

入侵杂草五爪金龙有性繁育系统的初步研究

朱 慧^{a,b}, 马瑞君^{a,b}

(韩山师范学院 a. 生物系, b. 资源植物研究所, 广东 潮州 521041)

【摘 要】 【目的】 定点观察粤东地区农林业入侵杂草五爪金龙(*Ipomoea cairica* L.) 的开花动态, 并研究其有性繁育系统类型。【方法】 在生态学外业调查的基础上确定 4 个样地, 观察五爪金龙开花动态, 计算花粉-胚珠比(P/O)、种子-胚珠比(S/O)、花粉活性率、柱头可授率和杂交指数 OCI。【结果】 五爪金龙花粉-胚珠比(P/O) 为 2 224, 种子-胚珠比(S/O) 为 0.56, 介于兼性异交与专性异交之间, 以异交为主。五爪金龙开花期持续时间长, 结实期短, 单花开放时间仅为 1 d。花粉活性率和柱头可授率在一天中均呈现抛物线趋势, 且各自的最高峰分别出现在上午 09:30 与下午 14:30~15:30; 杂交指数 $OCI=5$, 为部分自交亲和, 异交, 需传粉者。【结论】 五爪金龙繁育系统类型为混交繁育系统, 即自交和异交并存; 建议对五爪金龙采用全株清除的人工防治措施。

【关键词】 五爪金龙; 开花动态; 繁育系统; 杂交指数; 花粉-胚珠比; 种子-胚珠比

【中图分类号】 S451; Q945.53

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)05-0211-06

Preliminary studies on breeding system of invasive weed *Ipomoea cairica* L.

ZHU Hui^{a,b}, MA Rui-jun^{a,b}

(a. Department of Biology, b. Research Institute of Resource Plants, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041, China)

Abstract: 【Objective】 Floral dynamic was observed and breeding system was researched from invasive weed *Ipomoea cairica* in eastern Guangdong Province, China. 【Method】 Four standard plots on the basis of ecological investigation were established where cultivated and natural populations of *I. cairica* existed, floral dynamic and computed P/O , S/O , pollen activity rate and stigma receptivity rate were observed. 【Result】 The main results were as follows: a complex outcross breeding system of *I. cairica* was indicated by $P/O=2\ 224$ and $S/O=0.56$, but outcross was the main mode for *I. cairica*. *I. cairica* had a long flowering period and a short fructificative period, the time lasted only a day from opening to languish for individual flower of *I. cairica*; both varieties showed parabola types for pollen activity rate and stigma receptivity rate, and peak values appeared at 09:30 a. m and 14:30—15:30 p. m respectively. A partial self-pollination breeding system can be reflected by $OCI=5$, pollinators were required sometimes. 【Conclusion】 The breeding system of *I. cairica* mixes with self-pollination and outcrossing. Some manual control methods such as digging whole plant are suggested to get rid of *I. cairica*.

Key words: *Ipomoea cairica* L.; floral dynamic; breeding system; outcrossing index (OCI); pollen-ovule ratio (P/O); seed-ovule ratio (S/O)

繁育系统指直接影响后代遗传组成的所有有性 特征, 主要包括花综合特征、花各性器官的寿命、花

* [收稿日期] 2008-07-18

[基金项目] 广东省科技厅计划项目(2005B33302002); 广东省自然科学基金项目(2007009850)

[作者简介] 朱 慧(1977—), 男, 湖北恩施人, 硕士, 讲师, 主要从事入侵植物生态学研究。E-mail: gdzhuhui@126.com

[通信作者] 马瑞君(1956—), 女, 陕西兴平人, 博士, 教授, 主要从事化学生态学研究。E-mail: ruijunma2003@yahoo.com.cn

开放式样、自交亲和程度和交配系统等,其是影响生殖后代遗传组成和适合度的主要因素^[1]。植物为了适应各种各样的生境,形成了多样的繁育系统类型,其中杂交指数法是检测显花植物繁育系统最准确和快速简便的方法^[2]。

