

# 鸢尾的花部结构及繁育系统特征

刘宗才, 焦铸锦\*, 董旭升, 代金星

(南阳师范学院, 河南省伏牛山昆虫生物重点实验室, 河南南阳 473061)

**摘要:** 对鸢尾 (*Iris tectorum*) 居群的花部特征、授粉特性、繁育系统及访花昆虫行为等进行了研究。在自然条件下, 鸢尾 4—6 月开花, 群体花期约 60 d, 群体盛花期约 30 d, 集中在 4 月 20 日—5 月 20 日, 单株花期 10~30 d, 单花花期 2 d。雄蕊短于花柱, 花药紧贴花柱外侧, 花药与柱头相差约 3 mm, 在花朵开放的整个过程中雌、雄蕊的相对位置不变。杂交指数 OCI 为 4, P/O (花粉/胚珠比) 为 234.4, 结合坐果率判断其繁育系统属于异交, 部分自交亲和, 需要传粉者。鸢尾高度特化的花部特征与黄胸木蜂 (*Xylocopa appendiculata*) 和长木蜂 (*Xylocopa tranquebarorum*) 的传粉行为相适应。人工授粉结籽率高于自然传粉, 证实鸢尾自然条件下的有性繁殖系统受到花粉限制和缺少传粉昆虫的影响。

**关键词:** 鸢尾; 花部特征; 杂交指数; 花粉/胚珠比; 繁育系统; 花粉限制

**中图分类号:** S 682.1<sup>+</sup>9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2011) 07-1333-08

## Floral Syndrome and Breeding System of *Iris tectorum*

LIU Zong-cai, JIAO Zhu-jin\*, DONG Xu-sheng, and DAI Jin-xing

(Henan Provincial Key Laboratory of Funiu Mountain Insect Biology, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan 473061, China)

**Abstract:** Field investigation was performed on the floral syndrome, pollination characteristics, pollinator behaviors and breeding system of *Iris tectorum* by continuous observations and analyzing data of out-crossing index, pollen-ovule ratio, fruit-set ratio and seed-set ratio. The results were as follows: Under natural conditions, the flowering stage of populations is about 60 days from April to June, and the majority of plants kept blooming in 20th April to 20th May. The flowering stage for individual plant was 10 - 30 days. The life span of a single flower was about 2 days. The stamen was closed to the lateral side of the petaloid style. The stamen was about 3 mm shorter than the style. The relative position between the stamen and style was always unchanged during the whole flowering stage. It showed that the breeding system was out-crossing, part self-compatibility, insect pollinator-dependent when comparing the results of pollination experiments with the results of out-crossing index and pollen-ovule ratio. The specialized floral structure was suitable for the behavior of the pollinator, *Xylocopa appendiculata* and *Xylocopa tranquebarorum*. Hand pollinations improved reproductive success, suggesting that sexual reproduction may be influenced by pollen limitation and less pollinators in nature.

**Key words:** *Iris tectorum*; floral syndrome; out-crossing index; pollen-ovule ratio; breeding system; pollen limitation

收稿日期: 2011 - 03 - 24; 修回日期: 2011 - 05 - 06

基金项目: 河南省科技厅基础与前沿项目 (082300430130); 河南省教育厅自然科学基金项目 (2008A180019)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zhujin.jiao@yahoo.com.cn)

鸢尾属 (*Iris*) 植物花器较大, 辐射对称, 花被管大多喇叭状。花色艳丽多彩, 主要有蓝紫色、紫色、红紫色、黄色、白色等。鸢尾属植物大多是优良的观赏花卉资源 (丁宝章和王遵义, 1998)。植物独特的花部结构与其有性繁殖密切相关。目前, 有关鸢尾属马蔺 (*Iris lacteal*)、中亚鸢尾 (*Iris bloudowii*)、变色鸢尾 (*Iris versicolor*)、蝴蝶花 (*Iris japonica*)、长白鸢尾 (*Iris mandshurica*) 等植物传粉与生殖生物学研究已经展开 (Kron et al., 1993; 李宁, 2003; 王玲 等, 2006; 关文灵 等, 2009; 王育青 等, 2010)。

