

不同生境对蝴蝶花花部与果实特征的影响

王永健^{1,2}, 方兴³, 钟章成^{1,*}

(1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070;
3. 重庆师范大学学报(自然科学版)编辑部, 重庆 400047)

摘要:通过对毛竹林(Bamboo forest, BF)与林缘旷地(Open area of forest edge, OAFE)两类生境蝴蝶花自然种群花部与果实(种子)特征及降雨干扰影响的研究,探讨不同生境中蝴蝶花花部特征适应性及有性各组分的差异。结果表明:(1)竹林生境相对于林缘旷地生境,蝴蝶花单花花冠的长、宽较大,子房、花部(除花柄)及单花总生物量较小,比花柄长较大;两类生境蝴蝶花花柄生物量与子房生物量呈正相关($P < 0.05$),协方差分析表明,两类生境该直线回归的总体斜率间($F = 18.420, P < 0.001$)及总体截距间($F = 3791.7, P < 0.001$)均具有显著差异,竹林生境花柄生物量随子房生物量增大而增大的程度更强。竹林生境的蝴蝶花侧花花冠长与宽最高,竹林生境顶花次之,林缘旷地顶花与林缘旷地侧花最低;花部(除花柄)与全花重都表现为林缘旷地侧花最高,林缘旷地顶花次之,竹林侧花与竹林顶花最低。比花柄长随竹林侧花与竹林顶花-林缘旷地侧花-林缘旷地顶花依次降低;竹林顶花的花柄比率最高,竹林侧花与林缘旷地侧花最低。(2)林缘旷地生境中蝴蝶花的每花序花数、花序结果百分率、单花结果百分率、每结果花序果实数、每结果花序果实重与种子重及花期内每花序掉落花数都高于竹林生境。(3)林缘旷地生境大雨干扰的4个时段花朵掉落数显著高于竹林环境($P < 0.01$)。不同生境花部形态结构特征表明其自身的生境适应性,林缘旷地生境蝴蝶花为抵御干扰及为获得有性繁殖成功,有性组分的投入更高。

关键词:顶花;侧花;花柄;降雨干扰;座果率

Effect of different habitats on floral, fruit and seed traits of *Iris japonica* Thunb.

WANG Yongjian^{1,2}, FANG Xing³, ZHONG Zhangcheng^{1,*}

1 Key Laboratory of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing, 400715 China

2 College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University; Wuhan 430070, China

3 Editorial Department of Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China

Abstract: We investigated the flower, fruit and seed traits of *Iris japonica* and the effects of rainfall disturbance on those traits in two different habitats (OAFE-Open area of forest edge, BF-Bamboo forest) on Jinyun Mountain, Chongqing, China, and discussed the adaptability of flower traits and the differences in sexual reproduction components of this species in different habitats. The results showed that the corolla length, corolla width and specific pedicel length of *I. japonica* flowers were larger in BF than in OAFE, whereas ovary biomass, flower biomass (excluding pedicel) and whole-flower biomass (including pedicel) were smaller in BF than those in OAFE. There was a positive correlation between pedicel biomass and ovary biomass ($P < 0.05$) in both BF and OAFE. Covariance analysis showed that the slope ($F = 18.4, P < 0.001$) and the intercept ($F = 3791, P < 0.001$) of the linear regressions were significantly larger in BF than in OAFE, which mean that the increase in pedicel biomass with increasing ovary biomass was stronger in BF than in OAFE. Corolla length and corolla width of the lateral flowers in BF were the largest, and those of the apical flowers and the lateral flowers in OAFE were the smallest. The lateral flowers in OAFE had the largest biomass, whilst the apical flowers in OAFE and the lateral flowers in BF had the lowest biomass. The pedicel ratio of the apical flowers in BF was the highest, and those of the lateral flowers in OAFE and BF were the lowest. The number of flowers per inflorescence, fruit percentage per

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30670334);华中农业大学博士科研启动项目(52204-09074)

收稿日期:2009-06-18; **修订日期:**2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zzhong@swu.edu.cn

inflorescence, fruit percentage per flower, the number of fruits per inflorescence, the number of dropped fruits per inflorescence and biomass of fruit and seed per inflorescence of *I. japonica* were significantly larger in OAFE than those in BF. In addition, the number of dropped flowers in four rainy periods was significantly higher in OAFE than that in BF ($P < 0.05$). In conclusion, flowers of *I. japonica* with different morphological and structural traits can adapt themselves to the different habitats. In OAFE, the flower traits reflected themselves to endurance of strong disturbance caused by the wind and rain, and greater biomass investment in their sexual parts assisting, which will promote their reproductive success.

