

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201412036

王喜龙, 刘强, 余东莉, 等. 西双版纳片段化石灰岩森林附生兰科植物多样性研究[J]. 广西植物, 2016, 36(2):162-169

WANG XL, LIU Q, YU DL, et al. Diversity of epiphytic orchids in fragmental limestone forests in Xishuangbanna, China[J]. Guihaia, 2016, 36(2):162-169

西双版纳片段化石灰岩森林附生兰科植物多样性研究

王喜龙^{1,2}, 刘强^{1,2}, 余东莉³, 肖龙骞¹, 高江云^{1*}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园 综合保护中心, 云南 勐腊 666303; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西双版纳国家级自然保护区管理局科研所, 云南 景洪 666100)

摘要: 西双版纳石灰岩地区拥有丰富的兰科植物资源, 但近年来随着橡胶树的大面积种植, 使得该地区很多石灰岩森林呈片段化。为了解片段化石灰岩森林中附生兰科植物多样性状况以及片段化对附生兰科植物的影响, 该研究选取了生境片段化的青岩寨和曼纳览, 以及连续生境的绿石林和巴卡新寨等 4 个样地的 29 个样方进行多样性调查和对比研究。结果表明: 4 个石灰岩森林样共记录到附生兰科植物 34 属 76 种 1 528 株(丛)。通过对坡向、坡度、海拔、地形、郁闭度和森林类型等 6 个环境因子与附生兰科植物丰富度进行 CCA 分析, 发现石灰岩地区附生兰科植物的分布主要受海拔和森林类型 2 个因素的影响, 在海拔较高的青岩寨和巴卡新寨附生兰科植物物种丰富度高于低海拔的绿石林和曼纳览, 而片段化对附生兰科植物的物种多样性和多度均无显著影响, 这可能与片段化的历史较短有关。虽然目前来看生境片段化对石灰岩地区的附生兰科植物多样性无显著影响, 但生境脆弱的石灰岩森林植被的保护对于兰科植物多样性保护则更具重要性。

关键词: 生境片段化, 石灰岩生境, 附生兰科植物, 物种多样性, 典范对应分析

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)02-0162-08

Diversity of epiphytic orchids in fragmental limestone forests in Xishuangbanna, China

WANG Xi-Long^{1,2}, LIU Qiang^{1,2}, YU Dong-Li³, XIAO Long-Qian¹, GAO Jiang-Yun^{1*}

(1. Center for Integrative Conservation, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Research Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong 666100, China)

Abstract: There are abundant orchid species in tropical limestone forests in Xishuangbanna. Many are fragmented due to recent large-scale cultivation of rubber trees in the area. The aim of this study is to explore the diversity of epiphytic orchids in fragmented limestone forest and the effects of habitat fragmentation. We established 29 of plots 15 m² in 4 tropical limestone forests, and recorded a total of 1 528 individuals of epiphytic orchids belonging to 76 species and 34 genera using Canonical Correspondence Analysis with species richness and abundance, and with aspect, slope, elevation, topography, canopy density and forest types as environmental factors. We found that the distribution of epiphytic orchids in limestone forests was affected by altitude and forest type significantly. Species richness of epiphytic orchids in higher elevations, Qingyan Village and Baca Village, was higher than Greenstone rain forests and Mannalan in low elevations. Habitat fragmentation had no effect on the diversity and abundance of epiphytic orchids in tropical limestone rain forests which might be fragmented on a short temporal scale. Regarding our findings, protecting harsh limestone for-

收稿日期: 2014-12-23 修回日期: 2015-04-11

基金项目: 国家自然科学基金(31470450) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(31470450)]。

作者简介: 王喜龙(1982-), 男, 甘肃定西人, 硕士研究生, 主要研究方向为兰科植物保护, (E-mail) tibetxl@hotmail.com。

* **通讯作者:** 高江云, 博士, 研究员, 主要从事兰科植物综合保护, (E-mail) gjy@xtbg.org.cn。

est habitats is highly important for the protection of orchid diversity.

Key words: habitat fragmentation, limestone habitat, epiphytic orchids, species diversity, CCA

生境片段化(habitat fragmentation)对生物多样性的影响长期以来备受生态学家的关注(Fahrig, 2003),是一个大的连续生境被分割成一些小的彼此相分离的斑块(Wilcove et al, 1986)。由于生境丧失和片段化导致的热带森林面积急剧减少(Foley et al, 2005; Laurance, 2007),已影响到热带森林的生物多样性和当地的自然环境(Gibson et al, 2011)。生境片段化已成为影响物种生存最为重要的因素之一(Wilcox & Murphy, 1985),它不仅会导致种群遗传流失、近亲自交衰退、基因漂变和基因流减少等(Young et al, 1996; Goverde et al, 2002; Honnay & Jacquemyn, 2007),而且可能对传粉昆虫的多度和多样性有一定影响,片段化森林的斑块越小所承载的传粉昆虫就越少,从而无法吸引更多的传粉者为其服务(González-Varo et al, 2009; Laurance et al, 2001)。这将可能影响到传粉效率和繁殖成功率,从而影响物种的多样性(Aguilar et al, 2006; Laurance et al, 2006)。

