园艺学报，2015，42 (5)：939－949.
Acta Horticulturae Sinica
doi：10.16420/j.issn.0513-353x.2014-0869；http：//www. ahs. ac. cn

艾比湖沙拐枣的花部特征与繁育系统

李志成，李　进*，吕海英，张　侠
（新疆师范大学生命科学学院，新疆干旱区湖泊环境与资源自治区重点实验室，新疆特殊环境物种多样性应用与调控重点实验室，乌鲁木齐 830054）

摘　要：野外定点观察艾比湖沙拐枣（*Calligonum ebi-nuricum*）的花部特征和开花进程，运用杂交指数、花粉/胚珠比、花粉活力及柱头可授性、人工授粉试验等方法对其繁育系统进行测定。结果表明：在自然条件下，艾比湖沙拐枣 5—7 月开花，群体花期约 70 d，单花花期 4～6 d，单花开放进程分为 5 个阶段：花蕾期、初开期、盛开期、衰落期和凋谢期。艾比湖沙拐枣的花为两性花，在花朵开放的整个过程中花药始终高于柱头。雌雄异熟，雄蕊先熟，花粉在开花 1～4 d 具有较强的活力，柱头在开花 2～5 d 可授性较强。杂交指数等于 5，花粉/胚珠比为 2 464，结合人工授粉试验结果可以确定其繁育系统为异交为主，部分自交亲和，需要传粉者。访花昆虫主要有蜂类、蚁类、蝇类、甲虫类，其中蜂类数量最多，是有效的传粉者。

关键词：艾比湖沙拐枣；花部特征；开花进程；繁育系统
中图分类号：S 66　　　**文献标志码**：A　　　**文章编号**：0513-353X（2015）05-0939-11

Floral Syndrome and Breeding Systems of *Calligonum ebi-nuricum*

LI Zhi-cheng，LI Jin*，Lü Hai-ying，and ZHANG Xia
（*Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone*，*Key Laboratory of Species Diversity Application and Control in Xinjiang*，*College of Life Science*，*Xinjiang Normal University*，*Urumqi* 830054，*China*）

Abstract：*Calligonum ebi-nuricum* is a desert shrub and a rare species in Xinjiang. Based on the observation of the sample plants in the field，with the focus on the outcrossing index，pollen-ovule ratio（P/O），pollen vitality and stigma receptivity and artificial pollination experiments，a systematic research on the floral syndrome and breeding systems of *C. ebi-nuricum* was conducted. Results showed：The flowering stage of populations was approximately 70 days from May to July，and the life span of a single flower was 4－6 days in habitat. The flowering process for one flower of the species can be divided into five periods：Bud stage，prophase of flowering，blooming stage，decadence stage and fade stage. The flowers of *C. ebi-nuricum* are bisexual and the anther always exceeded stigma during the whole flowering process. Dichogamy and protandrous. Pollen had stronger vigor from first to fourth day of blossoming，and stigma had higher receptivity from second to fifth day of blossoming. The crossing index was 5，pollen-ovule ratio was 2 464. Based on results of artificial pollination experiment，the breeding system is out-cross system，self-compatible partly，and it needs pollinators. Pollinators were mainly bees，ants，flies

收稿日期：2014－12－21；**修回日期**：2015－04－19
基金项目：新疆维吾尔自治区重点实验室“新疆干旱区湖泊环境与资源实验室”基金项目（XJDX0909-2012-05）；新疆师范大学研究生创新基金项目（20131213）
* 通信作者 Author for correspondence（E-mail：xjcjlj4@xjnu.edu.cn）

and beetles.

Key words：*Calligonum ebi-nuricum*；floral syndrome；flowering process；breeding system

艾比湖沙拐枣（*Calligonum ebi-nuricum*）是蓼科（Polygonaceae）沙拐枣属（*Calligonum* L.）多年生灌木，亦称为精河沙拐枣，是中国新疆重要的防风固沙植物（毛祖美和潘伯荣，1986；陈蜀江 等，2006），同时其花期在每年的 5—7 月，泌蜜量大，泌蜜时间集中，是新疆主要的蜜源植物（米吉提 · 胡达拜尔和玉米提 · 哈力克，1993；王虹 等，2010）。沙拐枣的全草味苦、涩，性微温；归肾、膀胱经；具有清热解毒利尿的功效，主治热淋，尿浊，疮疖疔毒，皮肤皲裂。药理研究表明沙拐枣对于治疗小便混浊，尿浊，热淋，皮肤皲裂具有较好疗效（侯峰 等，2008）。目前对沙拐枣属植物的研究多集中在分类学方面（毛祖美和潘伯荣，1986；冯缨 等，2008；李得禄 等，2009）和生理生化方面（陶玲 等，2000；晋玲 等，2007；邱真静 等，2011），对其生殖生物学的研究相对较少。康晓珊（2011）对吐鲁番沙生植物园 4 种栽培沙拐枣属植物的繁殖生物学特性进行了详细的对比研究，但自然生境下沙拐枣这方面还未见报道。

中国西北地区沙漠面积广大，耕地面积和植物种类较少，严重制约社会经济的持续发展。刘瑞凤等（2004）对沙漠地区飞播沙拐枣种子丸粒化的研究表明，沙拐枣的种子经过丸粒化处理之后可以进行飞机播种造林，这对于改善中国西北地区的生态环境至关重要。此外，艾比湖沙拐枣亦可以栽培。在吐鲁番沙生植物园，沙拐枣是其中重要的栽培植物，因其花具有香味且淡红色，既可以作为蜜源植物亦可以观赏，对改善园林的生态环境具有积极作用。