鸢尾 (*Iris tectorum*) 是鸢尾属 (*Iris*) 多年生草本植物, 分布范围较广, 主要产于山区向阳山坡、林缘。鸢尾花色蓝紫, 花冠较大, 单花期及居群花期较长, 在生态园林上有着广泛的应用前景。此外, 鸢尾的根茎入药, 对治疗关节炎、跌打损伤、肝炎等有较好的药用价值 (丁宝章和王遵义, 1998)。有关鸢尾的抗胁迫生理、细胞生物学和分子生物学的研究已有报道 (沈云光 等, 2007; 程永生 等, 2009; 肖婷婷 等, 2010), 但涉及开花、传粉生物学特性的研究较少。开展鸢尾开花、传粉生物学方面的研究, 不仅有助于深入了解鸢尾的个体发育, 而且可以为杂交育种等工作提供可靠的数据, 对开展杂交育种工作, 提高种子产量及质量方面有重要意义。

作者就鸢尾的开花、传粉生物学特性等进行了研究, 为提高鸢尾属植物的繁殖效率及其杂交育种提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

观测的野生鸢尾居群约有 3 000 株, 分布在约 1 500 m<sup>2</sup> 范围内, 位于南阳师范学院植物园, 地处北纬 32°9'76", 东经 112°49'6", 海拔 262 m, 年平均气温 14.4 ~ 15.7 °C, 年均降雨量 1 000 mm。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 花部特征和开花动态观察

2010 年 4 月 6 日, 对盛花期鸢尾的开花动态进行观测, 每次取 10 m × 10 m 的样方, 主要记录单花花期、开花时间、花器官各部分大小。

#### 1.2.2 花粉活力和柱头可授性检测

花粉活力的检测依据 Dafni (1992) 的方法使用 TTC (0.5%) 从开花后每小时取 1 次花粉检测活性。

柱头的可授性检验采用过氧化氢—联苯胺法 (刘林德 等, 2001)。从 7:00 至 17:00 每小时取 1 次盛开的花朵, 用过氧化氢—联苯胺溶液 (1% 联苯胺: 3% 过氧化氢: 水 = 4: 11: 22, 体积比) 在凹形载玻片内进行检测。若柱头具有可授性, 则周围出现蓝色并有大量气泡产生。

另外使用 Nikon TE2000 对柱头进行显微观察, 拍照记录, 依据柱头腺毛发育情况判断柱头的可授性。

#### 1.2.3 杂交指数 (outcrossing index, OCI) 的估算

按照 Dafni (1992) 的标准进行花序直径、花朵大小和开花行为的测量及繁育系统的评判。

- (1) 花朵或花序直径: < 1 mm 记为 0; 1 ~ 2 mm 记为 1; 2 ~ 6 mm 记为 2; > 6 mm 记为 3。
- (2) 花药开裂时间与柱头可授期之间的时间间隔: 同时或雌蕊先熟记为 0; 雄蕊先熟记为 1。
- (3) 柱头与花药的空间位置: 同一高度记为 0; 空间分离记为 1。

三者之和为 OCI 值。OCI = 0 时, 繁育系统为闭花受精; OCI = 1 时, 繁育系统为专性自交;

OCI = 2 时, 繁育系统为兼性自交; OCI = 3 时, 繁育系统为自交亲和, 有时需要传粉者; OCI = 4 时, 繁育系统为部分自交亲和, 异交, 需要传粉者。

1.2.4 花粉/胚珠比 (pollen-ovule ratio, P/O)

随机选取花蕾尚未开裂的雄蕊 30 个 (每朵花取 1 个雄蕊) 固定于 FAA 中, 用 HCl ( $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 60 ℃ 水解 1 h 去除药壁, 花粉粒悬浮液定容至 10 mL, 用微量移液器吸取 2  $\mu\text{L}$  悬浮液于显微镜下观察, 统计花粉量, 重复 10 次。取子房在体视显微镜下用解剖刀剖开, 统计胚珠数, 重复 20 次。用平均每朵花的花粉量除以平均每朵花的胚珠数得到花粉/胚珠比 (P/O)。按 Cruden (1977) 的标准, P/O 为 2.7 ~ 5.4 时, 其繁育系统为闭花受精; P/O 为 18.1 ~ 39.0 时, 繁育系统为专性自交; P/O 为 31.9 ~ 396.0 时, 繁育系统为兼性自交; P/O 为 244.7 ~ 2 588.0 时, 繁育系统为兼性异交; P/O 为 2 108.0 ~ 195 525.0 时, 繁育系统为专性异交。

