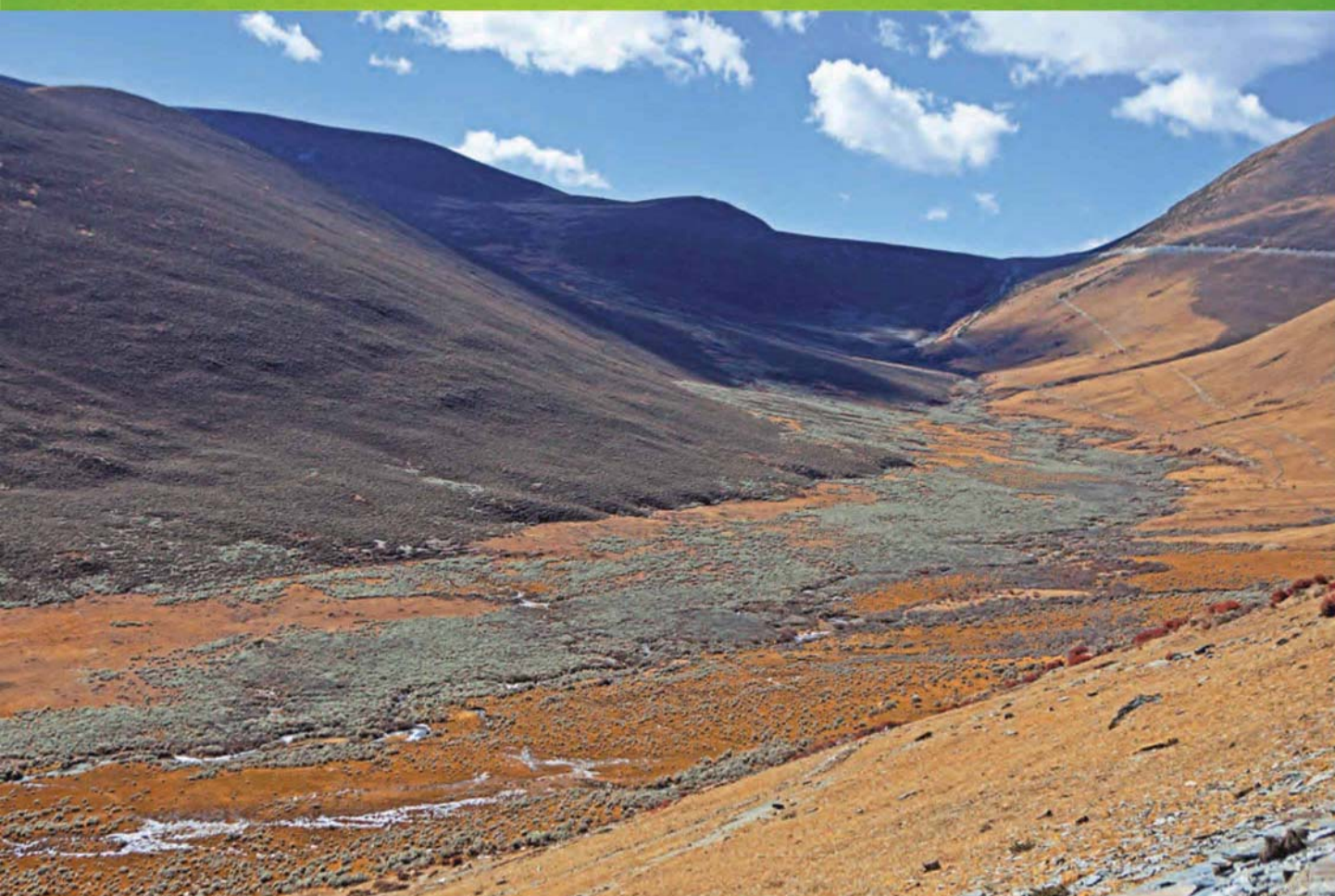


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期

2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮,吕光辉,杨晓东,等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征.....	温远光,雷丽群,朱宏光,等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联.....	刘金福,朱德煌,兰思仁,等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系.....	王文君,杨万勤,谭 波,等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态.....	范跃新,杨玉盛,杨智杰,等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟,雷加强,徐新文,等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征.....	戴年华,邵明勤,蒋丽红,等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响.....	陈 纯,李思嘉,肖利娟,等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构.....	刘沙沙,贾沁贤,刘喜方,等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律.....	潘 影,徐增让,余成群,等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征.....	姚 昕,朱广伟,高 光,等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究.....	王传辉,吴 立,王心源,等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国,杨 鹏,唐华俊,等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应.....	谢冬明,金国花,周杨明,等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征.....	王 超,李新辉,赖子尼,等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全,王 成,邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例.....	周 健,肖荣波,庄长伟,等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究.....	范敬龙,刘海龙,雷加强,等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强,唐 宏,杨德刚,等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例.....	魏 超,叶属峰,过仲阳,等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君,徐汉祥,王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化.....	江志兵,刘晶晶,李宏亮,等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例.....	刘耕源,杨志峰,陈 彬,等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例.....	徐 飞,蔡体久,琚存勇,等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿.....	李惠梅,张安录,王 珊,等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应.....	李春林,刘 淼,胡远满,等 (5952)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地,沟谷地带由于低平且水分较充足,生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线,以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统,高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明,易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关,显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而,这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305141055

施翔, 刘会良, 张道远, 王建成, 杨姗霖, 董金鑫. 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性. 生态学报, 2013, 33(18): 5516-5522.

Shi X, Liu H L, Zhang D Y, Wang J C, Yang S L, Dong J X. The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species *Eremosparton songoricum* (litv.) Vass. (Fabaceae). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5516-5522.

沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性

施 翔^{1,*}, 刘会良², 张道远², 王建成², 杨姗霖¹, 董金鑫¹

