

舞花姜属 3 种植物繁殖策略比较

刘志秋, 陈进*, 白智林

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666300)

摘 要: 选择自然分布于西双版纳地区的毛舞花姜(*Globba barthei* Gagnepain)、双翅舞花姜(*G. schomburgkii* J. D. Hooker)和澜沧舞花姜(*G. lancangensis* Y. Y. Qian)为实验材料, 比较了 3 种植物的有性和无性繁殖特性。毛舞花姜和双翅舞花姜在自然状况下开花不结实, 人工自交与异交、人工去除珠芽均不能使其恢复有性繁殖能力; 花粉败育(毛舞花姜)或花粉活力低(双翅舞花姜, 花粉萌发率 < 12%)可能是这 2 种植物不能结实的主要原因。毛舞花姜和双翅舞花姜均以珠芽为主要繁殖体, 一年生植株每花序产珠芽分别为 16.46 ± 3.56 (平均值 $\pm$ 标准差, $N = 60$) 和 14.25 ± 3.63 (平均值 $\pm$ 标准差, $N = 153$)。澜沧舞花姜具有雄花两性花同株的性表达特征, 自然状态下以种子繁殖为主, 结实率(种子/胚珠比)可达 $64.5\% \pm 12.1\%$ ($N = 36$), 人工自交结实率显著低于异交结实率, 有明显的自交不亲和现象; 花序上产生少量珠芽[每花序产珠芽 2.24 ± 1.41 (平均值 $\pm$ 标准差, $N = 184$)]。此外, 3 种舞花姜属植物还具有通过地下茎进行克隆繁殖的能力。3 种舞花姜属植物的拜访昆虫均为蜂类, 毛舞花姜的拜访昆虫只有排蜂(*Megapis dorstata*)。双翅舞花姜拜访昆虫主要为排蜂、黄绿彩带蜂(*Nomia strigata*)及木蜂(*Xylocopa* sp.); 澜沧舞花姜的拜访昆虫主要为排蜂和黄绿彩带蜂。3 种舞花姜属植物的花冠管长度存在显著差异, 毛舞花姜 > 双翅舞花姜 > 澜沧舞花姜。这 3 种植物的花冠管长均显著大于上述 3 种蜂的喙长。毛舞花姜的花蜜分泌量少, 一天内花蜜分泌总量仅为花冠管体积的 3/4, 这使得一些喙较短的蜜蜂如黄绿彩带蜂不能取食其花蜜, 而双翅舞花姜花蜜分泌量大, 在上午 9:00 以后即溢出花冠管, 不同喙长的蜜蜂均可取食。拜访昆虫的种类可能受花冠管长度与花蜜分泌量的共同影响。

关键词: 珠芽; 舞花姜属; 毛舞花姜; 澜沧舞花姜; 双翅舞花姜; 繁殖生物学; 姜科

中图分类号: Q944; Q945.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-470X(2004)02-0145-08

Comparative Studies on Reproductive Mechanisms of Three Species in *Globba* (Zingiberaceae)

LIU Zhi-Qiu, CHEN Jin*, BAI Zhi-Lin

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunan 666300, China)

Abstract: The characteristics of sexual and asexual reproduction of three species of *Globba* (*G. barthei*, *G. schomburgkii*, and *G. lancangensis*) those are native perennial herbs in Xishuangbanna, Yunnan Province of Southeast China were studied. Both *G. barthei* and *G. schomburgkii* mostly depended on bulbils for their reproduction, and the one year aged plants produced 16.46 ± 3.56 (mean $\pm$ SD, $N = 60$) and 14.25 ± 3.63 (mean $\pm$ SD, $N = 153$) bulbils per ramet. No seed set were observed for the two species while by artificial selfing and crossing. The abnormal pollens (> 98% of total pollens observed) in *G. barthei* and low pollen viability in *G. schomburgkii* (< 12%) may be ascribable to no seed-set. For *G. lancangensis*, however, it mainly engaged in sexual reproduction with a seed-set ratios (seed/ovule ratios) of $64.5\% \pm 12.1\%$ in the field (N

收稿日期: 2003-04-28, 修回日期: 2003-08-28。
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30170160)。

作者简介: 刘志秋(1976-), 女, 纳西族, 云南人, 硕士, 主要从事植物繁殖生物学研究工作。

* 通讯作者(E-mail: biotrans@bn.yn.cninfo.net)。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

