1991, 13(1): 46–49.
- Guo SX, Xu JT. Studies on the effects of fungi on the course of seed germination of *Dendrobium lohohens* and *Dendrobium candidum* [J]. *Acta Academiae Medicinae Sinicae*, 1991, 13(1): 46–49.
- [23] Wang H, Fang HY, Wang Y, Duan LS, Guo SX. *In situ* seed baiting techniques in *Dendrobium officinale* Kimaraet Migo and *Dendrobium nobile* Lindl.: the endangered Chinese endemic *Dendrobium* (Orchidaceae) [J]. *World J Microb Biot*, 2011, 27(9): 2051–2059.
- [24] 吴慧凤, 宋希强, 刘红霞. 铁皮石斛种子的室内共生萌发[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2491–2497.
- Wu HF, Song XQ, Liu HX. *Ex-situ* symbiotic seed germination of *Dendrobium catenatum* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(8): 2491–2497.

- [25] 张萍, 钟云芳, 宋希强, 王晓鸣, 王健. 微生物共同作用下的铁皮石斛组培苗生长效应研究 [J]. 植物科学学报, 2013, 31(1): 73–79.  
Zhang P, Zhong YF, Song XQ, Wang XM, Wang J. Interaction effect of symbiotic microorganisms on seedling growth of *Dendrobium catenatum* Lindley (Orchidaceae) [J]. *Plant Science Journal*, 2013, 31(1): 73–79.
- [26] 陈晓梅, 李媛媛, 郭顺星. 石斛属植物种子萌发的研究进展 [J]. 中国药学杂志, 2013, 48(19): 1629–1633.  
Chen XM, Li YY, Guo SX. Research progress on seed germination of *Dendrobium* species [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2013, 48(19): 1629–1633.
- [27] 字肖萌, 高江云. 不同真菌对2种药用石斛种子共生萌发的效果 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(17): 3238–3244.  
Zi XM, Gao JY. Effects of different fungi on symbiotic seed germination of two *Dendrobium* species [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2014, 39(17): 3238–3244.
- [28] Zi XM, Sheng CL, Goodale UM, Shao SC, Gao JY. *In situ* seed baiting to isolate germination-enhancing fungi for an epiphytic orchid, *Dendrobium aphyllum* (Orchidaceae) [J]. *Mycorrhiza*, 2014, 24(7): 487–499.
- [29] Rasmussen HN, Dixon KW, Jersáková J, Těšitelová T. Germination and seedling establishment in orchids: a complex of requirements [J]. *Ann Bot-London*, 2015, 116(3): 391–402.
- [30] Kartzinel TR, Trapnell DW, Shefferson RP. Critical importance of large native trees for conservation of a rare neotropical epiphyte [J]. *J Ecol*, 2013, 101(6): 1429–1438.
- [31] 李书田, 刘荣乐, 陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 179–184.  
Li ST, Liu RL, Shan H. Nutrient contents in main animal manures in China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1): 179–184.
- [32] 郭亚丽, 李芳, 洪媛, 刘英. 大米理化成分与米饭品质的相关性研究 [J]. 武汉轻工业大学学报, 2015, 34(3): 1–6.  
Guo YL, Li F, Hong Y, Liu Y. Study on the correlation between properties of rice and quality of cooked rice [J]. *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2015, 34(3): 1–6.
- [33] 刘芳媛, 张应. 天麻的生物学特性观察 [J]. 云南植物研究, 1975, 1(1): 45–49.  
Liu FY, Zhang Y. Biological observations on *Gastrodia elata* Blume [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1975, 1(1): 45–49.
- [34] 周铉. 天麻生活史 [J]. 云南植物研究, 1981, 3(2): 197–202.  
Zhou X. The life circle of *Gastrodia elata* Blume [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1981, 3(2): 197–202.
- [35] 徐锦堂, 冉砚珠, 郭顺星. 天麻生活史的研究 [J]. 中国医学科学院学报, 1989, 11(4): 237–241.  
Xu JT, Ran YZ, Guo SX. Studies on the life cycle of *Gastrodia elata* [J]. *Acta Academiae Medicinae Sinicae*, 1989, 11(4): 237–241.
- [36] 陈顺芳, 黄先敏, 王锐, 伍文聪, 祁岑. 天麻的一代生活史 [J]. 昭通师范高等专科学校学报, 2009, 31(5): 36–39.  
Chen SF, Huang XM, Wang R, Wu WC, Qi C. Life cycle of *Gastrodia elata* in Zhaotong [J]. *Journal of Zhaotong Teacher's College*, 2009, 31(5): 36–39.
- [37] 张博华, 刘威, 赵致, 罗夫来, 刘红昌, 黄明进, 王华磊, 李金玲, 罗春丽, 文平, 陈文字. 贵州仿野生栽培红天麻的生活史及物候期研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(22): 4311–4316.  
Zhang BH, Liu W, Zhao Z, Luo FL, Liu HC, Huang MJ, Wang HL, Li JL, Luo CL, Wen P, Chen WY. Research on life history and phenological period of wild-stimulated cultivated *Gastrodia elata* f. *elata* in Guizhou [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2014, 39(22): 4311–4316.
- [38] 斯金平, 陈梓云, 刘京晶, 朱玉球, 蔡国见, 黄炳荣, 章焜一, 金传高. 铁皮石斛悬崖附生栽培技术研究 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(12): 2289–2292.  
Si JP, Chen ZY, Liu JJ, Zhu YQ, Cai GJ, Huang BR, Zhang KY, Jin CG. *Dendrobium officinale* cliff epiphytic cultivation method [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2015, 40(12): 2289–2292.
- [39] 斯金平, 俞巧仙, 宋仙水, 邵伟江. 铁皮石斛人工栽培模式 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(4): 481–484.  
Si JP, Yu QX, Song XS, Shao WJ. Artificial cultivation modes for *Dendrobium officinale* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2011, 38(4): 481–484.
- [40] 肖玉, 杨曾奖, 林国雄, 徐大平, 张宁南, 刘小金. 不同附主树种对金钗石斛生长的影响 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2410–2414.  
Xiao Y, Yang ZJ, Lin GX, Xu DP, Zhang NN, Liu XJ. Effects of different epiphyllous species on the growth of *Dendrobium nobile* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(9): 2410–2414.
- [41] 刘虹, 罗毅波, 刘仲健. 以产业化促进物种保护和可持续利用的新模式: 以兰花为例 [J]. 生物多样性, 2013, 21(1): 132–135.  
Liu H, Luo YB, Liu ZJ. Using guided commercialized cultivation models to promote species conservation and sustainable utilization: an example from the Chinese medicinal orchids [J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(1): 132–135.

(责任编辑: 张平)