片段化对附生兰科植物的物种多样性、遗传多样性和传粉等有一定的影响。Hundera et al(2013)研究发现片段化森林中的附生兰科植物物种多样性低于原始森林,且片段化面积越小,物种多样性越低。Chung(2014)发现在片段化生境的兰科植物等位基因多样性明显低于连续未受干扰的种群,同时遗传分化比连续生境高 2~3 倍。Cozzolino et al(2003)也发现在片段化生境中小种群的兰科植物的遗传多样性要高于大种群。同时,生境片段化对兰科植物的传粉效率和传粉者也有较大影响(Brosi, 2009; Meekers & Honnay, 2011; Nemesio, 2011),由于大部分兰科植物的传粉系统具有专性特征,在重度干扰、斑块较小、隔离程度高的片段化森林中有可能缺乏对应的传粉昆虫(Hietz, 1998; Murren, 2002)。人类活动(农业土地利用、采矿、放牧、采集药材等)对生境破坏所形成的片段化将会对兰科植物的分布和丰富度产生一定影响(Evans et al, 2013)。

西双版纳是中国兰科植物最为丰富的地区之一,共记录有 115 属 428 种兰科植物(高江云等, 2014)。早期对该区域的植物区系调查发现有兰科植物 35 属 86 种,占西双版纳区系总数的 29.6%(朱

华等,1996)。但近年来随着橡胶树种植面积逐年扩大,近二十年来热带原始森林面积不断缩小且片段化森林数量不断增加(Li et al, 2007, 2008),致使很多石灰岩森林呈现片段化,这些残存的石灰岩森林被橡胶林所包围,成为橡胶林海中的“孤岛”。本研究通过对这些石灰岩地区的附生兰科植物的多样性进行调查,是否片段化对石灰岩森林的附生兰科植物物种多样性和多度有影响,从而对该区域的兰科植物保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

西双版纳的石灰岩山地面积约占全州总面积的 19%(3 600 km²),呈南北走向,以块片状分布于海拔 600~1 600 m 的地带(高江云等,2014),原生植被类型主要为热带季节性雨林、热带季节性湿润林和热带山地矮树林(Zhu et al, 2003)。本研究在森林片段化较为严重的勐仑地区选择 4 个样地开展附生兰科植物的多样性调查,其中,绿石林(LSL)和曼纳览(MNL)样地海拔在 1 000 m 以下,巴卡新寨(BKXZ)和青岩寨(QYZ)样地海拔在 1 000 m 以上;绿石林和巴卡新寨样地相对连续的森林,绿石林样地属于西双版纳国家级自然保护区的一部分,而曼纳览和青岩寨样地在近二十年左右形成的片段化森林,完全被橡胶种植园所包围(表 1)。勐仑地区年均温度为 21.5 ℃,年均降雨量为 1 563 mm,其中 80% 的降雨集中在 5~10 月的雨季(Cao et al, 2006),4 个研究点都为热带季节性湿润林,主要乔木树种为四数木(*Tatrameles nudiflora*)、油朴(*Celtis philippensis*)、闭花木(*Cleistanthus sumatranus*)、轮叶戟(*Lasiococca comberi*)、清香木(*Pistacia weinmannifolia*)等(Zhu et al, 2003)。

1.2 调查方法

根据样地的地理位置和地形等,在每个样地的山底、中部及山顶共随机设置 7~8 个 15 m × 15 m 的样方,尽可能地包括每个样地的不同坡向,并且每个样方之间的距离至少间隔在 30 m 以上。测定和记录每个样方的海拔、坡度、坡向、郁闭度、地形和森林类型以及样方内兰科植物的种类、个体数量。用

GPS 记录样方的海拔和坡向(阳坡或阴坡);用手机自带的 VELUX 软件测定坡度;用尼康 D100 相机带 SIGMA 鱼镜头拍摄林冠,用 Gap Light Analyzer 2.0 软件分析所拍摄的林冠照片,计算各个样方的郁闭度(Frazer et al, 1999);

于 2014 年 4-5 月开展调查,此时为西双版纳地区的干热季,为附生兰科植物开花最集中的时期(Liu et al, 2015)。采用双目望远镜观察和拍照的方法进行现场种类鉴定,记录附生于岩生和树干上的兰科植物种类及个体数,对无法确定的物种利用取样杆采集标本带回实验室进行后期鉴定。对于成片或成团的附生兰科植物,如石豆兰属(*Bulbophyllum*)、贝母兰属(*Coelogyne*)等,按已有的研究方法,采用是否具有明显边界来区分,无明显边界的一片记为 1 个个体,相反记为另一株,对不同种生长在一起的,分别各记为 1 个个体(Zotz, 2007)。

1.3 数据分析

各个样地附生兰科植物的物种丰富度、物种多度、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度指数(Je)按以下公式计算:

$H' = -\sum P_j \ln P_j, P_j = N_i/N$ (Shannon & Weaver, 1949)。

$D = 1 - \sum P_i^2, P_i^2 = n_i(n_i - 1)/N(N - 1)$ (Greeberg, 1956)。

$Je = H_e'/\ln S$ (Pielou, 1966)。

式中, S 为物种的丰富度,以物种的数目表示; N_i 为物种多度,表示第 i 个物种的多度, N 表示所有物种的个体数之和; n_i 为第 i 种的个体数量。

用 Kruskal-Wallis 检验分别对 4 个样地的附生兰科植物的多度和丰富度进行比较分析;用 Mann-Whitney U 检验比较不同海拔样地的附生兰科植物物种丰富度。以单样本柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫检验(One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)对不同样方的物种分布频度进行统计分析。采用典范相关分析法(CCA)对 4 个石灰岩森林中附生兰科植物物种组成与环境变量因子之间进行相关性分析(赖江山和米湘成, 2005)。在以上分析中,CCA 排序分析用 R3.1.1(R Development Core Team, 2010)下的 vegan 2.0-10 软件完成(Oksanen, 2013),其他分析均用 SPSS 16.0 统计软件进行,并用 Sigmaplot 10.0 作图。所有数据在分析前都进行了独立性、正态性和方差齐性检验,并作相应的数据转换。