= 36) and produced relatively few bulbils (2.2 ± 1.4 per ramet, $N = 184$). *G. lancangensis* bears both male and hermaphrodite on same ramet, which is termed as andromonocy. There were no significant differences for the fruit-set ratios between hand-selfing and hand-crossing, but significant differences of seed-set ratios (seed/ovule ratios), which suggested that this plant might maintain the mechanism of self-incompatibility. Additionally, three species of *Globba* have the ability of clonal reproduction with underground stems. The corolla tuber length of three species differed significantly by the order: *G. barthei* > *G. schomburgkii* > *G. lancangensis*. All pollinators of three *Globba* we observed were definitely honeybees other than butterflies, and the latter was previously suggested by other authors. *Megapis dorstata* was the only pollinator for *G. barthei*, while *M. dorstata*, *Nomia strigata* and *Xylocopa collaris* visited *G. schomburgkii*, *M. dorstata* and *N. strigata* were the main visitors for *G. lancangensis*. Three species have much longer corolla tuber comparing with the tongue length of three visitors. Nectar in *G. barthei* during a day can only reach the height of 3/4 corolla tuber length, which may prevent bee with short tongue (e.g., *Nomia strigata*) visiting the flowers. The flowers of *G. schomburgkii* produce large amount of nectar and nectar overflows the corolla tuber after 9:00 A.M., which make bees with different tongue length, can easily suck the nectar. Thus, the visitation of different bees appeared to be influenced by both corolla tuber length and the amount of nectar produced.

Key words: Bulbils; *Globba*; *G. barthei*; *G. lancangensis*; *G. schomburgkii*; Reproductive biology; Zingiberaceae

舞花姜属(*Globba*)是姜科的一个属,属于舞花姜族,有近 100 个种^[1,2],中国产 5 种以上^[3]。在我国分布的几种舞花姜中存在不同的繁殖策略。毛舞花姜(*Globba barthei* Gagnepain)和双翅舞花姜(*G. schomburgkii* J. D. Hooker)在自然条件下正常开花但高度不育,以花序下部苞片内形成的珠芽进行无性繁殖;澜沧舞花姜(*G. lancangensis* Y. Y. Qian)主要以种子繁殖为主,花序上几乎没有珠芽。有关舞花姜属植物的繁殖生物学系统研究尚未见报道,仅 Sakai 等有过对一个种传粉昆虫初步观察方面的报道^[4]。

本研究旨在通过离体花粉活力检测、人工自交异交有性繁殖系统检测、花部形态及传粉媒介观察及无性繁殖能力检测等方法,比较毛舞花姜、双翅舞花姜及澜沧舞花姜 3 个种的有性、无性繁殖特性及其差异,为进一步深入探讨其有性、无性繁殖策略变化及进化奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验地概况

澜沧舞花姜的野外样地位于西双版纳勐海县勐遮(21°59'N, 100°16'E)。该地海拔 1 180 m,生境为麻栎(*Quercus acutissima* Carr.)与勐海石栎(*Lithocarpus fohaiensis* A. Camus)为优势种的疏林及林缘沟边(以下称澜沧舞花姜野外样地)。

毛舞花姜有 3 个野外样地,包括:①勐海县勐遮(同澜沧舞花姜);②勐腊县南贡山(勐养及勐腊公路

96 km 处);③大渡岗(大渡岗乡政府以南 6 km)(以下称毛舞花姜野外样地)。

双翅舞花姜的野外样地位于西双版纳勐海县距景洪市区 17 km 处的流沙河电站旁,该地海拔 800 m,生境为路边疏林及橡胶林缘(以下称双翅舞花姜野外样地)。

实验材料引种栽培于中国科学院西双版纳热带植物园内的防虫大棚中(相对光强为 50%)(位于西双版纳勐腊县勐仑镇,21°41'N, 101°25'E)。该地海拔 570 m,年平均气温 21.4℃,年平均降雨量 1 539 mm,年平均相对湿度 83%。栽培的介质为以沙 1/3、土 1/3、农家肥 1/3 相混合的土壤。进行除草、浇水等管理工作(以下称植物园栽培地)。

1.2 研究材料

3 种舞花姜均为姜科多年生草本植物。毛舞花姜产于云南南部海拔 240 ~ 1 000 m 密林中,菲律宾、柬埔寨、老挝亦有分布^[5]。毛舞花姜株高 30 ~ 60 cm,全株被毛,圆锥花序,花稠密、橙黄色,花色鲜艳,自然条件下不结实,主要以珠芽进行繁殖。

双翅舞花姜产于云南南部林中荫湿处,中南半岛亦有分布^[5]。株高 30 ~ 50 cm,圆锥花序,花疏离、黄色,花色鲜艳。双翅舞花姜在云南南部地区自然条件下不结实,产生圆球状的珠芽,珠芽繁殖是其主要的繁殖方式。

澜沧舞花姜分布于云南西南部海拔为 200 ~ 1 200 m 的森林中^[6]。株高 20 ~ 60 cm,花黄色,果实椭圆形,花后期在花序下部产少量珠芽。与毛舞花姜