Key Words: apical flower; lateral flower; pedicel; rainfall disturbance; fruit set percentage

在许多克隆植物中,种群的有性繁殖(及克隆繁殖)受到生境条件的作用,如光照、竞争及环境胁迫等对繁殖有重要的影响^[1-2]。特别对于存在花、果实、种子产量和实生苗更新等组分,且对光等资源需求高的有性繁殖而言,生境的影响更为巨大^[3]。任何影响有性繁殖环节(组分)的因素都会导致有性繁殖成功的改变^[4]。

植物花部特征包括花的结构、颜色、气味、分泌物质类型及其产量等单花部构成,还包括某一时间花的大小、开放数量和花在花序上的空间排列模式等花的开放式样^[5-6]。许多植物种群花部特征常常在不同生境中存在巨大差异^[7-8]。花部特征不仅决定有性繁殖(传粉与受精等)的成功率^[9-11]及繁殖后代遗传组成和适合度^[6],同时也决定其对外界自然干扰(如降雨)抵抗能力的强弱^[9]。花的形态结构特征是其对外界环境适应性的表现,花的大小^[9]及花柄的投资可能决定其对外界干扰的抵抗能力。按照资源分配理论,植物将有限资源投资到有性繁殖和生长,不同生境中蝴蝶花花部各组分差异性分配显示出不同的有性繁殖策略。

蝴蝶花(*Iris japonica* Thunb.)为多年生草本,是典型的兼性克隆植物。其根状茎可分为较粗的直立根状茎和纤细的横走根状茎,通过纤细的横走根状茎实现克隆生长。花两性,花期3—4月份,果期5—6月份^[12]。已有关于鸢尾属 *Iris gracilipes* 花部特征^[13]、*Iris pumila* 开花座果状况^[14]及蝴蝶花(*Iris japonica*)养分梯度下花部综合特征差异^[15]的相关研究,但对自然生境差异下蝴蝶花花部特征的生境适应性研究较少涉及,且未揭示该物种花特征的环境适应性(形态适应性与抗外界干扰性)意义。

本文通过对两类生境蝴蝶花自然种群花部与果实特征,及降雨干扰对花与果实(种子)影响的研究,根据野外观察到蝴蝶花单花掉落多为花柄与花(雌蕊的子房)连接处,且存在较多展开花及未完全展开花的掉落,故通过不同生境中花柄及不同部位花等特征分析花部与果实的生境适应性。拟探讨以下问题:(1)不同生境中有性各组分特征有怎样的差异?(2)不同生境不同部位花的形态结构特征有怎样的差异?(3)不同生境中花部结构与投资对外界风雨干扰的适应性?

1 材料与方法

1.1 研究地点与对象

研究区位于重庆市北碚区缙云山自然保护区(29°50′N,106°20′E)内,气候属典型的亚热带季风湿润性气候,年均气温 13.6℃,年平均降水量 1143 mm。缙云山保护区主要植被为常绿阔叶林,暖性针叶林,竹林,常绿阔叶灌丛等,蝴蝶花广布于林缘与毛竹(*Phyllostachys pubescens*)林下^[12]。选择蝴蝶花分布的两类典型生境——林缘旷地(Open area of forest edge, OAFE)(29°50′15″N,106°23′22″E)与毛竹林(Bamboo forest, BF)(29°49′38″N,106°23′4″E)。样地概况见表 1。

表 1 不同生境样地概况^[12]

Table 1 General situation of two habitats

生境 Habitat	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/(°)	郁闭度 Canopy density/%	叶面积指数 Leaf area index	灌木层盖度 Shrub coverage/%	草本层盖度 Herb coverage/%
林缘旷地 OAFE	770—777	2—5	< 10	< 0.2	6.84 ± 1.20	87.00 ± 0.99
竹林 BF	640—648	5—12	68.98 ± 1.98	1.12 ± 0.06	8.02 ± 3.00	47.47 ± 1.47

1.2 蝴蝶花花与果实特征调查

1.2.1 参数选择及其意义

根据野外观察到蝴蝶花单花掉落多为花柄与花(雌蕊的子房)连接处,且存在较多展开花及未完全展开花的掉落,故引入花柄该支持结构用于分析其对花特征及掉落的影响。

(1)花柄的投资用于衡量花对外界干扰的抵抗能力,指标包括:

花柄长、花柄生物量;

花柄生物量/子房生物量 支持部分/最终有性成功部分(雄蕊群生物量很低,忽略不计);

花柄生物量/花生生物量(除花柄) 支持部分/非支持部分;

比花柄长 = 花柄长/花柄生物量,花柄单位生物量投资下的长度,伸长生长的有效指标;

花柄比率 = 花柄生物量/单花总重,花柄的生物量投资比率。

(2)不同部位花划分为顶花与侧花,用衡量花可能遭遇的外界干扰(风雨等)的不同。

顶花 花序顶部从上往下3个花序分枝开放的花,处于顶端,受到外界干扰(风雨等)强;

侧花 顶部3个花序分枝以下开放的花,处于花序轴周围,受到外界干扰相对弱;

1.2.2 花部与果实特征调查

2008年4月初,按蝴蝶花顶花与侧花划分,在两类生境中分别随机测定完全展开的20顶花与20侧花花冠长与花冠宽,标记装袋后回实验室测定花柄长,然后分部分烘干称重。

2008年5月底,在两类生境中分别随机调查72个开花且不存在物理连接的植株(间隔 > 1m),记录花序高度、每花序花数(由花柄痕数目确定)与每花序果数。同时,按顶花与侧花分类标准划分顶果与侧果,在两类生境中分别随机调查36个花序,记录开花数(由花柄痕确定)、顶果与侧果数目,计算每花序果实数(包括顶果与侧果),然后标记并取16个座果花序的果实回实验室烘干称重。2008年6月中下旬,在两类生境中分别随机选择生长完成的12个果实(开始出现绽开),回实验室记录种子数目及烘干称重。