五爪金龙(*Ipomoea cairica* L.)属于旋花科(Convolvulaceae),是广泛分布于华南地区的草质藤本入侵植物^[3],通过攀爬缠绕的生长方式,大肆侵占空间,覆盖灌木和乔木,抢夺本地植物生存空间和养分,严重危害自然生态系统及农林业生产。据报道,在有性繁殖方面,五爪金龙虽然全年开花,但结实只集中在年末一段时间,而且受气候因素影响明显^[4]。目前仅见有关五爪金龙传粉生物学的研究^[5],而针对五爪金龙有性繁育系统的研究尚未见报道。本试验选择 4 个不同的生境为样地,以粤东地区入侵杂

草五爪金龙生长种群为材料,初步研究其开花动态和繁育系统类型,旨在揭示五爪金龙的有性生殖特性,为防控其危害提供有价值的参考。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验样地位于潮州,潮州濒临南海,属海洋性季风气候,亚热带常绿阔叶林生态系统类型,日照充足,雨量充沛,夏长冬短,土层深厚,年平均气温 21.4℃,年均降雨量 1 685.8 mm。特殊的地理位置和适宜的气候条件,使潮州成为大量外来植物入侵的区域。本试验在生态学外业调查的基础上,确定 4 个具有五爪金龙种群的生境为样地(表 1),其中校园花圃为五爪金龙人工种群,其他 3 个生境为五爪金龙自然野性种群。

表 1 五爪金龙 4 个生境的概况

Table 1 General situation of the four habitats of *I. cairica*

编号 Plot No.	生境名称 Habitat name	地形特征 Terrain	光照条件 Sunlight	土壤湿度 Soil moisture	长势 Growth	主要伴生植物 Main companion species
1	校园花圃 Campus Flower-bed	人工平地 Artificial ground	全日光照 Full sunlight	潮 Damp	一般 General good	裂叶牵牛、鸡矢藤、蓖麻 <i>Pharbitis nil</i> , <i>Herba paederiae</i> , <i>Ricinus communis</i>
2	神奇果园 Shenqi Orchard	湖边平地 Lakside ground	全日光照 Full sunlight	湿 Wet	很好 Very good	裂叶牵牛、火炭母、鸡矢 <i>Pharbitis nil</i> , <i>Polygonum chinense</i> , <i>Herba paederiae</i>
3	慧如公园 Huiru Park	绿化草坪 Greening lawn	遮阴 50% Half sunlight	潮 Damp	很好 Very good	金合欢、薇甘菊、藿香蓟 <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Mikania micrantha</i> , <i>Ageratum conyzoides</i>
4	红山公园 Hongshan Park	天然林缘 Forest margin	遮阴 50% Half sunlight	湿 Wet	一般 General good	火炭母、野甘草、鸡矢藤 <i>Polygonum chinense</i> , <i>Scoparia dulcis</i> , <i>Herba paederiae</i>

1.2 试验方法

1.2.1 花粉-胚珠比(P/O)与种子-胚珠比(S/O)的测定 分别于 2006-11-28 和 2007-07-25,从确定的 4 个生境中,随机采集五爪金龙果实各 200 个、刚开放的花各 200 朵,分别统计单果种子数 S 、单花花粉量 P 及胚珠数 O 。直接计数法统计单果种子数;将花朵固定于 FAA(体积分数 70%乙醇 90 mL、冰醋酸 5 mL、福尔马林 5 mL)中,带回实验室,取单花的全部花药捣碎,用体积分数 95%的乙醇溶液制成 10 mL 花粉粒悬浮液,用移液枪吸取 10 μ L 悬浮,液在显微镜(CX31 型 OLYMPUS 光学显微镜)下统计单花花粉量 P ,每朵花重复 5 次,重复 100 朵花;取单花的全部心皮,在体视显微镜下用解剖针划开心皮,统计单花胚珠数 O ,重复 100 朵花。分别计算 P/O 与 S/O 值^[1]。