和双翅舞花姜不同的是澜沧舞花姜在自然条件不仅能结实, 同时又形成珠芽。

1.3 研究方法

花部特征观察: 从播种后一周起每周观察植物的物候变化, 记录植物的萌芽时间、始花期、花期结束时间、植株进入休眠的时间。于2001年6月30日从早晨3:00花未打开时开始观察植物一天的开花行为, 记录各个开花行为的时间, 包括开花时间、花丝下弯时间、花药打开时间、落花时间。从植物园栽培地生长的不同的植株上随机取当天开的花各20朵以上, 用游标卡尺(精度为0.05 mm)直接测量花冠管及花丝的长度。

花粉量与胚珠数比(P/O)测定: 参照宋志平等^[7]的方法测定花粉量与胚珠数比(P/O)。

花粉活力检测: 花粉活力检测参照胡适宜^[8]的方法进行。

传粉媒介: 采用重力玻片法检测风因子作用下的花粉流情况^[7]。从早上4:00左右开始观察记录野外样地中昆虫访花的频率及停留的时间, 整个观察过程持续到下午19:00左右结束, 每种观察3 d。捕捉访花昆虫装入干净的小玻璃瓶中带回实验室, 体视显微镜观察是否携带花粉, 并测定访花昆虫的个体大小和喙的长度。

有性繁殖系统检测: 该实验在植物园栽培地中进行。材料是于2001年4月从野外样地引种栽培于西双版纳热带植物园的植株, 实验在防虫大棚中进行。在花期(2001年6~8月)每天早上花药打开后(9:00~10:00)对毛舞花姜及双翅舞花姜进行如下处理: ①去除珠芽自花授粉; ②不去珠芽自花授粉; ③去除珠芽异花授粉; ④不去珠芽异花授粉。每个处理选取8~10个单株当天所开的花, 每个样本所处理的花数均大于150朵, 并以其它未处理的植株作为对照(CK), 样本数大于300。2001年7~9月在植物园栽培地对雄花两性花同株的澜沧舞花姜于每天7:00~9:00进行如下处理: ①不作任何处理(CK); ②两性花自花授粉(H-selfing); ③同株异花授粉(采用雄花、两性花的混合花粉)(H+M-selfing); ④两性花异株间授粉(H-H-crossing); ⑤异株间雄花对两性花授粉(H-M-crossing)。每天观察结实情况, 在果实成熟时采收并统计不同处理下澜沧舞花姜的结果率和结实率。

花蜜分泌量测定: 为了排除花蜜抽出后对花蜜分泌量的影响, 采用了2种测量方式对毛舞花姜及双翅舞花姜当日开花花蜜分泌量进行测定。用内径

0.5 mm的毛细管吸取花蜜, 读取花蜜在毛细管中长度为花蜜分泌量, 后折算成体积, 从7:00~17:00每隔2 h测定一次。采用2种处理方法: ①对同一组花每隔2 h吸取一次花蜜, 测定不同时刻的花蜜分泌量, 共选取20朵花进行测量; ②早晨7:00在60朵花的花冠管中插入毛细管, 每隔2 h收取一组毛细管, 每次收取10根, 测定毛细管中的花蜜量(实验在植物园防虫的栽培地大棚中进行)。澜沧舞花姜由于花冠管细, 所采用的毛细管无法测量, 仅作一般观测。

无性繁殖特性研究: 2001年4月播种植物园栽培地中所产的3种舞花姜珠芽。按萌生时间的先后顺序对每个花序进行编号(花序长至10~15 cm开始编号), 按花序编号记录每个花序所产珠芽数。花期结束时统计每个单株的萌生株数。

数据处理: 利用双因素方差分析进行2种花蜜分泌量测定方法所测花蜜分泌量差异显著性分析(测定时间及方法2个因素)。利用了单因素方差分析(ANOVA)比较了3种舞花姜萌生株数及珠芽数的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 开花行为及有性繁殖特性

毛舞花姜于4月中旬萌芽, 6月中旬始花, 7月进入盛花期, 花期9月结束, 植株11月底进入休眠。每个花序花期近30 d, 单花花期约24 h, 花于早上4:00左右开始打开, 花药打开时间为8:45~9:00。

双翅舞花姜4月上中旬萌芽, 5月底始花, 6月进入盛花期, 花期9月底结束, 植株11月初进入休眠。每个花序花期30~60 d, 单花花期24~27 h, 早晨4:30~5:00开放, 花药打开时间为9:00~9:30。