1.3 降雨干扰及不同时段蝴蝶花花朵与果实掉落数调查

2008年3月下旬,当缙云山毛竹林(BF)与林缘旷地(OAFE)蝴蝶花种群都已始花时,每类生境内分别标记12个花序。始花时间基本一致,花序所属的植株保持间隔(>2m),尽量位于人为干扰难到达的地方。从3月24日(T0)15:00—17:00开始,记录每个花序果实数、花朵掉落数(花柄与子房连接处断开,由花柄痕数目确定;花柄生物量即花柄与花柄顶端的花托的总生物量)及果实掉落数,每3d调查1次,时间为15:00左右,一共调查11次,共10个时段(T1—T10)。3月27日为T1,调查最后日期为4月23日(T10)。降雨数据为实验室生态实验基地小气候测定仪器Dynamet weather station (Dynamax, Houston, Texas, USA)记录的(每小时降雨量)数据。根据两类情况时间间隔相同且开花强度总和较为相似,选择降雨干扰的T2”、T6”、T9”及T10”时段与未降雨干扰T1、T3、T5及T8的总掉落花数进行比较。

1.4 数据处理

使用OriginPro7.0软件作图;运用SPSS11.5软件进行One-Way ANOVA分析、Independent *t*-检验与一元线性回归分析,使用协方差分析检验两类生境直线回归的总体截距间及总体斜率间是否有显著差异。并作箱式图。

2 结果与分析

2.1 不同生境蝴蝶花单花特征

2.1.1 总体特征

竹林生境相对于林缘旷地生境,蝴蝶花单花花冠的长、宽较大,子房、花部(除花柄)及单花总生物量较小,比花柄长较大,花柄长与花柄重无显著差异(表2)。竹林生境花柄比率数据分布区域相对林缘旷地生境靠Y轴上部(图1)。

两类生境蝴蝶花花柄生物量与子房生物量呈正相关($P < 0.05$),协方差分析表明,两类生境该直线回归

表 2 两类生境蝴蝶花单花特征及生物量 (Mean ± S. E.)
Table 2 Floral traits and biomass of *Iris japonica* (Mean ± S. E.) in the two habitats

生境 Habitat	花冠长 Corolla length /cm	花冠宽 Corolla width /cm	花柄长 Length of pedicel /cm	花柄生物量 Biomass of pedicel /mg	子房生物量 Ovary biomass /mg	花部生物量 (除花柄) Biomass of flower (excluding pedicel) /mg	单花总重 Total biomass of flower /mg	比花柄长 Specific pedicel length /(cm/g)	花柄比率 Pedicel ratio /%
林缘旷地 BF	6.31 ± 0.05A	6.02 ± 0.06A	2.01 ± 0.03	3.71 ± 0.12	4.80 ± 0.10B	37.52 ± 0.96b	41.22 ± 1.04b	556.75 ± 12.92A	9.02 ± 0.19
竹林 OAFE	5.02 ± 0.09B	4.63 ± 0.06B	2.00 ± 0.05	4.01 ± 0.13	5.44 ± 0.17A	42.31 ± 1.12a	46.31 ± 1.22a	504.72 ± 8.98B	8.57 ± 0.15

不同字母表示两类生境间差异显著 ($n = 40$; a, b: $P < 0.05$; A, B: $P < 0.01$)

的总体斜率间 ($F = 18.420$, $P < 0.001$) 及总体截距间 ($F = 3791.7$, $P < 0.001$) 均具有显著差异, 竹林生境花柄生物量随子房生物量增大而增大的程度更强; 两类生境蝴蝶花花柄生物量与花部 (除花柄) 生物量呈正相关 ($P < 0.01$) (图 2)。

2.1.2 顶花与侧花的差异

竹林侧花 (BL) 花冠长与宽最高, 竹林顶花 (BA) 次之, 林缘旷地顶花 (OA) 与林缘旷地侧花 (OL) 最低; 花柄长表现为竹林顶花-林缘旷地侧花-竹林侧花-林缘旷地顶花依次降低 (图 3a)。单花子房重表现为林缘旷地侧花-林缘旷地顶花-竹林侧花-竹林顶花依次降低; 花柄重林缘旷地侧花最高, 林缘旷地顶花与竹林顶花次之, 竹林侧花最低; 花部 (除花柄) 与全花重都表现为林缘旷地侧花最高, 林缘旷地顶花次之, 竹林侧花与竹林顶花最低 (图 3b)。

比花柄长竹林侧花与竹林顶花-林缘旷地侧花-林缘旷地顶花依次降低 (图 4a); 花柄比率竹林顶花最高, 林缘旷地顶花次之, 竹林侧花与林缘旷地侧花最低 (图 4b)。