2 结果与分析

2.1 附生兰科植物的物种组成

对 4 个样地的 29 个样方调查共记录到 34 属 76 种附生兰科植物,共 1 528 株(丛),海拔 1 000 m 以上的 2 个样地青岩寨和巴卡新寨的附生兰科植物各 35 种,显著($U = 35.5, df = 2, P = 0.001 < 0.05$)多于海拔 1 000 m 以下的 2 个样地,绿石林为 26 种,曼纳览为 19 种(表 1)。4 个点没有相同的种;76 种兰科植物中,石斛属(*Dendrobium*)和石豆兰属(*Bulbophyllum*)各 12 种,各占总数的 15.8%;鸢尾兰属(*Oberonia*)、贝母兰属(*Coelogyne*)和隔距兰属(*Cleisostoma*)分别为 4 种;石仙桃属(*Pholidota*)、兰属(*Cymbidium*)和苹兰属(*Pinalia*)各为 3 种;指甲兰属(*Aerides*)、盆距兰属(*Gastrochilus*)、钗子股属(*Luisia*)、大苞兰属(*Sunipia*)、万代兰属(*Vanda*)各为 2 种;其余的 21 属只有 1 种,占总属数的 61.8%(表 2)。

在调查的 4 个样地总共 29 个样方中,通过分析附生兰科植物在不同样方内的出现率,结果发现在连续生境中分布频度超过 50% 的兰科植物仅有密花石豆兰(*Bulbophyllum odoratissimum*),而在片段化生境中分布频度超过 50% 的有绒兰(*Dendrolirium tomentosum*)、拟毛兰(*Mycaranthe spannea*)、钻柱兰(*Pelatantheria rivesii*)以及大苞兰(*Sunipia scariosa*)。其中,在连续生境中附生兰科植物分布频度范围在 6.67%~53.33% (mean = 18.93%, SD = 13.14),而且峰值明显偏向左侧(skewness = 1.501, $P < 0.05$);在片段化生境中分布频度范围在 7.14%~64.29% (mean = 25.29%, SD = 15.82),而且峰值同样明显偏向左侧(skewness = 1.531, $P < 0.05$, 图 1)。

2.2 附生兰科植物的丰富度、多度及多样性指数

对巴卡新寨、绿石林、青岩寨和曼纳览石灰岩森林附生兰科植物的丰富度和多度分别进行统计分析,结果表明 4 个石灰岩地区的附生兰科植物的丰富度($\chi^2 = 16.513, P = 0.001 < 0.05$)和多度($\chi^2 = 11.716, P = 0.008 < 0.05$)均存在显著性差异(图 2)。其中,在海拔高于 1 000 m 的巴卡新寨和青岩寨中,附生兰科植物的物种丰富度无显著差异($\chi^2 = -7.161, P = 0.102 > 0.05$),物种多度也无显著性差异($\chi^2 = -7.536, P = 0.087 > 0.05$)。在低于海拔 1 000 m 以下的绿石林和曼纳览中,附生兰科植物的物种丰富度无显著性差异($\chi^2 = 3.429, P = 0.449 > 0.05$),多

表 1 研究地点的基本情况、附生兰科植物物种丰富度和多度调查结果及多样性指数

研究地点 Study site	经纬度 Longitude and latitude	海拔 Altitude (m)	片段化面积 Fragmentation size (hm ²)	样方 数量 Plot number	物种 丰富度 Species richness	多度 Species abundance	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	均匀度指数 Pielou index
绿石林 LSL	21°54'N,101°17'E	580	/	8	26	373	2.58	0.88	0.79
曼纳览 MNL	21°55'N,101°19'E	700	8.54	7	19	176	2.46	0.88	0.83
青岩寨 QYZ	21°47'N,101°22'E	1085	9.03	7	35	596	3	0.93	0.84
巴卡新寨 BKXZ	21°59'N,101°08'E	1400	/	7	35	383	2.93	0.92	0.82