本试验中对自然生境下艾比湖沙拐枣种群花部特征和繁育系统的研究，旨在为该物种的资源保护、杂交育种以及栽培提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究材料及生长自然条件

本调查中对象为新疆精河县沙泉子艾比湖沙拐枣自然种群，选取高为 0.8 ~ 1.5 m 的 30 株进行观测与统计。

新疆精河县沙泉子（44°36′96.4″N，83°13′37.6″E）地处准噶尔盆地的南缘，海拔 235 m，属典型的温带干旱大陆气候，年平均气温为 8.0 ℃，极端最高气温 41.7 ℃，极端最低气温－32.2 ℃，积温 3 353 ~ 4 245 ℃，无霜期 179 ~ 203 d，年日照时数 2 696 h，年降水量 89.6 ~ 169.7 mm，年蒸发量 1 569 ~ 3 421 mm，年大风（6 级以上）日数多达 164 d，年均有 8 级以上的大风 241 h，瞬间最大风速达 55 $m \cdot s^{-1}$，年均风速 6 $m \cdot s^{-1}$。土壤主要为风沙土（陈蜀江 等，2006）。

1.2　花部形态特征及开花进程

2013—2014 年 5 月初至 6 月底，对自然种群的 30 株艾比湖沙拐枣进行定位与标记，并在不同植株上选取完全开放的 30 朵花，用游标卡尺（精度为 0.01 cm）测量花冠口直径、花梗长度、花瓣长宽、花丝长、花药长、花柱长、子房长，计数单花的雌、雄蕊个数，并计算各有关的参数。

在自然条件下对不同植株上即将开放的 30 朵完整的花蕾挂牌标记，在每天 9：00 和 20：00 各观察 1 次花蕾，直至花朵开放；花开放当天每 2 h 观察 1 次，直至花朵脱落或结果。在观察过程中记录单花花期、花的状态和开放进程、花药的行为和散粉时间等。

1.3 花粉/胚珠比与杂交指数测定

随机选取尚未开裂的 30 个花蕾固定于 FAA 固定液中，取单蕾的全部花药用尖头镊子捣碎于一个 1.5 mL 的离心管中，用含有 0.5%亚甲蓝染液的溶液定容至 200 μL，在振荡器中振荡 60 s（1 200 $r \cdot min^{-1}$）后用移液枪吸取 10 μL 置载玻片上，在显微镜下观察并用血细胞计数法（解景田和刘燕强，2008）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。计算花粉/胚珠比（P/O）。按 Cruden（1997）的标准评判繁育系统类型：P/O 为 2.7 ~ 5.4 定义为闭花受精，18.1 ~ 39.0 为专性自交，31.9 ~ 396.0 为兼性自交，244.7 ~ 2 588.0 为兼性异交，2 108.0 ~ 195 525.0 为专性异交。

选取 30 朵花，按照 Dafni（1992）的标准：（1）花朵直径 < 1 mm 记为 0，1 ~ 2 mm 记为 1，2 ~ 6 mm 记为 2，> 6 mm 记为 3；（2）花药开裂与柱头可授期相同或者雌蕊先熟记为 0，雄蕊先熟记为 1；（3）柱头与花药的空间位置在同一高度记为 0，空间分离记为 1。三者之和为杂交指数（Out crossing index，OCI）。繁育系统评判标准为：OCI = 0 为闭花受精为专性自交；OCI = 2 为兼性自交；OCI = 3 为自交亲和，有时需要传粉者；OCI ≥ 4 为部分自交亲和，异交，需要传粉者。

1.4 花粉活力测定

盛花期选取 10 株，每株植株上随机标记 10 个生殖枝（当年生枝），采集生殖枝上当天（记为第 1 天）和第 2、3、4、5、6 天的花各 2 ~ 3 朵，分别收集花粉，采用 TTC 染色法（Dafni，1992）测定花粉活力。每个材料观察 4 个制片，每片任选 4 个视野，统计全部花粉中染成红色或褐色的花粉所占比例，即花粉的活力。

1.5 柱头可授性测定

盛花期选取 10 株，采集每株植株上不同时期的花各 10 朵，把处于花蕾期的记为 0 d，此后记为 1、2、3、4、5、6 d，在每天 8：00、12：00、16：00、20：00 时采集柱头用联苯胺—过氧化氢法检测柱头的可授性（Dafni，1992）。

1.6 传粉媒介调查

风媒传粉的检测采用重力玻片法（张丙林 等，2006），以盛花期的 6 株植株（株高 1.2 ~ 1.6 m，冠幅 1.5 m）为花粉源，玻片大小 2.5 cm × 6 cm（涂布凡士林），自花粉源起顺风布片，距离样株 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0 和 5.5 m，排列 3 列，每列间隔 20 cm，12 h 后收片镜检。

访花昆虫的调查参考张金菊等（2008）的方法，选取 5 株盛花期植株，连续 3 d 进行观察，每天观察时间从 8：00 到 21：00，每小时观察 1 次，统计 15 min 访花昆虫的种类和数量，对昆虫访花的过程进行拍照和录像，并捕捉昆虫制作凭证标本。