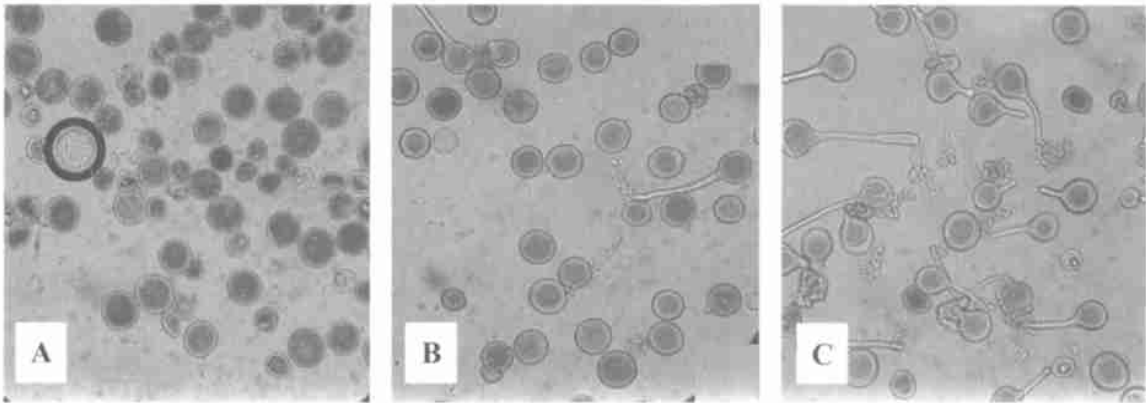
澜沧舞花姜的花果期几乎同步, 约为6~10月, 单个花序的花期可长达60~90 d。圆锥花序顶生, 具小花序, 小花序上的花自下而上开放, 每天开放1~4朵不等。澜沧舞花姜的花具有两型^[9], 一种为两性花, 另一种为雄花。两性花花期24~27 h。雄花花期约为10 h(4:00~14:00)。2种花的花瓣每天早晨3:00~4:00打开, 早晨5:30~6:00花药开裂。雄花于13:00~14:00间脱落, 而两性花持续到翌日凌晨4:00左右才脱落。

3种舞花姜在花打开初期均有花丝与花轴成45°角上举的特点。毛舞花姜的花7:00~7:30开始下弯, 一天内下弯的程度均有所变化, 翌日早晨脱落时进一步弯成螺旋状。双翅舞花姜的花在7:30以后

开始下弯,与毛舞花姜一样翌日早晨脱落时花进一步弯曲成螺旋状。澜沧舞花姜花开后在较短时间内花丝下弯到一定角度便不再有进一步下弯的迹象。澜沧舞花姜的雄花当天下午 14:00 脱落时保持原来的形态,雌花翌日早晨脱落也保持前一天的形态。

3 种舞花姜的有性繁殖特性有显著差异。首先,3 种舞花姜的 P/O 比存在显著差异,双翅舞花姜的 P/O 比最高,为 55.6 ± 8.9 ;毛舞花姜、澜沧舞花姜的 P/O 比较低,分别为 30.3 ± 13.3 , 22.7 ± 7 。花粉活力观察的结果表明,毛舞花姜的花粉几乎没有活力($> 98\%$ 的花粉形态上异常,以圆形饱满者为参

照,图 1: A),双翅舞花姜的花粉活力很低(图 1: B;图 2: A)。澜沧舞花姜具有雄花两性花同株的性表达特征,2 种花型在一定时间内均有较高的花粉活力($> 90\%$)(图 1: C;图 2: B)。在野外样地中观察的结果及实验样地中人工自交和异交的结果表明,毛舞花姜和双翅舞花姜都不能结实,去除珠芽也不能改变其不结实的状况。澜沧舞花姜能正常结实,在野外的结实率 $64.5 \pm 12.1\%$ ($N = 36$);在植物园栽培地中进行有性繁育系统检测的结果显示,澜沧舞花姜 2 种自交方式的结实率显著低于 2 种异交方式的结实率,具有自交亲和力低的特点(表 1)。



A. 毛舞花姜; B. 双翅舞花姜; C. 澜沧舞花姜, 示雄花的花粉萌发(A, B, C $\times 200$)
A. *G. lobba barthei*; B. *G. schomburgkii*; C. *G. lancagnensis*, showing pollen germination of male flowers in *G. lancagnensis*(A, B, C $\times 200$)

图 1 3 种舞花姜的花粉萌发
Fig. 1 The microscopic photos of pollen germination of three species in *Globba*

表 1 3 种舞花姜有性繁殖系统比较
Table 1 Sexual systems of three species of *Globba*

处理 Treatments	毛舞花姜 <i>Globba barthei</i>			双翅舞花姜 <i>Globba schomburgkii</i>			处理 Treatments	澜沧舞花姜 <i>Globba lancagnensis</i>		
	N	结实率 (结果率)	Seed-set (Fruit-set) %	N	结实率 (结果率)	Seed-set (Fruit-set) %		N	结实率 (结果率)	Seed-set (Fruit-set) %
对照 CK	> 300		0	> 300		0		123		0
自交 Selfing										
不去珠芽 Maintaining bulbils	235		0	231		0	H+ M-selfing	256	5.7 ± 6.1	(17.2)
去除珠芽 Removing bulbils	221		0	247		0	H-selfing	192	6.9 ± 3.5	(17.7)
异交 Crossing										
不去珠芽 Maintaining bulbils	173		0	257		0	H-H-crossing	140	42.8 ± 11.8	(16.4)
去除珠芽 Removing bulbils	196		0	224		0	H-M-crossing	275	43.0 ± 12.7	(15.3)
野外居群结实率 Seed-set in the field	-		0	-		0			64.5 ± 12.1	(36)