(1. 石河子大学农学院林学系, 石河子 832011;

2. 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室, 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 植物花部特征进化与传粉适应性一直是进化生态学领域关注的核心问题之一。以古尔班通古特沙漠自然生长的准噶尔无叶豆为对象, 对其花部特征和传粉特性进行了野外观察和室内的分析研究。结果表明: 种群花期历时 21 d, 花序花期历时 7—12 d, 单花花期一般 3 d, 若遇阴雨天气, 花期可延长 1—2 d, 整个花期龙骨瓣一直保持闭合状态。单花 10 枚花药在旗瓣微张时已全部完成散粉。准噶尔无叶豆主要靠分泌花蜜、鲜艳的花色以及旗瓣基部的黄色辐射状纹理结构吸引传粉者。准噶尔无叶豆花期的有效传粉者为 4 种蜂类昆虫, 它们的平均访花频率为 (7.75 ± 0.57) 次 $\cdot$ 花⁻¹ $\cdot$ d⁻¹, 访花高峰期表现为三峰型: 13:00—14:00, 16:00—17:00 和 19:00—20:00。准噶尔无叶豆人工套袋实验表明该种为自交亲和型, 主动自交少见, 生殖成功依赖传粉者。胚珠成功受精至果实完全成熟阶段存在自交衰退, 柱头角质层结构和花粉刷结构是准噶尔无叶豆在进化过程中形成的减少自交, 倾向异交的机制。

关键词: 准噶尔无叶豆, 花部特征, 传粉适应, 繁育系统

The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species *Eremosparton songoricum* (litv.) Vass. (Fabaceae)

SHI Xiang^{1,*}, LIU Huiliang², ZHANG Daoyuan², WANG Jiancheng², YANG Shanlin¹, DONG Jinxin¹

¹ Forestry College, College of Agriculture in Shihezi University, Shihezi 832011, China

² Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Abstract: The only way to get the objective and comprehensive cognition of floral syndrome is to do research on pollination ecology together. The evolution of floral characteristics and pollination adaptation is always one of the core problems in the field of evolutionary ecology. The significance and protection work of rare species under special ecosystem have raised an increasingly concern. *Eremosparton songoricum* (Litv.) Vass. is a rare species and only distributes on mobile and semi-mobile sand dunes, which also contributes to desert stabilization. The previous investigation data showed that the fruit set and seed set were both less than 16%, and the rate of germination and seedling establishment was less than 3% and 0.1%, respectively, which indicated that some weakness probably existed in the reproductive cycle. The goals of our study are to analyze the obstacle of sexual reproduction and to understand the adaptive reproductive strategies and, eventually to propose protective plans through a series of field investigation and laboratory analysis on floral traits and pollination characteristics. We did our research in wild population in the north edge of Gurbantunggut Desert, Xinjiang, China. Results showed that the flowering span of the population, inflorescence and single flowering were approximately 21 d, 7—12 d and 3 d, respectively. The life span of single flower would prolong 2 d when overcast and rain occurred. The keel kept closed during whole flowering period. This floral trait is an adaptive exhibition to desert environment. The flowers finished anther dehiscence before standard pedal opened. *E. songoricum* relied on nectar secretion, fresh color of pedals and the yellow radiate veins at the basal of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31200417, 31100399)