1.2.5 繁育系统

为检测繁育系统类型, 试验地点实施如下处理: (1) 将尚未开放的花蕾用牛皮纸袋套袋, 不做任何处理, 检测是否具备自花授粉能力; (2) 花蕾套袋, 次日上午进行人工自花授粉, 检验自花授粉的亲和性; (3) 花蕾去雄, 套袋, 检测是否可以无融合生殖; (4) 花蕾去雄, 套袋, 次日上午进行人工异花授粉; (5) 对照, 自然授粉。每组处理 20 朵花, 果实成熟后统计坐果率和结籽率。

1.2.6 访花昆虫

参考 Totland 和 Matthews (1998) 的方法, 在鸢尾盛花期 2010 年 4—6 月选晴天观察整个居群内的昆虫访花情况。观测点选定 10 m  $\times$  10 m 的样地, 观察记录样地内单花访花昆虫的种类和数量, 昆虫访问单花时间长度, 访花频率。对昆虫访花行为进行摄影, 不定时捕捉访花昆虫作凭证标本。

2 结果与分析

2.1 花部特征和开花动态

鸢尾为聚伞形花序, 花茎顶端常有 1 个或 2 个短侧枝, 每枝顶部花蕾 1 枚, 花朵自花茎顶端向下依次先后开放。花色蓝紫, 花被管喇叭状, 花被片 6 枚, 分为 2 轮, 内外各 3 枚, 交互排列, 辐射对称, 花冠直径约 12 mm (图 1, A); 垂瓣 (外花被) 3 枚, 裂片宽卵形, 长 50 ~ 60 mm, 宽 30 ~ 40 mm, 中脉上有不规则的鸡冠状附属物 (图 1, B); 旗瓣 (内花被) 3 枚, 裂片椭圆形, 长 40 ~ 50 mm, 宽 20 ~ 30 mm; 花柱分枝扁平, 淡蓝色, 长 40 ~ 50 mm, 顶端裂片近四方形, 柱头位于花柱顶端裂片的基部 (图 1, A)。雄蕊长约 2.5 cm, 花丝细长, 花药乳白色, 向外开裂, 花药位于花柱外侧, 柱头下方 (图 1, C)。子房约 13 mm, 纺锤状圆柱形, 子房三室 (表 1)。

表 1 鸢尾花器官参数  
Table 1 Floral parameters of *Iris tectorum*

花器官 Floral organ	大小/ mm Size
垂瓣长 Exoperigon length	58.18 $\pm$ 5.28
垂瓣宽 Exoperigon breadth	36.52 $\pm$ 3.31
旗瓣长 Vexilla length	48.97 $\pm$ 5.12
旗瓣宽 Vexilla breadth	28.93 $\pm$ 2.94
子房高 Ovary height	13.30 $\pm$ 1.31
花柱高 Style height	39.15 $\pm$ 3.56
柱头高 Tigma height	1.93 $\pm$ 0.16
雄蕊高 Stamen height	25.58 $\pm$ 2.17

注: 表中数值为平均数  $\pm$  标准差。  
Note: Data are mean  $\pm$  SD.