1.2.2 花粉活性与柱头可授性的测定 (1)花粉活性测定。采用改良 TTC 法测定花粉活性^[6]。于

2007-07-8 07:30 ~17:30 采集五爪金龙的新鲜花朵,每 1 h 采样 1 次,将分别从 4 个生境采摘的新鲜花朵少许花粉分别放在载玻片上,加 1~2 滴体积分数 0.5% TTC 溶液,搅匀后盖上盖玻片,然后把装片放置于有湿滤纸的有盖培养皿中(以保持装片周围有一定的湿度),并在 30℃光照恒温培养箱(LRH-250-G 型光照培养箱)中培养 30 min 后镜检^[7],凡被染成红色的花粉活性最强,淡红色次之,无色者为没有活性或为不育花粉。观察 2~3 张片子,每片取 20 个视野镜检(若花粉数量较少,则可相应增加观察的视野数),观察花粉的染色情况,统计活性花粉数,计算花粉活性率,每个时间点重复 3 次。花粉活性率/%=活性花粉数/总花粉数 $\times$ 100%。

(2)柱头可授性测定。用联苯胺-过氧化氢测定柱头可授性率^[8]。将 1.2.2(1)中 4 个生境各个时间点采摘的新鲜花朵柱头,浸入点样板中含有联苯

胺-过氧化氢反应液(体积分数 1%联苯胺、体积分数 3%过氧化氢和蒸馏水按 4:11:22 的体积比配制)的凹陷处,若柱头具可授性则柱头周围的反应液呈现蓝色并有气泡出现;若柱头不具可授性则无上述反应现象。每个时间点每个生境统计 50 个柱头,计算柱头可授率(%)。

1.2.3 开花动态的观察及杂交指数(OCI)的测定

(1)开花动态的观察。于 2005~2007 年,连续 2 年对五爪金龙人工种植种群(校园花圃)和自然野生种群(慧如公园、神奇果园)进行物候观察,记录其开花动态。

(2)杂交指数(OCI)的测定。于 4 个生境中随机摘取 100 朵完全开放的花朵,测量并记录其花朵上下口径,雌雄蕊高度;于每天清晨开花前后摘取花药开裂及未开裂的花朵,按照 Dafni^[9] 标准进行花序直径、花朵大小及开花行为的观测及对繁育系统评判。具体方法是:(Ⅰ)花朵直径<1 mm 记为 0;花朵直径 0~2 mm 记为 1;花朵直径 2~6 mm 记为 2;花朵直径>6 mm 记为 3。(Ⅱ)雌、雄蕊的空间位置,在同一高度记为 0;不在同一高度即空间分离记

为 1。(Ⅲ)雄蕊成熟(花药开裂)与雌蕊成熟(柱头可授)间的时间间隔,二者同时成熟或雌蕊先熟,记为 0;雄蕊先熟,记为 1。以上三者之和为 OCI 值。评判标准为:OCI=0 时,繁育系统为闭花受精(Cleistogamy);OCI=1 时,繁育系统为专性自交(Obligate autogamy);OCI=2 时,繁育系统为兼性自交(Facultative autogamy);OCI=3 时,繁育系统为自交亲和,有时需传粉者;OCI=4 时,繁育系统为部分自交亲和,异交,需传粉者。

2 结果与分析

2.1 五爪金龙的花粉-胚珠比(P/O)与种子-胚珠比(S/O)

观察发现,五爪金龙的果实中所含种子数为 1, 2, 3 或 4 个不等,平均单果种子数为 2.22 个,不同生境单果种子数存在显著差异;花朵的雄蕊多为 5 个,少数为 4 个;平均单花花粉量为 8 895 个;每朵花的胚珠数均为 4 个;经计算可知,花粉-胚珠比(P/O)的平均值为 2 224,种子-胚珠比(S/O)的平均值为 0.56(表 2)。

表 2 4 个生境中五爪金龙的 P/O 与 S/O

Table 2 P/O and S/O of *I. cairica* in the four habitats

生境编号 Habitat No.	单果种子数 Seed per fruit	单花花粉量 Pollen per flower	单花胚珠数 Ovule per flower	花粉-胚珠比 P/O	种子-胚珠比 S/O
1	2.26±1.08 b	10 500±455 a	4	2 625	0.57
2	2.00±1.01 c	7 220±194 b	4	1 805	0.50
3	2.36±1.14 a	8 900±229 ab	4	2 225	0.59
4	2.26±0.92 b	8 960±221 ab	4	2 240	0.57
平均值 Mean	2.22±1.04	8 895±306	4	2 224	0.56

注:表中数据为“平均值±标准差”。同列数据后标不同小写字母者表示差异达显著水平($P<0.05$)。下表同。
Note: Data are “Mean±SD” in the table above. The different lowercase letters within the same colum mean the difference significant at $P<0.05$. Follow as same.