收稿日期: 2013-05-14; 修订日期: 2013-07-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 2000www@163.com

standard pedal to attract pollinators. There are four effective pollinators and all are bees without exception. The average visiting frequency of effective pollinators was $7.75 \pm 0.57 \text{ times} \cdot \text{flower}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. The visiting frequency showed triple-climax: 13:00—14:00, 16:00—17:00 and 19:00—20:00. *Colletes popovi* Nosk. was the most frequent pollinators of *E. songoricum*, which accounted for 79.2% of the whole visiting behavior. Most of the visiting behavior (65.8 ± 1.1)% of *C. popovi* occurred among inflorescence within the same individual, which indicated that geitonogamy was the main mating pattern in the wild. *E. songoricum* exhibited a mixed mating system. It was self-compatible with autonomous selfing rarely happening, and reproductive success relied on pollinators. Inbreeding depression played a role during the period from fertilization to fruit maturation. Stigmatic cuticle and pollen brush showed that *E. songoricum* inclined to outcrossing, because both structures decreased self-pollination at a certain extent. Holding the existing habitat area, artificial apiculture or artificial pollination may be an effective way to improve the sexual reproductive ability of *E. songoricum*.

Key Words: *Eremosparton songoricum*; floral traits; pollination adaptation; breeding system

植物的花部综合特征与传粉者行为、传粉机制以及植物适合度密切相关^[1]。花部特征可分为花设计和花展示两个层次,二者综合作用影响了传粉者吸引和花粉的散布,从而主导着开花植物的交配机遇^[2]。花和花序的基本功能就是促进植物之间的成功交配。对于生物传粉的植物,花和花序的功能仅在与传粉者发生短暂的相互作用时才表现出来,此时花(和花序)进行着花粉的输入和输出过程^[1]。因此,对花部综合特征的认识只有结合传粉生态学研究,将花作为一个适应于传粉的功能单位,而不仅仅是一种生殖上的结构单位来看待,才能获得客观而全面的了解和认识^[3]。

目前国际上有关植物和传粉者相互作用的研究主要考虑花与传粉者之间的吸引和互惠关系^[4]。有花植物在不同的环境中,为了实现交配成功进化出了复杂多样的手段^[5]。沙丘是典型的极端环境,由于其多变的气候条件,传粉环境非常不稳定,比如强风天气会限制传粉者的活动^[6]。为了实现繁殖成功,植物必须进化出一系列的特征来适应沙漠生态系统。集中开花模式^[7],散粉期的延长,花蜜拟态^[8]以及仅在天气好时才开花都被认为是为了保证沙漠生境下的繁殖成功所产生的适应性策略。

准噶尔无叶豆(*Eremosparton songoricum* (Litv.) Vass.)系豆科无叶豆属小半灌木,仅斑块状分布于新疆古尔班通古特沙漠的风蚀坡地、流动—半流动沙丘^[9]以及中亚巴尔喀什湖附近沙地上^[10],是典型的“沙丘植物”,并表现出流动沙丘的“先锋性”特征。准噶尔无叶豆本身进化中的系统压力主要表现在有性繁殖能力与繁殖效率低^[11-12]。从繁殖生态学入手,掌握稀有植物基本的繁育特征(包括花部特征和传粉适应性),是有效的开展其保育工作的关键,同时也是首要步骤^[6]。本研究的主要目的在于:(1)探明准噶尔无叶豆花部综合特征表现;(2)分析花部特征与传粉者之间的相互作用。通过上述研究,综合分析准噶尔无叶豆在荒漠生境下特殊的传粉策略,并为种群保育提供生殖生物学方面的科学指导。