注: 结实率为平均数 $\pm$ 标准差; 野外居群结果率括号中的数值表示所统计的果实数。
Notes: Seed-set ratios were means $\pm$ 1 SD; The value in the bracket of fruit-set ratios in the field is the number of fruits observed.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

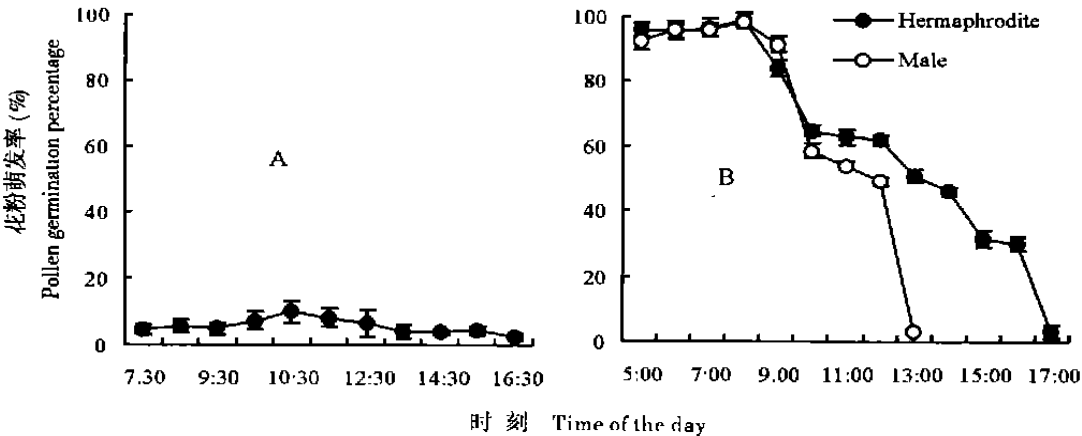


图 2 双翅舞花姜(A) 和澜沧舞花姜 (B) 花粉萌发率的日变化(数据点为平均值 $\pm$ 标准误)
Fig. 2 Pollen germination percentage of *G. schomburgkii* (A) and *G. lancangensis* (B) in a day (Bars are means $\pm$ 1 SE)

2. 2 无性繁殖特性

3 种舞花姜都具有无性繁殖的能力,即以地下茎进行克隆繁殖及花序上产生珠芽,然而 3 种舞花姜无性繁殖能力存在显著差异。通过在同一栽培地的一年生的 3 种舞花姜萌生株数的比较可见,毛舞花姜的萌生能力最强,产生 6 ± 1.15 (平均值 $\pm$ 标准

差, $N = 10$) 个萌生株,其次是双翅舞花姜,产生 2.98 ± 1.65 ($N = 52$) 个萌生株,澜沧舞花姜的萌生能力较弱,产生 1.26 ± 1.98 ($N = 15$) 个萌生株。珠芽产量也具有相同的格局,毛舞花姜、双翅舞花姜、澜沧舞花姜每花序分别产 16.46 ± 3.56 、 14.25 ± 3.63 、 2.24 ± 1.41 个珠芽(表 2)。

表 2 3 种舞花姜无性繁殖系统比较
Table 2 Asexual propagation systems of three species of *Globba*

项目 Item	毛舞花姜 <i>Globba barthei</i>		双翅舞花姜 <i>Globba schomburgkii</i>		澜沧舞花姜 <i>Globba lancangensis</i>	
	N	Means $\pm$ SD	N	Means $\pm$ SD	N	Means $\pm$ SD
萌生株数 Ramets	6	6 ± 1.15 a	52	2.98 ± 1.65 b	15	1.26 ± 1.98 c
每株珠芽数 Bulbils on each inflorescence	60	16.46 ± 3.56 a	153	14.25 ± 3.63 b	184	2.24 ± 1.41 c

注: 毛舞花姜、双翅舞花姜、澜沧舞花姜均为一年生无性系; 结实率用的是野外样地中的结果; 不同的字母表示种间平均值有显著差异; $P \leq 0.05$ 。
Notes: *G. barthei*, *G. schomburgkii* and *G. lancangensis* are one year old; The seed-set ratios were the results observed at field sites; The means among species within panels sharing different letters are significantly different; $P \leq 0.05$.