1.7 人工控制授粉试验

选取长势良好的 8 株植株，依 Dafni（1992）的方法在盛花期对花分别做以下处理。

（1）自然授粉：不套袋，不去雄，用于检测自然条件下的传粉情况。

（2）不去雄，在花朵开放前套袋（硫酸纸袋 20 cm × 5 cm），检测是否需要传粉者。

（3）同株异花授粉：在花朵开放前去雄，授以同株异花的花粉，套袋，检测是否受精结实。

（4）异株异花授粉：在花朵开放前去雄，授以异株花的花粉，套袋，检测是否杂交亲和。

（5）自然异花授粉：在花朵开放前去雄，不套袋，自由传粉，检测异花花粉对其结实的贡献。

（6）无融合生殖：在花朵开放前去雄，套袋，不授粉。花期结束后检测和统计各处理的结实情况。

2　结果与分析

2.1　花器官的形态特征及开花过程

艾比湖沙拐枣的单花为完全花，有花蜜腺，在花开放的过程中能产生芳香的气味。花两性，单生或 2 ~ 4 朵生于叶腋，花冠口直径为（6.95 ± 0.06）mm（图 1，A）；花梗细，淡红色，具关节，花梗长（3.25 ± 0.18）mm；花瓣 5 片，分离，排列 2 轮，外轮 2 片，呈不规则的椭圆形，内轮 3 片，呈不规则的宽椭圆形；花瓣长和宽分别为（3.83 ± 0.03）cm 和（2.93 ± 0.05）cm；花瓣白色，背部中央呈绿色，结果期花被片不扩大，通常反折，少数平展（图 1，B）；雄蕊 9 ~ 14 枚，花丝较长、基部连合，顶部具有红色花药（图 1，A 和 C）；雌蕊 1 枚，子房上位，具 4 肋，花柱较短，柱头由 4 个心皮构成，呈头状（图 1，D）；胚珠 1 个；瘦果卵圆形或长圆形，有长 2 ~ 4 mm 的喙，极扭转，肋通常不明显，少钝圆，近无沟槽或具浅沟；每肋生 2 行刺，刺极稀疏或较稀疏，纤细，刺毛状或为细刺，柔软，中上部 2 刺 2 ~ 3 分叉，末叉直展，瘦果先端长喙的刺较粗，成束状（图 1，E）。

艾比湖沙拐枣的花期在 5—7 月，群体花期约 70 d。花瓣展开和花药开裂的时间与天气有关，在阳光充足的条件下，单花花期为 4 d 左右，阴雨天气花期为 6 d 左右，花药开裂时间也延迟 1 ~ 2 d，阴雨天气一般伴随着大风，凋落的花朵较多（从花柄基部脱落）。

按照 Dafni（1992）的标准，将花期分为 5 个时期。

花蕾期（开花前 1 d）：花蕾膨大成不标准的椭圆形，由较长的花梗连接于当年生殖枝的关节处，花瓣紧闭呈粉红色（图 2，A）。

初开期（1 d）：花开放时外轮花瓣先张开，约 4 h 后内轮花瓣张开，雄蕊显露出来，这时花朵呈倒钟形，花瓣由粉红色变成白色；雄蕊的花丝为一轮，基部联合，上部花药由蕾期时紧密地围绕柱头聚合在一起，慢慢地膨大、张开、不整齐地围绕在柱头周围，花丝基部开始出现突起花蜜腺，花蜜腺还未分泌花蜜，花朵无香味；柱头还未外展，柱头 4 心皮靠在一起，不具有粘性，呈浅绿色；柱头低于花药，有些花药开始纵裂，朝向柱头一侧的花药中部纵裂了一道细缝，但未散粉，花粉为浅黄色；而离花柱较远的花药并未开裂（图 2，B）。

盛开期（1 ~ 2 d）：内轮花瓣完全展开，停止生长；花丝开始向外伸展，花蜜腺开始分泌花蜜，有香味；离花柱较近的花药中部纵裂的细缝扩大，黄色的花粉逐步散出，散粉后的花药也开始变瘪，体积变小，颜色逐渐加深，而离花柱稍远的花药有些已经开裂、散粉，有些花药还未开裂；此时，柱头外展，呈伞状，长（0.94 ± 0.03）cm，乳白色，具有粘性（图 2，C）。

衰落期（1 ~ 2 d）：离柱头较远的那部分花药完全开裂，花粉散出，柱头呈浅黄色，最早开裂的花药已萎缩，颜色呈红褐色，有些花瓣反折，有些回缩，颜色由白色变成灰白色，此时花朵仍然具有香味（图 2，D）。

凋谢期（约 1 d）：花粉完全散尽，花丝萎蔫，花药脱落，变为褐色；柱头变为黄色；花被片变为灰色，子房坐果（图 2，E）。

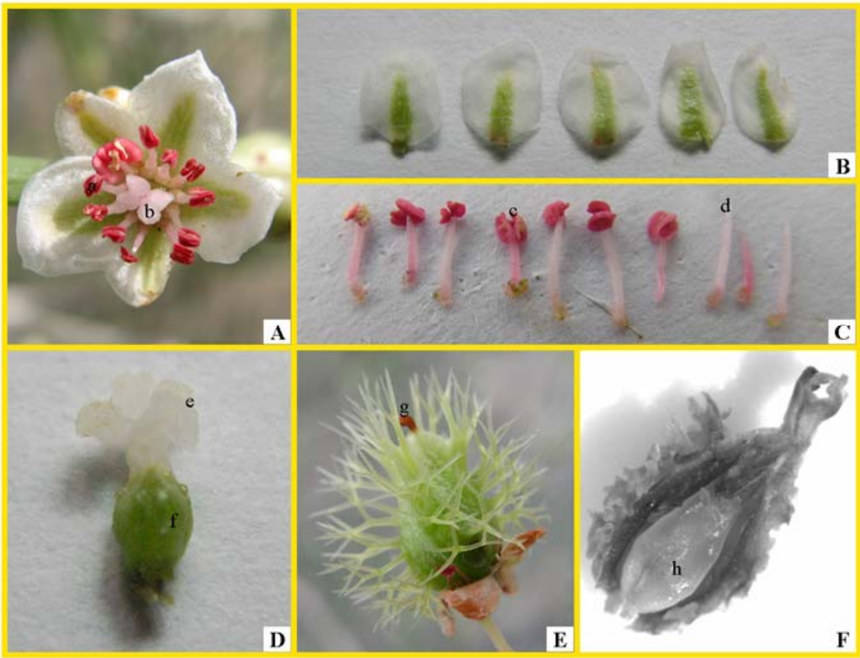

图 1 艾比湖沙拐枣的花部特征及繁育系统

A：雌、雄蕊相对位置（a. 花药；b. 柱头）；B：花瓣；C：雄蕊（c. 开裂的花药；d. 花丝）；
D：雌蕊（e. 花柱；f. 子房）；E：果实（g. 喙）；F：果实解剖图（h. 胚珠）。