1 研究地区概况和研究方法

1.1 研究地区概况

研究地点位于古尔班通古特沙漠最北缘的阿勒泰地区富蕴县杜热乡境内,该种群依河分布($46^{\circ}31'05'' \text{N}$, $88^{\circ}33'04'' \text{E}$, 面积 $280 \text{ m} \times 30 \text{ m}$)。由于准噶尔盆地深居内陆,距海遥远,四周又有高山围绕,海洋湿润气流难以进入。同时,一年中大部分时间处于蒙古高压控制之下,气流下沉,成雨机会很少,年蒸发量约 2606.6 mm ,大约为年降雨量(79.5 mm)的 33 倍,年均温度 7.26°C ^[13]。因之,干旱多风,降水稀少,蒸发强,日照长,温度变化剧烈的温带内陆荒漠气候是古尔班通古特沙漠气候的主要特点^[14]。

准噶尔无叶豆种群 6 月初始花,花期持续近 1 个月;长总状花序,多互生于叶腋,极少对生于叶腋处。其属于豆科蝶形花亚科,具有典型的蝶形花;包括一枚旗瓣,两枚翼瓣和两枚龙骨瓣^[15]。单花含有 10 枚雌蕊,其中 9 枚花丝联合,1 枚分离,成二体雄蕊。单株开花 200—3000 朵,子房内含 7—10 个胚珠^[11]。野外调查及实验在 2008 年 6 月至 8 月间进行。

1.2 开花进程和花部结构的观察

在准噶尔无叶豆花期标记人为影响较小的植株 25 株,从中随机选择 20 个总状花序,记录植株和花序上第 1 朵花开放和最后 1 朵花开放的时间,时间间隔即为种群和花序花期。同时统计各花序的每日开花数目。随机选择 40 朵单花,花朵开放前每天观察 1 次,开放当天,每隔 2h 观察 1 次,直到花朵脱落或发育成幼嫩的果实。每次观测,均注意记录花朵开放、形状、大小、颜色,花粉散出、柱头伸长的变化情况和蜜腺位置。扫描电镜观察柱头被毛情况。另外分别对 25 朵旗瓣与翼瓣垂直时期的旗瓣、翼瓣和龙骨瓣的长、宽值进行测量。

1.3 访花媒介观测

以每 1 h 为一个时间统计单位,在 6 月 17 日至 6 月 19 日连续 3 日对随机选择的 1 株植株的访花昆虫进行观测。观察和记录 07:00—20:00 来访昆虫的外部形态特征、访花时间、行为、次数以及单花停留时间。每日观察结束后记录植株上的有效花数

目并统计单株有效昆虫的日访花次数,单花日访花频率=单株日访花次数/单株日花展示数目。观察访花行为的同时每隔 1 h 用 KAZ-8901 风速仪记录平均温度和风速,分析传粉环境中的温度和风速对昆虫访花特征的影响。

所有的访花媒介用乙酸乙酯制作的毒气瓶采集,带回室内在体式解剖镜下观察携带花粉的部位,用 70% 酒精冲洗身体各部位的花粉,在光学显微镜下进行观察,将携带有准噶尔无叶豆花粉并在访花过程中与花药和(或)柱头进行接触完成传粉的昆虫定义为有效传粉者。采集的标本由新疆大学昆虫分类专家进行物种鉴定。

1.4 传粉效率

随机摘取 10 朵花药尚未开裂的花置于 FAA 固定液中带回实验室。将所有花药压碎,用番红染色后定容至 5 mL,制成花粉悬浮液,充分摇匀后用微量移液器取 5 μ L 在 Olympus BH-2 型光学显微镜下统计花粉粒数(N),重复 10 次,单花花粉数量= $N \times 100$ 。

参考 Yang 等^[16]的方法进行柱头花粉数量检测。随机在 10 个植株上各标记 2 朵发育基本同步且未开放的花套袋(共 20 朵花),将其分成两组,在花药散粉完毕时摘袋。将其中一组的雌蕊直接取下,另一组待传粉昆虫访问一次后再将雌蕊取下。迅速带回室内,用 1% 的番红进行柱头花粉染色,并进行压片后用 Olympus BH-2 型光学显微镜对柱头花粉数量进行计数。分别统计昆虫未访问和昆虫访问一次的柱头上的花粉数 m_1 和 m_2 ,则传粉昆虫一次访花后移出的花粉量 $M' = m_1 - m_2$,计算其平均值 M 。