2.2 五爪金龙的花粉活性与柱头可授性

花粉活性和柱头可授性是影响植物是否成功受精、受精效率及籽实产量的 2 个直接因素。表 3 统计了 4 个生境中,五爪金龙平均花粉活性和柱头可授性在一天中不同时间的变化情况。从表 3 可以看出,各生境五爪金龙的花粉活性率均高于 50%,在一天中,4 个生境五爪金龙花粉活性变化趋势明显,并且随着时间变化,均呈现抛物线变化。早晨 07:30~09:30,4 个生境中的五爪金龙花粉活性率先分别从 79.83%,79.85%,78.83%,78.27%升高到 83.68%,83.52%,85.61%,84.32%,达到一天中的峰值;之后又逐步降低,到下午 17:30 降至最

低,其花粉的活性率分别为 52.47%,50.36%,50.24%,51.43%。由此可见,一天中五爪金龙花粉活性最高点出现在上午 09:30 左右,随着傍晚的来临,其活性大幅度降低。此外,各生境中五爪金龙柱头可授率均达到 70%以上,并且柱头可授率在一天中随时间的变化趋势与花粉活性类似,即也呈抛物线变化。4 个生境中,五爪金龙柱头可授率分别从早晨 07:30 起逐步上升;至下午 14:30~15:30 达到最高值,均达到 98%左右;之后又下降,于下午 17:30 分别降至 80%,72%,78%,76%。由此可见,五爪金龙柱头可授率一天中在下午 14:30~15:30 升至峰值,而早晨与傍晚柱头可授率均较低。

表 3 4 个生境中五爪金龙的花粉活性及柱头可授性

Table 3 Pollen activity and stigma receptivity rate of *I. cairica* in a day in the four habitats

时间 Time	生境编号 Habitat No.	花粉 Pollen			柱头 Stigma		
		总花粉数 Total number	活性花粉数 Active pollens	活性率/% Activity rate	总柱头数 Total number	可授柱头数 Receptivity stigmas	可授率/% Receptivity rate
07:30	1	1 837	1 466	79.83	50	38	76
	2	1 866	1 490	79.85	50	37	74
	3	1 782	1 405	78.83	50	37	74
	4	1 838	1 439	78.27	50	38	76
08:30	1	1 647	1 321	80.18	50	41	82
	2	1 758	1 416	80.56	50	40	80
	3	1 656	1 324	79.98	50	40	80
	4	1 772	1 435	81.01	50	40	80
09:30	1	1 581	1 323	83.68	50	41	82
	2	1 536	1 283	83.52	50	42	84
	3	1 626	1 392	85.61	50	41	82
	4	1 512	1 275	84.32	50	41	82
10:30	1	2 481	2 015	81.22	50	42	84
	2	2 314	1 890	81.68	50	42	84
	3	2 218	1 821	82.11	50	43	86
	4	2 546	2 074	81.47	50	42	84
11:30	1	1 357	1 084	79.88	50	46	92
	2	1 472	1 175	79.81	50	46	92
	3	1 546	1 221	79.01	50	45	90
	4	1 928	1 520	78.82	50	45	90
12:30	1	1 994	1 565	78.49	50	46	92
	2	1 768	1 386	78.41	50	46	92
	3	1 851	1 443	77.98	50	47	94
	4	1 711	1 346	78.64	50	46	92
13:30	1	835	646	77.37	50	46	92
	2	1 241	953	76.82	50	47	94
	3	968	747	77.14	50	46	92
	4	1 431	1 094	76.48	50	46	92
14:30	1	2 208	1 466	74.19	50	49	98
	2	2 540	1 490	74.58	50	49	98
	3	2 455	1 405	75.11	50	48	96
	4	1 872	1 439	74.25	50	48	96
15:30	1	1 286	1 321	69.36	50	49	98
	2	1 166	1 416	68.89	50	49	98
	3	977	1 324	69.12	50	49	98
	4	1 399	1 435	68.11	50	49	98
16:30	1	1 729	1 638	56.80	50	43	86
	2	1 988	1 894	57.45	50	42	84
	3	1 468	1 844	56.14	50	41	82
	4	9 928	1 390	55.92	50	43	86
17:30	1	2 226	892	52.47	50	40	80
	2	1 978	803	50.36	50	36	72
	3	2 563	675	50.24	50	39	78
	4	1 654	953	51.43	50	38	76
平均值 Mean	—	1 606	1 638	73.76	50	44	87