Fig. 1 Floral syndrome and breeding system of *Calligonum ebi-nuricum*

A：Relative position of pistil and stamen（a. Stigma；b. Anther）；B：Petal；C：Stamens（c. Dehiscent anther；d. Filament）；
D：Pistil（e. Style；f. Ovary）；E：Fruit（g. Beak）；F：Fruit anatomy（h. Ovule）.

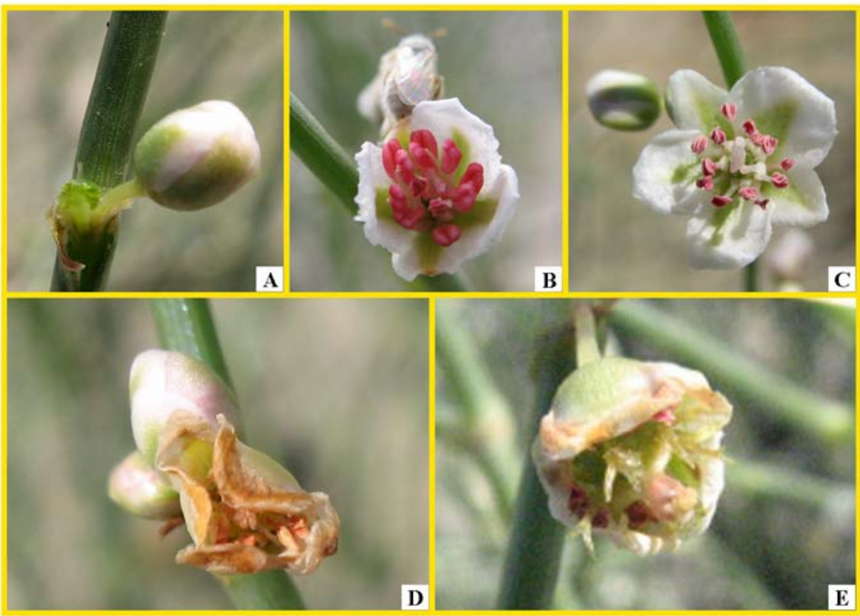

图 2 艾比湖沙拐枣的单花开放进程

A：花蕾期；B：初开期；C：盛开期；D：衰落期；E：凋谢期。

Fig. 2 The sigle flower flowering process of *Calligonum ebi-nuricum*

A：Bud stage；B：Prophase of flowering；C：Blooming stage；D：Decadence stage；E：Fade stage.

2.2 花粉活力检测结果

艾比湖沙拐枣的花粉活力在花药开裂当天（12 h 后）最高，为 90.31%，随后逐渐降低，开放前 2 d 都在 80%以上，开放 3、4、5 d 的花粉活力分别为 60.84%、42.56%和 33.33%，到 6 d 时花粉已经基本散尽，活力为 19.26%。

2.3 柱头可授性的检测结果

当艾比湖沙拐枣的两性花处于花蕾期时，柱头还未分离，呈浅绿色，无粘液分泌，用试剂检测没有气泡产生，表明柱头无可授性；开花第 1 天，在 8：00 和 12：00 检测到有极少量的气泡产生且反应很缓慢，可授性较弱；在 16：00 和 20：00 可授性略有增强；开花 2 d 时，柱头分离 4 心皮、外展，呈乳白色，并分泌粘液，在不同时刻均检测柱头具有强可授性；开花 2 ~ 4 d 柱头具有较强可授性；开花 6 d 后，在 8：00 和 12：00 还能检测到较弱可授性，但柱头变黑，柱头周围的反应液呈淡蓝色（表 1）。说明艾比湖沙拐枣两性花的柱头具有 5 ~ 6 d 的可授性，开花第 2 天可授性最强。

表 1　艾比湖沙拐枣的柱头可授性

Table 1　Stigma receptivity of *Calligonum ebi-nuricum*

开花天数 Days after blooming	8：00	12：00	16：00	20：00
0	–（无 No）	–	–	–
1	+（弱 Weak）	+	++（较强 More）	++（较强 More）
2	+++（强 Strong）	++++（最强 The most）	++++(最强 The most）	++++(最强 The most）
3	+++（强 Strong）	+++（强 Strong）	+++（强 Strong）	+++（强 Strong）
4	+++（强 Strong）	+++（强 Strong）	+++（强 Strong）	+++（强 Strong）
5	++（较强 More）	++（较强 More）	++（较强 More）	++（较强 More）
6	+（弱 Weak）	+	–	–

2.4 传粉媒介的调查结果

2.4.1 花粉流

从图 3 可见，艾比湖沙拐枣存在风媒传播花粉的倾向，试验点的测试玻片上检测到的花粉数量，随距离的变化先显著增加，然后逐渐减少；在 1.5 m 处检测到的花粉数量最多，为每片（33.33 ± 0.86）个；在 5.5 m 处检测到的花粉最少，为每片（1.08 ± 0.58）个。