图 1 鸢尾花部特征、传粉及繁育系统

A. 盛开的鸢尾花 (a. 外花被; b. 内花被; c. 花柱); B. 柱头与外花被 (a. 鸡冠状附属物); C. 雌、雄蕊相对位置 (a. 柱头; b. 花药); D. 布满腺毛的柱头; E. 长木蜂 (*Xylocopa tranquebarorum*) 飞临鸢尾; F. 长木蜂降落在外花被上; G. 长木蜂沿冠装附属物进入花内部; H. 捕捉到的长木蜂标本; I. 进入花内部的黄胸木蜂 (*Xylocopa appendiculata*); J. 捕捉到的黄胸木蜂标本; K. 人工自花传粉后 10 d 的果实剖面图; L. 自然状态下授粉后 10 d 的果实剖面图; M. 人工异花授粉后 7 d 果实剖面图。

Fig. 1 Floral syndrome, pollination and breeding system of *Iris tectorum*

A. Flower of *Iris tectorum* in full bloom (a. Exoperigon; b. Inner tepal; c. Style); B. Stigma and exoperigon (a. Comb-shaped appendages); C. Relative position of pistil and stamen (a. Stigma; b. Anther); D. Stigma with lots of glandular trichome; E. *Xylocopa tranquebarorum* flying to *Iris tectorum* Maxim; F. *Xylocopa tranquebarorum* landing on exoperigon of *Iris tectorum* Maxim; G. *Xylocopa tranquebarorum* entered the flower along with comb-shaped appendages; H. Specimen of *Xylocopa tranquebarorum* arrested from flowers of *Iris tectorum* Maxim; I. *Xylocopa appendiculata* Smith entered the flower; J. Specimen of *Xylocopa appendiculata* Smith arrested from flowers of *Iris tectorum* Maxim; K. Longitudinal cutting of fruit 10 days after hand self-pollination; L. Longitudinal cutting of fruit 10 days after pollination in nature; M. Longitudinal cutting of fruit 7 days after hand cross-pollination.

鸢尾花期 4—6 月, 群体花期约 60 d, 群体盛花期约 30 d, 单株花期 10~30 d, 单花花期 2 d。早晨 8:00 左右花朵绽开, 此时花药和柱头没有明显的距离分开, 花药未开裂, 柱头未分化出腺毛; 上午 10:00 左右, 柱头和花药分开约 3 mm, 且柱头高于花药 (图 1, C), 柱头出现密集的腺毛 (图 1, D), 花药开裂, 花粉乳白色; 开花次日 8:00—8:30, 花药略显黄色, 大部分花药因吸收露水胀破; 开花次日 16:00—16:30, 垂瓣、旗瓣萎缩, 柱头干枯卷曲。

## 2.2 花粉活力和柱头可授性

鸢尾花粉在花药开裂前已有较强活力, 花药开裂时花粉活力处于最强的状态, 此后随着时间推移花粉活力逐渐下降 (表 2)。

柱头在花药开裂前具有可授性, 花药开裂后 2 h 左右柱头可授性最强, 此后随着时间推移柱头

可授性下降，可授性可以持续到开花的次日（表 2）。

表 2 花粉活力和柱头可授性检测  
Table 2 Test of pollen activity and stigma receptivity

时间 Time	花粉活力/% Pollen activity	柱头可授性 Stigma receptivity
开花当天 The day of blooming 8: 00—8: 30	83.7	++
开花当天 The day of blooming 10: 00—10: 30	96.3	+++
开花当天 The day of blooming 12: 00—12: 30	91.8	+++
开花当天 The day of blooming 14: 00—14: 30	85.1	++
开花当天 The day of blooming 16: 00—16: 30	81.6	++
开花次日 Next day of blooming 8: 00—8: 30	10.0	+
开花次日 Next day of blooming 16: 00—16: 30	3.0	—

注：+++表示具有最强的可授性，++表示具有较强的可授性，+表示具有可授性，-表示没有可授性。 $n=6$ 。

Note: +++ means stigmas have the most receptivity, ++ means stigmas have more receptivity, + means stigmas have receptivity, - means no stigma receptivity.