2. 3 传粉昆虫与花蜜分泌

通过玻片法检测结果显示,在载玻片上均未检测到 3 种舞花姜的花粉,排除了风媒传粉的可能。自然条件下 3 种舞花姜的访花昆虫均为蜂类,但 3 种植物的拜访昆虫存在差异。在野外样地中,毛舞花姜仅有排蜂(*Megapis dorstata*) 一种昆虫拜访,排蜂拜访时,吸蜜及采集花粉;双翅舞花姜的访花昆虫较为多样,有排蜂、黄绿彩带蜂(*Namia strigtata*) 及木蜂(*Xylocopa* sp.), 排蜂及木蜂拜访能碰触到花药及柱头,其中木蜂的拜访不具规律性,即有时一整天不见前来拜访一次,而黄绿彩带蜂主要以吸蜜为主;澜沧舞花姜同时被排蜂及黄绿彩带蜂拜访,排蜂拜访

能碰触到花药及柱头,而黄绿彩带蜂主要以吸蜜为主。排蜂体长为 16 ~ 18 mm,喙长为 6 mm。黄绿彩带蜂体长 11 ~ 13 mm,喙长 4 mm。木蜂体长 17 ~ 20 mm,喙长约 6 mm(图 3: ,)。3种舞花姜的花冠管长度有显著差异(图3:),毛舞花姜的花冠管最长,长为 23.5 mm; 其次是双翅舞花姜,为 16.0 mm,澜沧舞花姜的两性花及雄花的花冠管长分别为 11.9 mm 和 9.9 mm。2 种花蜜测定方法所测花蜜分泌量没有显著差异,毛舞花姜一天内的花蜜分泌量仅达花冠管的3/4处(图 4: B), 即只有当访花昆虫的喙长超过 6 mm 时,才能吸取到花蜜,排蜂的喙长超过这一长度,而

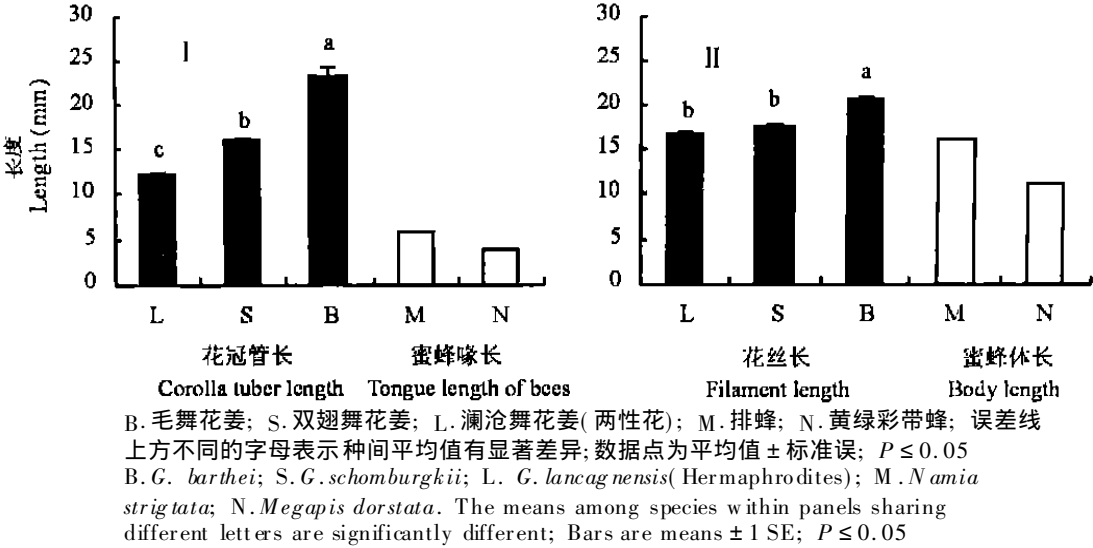


图 3 : 3 种舞花姜花冠管长与蜜蜂喙长间的比较; : 3 种舞花姜花丝长与蜜蜂体长间的比较

Fig. 3 : The comparison of corolla tuber length of three species of *Globba* and tough length of two main visiting bees; : The comparison of filament length of three species of *Globba* and the length of body of two main visiting bees

拜访双翅舞花姜和澜沧舞花姜的黄绿彩带蜂的喙长仅 4 mm, 这可能是黄绿彩带蜂不拜访毛舞花姜的原因。虽然双翅舞花姜花冠管长度为 16.0 mm, 但其花蜜分泌量大, 上午 9 时以后花蜜分泌量溢出花冠管, 对访花昆虫喙的长度没有限制 (图 4: A)。

此外, 影响传粉有效性的主要花部性状为花丝

的长度。毛舞花姜的花丝最长, 而双翅舞花姜及澜沧舞花姜的花丝长度差异不大 (图 3:)。排蜂的个体较大, 在吸取花蜜时, 身体能碰触到 3 种舞花姜的花粉, 黄绿彩带蜂个体较小, 拜访双翅舞花姜及澜沧舞花姜时背部无法碰触到花药, 而以吸取花蜜为主。