2.3 五爪金龙的开花动态与杂交指数(OCI)

根据对校园花圃的五爪金龙人工种群、及慧如公园、神奇果园的五爪金龙自然种群物候的观察结果可知,五爪金龙幼苗出土后 7 d 开始发芽,11 d 左右出现第一片真叶,在子叶展开后不到 2 个月便进

入花期,成熟种群在每年 3 月左右进入开花期,且花期长,可一直持续到次年 1 月,其中成熟种群的盛花期集中在每年的 7~8 月及 10~11 月,枯萎期为次年的 1 月上旬至 2 月上旬,但此时的根与木质化的茎仍然保持生命活力,在近 1 个月的休眠期后,次年

2 月又开始另一个生长季,不同年份其物候稍有差异。五爪金龙花期虽长,但其结实期较短,集中在每年的 11 月至枯萎期前。根据定性观察可知,在干旱、贫瘠或向阳的生境中,五爪金龙的开花量明显多于潮湿、肥沃或背阴的生境,推测这种特征与五爪金龙的生活史对策有关。

根据定点观察结果可知,五爪金龙的一朵花从现蕾到开花平均需要 6 d 时间,花开放的前一天花蕾会呈现淡紫色,开花时间为清晨 06:00 以前,一朵花绽放后 1 d 萎蔫,即周期仅为 1 d,约 3 d 后花冠凋落。单花生于叶腋,或 2~3 朵簇生,花冠喇叭状,淡

紫色(稀白色),雌雄蕊内藏,雄蕊 5 枚,不等长,雌蕊 1 枚,柱头多数 2 裂,少数 3 裂;蒴果球形,种子黑色,密被毛。

由表 4 可知,五爪金龙的花朵直径明显大于 6 mm,记为 3;雌、雄蕊高度明显不在同一高度上,记为 1;根据观察,五爪金龙雄蕊先熟,即花药先开裂,大约 0.5 h 后柱头才可授,即雌、雄蕊不同时成熟,且雄蕊先熟,记为 1。可知五爪金龙的杂交指数 $OCI=5$,大于 4,按 Dafni 的标准^[9],判断五爪金龙的繁育系统类型(Type of breeding system)为部分自交亲和,异交,需传粉者。

表 4 4 个生境中五爪金龙花朵的各种指标

Table 4 Comparison of flowers indexes of *L. cairica* in the four habitats

生境编号 Habitat No.	花朵直径/mm Flower's diameter		雌蕊高度/mm Pistil height	雄蕊高度/mm Stamen height	
	最大值 Maximum	最小值 Minimum		最大值 Maximum	最小值 Minimum
1	70.77±4.44 a	10.31±0.74 b	22.98±2.80 a	25.29±2.11 c	19.55±2.02 c
2	70.92±3.93 a	10.90±0.65 a	22.98±1.97 a	29.29±1.58 b	20.62±1.27 b
3	76.52±3.63 b	10.99±0.54 a	23.08±2.51 a	31.07±1.35 a	21.34±2.12 a
4	74.36±5.14 b	11.19±0.62 a	20.74±3.88 b	31.35±1.44 a	20.06±1.50 c
平均值 Mean	73.14±4.29	10.85±0.64	22.45±2.79	29.25±1.62	20.39±1.73