2.2 不同生境蝴蝶花开花、果实与种子特征

林缘旷地生境中蝴蝶花每花序花数、花序结果百分率、单花结果百分率及每结果花序果实数 ($P < 0.05$) 都显著高于竹林生境, 花序长则相反; 两类生境顶果数及侧果数均无显著差异; 每结果花序果实重与种子重表现为林缘旷地生境显著高于竹林生境 ($P < 0.05$); 林缘旷地生境中花期内每花序掉落花数高于竹林生境 ($P < 0.01$) (图 5)。

2.3 大雨对不同生境蝴蝶花花与果实的影响

T2"、T6"、T9" 及 T10" 时段降雨总量 (日降雨 > 10 mm) 与 6h 最大雨量 (> 5 mm) 都远大于其他时段, 达到中到大雨干扰水平 (图 6a); 林缘旷地生境大雨干扰的 4 个时段花朵掉落数显著高于竹林环境 ($P < 0.01$) (图 6b)。

3 讨论

3.1 不同生境中蝴蝶花花部形态结构特征及其适应性

已有研究结果表明^[16], 蝴蝶花在竹林生境表现相对强的克隆繁殖能力, 相对弱的有性繁殖能力; 而林缘旷地生境则相反。那么, 在有性投资有限的竹林生境中, 蝴蝶花单花生物量相对较小, 每花序花数量较少, 表

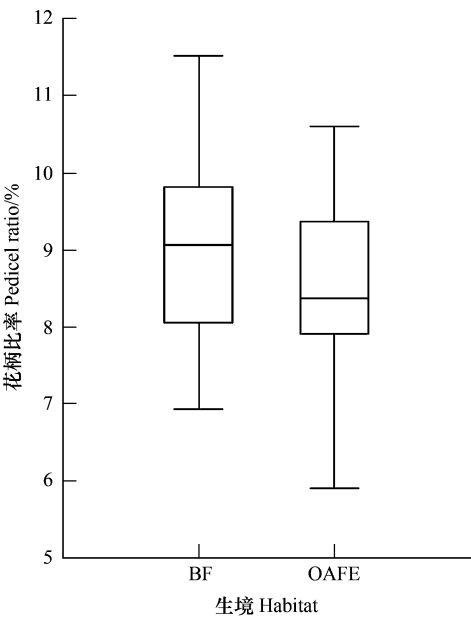


图 1 两类生境蝴蝶花花柄比率
Fig. 1 Pedicel ratio of *Iris japonica* in the two habitats
 $df = 78$, $t = 1.800$, $P = 0.076$, $n = 40$

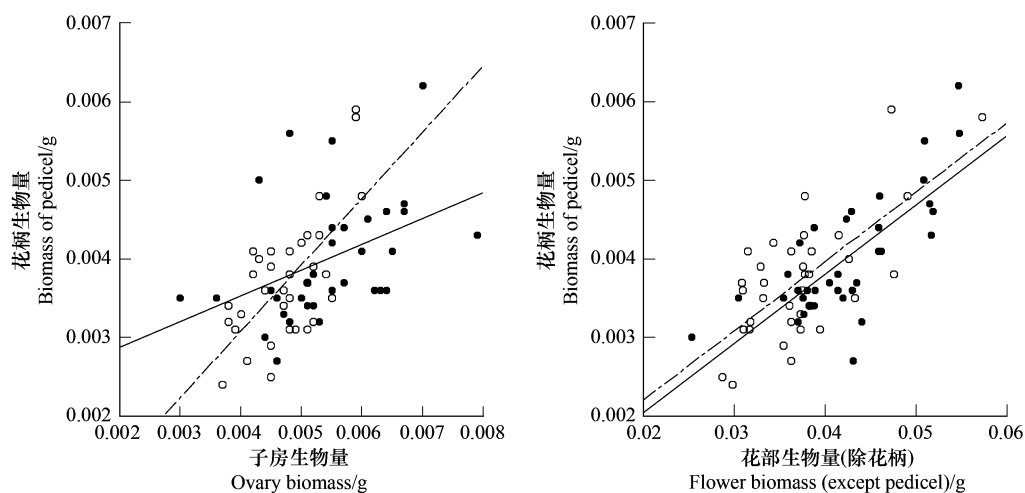


图2 花柄生物量与花部(除花柄)生物量,花柄生物量与子房生物量的回归

Fig. 2 Regression between biomass of pedicel and ovary biomass, biomass of pedicel and flower biomass (except pedicel)