2.3 杂交指数（OCI）

鸢尾花冠的垂瓣为花的最膨大部分，可以作为衡量花器官大小的依据。垂瓣长度和宽度分别为 58.18 mm 和 36.52 mm（表 1），大于 6 mm，OCI 记为 3；花药开裂时间和柱头可授粉时期同步，OCI 记为 0；花药与柱头空间分离，OCI 记为 1。所以，鸢尾的杂交指数（OCI）为 4。按照 Dafni（1992）的标准判断鸢尾的有性繁育系统为部分自交亲和，异交，需要传粉者。

2.4 花粉胚珠比（P/O）

鸢尾的花粉量平均每朵花粉数 22 732 粒，胚珠数每朵花平均 97 个，P/O 值为 234.4，按照 Cruden（1977）的标准，鸢尾的有性繁育系统为兼性自交或兼性异交。

2.5 繁育系统检测

鸢尾自花授粉能力和无融合生殖处理的检测结果显示结籽数和坐果率均为零；人工自交、人工异交和自然自交的坐果率为 100%，平均每果结籽量分别为 49.32，67.74 和 58.41（表 3）。对授粉后的果实解剖观察发现：人工自交繁殖的种子在发育过程中存在滞育现象（图 1，K）；自然传粉的果实内部，种子结籽量明显多于人工自交的果实（图 1，L）；人工异花授粉的果实内部不存在滞育的种子，种子数量多于自然传粉的果实（图 1，M），说明人工异花传粉条件下胚珠授粉率较高。可以推断鸢尾的繁育系统为部分自交亲和（但不存在自然自交），主要为需要昆虫传粉的异交繁殖类型，不能进行无融合生殖。

表 3 繁育系统检测  
Table 3 Test of breeding system

处理 Treatment	坐果率/% Fruit set	每个果实结籽量 Seeds per fruit	结籽量与胚珠比/% Ratio of seeds and ovary per fruit
自动自交 Autonomous self-pollination	0	0	0
无融合生殖 Apomixis	0	0	0
人工自交 Hand self-pollination	100	49.32 ± 3.44	50.82
人工异交 Hand cross-pollination	100	67.74 ± 4.12	69.83
自然授粉 Open pollination	100	58.41 ± 3.95	60.22

注：表中数值为平均数 ± 标准差，样本量  $n=20$ ，胚珠数为平均每朵花的数值 97。

Note: Data are mean ± SD, n is the number of sample, mean value of ovary is 97.

## 2.6 访花与传粉昆虫

鸢尾的访花昆虫主要有粉蝶 (*Pieridae*)、凤蝶 (*Papilionidae*)、中华蜜蜂 (*Apis cerana cerana*)、木蜂 (*Xylocopa*)、蝇类以及甲虫类等。捕捉访花昆虫解剖镜下检测,发现仅体型较大的木蜂背部携带鸢尾花粉粒。观测结果显示鸢尾的传粉昆虫有两种:黄胸木蜂 (*Xylocopa appendiculata*) (图 1, J) 和长木蜂 (*Xylocopa tranquebarorum*) (图 1, H)。

黄胸木蜂访花集中在 10:00—14:00 期间,高峰访花期在中午 11:00—13:00;长木蜂访花集中在 9:00—14:00,访花高峰期在上午 10:00—12:00 (图 2)。黄胸木蜂和长木蜂访花时,头背部可以接触到花药,成熟的花粉粒自动降落粘附在昆虫头背部,昆虫离开时花粉即被带走。黄胸木蜂每次可连续访问 ( $3.2 \pm 0.4$ ) 朵花,平均每朵花访问时间约为 ( $7.6 \pm 2.5$ ) s;长木蜂每次可连续访问 ( $5.8 \pm 0.7$ ) 朵花,平均每朵花访问时间约为 ( $3.6 \pm 1.5$ ) s。

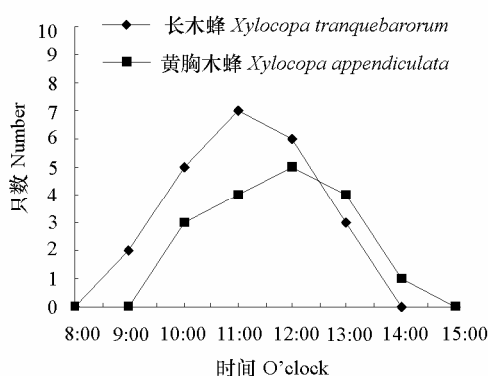


图 2 主要传粉昆虫访花统计

样地面积 10 m × 10 m。

Fig. 2 Visiting statistic of main pollinator

The site size is 10 m × 10 m.