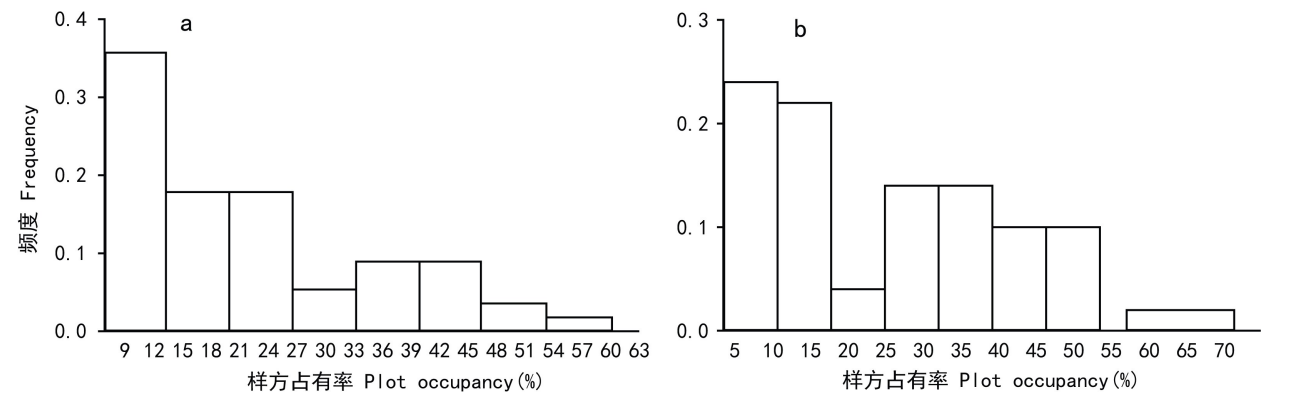


图 1 石灰岩生境附生兰科植物的物种分布频度 a. 连续生境; b. 片段化生境。
Fig. 1 Species distribution frequency surveyed in tropical limestone forests in Xishuangbanna
a. Continuous habitats; b. Fragmented habitats.

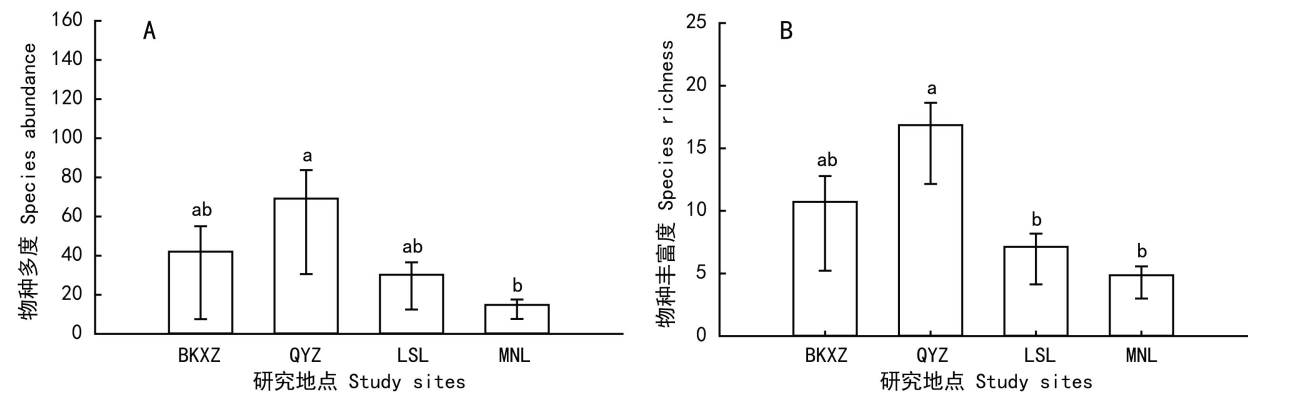


图 2 4 种石灰岩生境附生兰科植物丰富度(A)和多度(B) 不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$)。
BKXZ. 巴卡新寨; QYZ. 青岩寨; LSL. 绿石林; MNL. 曼纳览。

Fig. 2 Epiphytic orchids species richness(A) and abundance(B) in 4 types of limestone rain forests Different small letters at the tops of bars indicate significant differences ($P<0.05$). BKXZ. Baka Village; QYZ. Qingyan Village; LSL. Green limestone rain forest; MNL. Mannalan.

度也无显著性差异($\chi^2 = 4.786, P = 0.293 > 0.05$)。高海拔的巴卡新寨和青岩寨的附生兰科植物 Shannon 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均高于低海拔的绿石林和曼纳览;按照 Shannon 指数、Simpson 指数对 4 个研究点从高到底排列,顺序为巴卡新寨、青岩寨、绿石林、曼纳览,其中在青岩寨的附

生兰科植物 Shannon 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数最高,分别为 3、0.93 和 0.84(表 1)
2.3 附生兰科植物与环境因子 CCA 排序分析
通过对片段化和连续生境的石灰岩森林中附生兰科植物与环境因子进行典型对应分析(CCA)(图3)。结果表明,6个环境因子对附生兰科植物在石

表 2 4 个样地所调查到的附生兰科植物名录及各个种的附生类型、多度和《中国物种红色名录》评估的濒危状况

Table 2 Checklist of orchids found in 4 study sites with information on living form, abundance and endangerment status assessed by the China Species Red List