(○)与虚线表示竹林生境蝴蝶花植株,(●)与实线表示林缘旷地生境蝴蝶花植株

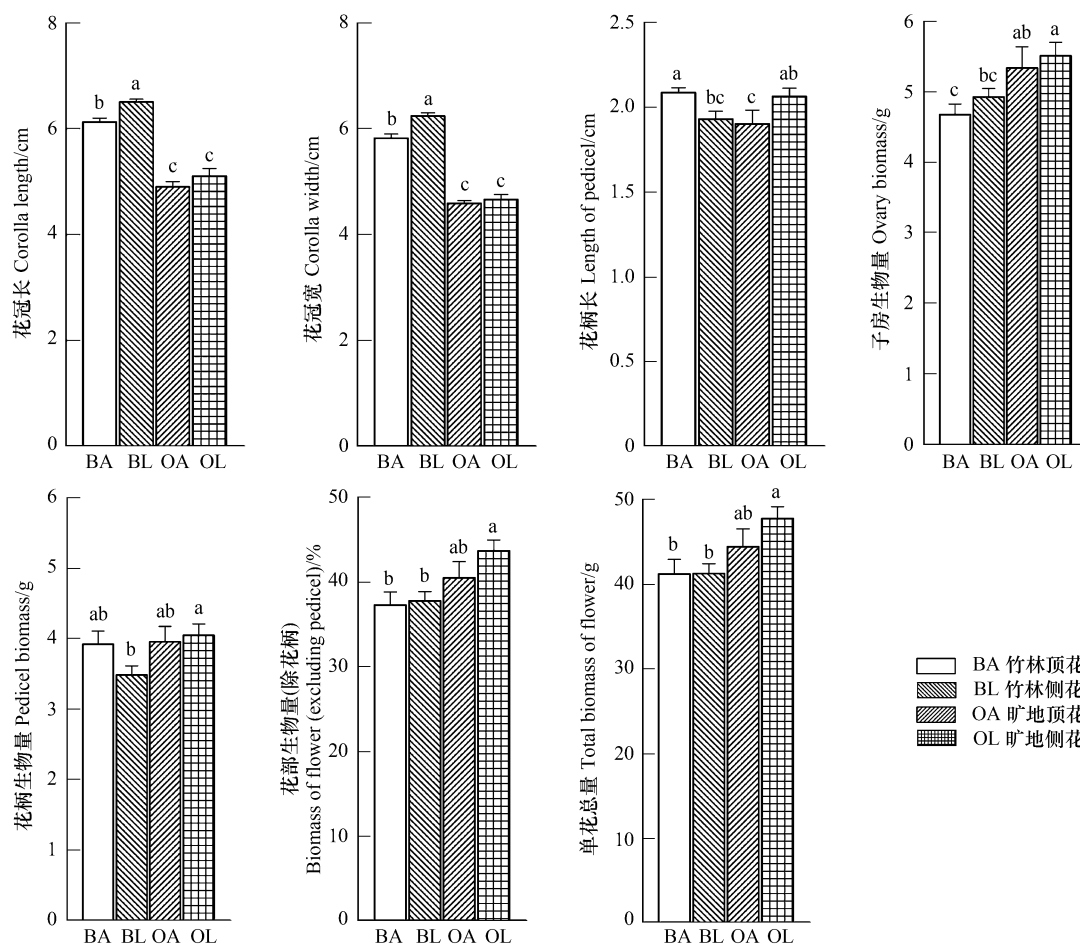
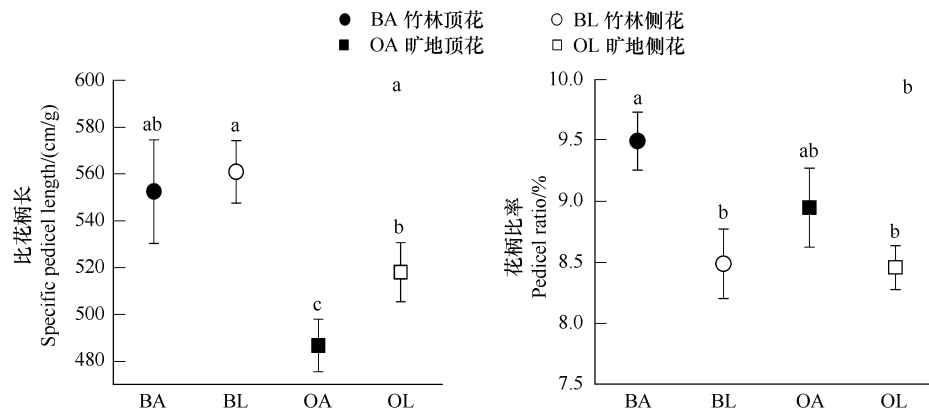


图3 两类生境蝴蝶花顶花与侧花花部形态特征与生物量(Mean \pm S. E.)

Fig. 3 Morphological traits and biomass of the apical and lateral flower of *Iris japonica* (Mean \pm S. E.) in the two habitats

BA: 竹林生境顶花; BL: 竹林生境侧花; OA: 林缘旷地生境顶花; OL: 林缘旷地生境侧花. 不同字母表示两类生境间差异显著($P < 0.05$)

图4 两类生境蝴蝶花顶花与侧花花柄特征 (Mean \pm S. E.)Fig. 4 Pedicel traits of apical and lateral flower of *Iris japonica* (Mean \pm S. E.) in the two habitats

BA: 竹林生境顶花; BL: 竹林生境侧花; OA: 林缘旷地生境顶花; OL: 林缘旷地生境侧花。不同字母表示两类生境间差异显著 ($P < 0.05$)