## 3 讨论

### 3.1 鸢尾繁育系统

鸢尾具有保证异交的许多特征:花冠膨大呈喇叭状,辐射对称,花色鲜艳,柱头分枝呈花瓣状等 (图 1, A、E) (黄双全, 2007)。按照 Dafni 等 (2000) 建议的标准进行杂交指数 (OCI) 测定,表明鸢尾的繁育系统为部分自交亲和,异交,需要传粉者;依据 Cruden (1977) 以花粉/胚珠比 (P/O) 评判繁育系统的标准,鸢尾的繁育系统属于兼性自交或兼性异交;套袋试验结果显示鸢尾以异花传粉为主,而且观察到有传粉昆虫。可见,由 OCI、P/O、套袋试验 3 种方法检测到的鸢尾繁育系统结果基本一致,据此判定鸢尾的繁育系统属于混合交配系统。

自交不亲和、雌雄异位和雌雄异熟是促进异交,避免单花自交的重要机制 (侯勤正 等, 2009)。鸢尾花药和柱头分离,自然条件下自交受到限制,人工自花授粉部分种子滞育证明鸢尾部分自交不亲和。可见,鸢尾有性生殖的繁育系统趋向于抛弃自交,以依赖昆虫传粉的异交为主。鸢尾属植物的马蔺 (*Iris lacteal*) (王育青 等, 2010)、中亚鸢尾 (*Iris bloudowii*) (李宁, 2003) 等植物的有性繁育系统为自交不亲和,异交,需要传粉者。长白鸢尾 (*Iris mandshurica*) (王玲 等, 2006) 的有性繁育系统为自交亲和,异交,需要传粉者。蝴蝶花 (*Iris japonica*) (关文灵 等, 2009) 和变色鸢

尾 (*Iris versicolor*) 的两个亚种 *Iris tenax* 及 *Iris gormanii* (Kron et al., 1993) 的有性繁育系统跟鸢尾一样, 属于部分自交亲和, 异交, 需要传粉者。可见, 鸢尾属植物的有性繁育系统主要为异交、需要传粉者, 但是属内物种间已经分化出自交不亲和、部分自交亲和以及自交亲和的类型。

### 3.2 鸢尾的传粉系统

黄双全和郭友好 (2000) 报道植物的传粉系统由 3 个部分组成, 即花粉、柱头和传粉媒介。在有性生殖中, 植物花器官的生物学特征与其传粉机制相适应, 有效的传粉以大量的花粉、有效的传媒和处于可授期的柱头为前提。鸢尾花粉的最高活力与柱头的最佳可授性同步 (表 2)。但是, 鸢尾花朵在开放和关闭过程中, 雄蕊始终紧贴在向下翻卷的扁平花柱外侧, 而且柱头一直高于花药 (图 1, C), 避免了自花传粉。每个花柱与一个垂瓣相对 (图 1, B), 垂瓣为采集花粉的昆虫提供了落脚的场所, 这是虫媒传粉有利特征。花药隐藏在花柱之下, 体型较小的访花昆虫无法接触到花药, 不能行使传粉的功能。黄胸木蜂和长木蜂体型较大, 访花时首先降落在垂瓣上 (图 1, F), 由于柱头顶端距离垂瓣中脉的附属物距离较小 (图 1, B), 黄胸木蜂和长木蜂沿垂瓣中脉鸡冠状附属物进入花内部时, 扁平的柱头像一把铲子 (图 1, C) 可以铲下粘附在昆虫背部花粉粒, 完成传粉作用 (Goldblatt et al., 1998)。黄胸木蜂和长木蜂进入花器内部后, 首先头背部接触开裂的花药, 成熟的花粉就粘附在昆虫的头背部。此后昆虫沿鸡冠状附属物一直向下搜寻, 在垂瓣基部找不到花蜜的情况下, 原途折返再次接触花药, 花粉就被昆虫大量携带 (de Vos, 1983)。已有研究证实, 传粉系统高度特化的植物往往依赖一个物种或者生态学功能类似的几个物种的动物行使传粉功能, 鸢尾科植物中很少有植物依靠 3 个以上的物种行使传粉功能 (Goldblatt & Manning, 2006)。另外, 试验结果证实鸢尾柱头最佳可授性与传粉昆虫访花保持在同一时期 (表 2, 图 2)。由此可见, 鸢尾花器结构为适应大型昆虫传粉已经高度特化。