3 讨 论

依据 Cruden 的标准^[10]:花朵的 P/O 为 2.7~5.4 时,交配系统为闭花受精; P/O 为 18.1~39.0 时,为专性自交; P/O 为 31.9~396.0 时,为兼性自交; P/O 为 244.7~2 588.0 时,为兼性异交; P/O 为 2 108.0~195 525.0 时,为专性异交。本研究中,五爪金龙的 P/O 值为 2 224,介于兼性异交和专性异交之间,因此其交配系统以异交为主。另外,五爪金龙的花形较大,花瓣颜色为具吸引昆虫的淡紫色,且雌雄异位,表现为雄蕊短雌蕊长的花型,这是一种避免自交实现异交的繁殖机制,而异交是形成繁育系统中传粉多样性的主要动力^[11]。本研究中,五爪金龙的种子-胚珠比(S/O)为 0.56,即胚珠发育成功率为 56%。杨利平等^[12]在对细叶百合的生殖特性和繁育规律研究中,定义相对生殖成功率(%)=(果实数/花朵数)×(种子数/胚珠数)×100%^[12],可见, S/O 值直接影响植物相对生殖成功率,因此 S/O 是研究植物繁育系统不可或缺的指标。

本研究中,五爪金龙的花粉活性率和柱头可授率在一天中的变化均呈抛物线,即均呈先升高后降低的变化趋势,这与红雨等^[13]对濒危植物蒙古扁桃花粉活力和柱头可授性的研究结论相一致^[13]。虽然五爪金龙在一天中的花粉活性率和柱头可授率都较高,分别达到 50%与 70%以上,但花粉活性率峰

值与柱头可授率的峰值并不在同一时间段,其分别出现在上午 09:30 与下午 14:30~15:30,此外五爪金龙的单花开放到凋谢仅为 1 d,其授粉的机率大大降低,因此笔者认为,这可能是五爪金龙常年开花而极少结实的原因之一。

植物长期以来进化成各种不同的繁育系统^[9]。由于植物性别系统的不同,因此表现出多样化的繁育系统类型。不同性别系统对其杂交率、传粉机制和繁育系统具有不同的影响,雌雄异株植物属于远交(即异交)类型,其他系统如雄性两性同株、雌雄同株,尽管不能完全避免自交,但趋向远交,或促进远交。总之,对植物花部结构和繁育系统的了解,既是认识植物生活史的前提,也是其他相关研究所需的基本背景知识。本研究按 Dafni^[9]的方法,对五爪金龙杂交指数(OCI)进行测定可知,其有性繁育系统为部分自交亲和,异交,需传粉者。因此,五爪金龙的传粉者丰度、活动行为、访花频率及效果等将成为下一步研究的重点。

五爪金龙属于粤东地区花期较长的入侵植物之一,其结实只集中在当年年底的 11 月份至次年的 1 月份,但是营养生长旺盛,通过不断的分枝和克隆生长,扩散种群,占领生境,往往成为群落中的优势种,通过强大的种间竞争力争夺生存空间的光照、水分和养分,大肆排挤本地种,危害严重;此外,笔者调查发现,五爪金龙入侵地一般都是经过人为扰动的生

境,对于郁闭度高的森林生态系统,五爪金龙很难侵入,目前对其化学防治和生物防治措施都不成熟。因此,建议对五爪金龙的防治选择人工防除,在其结实前或果实成熟散落前采取全株清除。笔者经过观察还发现,五爪金龙叶片存在不同程度被昆虫取食的痕迹,而且取食状类型多样。因此,探索针对五爪金龙的生物防除措施,尤其采用天敌昆虫和植物源除草剂防除措施^[14-15]是值得尝试的。

[参考文献]

[1] 张丙林,穆春生,王 颖,等. 五脉山黧豆开花动态及有性繁育系统的研究 [J]. 草业学报,2006,15(2):68-73.
Zhang B L,Mu C S,Wang Y,et al. Study on floral dynamic and breeding system of *Lathyrus quinquenervius* [J]. Acta Prataculturae Sinica,2006,15(2):68-73. (in Chinese)

[2] 刘林德,祝 宁,申家恒. 刺五加、短梗五加的开花动态及繁育系统的比较研究 [J]. 生态学报,2002,22(7):1041-1048.
Liu L D,Zhu N,Sheng J H. Comparative studies on floral dynamics and breeding system between *Eleutherococcus senticosus* and *E. sessiliflorus* [J]. Acta Ecologica Sinica,2002,22(2):1041-1048. (in Chinese)