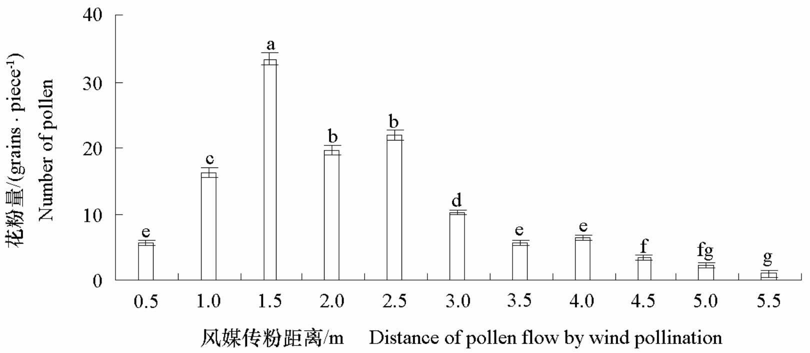

图 3　花粉流检测结果

Fig. 3　Result of pollen flux text

用上述方法在距离花粉源 5.5 m 之内的顺风侧能够检测到花粉，但花粉传播的距离和数量跟风速、空气湿度和障碍物有关。艾比湖沙拐枣柱头的直径非常短（大约 2 mm），而本试验所得出的处于盛花期的花粉源能够提供的花粉数量最大值为每片 33 个（1.5 m 处）。

风媒对艾比湖沙拐枣授粉机率的影响还需要进一步研究。

2.4.2　访花传粉昆虫

艾比湖沙拐枣的访花昆虫主要有膜翅目的蜂类（图 4，A）、蚁类（图 4，B），双翅目的蝇类（图 4，C），鞘翅目的甲虫类（图 4，D），其中蜂类数量最多。在晴朗的天气，蜂类访花的时间主要集中在 12：00—18：00，蚁类、蝇类、甲虫类访花的时间从 9：00 到 21：00 都有，但是数量很少（图 5）。

蜂类访花时，先在几朵花之间来回移动，最后停留在花瓣鲜艳、花蜜丰富的花朵上，汲取花丝基部花蜜腺分泌的花蜜，其胸腹部可与柱头接触，一般在单花上停留 1 ~ 3 s，具有飞行速度快、访花频率高等特点。在解剖镜下观察访花蜂类胸腹部的毛状物上携带花粉，是有效的传粉者。

蚁类常在花冠筒内爬行，在爬行的过程中会接触到花丝，有利于花粉的散出，可以促进自花授粉，一般在单花上的停留时间约 3 ~ 4 min。

蝇类对艾比湖拐枣的传粉作用不大，访花时并不进入花冠筒内，只停留在花瓣上，借助长长的口器深入花冠筒内吸食花蜜腺上的花蜜，属花蜜抢食行为（nectar robbery），一般在单花上停留不超过 5 s。

甲虫类体壁光滑，不易携带花粉，在单花上停留时间很长，而且不易活动，最长可停留 3 h。甲虫有啃食习性，啃食花柱及蜜腺花盘，破坏性较大，因此不利于植物授粉。

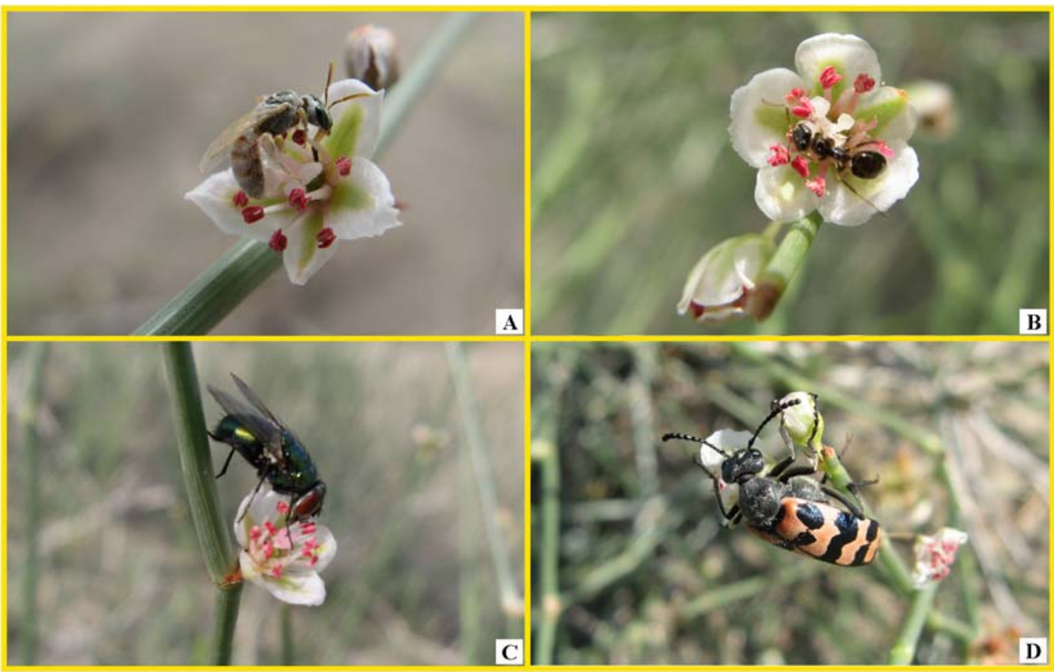

图 4　艾比湖沙拐枣的访花昆虫

A：蜂类；B：蚁类；C：蝇类；D：甲虫类。

Fig. 4　Flower-visiting insect with *Calligonum ebi-nuricum*

A：Bees；B：Ants；C：Flies；D：Beetles.