1.5 繁育系统检测

为检测准噶尔无叶豆是否有风媒传粉,在自然种群边缘,采用常规重力玻片法,东、南、西、北 4 个方位在 10 m 的距离内每 0.5 m 设置 2 个平行花粉采集器(10 cm $\times$ 10 cm $\times$ 5 cm 的木片)。把涂有凡士林的载玻片固定在采集器上,接收散布在空气中的花粉,采样间隔为 2 h(夜间 12 h)。

通过各种去雄、套袋处理检测该种的繁育系统。随机选择 30 株个体,在每株选取位置相对一致的 5 朵花,分别进行如下处理:(1)人工自花授粉,(2)人工同株异花授粉,(3)人工异株异花授粉,(4)不去雄套袋,(5)去雄套袋。此操作在种群内部设置 3 个重复,另外随机选择 10 株个体上的 1453 朵花作为对照。人工异株异花授粉时,考虑到该物种克隆繁殖的特性,选择 20 m 以外植株上刚刚散粉的花进行授粉,以尽可能确保异交。所有的去雄操作均在花药未散粉时进行。分别统计计算不同套袋处理和对照的子房开始膨大时的结实率(阶段 I)以及果实成熟时的结实率(阶段 II),结实率之间的差异用因素多重比较 Tukey HSD 方法。

1.6 雌雄蕊成熟时间

柱头可授性采用 MTT 法测定:将 100 mg MTT 溶解在 5 mL 5% 的蔗糖溶液中,按照旗瓣的张开情况将花期分为 4 个时期:1) 旗瓣闭合(图 1a),2) 旗瓣微张(图 1b),3) 旗瓣与翼瓣垂直(图 1c),4) 旗瓣向下翻卷(图 1d),取各阶段花的雌蕊各 5 个置于载玻片中央,每个样品各加 5—10 μ L MTT 蔗糖溶液,充分浸透每一个柱头,约 1 h 后观察柱头的颜色变化,若柱头颜色呈深紫色,则显示柱头有活力,具有可授性,若柱头颜色不变,则显示柱头没有活力,已失去可授性。同时观察各时期的花药散粉情况。

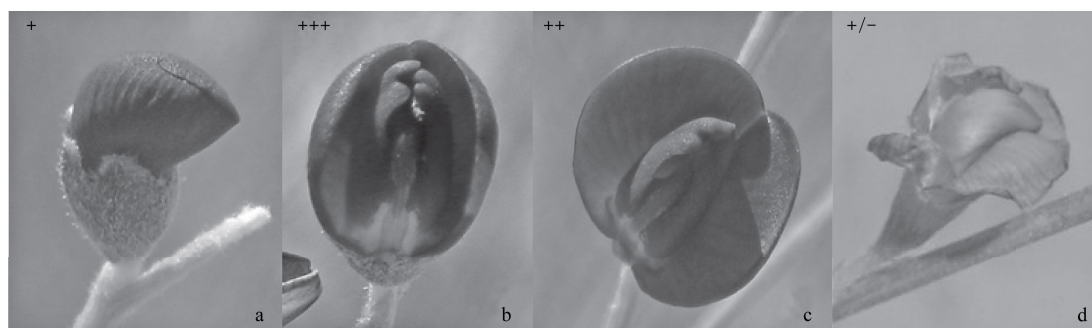


图 1 准噶尔无叶豆单花旗瓣张开情况

Fig.1 The different flowering phases of a single flower according to the standard petal opening situation in *Eremosparton songoricum*

左上角标识为柱头可授性, + 示柱头具可授性, ++ 示柱头具较强可授性; +++ 示柱头具最强可授性, +/- 示部分柱头具可授性

1.7 柱角质层检测

用中性红染色法对 3 种状态的花的柱头进行染色:1) 套袋的花芽;2) 用细毛刷碰触过柱头的花;3) 昆虫拜访过的花。如果角质层存在,1) 会阻止染色剂的渗入,如果角质层被破坏了(2, 3),染色剂就会渗入并占据细胞内空间;柱头表面会呈现红色。