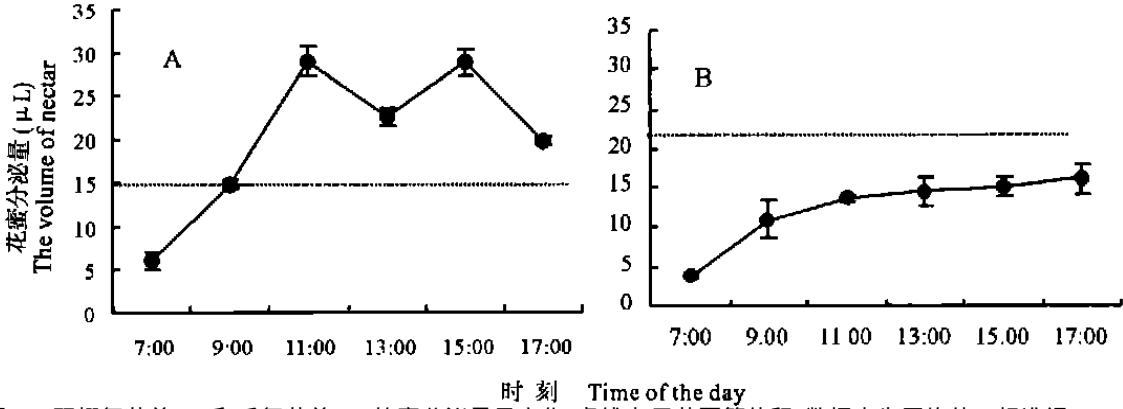


图 4 双翅舞花姜(A)和毛舞花姜(B)的蜜分泌量日变化(虚线表示花冠管体积, 数据点为平均值 $\pm$ 标准误)
Fig. 4 The diurnal changes of nectar volume of *G. schomburgkii* (A) and *G. barthei* (B)
(The dot line represented the volume of corolla tuber. Bars are means $\pm$ 1 SE)

3 讨论

3 种舞花姜属植物具有不同的繁殖策略, 毛舞花姜和双翅舞花姜形成了主要以珠芽进行繁殖的特性, 无法进行有性结实, 是 2 个专营克隆繁殖的物种; 澜沧舞花姜为雄花两性花同株的种, 且自交亲和力低, 形成了一种特殊的异交系统。澜沧舞花姜既能结实产生种子, 同时能产生少量珠芽。珠芽繁殖方式

在舞花姜属植物中普遍存在, 但也有些种类如 *G. winitii* 花序上不产珠芽, 主要以有性结实为主 (笔者观察结果)。可见, 舞花姜属植物中具有多样的繁殖系统。无性繁殖能力强的毛舞花姜及双翅舞花姜在自然条件下和人工授粉条件下均不能结实, 而能正常结实的澜沧舞花姜的珠芽产量、分株能力均显著低于毛舞花姜和双翅舞花姜。这和 Grant 提到的具有产珠芽能力的葱属植物 (*Allium*)^[10] 相似。

影响植物有性繁殖的因素可能有很多种, 有环境因素引起的, 如高海拔^[11]、供肥水平^[12]、密度^[13, 14]等; 生物因素如: 缺乏传粉动物^[10]等。在众多植物不育的原因中, 遗传因素往往是最主要的因素之一^[15]。传粉媒介的观察、花蜜分泌量的测定及繁育系统的检验表明, 毛舞花姜及双翅舞花姜并不缺乏有效的传粉昆虫。人工去除珠芽及人工自交还是异花授粉, 均不能使毛舞花姜产生种子。造成毛舞花姜及双翅舞花姜不育的主要原因之一可能是由于花粉没有活力。而引起花粉没有活力的原因尚待进一步探讨。舞花姜属染色体基数为 16^[16], 毛舞花姜和双翅舞花姜的染色数均为 48^[16, 17], 为三倍体。染色体加倍引起的花粉败育可能是毛舞花姜及双翅舞花姜不能结实的原因。

通过对西双版纳地区分布的 3 种舞花姜属植物的拜访昆虫的观察, 访花昆虫均为蜂类, 而非有人猜测的蝶类^[18], 与 Sakai 等在婆罗洲 (Boenean) 观察到舞花姜植物的拜访昆虫为垫蜂类 (Amegilla)^[4] 也有所不同。

很多植物都将其花对传粉动物的回报 (花蜜) 藏于特殊的花部结构中, 如距 (spur), 花冠管等, 只有具有特别身体构造的昆虫才能摄取到^[19]。达尔文早期就提出植物的花冠管的长度与传粉动物间具有协同进化关系^[20]。传粉动物的喙长与花冠管的长度的关系影响传粉系统专化的重要性得到了很多研究者的关注^[20-24]。然而, 具有这些结构的很多植物仍同时有不同喙长的传粉昆虫前来拜访^[25], 花冠管与喙长并不形成一一对应关系, 而只与是否能吸取到花蜜有关^[22]。所研究的 3 种舞花姜均具有较长的花冠管, 3 种舞花姜植物的花冠管长均明显比拜访昆虫喙长, 但不同种植物花蜜量分泌存在明显差异, 毛舞花姜一天内的花蜜分泌量约占花冠管的 3/4, 而双翅舞花姜花蜜的分泌在花药打开前就溢出花冠管。澜沧舞花姜的花冠比毛舞花姜和双翅舞花姜短, 同时也观察到有花蜜分泌, 花冠管可能对 2 种蜜蜂没有形成选择压力。传粉昆虫的种类可能同时受花冠管及花蜜的分泌量的选择。