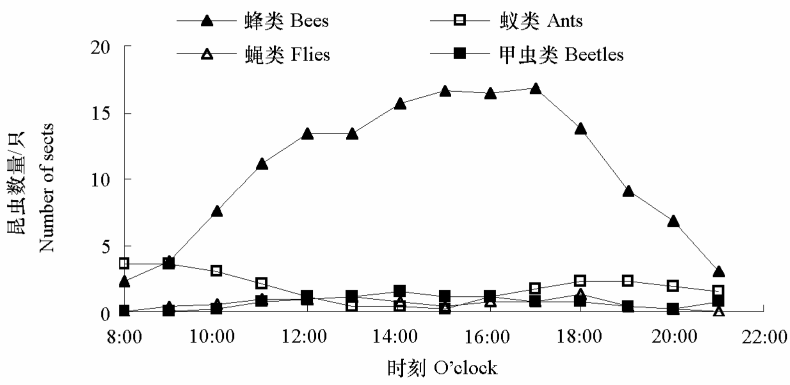

图 5　各类昆虫的访花统计

Fig. 5　Visiting statistic of sects

2.5　繁育系统检测

经检测可知，艾比湖沙拐枣的平均单花花粉数为 2 464.4；对 30 个未成熟的果实解剖调查，胚珠数均为 1（图 1，F），因此 P/O 值为 2 464.4。根据 Cruden（1997）的评判标准，艾比湖沙拐枣的繁育系统属于兼性异交。

根据 Dafni（1992）的推断，艾比湖沙拐枣花朵直径 ＞6 mm，记为 3；花为两性花，开花时花药与柱头分离，且从散粉开始一直到散粉结束花药始终高于柱头，记为 1；单花中雌、雄蕊成熟时间不一致，雄蕊先熟，表现为花药散粉初期雌蕊尚未成熟，记为 1。三者之和的杂交指数等于 5。因此，其繁育系统为异交，部分自交亲和，需要传粉者。

人工授粉试验结果表明：艾比湖沙拐枣不存在无融合生殖现象，自然状态下的结实率为 50.28%；自花授粉结实率为 26.39%，说明艾比湖沙拐枣存在部分自交亲和；人工异株异花授粉结实率最高达 61.67%；人工同株异花授粉次之为 44.17%；自然状态下异花授粉的结实率为 11.39%，低于自然条件下的结实率，说明艾比湖沙拐枣在授粉的过程中有时也需要传粉者。

上述结果表明，艾比湖沙拐枣的繁育系统以异交为主，部分自交亲和，需要传粉者。

3　讨论

3.1　花部特征与传粉昆虫

植物花综合特征和繁育系统的研究对认识植物的生活史，为其他相关研究提供背景资料及了解植物的传粉特性很重要（刘林德　等，2002）。许多虫媒植物往往会通过花的形态构造、花的气味、颜色等变异以及花蜜（Gross et al.，2003）来适应昆虫的来访，如青阳参（*Cynanchum otophyllum*）通过花部构造发生特化（王定康　等，2009），扇脉杓兰（*Cypripedium japonicum*）通过粘性的花粉块（刘芬　等，2013），欧亚香花芥（*Hesperis matronalis*）通过花的浓浓气味（Majetic & Raguso，2009）吸引昆虫传粉，小桐子（*Jatropha curcas*）的花蜜可吸收紫外光谱而被蜜蜂敏锐地察觉（李昆　等，2007）。艾比湖沙拐枣的花是单花，花冠在盛开时虽然不大（花冠口直径为 6.95 mm ± 0.06 mm），但花瓣平展或反折，因此不会对花粉的传播造成障碍；柱头在成熟期时展开为 4 心皮，呈伞形，增大了接触面积，有利于昆虫传粉；且单株的开花量大，单花花期 4 ~ 6 d，单花开放不同步，花朵呈粉

红色，花药呈红色，具有花蜜腺，能释放芳香的气味，吸引更多的传粉者。以上这些特征表明，艾比湖沙拐枣具有虫媒传粉的特性。在艾比湖沙拐枣的花部特征与繁育系统调查期间，该研究区的光照很充足，降雨量很小（共 4 次），温度较高（白天平均温度约 28 ℃），但是，一般在 19：00 以后开始起风，风力通常 4～6 级，这是蜂类访花数量下降的主要原因。

3.2　繁育系统

繁育系统的研究是探讨花适应性的桥梁，它具有多样性，远交的代价高，而近交又会导致衰退，过度的近交或远交都可能导致适合度的下降，很显然中间程度的杂交即混合交配系统便成了最适交配（何亚平和刘建全，2003）。艾比湖沙拐枣的繁育系统依据花粉/胚珠比（P/O）评判为兼性异交或专性异交；按照杂交指数（OCI）评判为异交为主，部分自交亲和，需要传粉者；人工控制授粉试验结果显示以异花传粉为主，而且观察到有传粉昆虫。由此可见，3 种方法检测结果基本一致，其繁育系统是倾向于异交的混合交配系统。艾比湖沙拐枣柱头可授期长达 4～6 d，所以当降雨、强风，干旱等因素导致花粉量不足和花粉很快丧失活力时，因其有较长的柱头可授期，仍可提高结实率，即雌性生殖适合度（female reproductive fitness）较高。艾比湖沙拐枣的单花花粉量较大，花粉活力在前 2 d 处于一个较高的水平，与柱头可授期有一定的重叠期，这就可以弥补因访花者不足或恶劣环境的影响，是完善传粉系统和提高结实率的保障。艾比湖沙拐枣具有雌雄性异熟（dichogamy）现象，雄蕊比雌蕊早成熟，可以避免自交而实现异交，这是其长期进化的一种繁殖机制。

3.3　生殖补偿

环境影响植物的生殖过程，反过来在不稳定的环境中植物会通过一些生态反应来保证生殖成功，这些反应常常表现在繁殖策略的改变，包括植物对雌雄性资源投入比例的改变（李金霞　等，2011）。