物种 Species	研究地点 Study site	附生类型 Living form	多度 Abundance	濒危状况 Endangerment status
多花脆兰 <i>Acampe rigida</i>	LS, M	E & L	12	无危 LC
扇唇指甲兰 <i>Aerides flabellata</i>	LS, M	E	13	易危 VU
多花指甲兰 <i>A. rosea</i>	Q, LS	E	18	易危 VU
赤唇石豆兰 <i>Bulbophyllum affine</i>	B	E & L	2	无危 LC
芳香石豆兰 <i>B. ambrosia</i>	LS	E & L	91	无危 LC
梳帽卷瓣兰 <i>B. andersonii</i>	B, LS, M	E & L	28	无危 LC
直唇卷瓣兰 <i>B. delitescens</i>	LS	E & L	2	无危 LC
角萼卷瓣兰 <i>B. helenae</i>	B, Q	E & L	20	易危 VU
落叶石豆兰 <i>B. hirtum</i>	Q	E	3	易危 VU
卷苞石豆兰 <i>B. khasyanum</i>	B	E	3	无危 LC
勐仑石豆兰 <i>B. menlunense</i>	LS	E	5	无危 LC
钩梗石豆兰 <i>B. nigrescens</i>	Q	E	25	无危 LC
密花石豆兰 <i>B. odoratissimum</i>	B, Q, LS	E & L	63	无危 LC
伞花石豆兰 <i>B. shweliense</i>	B	E	9	无危 LC
石豆兰一种 <i>Bulbophyllum</i> sp.	B	E	1	—
葫芦茎虾脊兰 <i>Calanthe labrosa</i>	B	E & L	8	易危 VU
美柱兰 <i>Callostylis rigida</i>	B, Q	E & L	29	无危 LC
叉枝牛角兰 <i>Ceratostylis himalaica</i>	B	E	1	无危 LC
长叶隔距兰 <i>Cleisostoma fuerstenbergianum</i>	Q, LS	E	27	无危 LC
南贡隔距兰 <i>C. nangongense</i>	M	E	1	易危 VU
大序隔距兰 <i>C. paniculatum</i>	B	E	3	无危 LC
大叶隔距兰 <i>C. racemiferum</i>	M	E	1	易危 VU
栗鳞贝母兰 <i>Coelogyne flaccida</i>	B	E & L	3	无危 LC
长鳞贝母兰 <i>C. ovalis</i>	B, Q, LS	E & L	65	无危 LC
疏茎贝母兰 <i>C. suaveolens</i>	M	E & L	3	易危 VU
禾叶贝母兰 <i>C. viscosa</i>	Q, LS	E & L	136	无危 LC
纹瓣兰 <i>Cymbidium aloifolium</i>	M	E & L	36	无危 LC
硬叶兰 <i>C. bicolor</i>	B	E	1	无危 LC
冬凤兰 <i>C. dayanum</i>	LS	E	1	易危 VU
钩状石斛 <i>Dendrobium aduncum</i>	Q	E & L	1	易危 VU
兜唇石斛 <i>D. aphyllum</i>	Q, LS, M	E & L	18	无危 LC
鼓槌石斛 <i>D. chrysotoxum</i>	B, Q	E	16	无危 LC
玫瑰石斛 <i>D. crepidatum</i>	B	E	1	无危 LC
密花石斛 <i>D. densiflorum</i>	Q, LS	E & L	4	濒危 EN
景洪石斛 <i>D. exile</i>	LS, M	E	52	易危 VU
流苏石斛 <i>D. fimbriatum</i>	B, LS, M	E & L	54	易危 VU
杯鞘石斛 <i>D. gratiosissimum</i>	B, M	E	3	易危 VU
石斛 <i>D. nobile</i>	B, Q	E & L	24	濒危 EN
肿节石斛 <i>D. pendulum</i>	Q	E	3	濒危 EN
竹枝石斛 <i>D. salaccense</i>	LS	E & L	12	濒危 EN
球花石斛 <i>D. thyrsiflorum</i>	B	E	8	无危 LC
绒兰 <i>D. tomentosum</i>	Q, LS	E	23	无危 LC
宽叶厚唇兰 <i>Epigeneium amplum</i>	B	E & L	12	无危 LC
香花毛兰 <i>Eria javanica</i>	M	E & L	19	易危 VU
滇金石斛 <i>Flickingeria alboburpurea</i>	B, Q, LS	E & L	24	无危 LC
无茎盆距兰 <i>Gastrochilus obliquus</i>	LS, M	E & L	8	无危 LC
云南盆距兰 <i>G. yunnanensis</i>	B	E	6	易危 VU

续表2

物种 Species	研究地点 Study site	附生类型 Living form	多度 Abundance	濒危状况 Endangerment status
管叶槽舌兰 <i>Holcoglossum kimballianum</i>	B	E & L	33	易危 VU
湿唇兰 <i>Hygrochilus parishii</i>	Q	E & L	2	无危 LC
长茎羊耳蒜 <i>Liparis viridiflora</i>	B, Q, M	E & L	7	无危 LC
大花钗子股 <i>Luisia magniflora</i>	B	E	1	无危 LC
钗子股 <i>L. morsei</i>	Q, Ls	E	4	易危 VU
指叶拟毛兰 <i>Mycaranthes pannea</i>	B, Q	E	50	无危 LC
全唇鸢尾兰 <i>Oberonia integerrima</i>	B, Q	E	12	无危 LC
剑叶鸢尾兰 <i>O. ensiformis</i>	B, Q	E	24	无危 LC
密苞鸢尾兰 <i>O. variabilis</i>	Q	E	2	无危 LC
条裂鸢尾兰 <i>O. jenkinsiana</i>	Ls	E	5	无危 LC
羽唇兰 <i>Ornithochilus difformis</i>	Q	E	3	无危 LC
单花曲唇兰 <i>Panisea uniflora</i>	Q	E	31	无危 LC
凤蝶兰 <i>Papilionanthe teres</i>	Ls, M	E & L	10	易危 LC
钻柱兰 <i>Pelatantheria rivesii</i>	Q, Ls, M	E & L	87	无危 LC
仙笔鹤顶兰 <i>Phaius columnaris</i>	B	E & L	2	易危 LC
节茎石仙桃 <i>Pholidota articulata</i>	B, Q	E & L	29	无危 LC
粗脉石仙桃 <i>P. bracteata</i>	M	E & L	12	无危 LC
宿苞石仙桃 <i>P. imbricata</i>	B	E & L	46	无危 LC
双点苹兰 <i>Pinalia bipunctata</i>	B	E	1	无危 LC
长苞苹兰 <i>P. obvia</i>	B, Q	E & L	113	无危 LC
密花苹兰 <i>P. spicata</i>	Q	E	8	无危 LC
钻喙兰 <i>Rhynchostylis retusa</i>	Q	E & L	6	濒危 EN
大喙兰 <i>Sarcoglyphis smithianus</i>	Ls, M	E & L	23	无危 LC
掌唇兰 <i>Staurochilus dawsonianus</i>	Ls, M	E & L	16	无危 LC
黄花大苞兰 <i>Sunipia andersonii</i>	Q	E & L	13	无危 LC
大苞兰 <i>S. scariosa</i>	Q	E & L	61	无危 LC
矮柱兰 <i>Thelasis pygmaea</i>	Q	E & L	17	无危 LC
白柱万代兰 <i>Vanda brunnea</i>	B	E & L	9	无危 LC
矮万代兰 <i>V. pumila</i>	Q	E	3	濒危 EN