自然界中两性花植物通常产生比果实或种子更多的花, 结实率低的原因有几种: 花粉限制、资源限制、缺少传粉昆虫, 或者几种原因兼而有之 (黄双全和郭友好, 2000)。鸢尾人工异花授粉的结籽率高于自然传粉的结籽率, 可见自然环境中鸢尾存在花粉限制、资源限制或者缺少传粉昆虫。由于特化的花部特征, 鸢尾传粉只能依赖黄胸木蜂和长木蜂传粉。黄胸木蜂和长木蜂访花主要集中在 10:00—13:00, 导致单花被访问机率较低。所以鸢尾在自然授粉的情况下, 有性繁殖受到花粉限制和传粉昆虫缺少的影响。

### 3.3 鸢尾的生殖补偿机制

为了生存的需要, 生物往往发展出一整套必要的生殖补偿机制, 保证物种繁衍的顺利进行 (张丙林 等, 2006)。鸢尾是有性繁殖和无性繁殖并存的植物, 但是鸢尾花器官高度特化, 传粉昆虫种类少, 就本试验地点而言仅有黄胸木蜂和长木蜂, 均是分布密度较小的物种, 因此鸢尾的有性生殖容易受到传粉者的影响。鸢尾根状茎具有无性繁殖的功能, 作为一种生殖补偿机制, 在有性繁殖受阻的情况下, 以根茎的无性繁殖, 可以保持其种群繁衍的能力。

## References

- Cheng Yong-sheng, Peng Jin-hui, Tan Yan, Chen Hai-xia, Chen Ji-ren, Zhu Can. 2009. Physiological reaction of two kinds of *Iris* under aluminium stress. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 35 (6): 652 - 655. (in Chinese)
- 程永生, 彭尽晖, 谭艳, 陈海霞, 陈己任, 朱灿. 2009. 两种鸢尾属植物在铝胁迫下的生理反应. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 35 (6): 652 - 655.
- Cruden R. 1977. Pollen ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*, 31 (1): 32 - 46.
- Dafni A. 1992. *Pollination ecology: A practical approach*. New York: Oxford University Press: 1 - 57.