致谢: 彭艳琼女士帮忙鉴定昆虫标本, 张玲女士、高江云、纳智先生提供了宝贵的修改建议, 在此一并致谢。

参考文献:

[1] 吴德邻. 姜科植物地理 [A]. 见: 路安民主编. 种子植物科属地理 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 604 - 614.

[2] Larsen K, Lock J M, Maas H, *et al.* Zingiberaceae [A]. In: Kubitzki K eds. The Families and Genera of Vascular Plants [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 474 - 495.

[3] Wu D L, Wu Q G, Chen Z Y. Proceedings of the Second Symposium on the Family Zingiberaceae [M]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 1996. 23 - 27.

[4] Sakai S, Kato M, Inoue T. Three pollination guilds and variation in floral characteristics of Boenean gingers (Zingiberaceae and Costaceae) [J]. *Amer J Bot*, 1999, **86**: 646 - 658.

[5] 吴德邻. 中国植物志 (第 16 卷, 第 2 分册) [M]. 北京: 科学出版社, 1981. 64 - 67.

[6] 钱义咏. 云南舞花姜属一新种 [A]. 中国科学院华南植物研究所集刊 (第 9 集) [C]. 北京: 科学出版社, 1994. 51 - 52.

[7] 宋志平, 郭友好, 黄双全. 黄花蔺的繁育系统研究 [J]. 植物分类学报, 2000, **38**: 53 - 59.

[8] 胡适宜. 植物胚胎学实验方法 (一): 花粉活力的测定 [J]. 植物学通报, 1993, **10**: 60 - 62.

[9] 刘志秋, 陈进, 白智林. 澜沧舞花姜繁殖生物学特性及其进化意义探讨 [J]. 植物生态学报, 2004, **28**: 1 - 8.

[10] Grant V. Plant Specialization [M]. 2nd ed. New York: Columbia University Press, 1981. 3 - 18.

[11] Sun S C, Gao X M, Cai Y G. Variations in sexual and asexual reproduction of *Scirpus mariqueter* along an elevation gradient [J]. *Ecol Res*, 2001, **16**: 263 - 274.

[12] Holler L C, Abrahamson W G. Seed and vegetative reproduction in relation to density in *Fragaria virginiana* (Rosaceae) [J]. *Amer J Bot*, 1977, **64**: 1003 - 1007.

[13] Loehle C. Partitioning of reproductive effort in clonal plants: a benefit-cost model [J]. *Oikos*, 1987, **49**: 199 - 208.

[14] Humphrey L D, Pyke D A. Demographic and growth responses of a guerrilla and a phalanx perennial grass in comparative mixtures [J]. *J Ecol*, 1998, **86**: 854 - 865.

[15] Stace C A 著. 韦仲新, 廖汝槐, 谢翰铁译. 植物分类学与生物系统学 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[16] Takano A, Okada H. Multiple occurrences of triploid formation in *Glozza* (Zingiberaceae) from molecular evidence [J]. *Plant Syst Evol*, 2002, **230**: 143 - 159.

[17] 陈忠毅, 陈升振, 黄少甫. 国产姜科植物的染色体计

- 数(3)[A]. 中国科学院华南植物研究所集刊(第3集)[C]. 北京:科学出版社, 1986. 57—60.
- [18] Endress P K. Diversity and Evolutionary Biology of Tropical Flowers[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 358—365.
- [19] Goulson D. Are insects flower constant because they use search images to find flower? [J]. *Oikos*, 2000, **88**: 547—552.
- [20] Darwin C. On the origin of species[M]. London: Murray, 1859.
- [21] Grant V, Grant K K. Flower pollination in the Phlox Family[M]. New York: Columbia University Press, 1965.
- [22] Nilsson L A. The evolution of flowers with deep corolla tubers[J]. *Nature*, 1988, **334**: 147—149.
- [23] Johnson S D, Steiner K E. Long-tongued fly pollination and evolution of floral spur length in the *Disa draconis* complex (Orchidaceae) [J]. *Evolution*, 1997, **51**: 45—53.
- [24] Johnson S D, Steiner K E. Generalization versus specialization in plant pollination systems[J]. *Tree*, 2000, **15**: 140—143.
- [25] Suzuki K, Akazome Y. Flexibility of pollinator-flower relationship in *Isodon umbrosus* and *I. effusus* (Lamiaceae) and its relation to fruit-set and seed-set [J]. *J Plant Res*, 2000, **113**: 149—155.