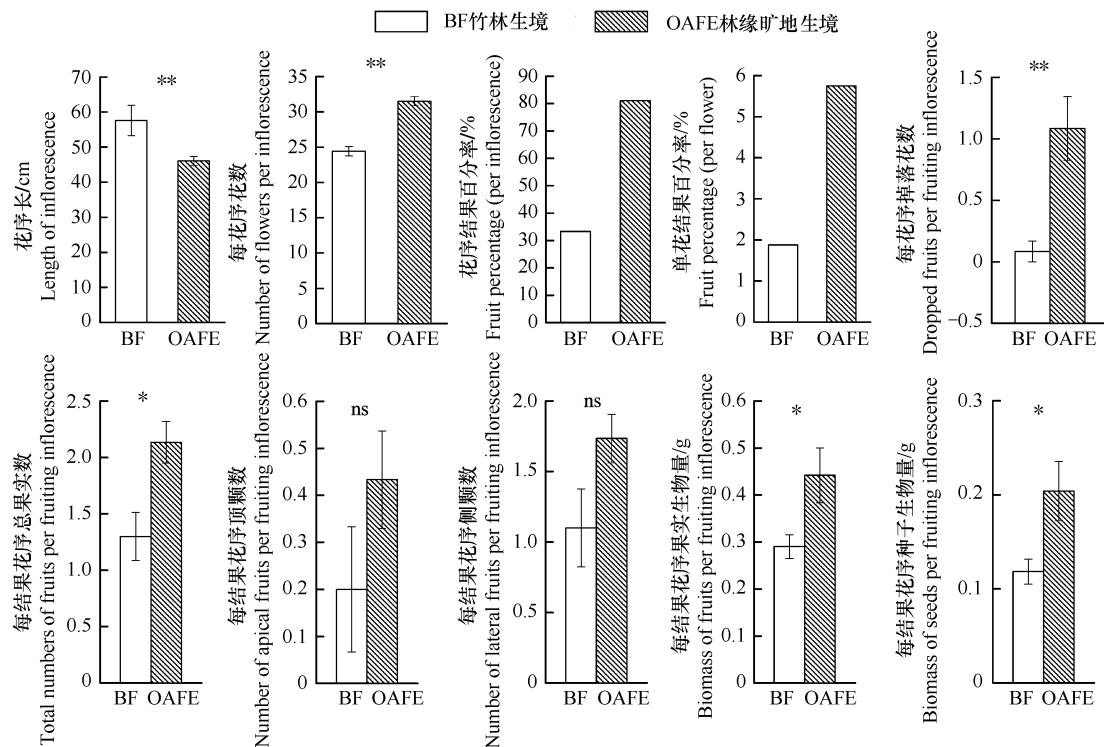


图5 两类生境蝴蝶花开花、果实与种子特征

Fig. 5 Characteristics of flowering, fruit and seed of *Iris japonica* in two habitats

每结果花序种子生物量; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ns: 无显著差异

明其开花投资少;花冠长宽较大,表明花朵大,这可能有利于吸引昆虫传粉^[6],增加交配几率;但单花各组分(子房、花部(除花柄))都较小,基株开花率低,花朵数量较少,总体上对传粉较为不利。

对于单花支持结构而言,竹林生境中,花序长与比花柄长更大,花柄比率相对较高(箱式图数据分布较靠上),表明竹林生境花柄投资更高,且花柄生物量随子房与花部生物量(除花柄)增加的幅度更大,保证充分的支持作用;而且,由于花部(除花柄及子房)较低的生物量,导致花冠轻而薄,那么竹林生境中蝴蝶花单花花柄的支撑压力就相对较小。

同时,竹林生境中,蝴蝶花花序更长,花柄更细长,使花朵获得更充足的光,且增加单花弹性而避免轻微风

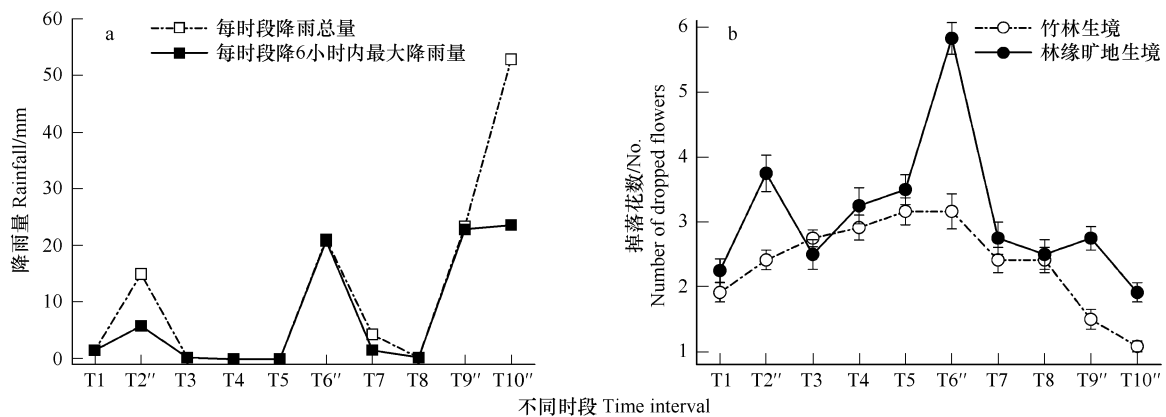


图6 不同时段降雨总量与6h最大雨量(a)及两类生境蝴蝶花朵掉落数(b) (Mean \pm S. E.)