研究地点: **B.** 巴卡新寨; **Q.** 青岩寨; **Ls.** 绿石林; **M.** 曼纳览。附生类型:**E.** 附生于树干上; **L.** 附生于岩石上。
Study sites: **B.** BKKZ; **Q.** QYZ; **Ls.** LSL; **M.** MNL. Living form: **E.** Epiphytic; **L.** Lithophytic.

灰岩生境分布的解释量为 38.1%,轴 1 和轴 2 分别解释了附生兰科植物和环境因子总变异的 40%和 25%。第 1 和第 2 排序轴能反映附生兰科植物变化的环境梯度。海拔和森林类型对附生兰科植物的分布有最重要的决定作用 ($r^2 = 0.96, P = 0.001$; $r^2 = 0.97, P = 0.001 < 0.05$);而地形、坡向、坡度和郁闭度对附生兰科植物分布无显著性差异。其中,角萼卷瓣兰(*Bulbophyllum helenae*)、多花指甲兰(*Aerides rosea*)、美柱兰(*Callostylis rigida*)和矮万代兰(*Vanda pumila*)分布在排序轴的左下方,残存于高海拔且片段化的石灰岩森林;杯鞘石斛(*Dendrobium gratiosissimum*)、无茎盆距兰(*Gastrochilus obliquus*)、大喙兰(*Sarcoglyphis smithianus*)和凤蝶兰(*Papilionanthe teres*)分布在排序轴的右上角,残存于低海拔且生境片段化的石灰岩森林。长苞苹兰(*Pinalia obvia*)、密

花石豆兰(*Bulbophyllum odoratissimum*)、滇金石斛(*Flickingeria alboburpurea*)、湿唇兰(*Hygrochilus parishii*)和长鳞贝母兰(*Coelogyne ovalis*)在排序轴的左上方,分布在较高海拔的石灰岩森林。芳香石豆兰(*Bulbophyllum ambrosia*)、钗子股(*Luisia morsei*)和密花石斛(*Dendrobium densiflorum*)在排序轴的右下角,分布在低海拔且生境连续的石灰岩森林。

3 讨论与结论

西双版纳地区兰科植物的分布随海拔的升高呈现为中间高度膨胀型,主要在海拔 1 000~1 400 m 内,并且最大物种多样性在 1 200~1 400 m 的海拔段(Liu et al, accepted),这与我们的调查结果一致,在海拔 1 000 m 以上的石灰岩森林附生兰科植物的

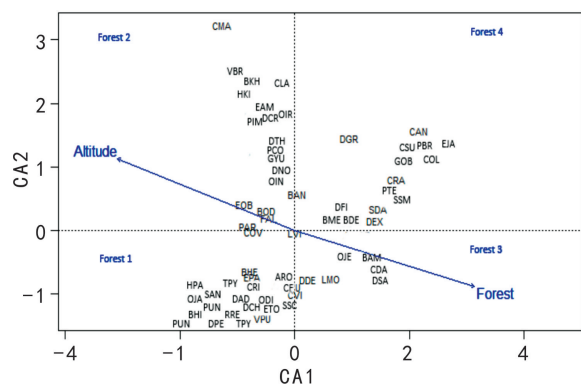


图3 附生兰科植物与样方和环境之间的 CCA 排序图
物种名称缩写由属名第一个字母和种名的前两个字母组成。
1. 巴卡新寨; 2. 青岩寨; 3. 绿石林; 4. 曼纳览。

Fig. 3 Canonical correspondence analysis biplot of species, plots and environmental factors Species are indicated as the first letter of the generic and first two letters of the specific epithet. 1. BKXZ; 2. QYZ; 3. LSL; 4. MNL.