[3] 李振宇,解 焱. 中国外来入侵种 [M]. 北京:中国林业出版社,2001:187-188.
Li Z Y,Xie Y. Invasive alien species in China [M]. Beijing:China Forestry Publishing House,2002:187-188. (in Chinese)

[4] 廖宜英,林金哲,郑灿坤. 农林业入侵杂草五爪金龙生活史特性研究 [J]. 江西农业学报,2006,18(6):112-115.
Liao Y Y,Lin J Z,Zheng C Z. Observation on life history characteristics of invasive weed *Ipomoea cairica* in agriculturae and forestry [J]. Acta Agriculture Jiangxi,2006,18(6):112-115. (in Chinese)

[5] Jia X C,Li X L,Dan Y,et al. Pollination biology of an invasive weed *Ipomoea cairica* (Convolvulaceae) in Guangdong Province, China [J]. Biodiversity Science,2007,15(6):592-598.

[6] 张志良,婴伟菁. 植物生理学实验指导 [M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2004:206-307.
Zhang Z L,Qu W J. Experimental Instruction of Phytophysiology [M]. 3rd Edition. Beijing: Higher Education Press,2004:206-307. (in Chinese)

[7] 薛晓敏,王金政,张安宁,等. 植物生长调节物质对桃花粉萌发和花粉管生长的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(4):123-127,134.

Xue X M,Wang J Z,Zhang A N,et al. Effects of plant growth regulating substances on pollen germination and tube growth in Chaohong peach [J]. Journal of Northwest A& F Universtiy: Natural Science Edition,2008,36(4):123-127,134. (in Chinese)

[8] 张仁波,窦全丽,何 平,等. 濒危植物缙云卫矛繁育系统研究 [J]. 广西植物,2006,26(3):308-312.
Zhang R B,Dou Q L,He P,et al. Study on the breeding system of the endangered plant *Euonymus chloranthoides* Yang [J]. Guihaia,2006,26(3):308-312. (in Chinese)

[9] Dafni A. Pollination ecology [M]. New York: Oxford University Press,1992:1-57.

[10] Cruden R W. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants [J]. Evolution,1997,31:32-46.

[11] 何亚平,刘建全. 植物繁育系统的最新进展和评述 [J]. 植物生态学报,2003,27(2):151-163.
He Y P,Liu J Q. A review on recent advances in the studies of plant breeding system [J]. Acta Phytoecologica Sinica,2003,27(2):151-163. (in Chinese)

[12] 杨利平,孙晓玉. 细叶百合的生殖特性和繁育规律研究 [J]. 园艺学报,2005,32(5):918-921.
Yang L P,Sun X Y. Studies on the culture solution for lily pollen vitality test [J]. Acta Horticulturae Sinica,2005,32(5):918-921. (in Chinese)

[13] 红 雨,海 涛,那 仁. 濒危植物蒙古扁桃花粉活力和柱头可授性研究 [J]. 广西植物,2006,26(6):589-591.
Hong Y,Hai T,Na R. Pollen viability and stigma receptivity of *Prunus mongolica* Maxim [J]. Guihaia,2006,26(6):589-591. (in Chinese)

[14] 刘雪凌,韩诗畴,曾 玲. 害草薇甘菊生防因子——安婀珍蝶的自然种群生命表研究 [J]. 中国生物防治,2007,23(2):127-132.
Liu X L,Han S C,Zeng L. Life table analysis of natural population of *Actinote anteas* (Nymphalidae), a biocontrol agent of *Mikania micrantha* (Compositae) [J]. Chinese Journal of Biological Control,2007,23(2):127-132. (in Chinese)

[15] 马瑞君,朱 慧,陈丹生,等. 入侵杂草五爪金龙的除草剂植物筛选 [J]. 中国生态农业学报,2008,15(2):391-395.
Ma R J,Zhu H,Chen D S,et al. Screening botanical herbicide for invasive plant *Ipomoea cairica* [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2008,15(2):391-395. (in Chinese)