P/O 值是衡量植物对雄性资源分配量的一个指标。本研究表明艾比湖沙拐枣单花花粉量较大，而胚珠只有一个，P/O 值较高。这可能是由于艾比湖沙拐枣的生境为荒漠，降水稀少，环境干燥，而且又处于阿拉山的风口之处，在其繁殖期风力较大，这些环境因素限制了昆虫的活动，使访花昆虫的种类和数量减少，从而使艾比湖沙拐枣的有效花粉转移量明显不足，艾比湖沙拐枣雄性资源投入的增长，是其适应环境从而保证生殖成功的有效对策。

此外，经实验室培育艾比湖沙拐枣种子萌发的试验可知，其种子存在着休眠机制，发芽率很低。艾比湖沙拐枣在自然生境下遇到有性繁殖阻碍时，进行无性繁殖。野外调查发现其无性繁殖的方式以出芽为主，无性繁殖作为一种生殖补偿，可保证其种群繁衍的能力。

References

Chen Shu-jiang，Hou Ping，Li Wen-hua，Li Hu. 2006. Ebinur lake wetland nature reserve district comprehensive scientific investigation in Xinjiang. Urumqi：Xinjiang Science and Technology Press：10–18. (in Chinese)

陈蜀江，侯　平，李文华，李　虎. 2006. 新疆艾比湖湿地自然保护区综合科学考察. 乌鲁木齐：新疆科学技术出版社：10–18.

Cruden R. 1997. 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.

Feng Ying，Pan Bo-rong，Shen Guan-mian. 2008. Seed morphology of *Calligonum* sect. *Eucalligonum*（Polygonaceae）in Xinjiang and its taxonomic significance. Acta Botanica Yunnanica，30 (1)：47–50. (in Chinese)

冯　缨，潘伯荣，沈观冕. 2008. 新疆沙拐枣属刺拐组种子形态及其分类意义. 云南植物研究，30 (1)：47–50.

Gross C L，Bartier F V，Mulligan D R. 2003. Floral structure，breeding system and fruit-set in the threatened sub-shrub *Tetratheca juncea* Smith

（Tremandraceae）. Annals of Botany，92 (6)：771－777.

He Ya-ping，Liu Jian-quan. 2003. A review on recent advances in the studies of plant breeding system. Acta Phytoecollogica Sinica，27 (2)：151－163. (in Chinese)

何亚平，刘建全. 2003. 植物系统研究的最新进展和评述. 植物生态学报，27 (2)：151－163.

Hou Feng，Guo Han-wen，Jin Ling，Tian Jin-miao，Zhang Man-lai. 2008. Studies on chemical constituents of *Calligonum mongolicum*. Chinese Traditional and Herbal Drug，39 (5)：669－670. (in Chinese)

侯　峰，郭汉文，靳　玲，田金苗，张满来. 2008. 沙拐枣的化学成分研究. 中草药，39 (5)：669－670.

Jin Ling，Li Ming，Zhang Yong，Bai Lei，An Li-zhe，Chen Tuo. 2007. Preparation of total DNA from desert plant *Calligonum* L. Journal of Desert Research，27 (3)：466－468. (in Chinese)

晋　玲，李　鸣，张　勇，白　蕾，安黎哲，陈　拓. 2007. 沙拐枣属 7 种植物总 DNA 提取方法的改进及鉴定. 中国沙漠，27 (3)：466－468.

Kang Xiao-shan. 2011. Study on reproductive characteristics of four species from *Calligonum*（Polygonaceae）[Ph. D. Dissertation]. Urumqi：Xinjiang Institude of Ecology and Geography，the Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)

康晓珊. 2011. 沙拐枣属四种植物的繁殖生态学特性研究[博士论文]. 乌鲁木齐：中国科学院生态与地理研究所.

Li De-lu，Wang Ji-he，Ma Quan-lin. 2009. Numerical taxonomy of fruit characteristic of *Calligonum* L. Journal of Desert Research，29 (4)：718－722. (in Chinese)

李得禄，王继和，马全林. 2009. 沙拐枣属植物果实性状的数值分类研究. 中国沙漠，29 (4)：718－722.

Li Jin-xia，Su xue，Liu Yu-guo，Chen Ming-zhong，Sun Kun. 2011. Flowering dynamics and breeding system of *Incarvillea sinensis* var. *przewalskii*. Scientia Silvae Sinicae，31 (2)：147－151. (in Chinese)

李金霞，苏　雪，刘玉国，陈明忠，孙　坤. 2011. 黄花角蒿（*Incarvillea sinensis* var. *przewalskii*）开花动态及繁育系统的研究. 植物研究，31 (2)：147－151.

Li Kun，Yin Wei-lun，Luo Chang-wei. 2007. Breeding system and pollination ecology in *Jatropha curcas*. Forest Research，20 (6)：775－781. (in Chinese)

李　昆，尹伟伦，罗长维. 2007. 小桐子繁育系统与传粉生态学研究. 林业科学研究，20 (6)：775－781.

Liu Fen，Li Quan-jian，Wang Cai-xia，Lian Jing-jing，Tian Min. 2013. Floral characteristics and breeding systems of an endangered species *Cypripedium japonicum*. Scientia Silvae Sinicae，49 (1)：53－60. (in Chinese)

刘　芬，李全健，王彩霞，连静静，田　敏. 2013. 濒危植物扇脉杓兰的花部特征与繁育系统. 林业科学，49 (1)：53－60.