物种多样性高于低海拔的绿石林和曼纳览。我们所调查的物种数也与 Zhu et al (2003) 的结果基本一致。比贵州中部和施秉石灰岩地区的附生兰科植物多(张玉武等, 2013; 朱林阁等, 2014), 但比马来西亚 Perlis, Padawan-Bau 和 Sarawak 石灰岩地区的种数少(Rusea et al, 2009)。

本研究发现, 片段化对在海拔 1 000 m 上下的石灰岩森林中附生兰科植物的物种多样性和多度均无显著影响, 这是因为西双版纳的兰科植物主要分布在海拔 1 000 m 以上的区域, 而橡胶的种植主要在海拔 1 000 m 以下, 对石灰岩地区的附生兰科植物影响有限。此外, 西双版纳地区橡胶林大面积种植主要是发生在近 20 a, 石灰岩地区森林片段化的时间较短, 此外附生兰科植物主要是多年生的植物, 可能片段化对附生兰科植物的影响还没显现出来。虽然片段化对石灰岩地区附生兰科植物的多样性影响有限, 但这可能对兰科植物的繁殖和传粉昆虫有一定影响(Tonhasca et al, 2002; Meekers & Honnay, 2011; Knoll & Penatti, 2012), 而且也会影响到附生兰科植物幼苗的更新和种群重建(未发表数据), 从而影响将来附生兰科植物种群动态变化。在西双版纳地区生境片段化并不是造成生物多样性下降的主要原因, 而是与森林片段空间分布格局有一定的相关关系, 在环境恶劣的高海拔石灰山地区残存的部分森林片段有较高物种多样性, 且物种组成更趋于原始林; 其中土壤基质(石灰山与否)、地形、海拔等

环境因素解释了大多数物种丰富度、物种组成和珍稀物种丰富度的变异, 而传统认为的片段化影响因素如斑块大小、边缘效应对树木多样性影响其实很小; 热带森林保护不仅要关注保护的面积, 环境因子也应纳入优先考虑的范畴, 且很多残留的小面积的片段化森林具有很高的保护价值(Liu & Slik, 2014)。此外, 我们在调查中发现, 4 个研究点的附生兰科植物没有相同的种, 不同地点的石灰山森林物种组成有一定差异, 这是因为石灰岩地区特殊的地形、生境等因素, 使石灰岩地区的植物非常丰富, 而且常存在一些特有种, 被称作生物多样性的“诺亚方舟”(Clements et al, 2006)。保护这些片段化石灰岩森林对探究石灰岩地区兰科植物的濒危机制, 制定合理的保护策略有重要意义。

参考文献:

- AGUILAR RL, ASHWORTH L, GALETTO L, et al, 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis [J]. *Ecol Lett*, 9(8): 968–980.
- BROSI BJ, 2009. The effects of forest fragmentation on euglossine bee communities (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) [J]. *Biol Conserv*, 142(2): 414–423.
- CAO M, ZOU XM, WARREN M, et al, 2006. Tropical forests of Xishuangbanna, China [J]. *Biotropica*, 38(3): 306–309.
- CHUNG MY, NASON JD, LOPEZ-PUJOL J, et al, 2014. Genetic consequences of fragmentation on populations of the terrestrial orchid *Cymbidium goeringii* [J]. *Biol Conserv*, 170: 222–231.
- CLEMENTS R, SODHI NS, SCHILTHUIZEN M, et al, 2006. Limestone karsts of Southeast Asia: imperiled arks of biodiversity [J]. *BioScience*, 56(9): 733–742.
- COZZOLINO S, NOCE ME, MUSACCHIO A, et al, 2003. Variation at a chloroplast minisatellite locus reveals the signature of habitat fragmentation and genetic bottlenecks in the rare orchid *Anacamptis palustris* (Orchidaceae) [J]. *Am J Bot*, 90(12): 1 681–1 687.
- EVANS M, KAMWEYA A, OCHORA J, et al, 2013. Effects of anthropogenic activities on distribution and abundance of the epiphytic Orchid, *Polystachya fusiformis* (Thou.) Lindl. in the Manga Range ecosystem, Kisii, Kenya [J]. *Int J Sci Res*, 2(8): 2 319–7 064.
- FAHRIG L, 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity [J]. *Ann Rev Ecol, Evol & Syst*, 34: 487–515.
- FOLEY JAR, DEFRIES GP, ASNER C, et al, 2005. Global consequences of land use [J]. *Sci*, 309(5 734): 570–574.
- FRAZER GW, CANHAM CD, LERTZMAN KP, 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation [M]. Burnaby: Simon Fraser University; New York: the Institute of Ecosystem Studies.
- GAO JY, LIU Q, YU DL, 2014. Orchids of Xishuangbanna diversity and conservation [M]. Beijing: China Forestry Publishing