- Dafni A, Hesse M, Pacini E. 2000. Pollen and pollination. New York: Springer Verlag.
- de Vos M P. 1983. The African genus *Tritonia* Ker-Gawler: Part 2. Sections *Subcallosae* and *Montbretia*. *Journal of South African Botany*, 49: 347 - 422.
- Ding Bao-zhang, Wang Sui-yi. 1998. Flora of Henan. 4th volume. Zhengzhou: Henan Technical Press: 471 - 477. (in Chinese)
- 丁宝章, 王遂义. 1998. 河南植物志. 第四册. 郑州: 河南科技出版社: 471 - 477.
- Goldblatt P, Manning J C, Bernhardt P. 1998. Adaptive radiation of bee-pollinated *Gladiolus* species (Iridaceae) in Southern Africa. *Annals of Missouri Botanical Garden*, 85: 492 - 517.
- Goldblatt P, Manning J C. 2006. Radiation of pollination systems in the Iridaceae of sub-Saharan Africa. *Annals of Botany*, 97: 317 - 344.
- Guan Wen-ling, Li Ye-fang, Chen Xian, Yang De. 2009. Flower structure and biological characteristics of flowering and pollination in *Iris japonica* Thunb. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (10): 1485 - 1490. (in Chinese)
- 关文灵, 李叶芳, 陈 贤, 杨 德. 2009. 蝴蝶花花器结构和开花授粉生物学特性. *园艺学报*, 36 (10): 1485 - 1490.
- Hou Qin-zheng, Duan Yuan-wen, Si Qing-wen, Yang Hui-ling. 2009. Pollination ecology of *Gentiana lawrencei* var. *farreri*, a late flowering Qinghai-Tibet plateau species. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 33 (6): 1156 - 1164. (in Chinese)
- 侯勤正, 段元文, 司庆文, 杨慧玲. 2009. 青藏高原晚期开花植物线叶龙胆的传粉生态学. *植物生态学报*, 33 (6): 1156 - 1164.
- Huang Shuang-quan. 2007. Studies on plant-pollinator interaction and its significances. *Biodiversity Science*, 15 (6): 569 - 575. (in Chinese)
- 黄双全. 2007. 植物与传粉者相互作用的研究及意义. *生物多样性*, 15 (6): 569 - 575.
- Huang Shuang-quan, Guo You-hao. 2000. Progresses on pollination biology. *Chinese Science Bulletin*, 45 (3): 225 - 237. (in Chinese)
- 黄双全, 郭友好. 2000. 传粉生物学的研究进展. *科学通报*, 45 (3): 225 - 237.
- Kron P, Stewart S, Back A. 1993. Self-compatibility, autonomous self-pollination, and insect-mediated pollination in the clonal species *Iris versicolor*. *Canadian Journal of Botany Revue Canadienne De Botanique*, 71 (11): 1503 - 1509.
- Li Ning. 2003. Studies on the pollination and fertilization biology of *Iris bloudowii* [M. D. Dissertation]. Urumqi: Xinjiang Agriculture University. (in Chinese)
- 李 宁. 2003. 中亚鸢尾授粉、受精生物学研究[硕士论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.
- Liu Lin-de, Zhang Hong-jun, Zhu Ning, Shen Jia-heng. 2001. Pollen viability and stigma receptivity of *Eleutherococcus senticosus* (Araliaceae). *Bulletin of Botanical Research*, 21 (3): 376 - 380. (in Chinese)
- 刘林德, 张洪军, 祝 宁, 申家恒. 2001. 刺五加花粉活力和柱头可授性的研究. *植物研究*, 21 (3): 376 - 380.
- Shen Yun-guang, Wang Zhong-lang, Guan Kai-yun. 2007. Karyotypical studies on thirteen *Iris* plants from China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 45 (5): 601 - 618. (in Chinese)
- 沈云光, 王仲朗, 管开云. 2007. 国产 13 种鸢尾属植物的核型研究. *植物分类学报*, 45 (5): 601 - 618.
- Totland Φ, Matthews I. 1998. Determinants on pollinator activity and flower preference to the early spring blooming *Crocus vernus*. *Acta Oecologica*, 19: 155 - 166.
- Wang Ling, Mu Dan, Zhuo Li-huan. 2006. Biological research of bloom and pollination of *Iris mandshurica*. *Internet Information for Agriculture*, 5: 164 - 165. (in Chinese)
- 王 玲, 穆 丹, 卓丽环. 2006. 长白鸢尾传粉生物学的研究. *农业网络信息*, 5: 164 - 165.
- Wang Yu-qing, Ma Xiao-chun, Zhou Yan-lin, Qin Yan. 2010. Biological characteristics of flowering and pollination of *Iris lactea* var. *chinensis*. *Chinese Journal of Grassland*, 32 (3): 45 - 50. (in Chinese)
- 王育青, 马小春, 周延林, 秦 艳. 2010. 马蔺开花及传粉的生物学特性. *中国草地学报*, 32 (3): 45 - 50.
- Xiao Ting-ting, Zhu Yan, Ye Bo-ping, Jin Guo-qian, Qin Min-jian. 2010. Comparison of methods of DNA extraction from *Iris* L. *Chinese Wild Plant Resources*, 29 (3): 46 - 50. (in Chinese)
- 肖婷婷, 朱 艳, 叶波平, 金国虔, 秦民坚. 2010. 鸢尾属药用植物总 DNA 提取方法的比较研究. *中国野生植物资源*, 29 (3): 46 - 50.
- Zhang Bing-lin, Mu Chun-sheng, Wang Ying, Wang Yan-jing. 2006. Study on floral dynamic and breeding system of *Lathyrus quinquenervius*. *Acta Prataculturae Sinica*, 15 (2): 68 - 73. (in Chinese)
- 张丙林, 穆春生, 王 颖, 王彦静. 2006. 五脉山黧豆开花动态及有性繁育系统的研究. *草业学报*, 15 (2): 68 - 73.