Liu Lin-de，Zhu Ning，Shen Jia-heng. 2002. Comparative studies on floral dynamies and breebing system between *Eleutherococcus senticosus* and *E. sessilifllorus*. Acta Ecologica Sinica，22 (7)：1041－1048. (in Chinese)

刘林德，祝　宁，申家恒. 2002. 刺五加、短梗五加的开花动态及繁育系统的比较研究. 生态学报，22 (7)：1041－1048.

Liu Rui-feng，Zhang Kun，Zong Li，Wang Ai-qin. 2004. Study on pelletizing of *Calligonum alaschanicum* for Aerial sowing in desert. Inner Mongolia Forestry Science & Technology，(3)：3－6. (in Chinese)

刘瑞凤，张　琨，宗　莉，王爱勤. 2004. 沙漠地区飞播沙拐枣种子丸粒化研究. 内蒙古林业科技，(3)：3－6.

Majetic C J，Raguso R A. 2009. The sweet smell of success：Floral scent affects pollinator attraction and seed fitness in *Hesperis matronalis*. Functional Ecology，23 (3)：480－487.

Mao Zu-mei，Pan Bo-rong. 1986. Classification and distribution of our *Calligonum* L. Acta Phytotaxonomica Sinica，24 (2)：98－107. (in Chinese)

毛祖美，潘伯荣. 1986. 我国沙拐枣属的分类与分布. 植物分类学报，24 (2)：98－107.

Mjit · Hudabardi，Yumit · Halik. 1993. Xinjiang nectar plants and their forthputting. Urumqi：Xinjiang University Press：12－44. (in Chinese)

米吉提 · 胡达拜尔地，玉米提 · 哈力克. 1993. 新疆蜜源植物及其利用. 乌鲁木齐：新疆大学出版社：12－44.

Qiu Zhen-jing，Li Yi，Zhong Pei-fang. 2011. Effects of PEG stress on physiological characteristics of *Calligonum mongolicum* in different geographical provenance. Acta Prat Aculturae Sinica，20 (3)：108－114. (in Chinese)

邱真静，李　毅，种培芳. 2011. PEG 胁迫对不同地理种源沙拐枣生理特性的影响. 草业学报，20 (3)：108－114.

Tao Ling，Ren Jun，Liu Xin-min. 2000. Study on water-absorbing-model of two kinds of *Calligonum* seeds. Journal of Arid Land Resources and Environment，14 (3)：89 – 91. (in Chinese)

陶　玲，任　珺，刘新民. 2000. 两种沙拐枣吸水率模型的研究. 干旱区资源与环境，14 (3)：89 – 91.

Wang Ding-kang，Sun Gui-fang，Zhai Shu-hua. 2009. The floral syndrome and its pollination in *Cynanc-hun otophyllum*. Acta Botanica Yunnanica，31 (1)：8 – 14. (in Chinese)

王定康，孙桂芳，翟书华. 2009. 青阳参花部特征及其传粉适应性. 云南植物研究，31 (1)：8 – 14.

Wang Hong，Wang Xin，Wang Yong-xing，Yang Bin-yin，Jiang Yan-cheng. 2010. Developental anatomy of the floral nectarines in *Calligonum ebi-nuricum*. Bulletin of Botanical Research，30 (3)：262 – 266. (in Chinese)

王　虹，王　馨，王永星，杨滨银，姜彦成. 2010. 艾比湖沙拐枣花蜜腺的发育解剖学研究. 植物研究，30 (3)：262 – 266.

Xie Jing-tian，Liu Yan-qiang. 2008. Experimental physiology. 3rd ed. Beijing：Higher Education Press：60 – 63. (in Chinese)

解景田，刘燕强. 2008. 生理学实验. 3 版. 北京：高等教育出版社：60 – 63.

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.

Zhang Jin-ju，Ye Qi-gang，Yao Xiao-hong，Zhang Sheng-ju，Huang Hong-wen. 2008. Preliminary studies on the floral biology，breeding system and reproductive success of *Sinojackia Huangmeiensis*，an endangered plant in a fragmented habitat in Hubei Procince，China. Acta Phytoecollogica Sinica，32 (4)：743 – 750. (in Chinese)

张金菊，叶其刚，姚小洪，张胜菊，黄宏文. 2008. 片断化生境中濒危植物黄梅秤锤树的开花生物学、繁育系统与生殖成功的因素. 植物生态学报，32 (4)：743 – 750.

消　息

《园艺学报》英文版《Horticultural Plant Journal》获准创刊

2014 年 11 月《园艺学报》英文版《Horticultural Plant Journal》获国家新闻出版广电总局批准创刊（新广出审[2014]1447 号），国内统一连续出版物 CN 号为 CN10-1305/S，ISSN 号为 2095-9885，双月刊，大 16 开，国内外公开发行。《Horticultural Plant Journal》由中国科协主管，中国园艺学会、中国农业科学院蔬菜花卉研究所和中国农业科学技术出版社共同主办。办刊宗旨为报道国内外园艺科学领域重要研究成果和科研进展，反映学科研究水平和发展动向，以“科学性、创新性、对生产和科研发展有参考启迪作用”为标准，突出学报特色，服务学术交流，为促进学科发展作贡献。

近年来，中国园艺科学研究取得了世人瞩目的重大进展，《园艺学报》刊登了许多具有国际影响力的优秀学术论文，2014 年 9 月中国科学技术信息研究所公布的“中国科技核心期刊综合排名”，《园艺学报》在全国 1 989 种核心期刊中居第 14 位，并蝉联“中国精品科技期刊”和“百种中国杰出学术期刊”称号。《园艺学报》英文版的创办为广大科研人员提供了更好的国际学术交流平台，将进一步向世界展示中国园艺科学研究成果和产业发展水平，扩大国际影响力，同时也将吸引国际优秀稿源，促进国际学术交流。