- House. [高江云, 刘强, 余东莉, 2014. 西双版纳的兰科植物: 多样性和保护 [M]. 北京: 中国林业出版社.]
- GIBSON L, LEE TM, KOH LP, et al, 2011. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity [J]. *Nature*, 478 (7 369): 378–381.
- GONZÁLEZ-VARÓ JP, ARROYO J, APARICIO A, 2009. Effects of fragmentation on pollinator assemblage, pollen limitation and seed production of Mediterranean myrtle (*Myrtus communis*) [J]. *Biol Conserv*, 142(5): 1 058–1 065.
- GOVERDE M, SCHWEIZER K, BAUR B, et al, 2002. Small-scale habitat fragmentation effects on pollinator behaviour: experimental evidence from the bumblebee *Bombus veteranus* on calcareous grasslands [J]. *Biol Conserv*, 104(3): 293–299.
- GREENBERG JH, 1956. The measurement of linguistic diversity [J]. *Language*, 32: 105–119.
- HIETZ P, 1998. Diversity and conservation of epiphytes in a changing environment [J]. *Intern Union Pure Appl (IUPAC)*, 70 (11): 2 114–2 125.
- HONNAY O, JACQUEMYN H, 2007. Susceptibility of common and rare plant species to the genetic consequences of habitat fragmentation [J]. *Conserv Biol*, 21(3): 823–831.
- HUNDERA K, AERTS R, BEENHOUWER MD, et al, 2013. Both forest fragmentation and coffee cultivation negatively affect epiphytic orchid diversity in Ethiopian moist evergreen Afromontane forests [J]. *Biol Conserv*, 159(5): 285–291.
- KNOLL FRN, PENATTI NC, 2012. Habitat fragmentation effects on the orchid bee communities in remnant forests of Southeastern Brazil [J]. *Neotrop Entomol*, 41(5): 355–365.
- LAI JS, MI XC, 2005. Ordination analysis of ecological data using vegan package in R [J]. *Adv Biodivers Conserv Res China*: 332–343. [赖江山, 米湘成, 2005. 基于 Vegan 软件包的生态学数据排序分析 [J]. 中国生物多样性保护与研究进展: 332–343.]
- LAURANCE WF, NASCIMENTO HE, LAURANCE SG, et al, 2006. Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments [J]. *Proc Nat Acad Sci*, 103(50): 19 010–19 014.
- LAURANCE WF, PÉREZ-SALICRUP D, DELAMÓNICA P, et al, 2001. Rain forest fragmentation and the structure of Amazonian liana communities [J]. *Ecology*, 82(1): 105–116.
- LAURANCE WF, 2007. Forest destruction in tropical Asia current [J]. *Science*, 93(11): 1 544–1 550.
- LI HM, AIDE TM, MA YX, et al, 2007. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China [J]. *Biodivers Conserv*, 16(6): 1 731–1 745.
- LI HM, MA YX, AIDE TM, et al, 2008. Past, present and future land-use in Xishuangbanna, China and the implications for carbon dynamics [J]. *For Ecol Manag*, 255(1): 16–24.
- LIU JJ, SLIK J, 2014. Forest fragment spatial distribution matters for tropical tree conservation [J]. *Biological Conserv*, 171: 99–106.
- LIU Q, CHEN J, CORLETT R, et al, 2015. Orchid conservation in a biodiversity hotspot: status assessment, threats and conservation strategies [J]. *Conserv Biol* (accepted).
- MEEKERS T, HONNAY O, 2011. Effects of habitat fragmentation on the reproductive success of the nectar-producing orchid *Gymnadenia conopsea* and the nectarless *Orchis mascula* [J]. *Plant Ecol*, 212(11): 1 791–1 801.
- MURREN CJ, 2002. Effects of habitat fragmentation on pollination: pollinators pollinia viability and reproductive success [J]. *J Ecol*, 90(1): 100–107.
- NEMESIO A, 2011. *Euglossa marianae* sp. n. (Hymenoptera: Apidae): a new orchid bee from the Brazilian Atlantic Forest and the possible first documented local extinction of a forest-dependent orchid bee [J]. *Zootaxa*, 2 892: 59–68.
- OKSANEN J, 2013. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial. *R package version 2.0-10*. Available at <http://vegan.r-forge.r-project.org>.
- PIELOU EC, 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession [J]. *J Theor Biol*, 10: 370–383.
- RUSEA G, LIM MYL, PHOON SN, et al, 2009. Malaysian limestone orchids status: diversity, threat and conservation [J]. *Blumea*, 54: 109–116.
- SHANNON CE, WEAVER W, 1949. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press.
- TONHASCA Jr A, BLACKMER JL, ALBUQUERQUE GS, 2002. Abundance and diversity of euglossine bees in the fragmented landscape of the Brazilian Atlantic forest [J]. *Biotropica*, 34(3): 416–422.
- WILCOVE DS, MCLELLAN CH, DOBSON AP, 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone [M]//Massachusetts: Conservation biology (eds Soulé ME). Sinauer Associates, INC.
- WILCOX BA, MURPHY DD, 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction [J]. *Am Nat*, 125(6): 879–87.
- YOUNG AT, BOYLE T, BROWN AHD, 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants [J]. *Trends Ecol Evol*, 11(10): 413–418.
- ZHANG YW, SONG JX, HE HZ, et al, 2013. Investigation of Orchidaceae plant resources in Guizhou Shibing County South Yuntai Mountain Kaste Nature Reserve [J]. *Seed*, 32(10): 61–64. [张玉武, 宋久祥, 贺红早, 等, 2013. 施秉县云台山南方喀斯特自然保护区兰科植物资源调查 [J]. 种子, 32(10): 61–64.]
- ZHU H, WANG H, LI BG, et al, 1996. A phytogeographical research on the forest flora of limestone hills in Xishuangbanna [J]. *Guihaia*, 16(4): 317–330. [朱华, 王洪, 李宝贵, 等, 1996. 西双版纳石灰岩森林的植物区系地理研究 [J]. 广西植物, 16(4): 317–330.]
- ZHU H, WANG H, LI BG, et al, 2003. Biogeography and floristic affinities of the limestone flora in Southern Yunnan, China [J]. *Ann Miss Bot Gard*, 90(3): 444–465.
- ZHU LG, LI XN, WANG Y, et al, 2014. Resources distribution features of orchidaceae plants in shibing karst region [J]. *Guizhou Agric Sci*, 42(4): 25–28. [朱林阁, 李晓娜, 王云, 等, 2014. 施秉喀斯特地区兰科植物资源分布特征 [J]. 贵州农业科学, 42(4): 25–28.]
- ZOTZ G, 2007. The population structure of the vascular epiphytes in a lowland forest in Panama correlates with species abundance [J]. *J Trop Ecol*, 23(3): 337–342.