Fig. 6 Total rainfall and maximum rainfall in 6 hours (a), and number of dropped flowers of *Iris japonica* (Mean \pm S. E.) (b) in different time interval of two habitats

时段中加“ ”表示该时段为大雨干扰时段

雨干扰;由于竹林生境林冠结构(树干挡风与林冠截流),使风雨等干扰的相对减小,故竹林生境对蝴蝶花朵与果实掉落影响不大。竹林生境中蝴蝶花表现出花少而大,对花柄投资高,保证投资使蝴蝶花单花能更好避免外界干扰,从而降低从开花到受精过程中的环境不利影响。

而在有性投资充足的林缘旷地生境中,蝴蝶花单花生物量相对较大,每花序花数量较多,表明其开花投资较高;花冠长宽较小,花部(除花柄子房)生物量较高,表明花朵小,花冠重而厚,且单花各组分生物量都较大,基株开花率高,数量多,大量的花及花其他部分(子房等)投资可吸引昆虫传粉,获得传粉成功^[17]。

对于单花支持结构而言,林缘旷地生境相对于竹林生境,花序较短,比花柄长较小,花柄比率相对较低,且花柄生物量随子房生物量增加的幅度较小,表明竹林生境花柄投资较低;而且,由于花部(除花柄及子房)较高的生物量,导致花冠轻而薄,那么竹林生境中蝴蝶花单花花柄的支撑压力就相对较大。同时,花柄较短,降低单花花柄抗外力的弹性。由于林缘旷地生境空旷无遮蔽,其风雨等干扰很强,蝴蝶花花朵降雨时段的掉落明显高于无降雨干扰时(图6b)。可见,增加花柄投资也不能抵御高强度的雨水打击,故蝴蝶花通过降低花柄投资、增加花朵数量及减小花朵大小(花小而多),并通过不同时段开花分布,来降低偶然大降雨干扰的损失,保证投资使蝴蝶花能够有一部分未受干扰而顺利通过受精过程,到达结果后影响就很小。

对于不同花序不同部位的花朵,不同部位的花反映了其生长的光环境:竹林侧花生长的光环境最差,故花朵最大,而林缘旷地顶花与林缘旷地侧花最小;单花各组分(子房、花部(除花柄子房))及单花总生物量也都表现为林缘旷地顶花与林缘旷地侧花高于竹林顶花与竹林侧花,而同种环境两部位花无差异。比花柄与花柄比率为竹林生境的最高,林缘旷地侧花及林缘旷地顶花相对较低,林缘旷地侧花最低,表明处于最好光环境的林缘旷地顶花花柄伸长最短,弹性低,同时,由于两类环境中花序顶部受到的降雨干扰最强,而侧部可能有苞片等帮助遮挡降雨,故竹林顶花的花柄投资最高。

3.2 不同生境蝴蝶花繁殖成功

林缘旷地生境中蝴蝶花花序结果百分率、单花结果百分率、每结果花序果实数、每结果花序果实重与种子重都高于竹林生境,表明林缘旷地较高的有性繁殖成功率,竹林生境则具较低繁殖成功率。相关研究也表明^[16],竹林生境表现相对强的克隆繁殖能力,而林缘旷地生境表现相对强的有性繁殖能力。

那么,受到偶然性降雨干扰严重影响的林缘旷地生境(无林冠遮挡),相对于受降雨影响小的竹林生境,蝴蝶花的开花及座果的繁殖投资更高,因为其还包括抵御外界干扰的部分。降雨对竹林生境中蝴蝶花的花朵及果实掉落影响很小,但未干扰时段花朵掉落也较多,可见,在开花到受精过程中环境稳定的情况下,其他影响座果率的因素决定其低有性繁殖成效,如竹林生境克隆繁殖过强(或营养生长过旺),使得有性投资减少,

有性组分器官发育不良,座果率低^[4, 14];同一基株分布广、克隆生长旺盛可能导致植株同基株授粉几率增加^[18-19]及异交花粉量不足^[20]等。相比之下,虽然林缘旷地生境的降雨对蝴蝶花花朵及果实掉落影响很大,但其开花的基株多,每基株的有性繁殖投资高,通过降低花柄投资与花朵大小,增加花数量等,增加异交率^[21],这使不同开花时段能够存在一部分花避免外界干扰而顺利通过受精过程,结出果实。

总的看来,不同生境花部结构表明其自身的生境适应性^[9],林缘旷地生境的外界风雨干扰强烈,蝴蝶花为抵御干扰并且为获得有性繁殖成功,其投入更多的有性组分。而干扰小的竹林生境中,其有性繁殖的其他过程(授粉及有性投入等)可能决定了有性繁殖的低成功率。

致谢:陈锋、秦银林、黄茹和郝建辉提供野外调查帮助,缙云山自然保护区管理局工作人员提供野外工作便利,谨此致谢。

References:

- [1] Mandujano M C, Montaña C, Méndez I, Golubov J. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology*, 1998, 86: 911-921.
- [2] Eckert C G. The loss of sex in clonal plants. *Evolutionary Ecology*, 2002, 15: 501-520.
- [3] Dorken M E, Eckert C G. Severely reduced sexual reproduction in northern populations of a clonal plant, *Decodon verticillatus* (Lythraceae). *Journal of Ecology*, 2001, 89: 339-350.
- [4] Zhang Y F, Zhang D Y. Asexual and sexual reproductive strategies in clonal plants. *Acta Phytocologica Sinica*, 2006, 30(1): 174-183.
- [5] Xiao Y A, He P, Li X H. Floral syndrome and breeding system of the endangered plant *Disanthus cercidifolius* Maxim. var. *longipes*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 333-340.
- [6] Li L, Dang C L. Floral syndrome and breeding system of *Erigeron breviscapus*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 571-578.
- [7] Arroyo J, Dafni A. Variations in habitat, season, flower traits and pollinators in dimorphic *Narcissus tazetta* L. (Amaryllidaceae) in Israel. *New phytologist*, 1995, 129: 135-145.
- [8] Fabbro T, Körner C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation. *Flora*, 2004, 199: 70-81.
- [9] Lai J Y, Pan C L, Qin W G, Wei G F. The floral syndrome and its pollination adaptability in *Kmeria septentrionalis* (Magnoliaceae). *Acta Botanica Yunnanica*, 2007, 29(3): 303-308.
- [10] Fang H T, S-Q. Blossom character and insect pollination of *Prunus mongolica* Maxim. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 177-181.
- [11] Wang W, Dai H G, Chen F D, Guo W M. Correlation between floral traits of *Chrysanthemum morifolium* and insect visitors. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(4): 776-785.
- [12] Wang Y J, Zhong Z C, Tao J P. Patterns of ramet population of *Iris japonica* Thunb. and their effects on herb diversity in different microsites on Jinyun Mountain, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3082-3091.
- [13] Ishii H S, Morinaga S-I. Intra- and inter-plant level correlations among floral traits in *Iris gracilipes* (Iridaceae). *Evolutionary Ecology*, 2005, 19: 435-448.
- [14] Tarashev A. Impact of genet size and flowering stage on fruit set in *Iris pumila* L. clones in wild. *Acta Oecologica*, 2005, 27: 93-98.
- [15] Li Q Y, Zhong Z Z, He Y J. Effects of soil nutrients on plasticity of floral characteristics in *Iris japonica* Thunb. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, 23(6): 564-567.
- [16] Wang Y J. The effects of heterogeneous habitat on reproductive strategies and genetic diversity of populations of clonal plant, *Iris japonica* Thunb. [Doctoral thesis], Southwest University, 2009: 53-67.
- [17] Thompson J D. How do visitation patterns vary among pollinators in relation to floral display and floral design in a generalist pollination system?. *Oecologia*, 2001, 126: 386-394.
- [18] Kudoh H, Dhibaike H, Whigham D F, Kawano S. Genet structure and determinants of clonal structure in a temperate deciduous woodland herb, *Urtica perfoliata*. *Journal of Ecology*, 1999, 87: 244-257.
- [19] Charpentier A. Consequences of clonal growth for plant mating. *Evolutionary Ecology*, 2002, 15: 521-530.
- [20] Charpentier A, Grillas P, Thompson J D. The effects of population size limitation on fecundity in mosaic population of the clonal macrophyte *Scirpus maritimus* (Cyperaceae). *American Journal of Botany*, 2000, 87: 502-507.
- [21] Eriksson O, Bremer B. Genet dynamics of the clonal plant *Rubus saxatilis*. *Journal of Ecology*, 1993, 81: 533-542.

参考文献:

- [4] 张玉芬, 张大勇. 克隆植物的无性与有性繁殖对策. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 174-183.
- [5] 肖宜安, 何平, 李晓红. 濒危植物长柄双花木的花部综合特征与繁育系统. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 333-340.
- [6] 李鹞, 党承林. 短葶飞蓬(*Erigeron breviscapus*)的花部综合特征与繁育系统. *生态学报*, 2007, 27(2): 571-578.
- [9] 赖家业, 潘春柳, 覃文更, 韦国富. 单性木兰花部综合特征及其传粉适应性. *云南植物研究*, 2007, 29(3): 303-308.
- [10] 方海涛, 斯琴巴特. 蒙古扁桃的花部综合特征与虫媒传粉. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 177-181.
- [11] 王伟, 戴华国, 陈发棣, 郭维明. 菊花花部特征及花冠精油组分与访花昆虫的相关性. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 776-785.
- [15] 李青雨, 钟章成, 何跃军. 土壤养分对蝴蝶花的花形态可塑性的影响. *武汉植物学研究*, 2005, 23(6): 564-567.
- [16] 王永健. 异质生境对蝴蝶花(*Iris japonica* Thunb.)种群繁殖对策及遗传多样性的影响. 西南大学博士学位论文, 2009: 53-67.