2 研究结果

2.1 开花动态与形态量化特征

准噶尔无叶豆种群花期持续时间为 5 月下旬至 6 月下旬,历时 21 d。总状花序向顶式生长,基部的花先开,顶部花后开,花序每日开花 1—2 朵,花序花期历时 7—12 d。旗瓣与翼瓣垂直(图 1)时旗瓣长(4.79 ± 0.07) mm,宽(6.06 ± 0.14) mm,翼瓣长(4.03 ± 0.14) mm,宽(2.34 ± 0.06) mm,龙骨瓣长(3.64 ± 0.13) mm,宽(2.28 ± 0.07) mm。准噶尔无叶豆多数花在开放第 2 天散发清淡香味,直至花瓣萎蔫;子房基部具蜜腺,分泌物无色透明(表 1)。

单花从花蕾开始膨大至凋谢一般持续 3 d,雨天和阴天花部闭合不打开,花期可延长 1—2 d。开放当日旗瓣与龙骨瓣垂直,花瓣呈现红色,旗瓣内侧有一黄色辐射状斑点。准噶尔无叶豆 9 枚合生雄蕊和离生的 1 枚雄蕊具有不同的长度(表 1)。据观测单花在旗瓣微张时(图 1b)已全部完成散粉。花药完全散粉后,花粉形成明显的、金黄色的“花粉圈”环绕柱头。

表 1 准噶尔无叶豆花形态特征
Table 1 The floral morphology of *Eremosparton songoricum*

观测项目 Items of observation	观测指标 Indicator of observation	观测结果 Results of observation
花瓣展开顺序 Petal display order		旗瓣、翼瓣顺次展开、龙骨瓣不展开 Standard petal→wing petals open, keel petals closed
花器官枯萎顺序 Flower organs wilting order		雄蕊、花被片先后脱落,花萼宿存 Stamen→petals persistent calyx
花瓣发育状态 Petal development	颜色变化 Color changes 大小变化 Size changes	深紫红色-紫红色-大红色-淡紫色-白色 Dark fuchsia-fuchsia -red-light purple-white 花瓣伸长→向下卷曲 Stretched out→Rolling
雄蕊发育状态 Stamens development	最长花丝长短 Length of the longest filament 最短花丝长短 Length of the shortest filament 花药开裂方式 Mode of anther dehiscence 花粉呈现式样 Mode of pollen presentation	明显伸长 Short→Long((2.34 ± 0.39) mm→(4.14 ± 0.43) mm) 明显伸长 Short→Long((1.48 ± 0.14) mm→(2.90 ± 0.24) mm) 纵裂 Longitudinal dehiscence 少量花逐次呈现 Few are staggered presentation
柱头发育状态 Stigma development	颜色变化 Color change 形状变化 Shape change 位置 Position	开裂前淡黄色,成熟时黄色 Light yellow→yellow 无显著变化 No obvious changes 直立→弯曲 Upright→Curving
性系统 Sex expression		两性花 Hermaphrodite
气味(有或无) Odour (yes or no)		有 yes
蜜汁分泌部位 Position of nectar secretion		子房基部 Basal of ovary

2.2 访花频率和访花行为

蜂类是准噶尔无叶豆唯一的传粉者。有效传粉者分别为波氏分舌蜂(*Colletes popovi* Nosk.)、端切叶蜂(*Megachile terminate* Morawitz)、尖腹蜂(*Coelioxys* sp.)和平额泥蜂(*Bembix planifrons* F.Mor.)。4 种有效传粉者访花时均使用中足和后足抓住翼瓣突起的部分,然后用前足打开龙骨瓣,将吻部沿着旗瓣上暴露的黄色辐射状斑点伸进旗瓣和翼瓣之间吸食花蜜。吸食花蜜的同时,胸部和前足接触暴露的花药和柱头从而实现花粉转移。它们访花后身体的大部分部位都沾满了准噶尔无叶豆的花粉。整个研究过程中,龙骨瓣始终保持闭合,只有在昆虫访花时才会昆虫足部运动下被打开,访花行为结束后龙骨瓣恢复闭合状态。传粉者对花色有一定的喜好,有效昆虫只访问旗瓣展开的红色和紫色的花来吸食花蜜,其中访问红色的花占(69.0 ± 2.2)%的访花行为,紫色的花占(29.7 ± 2.8)%的访花行为;另外它们还利用前足和中足在闭合的花中收集花粉,这种行为占整个访花行为的(1.3 ± 0.7)%。有效传粉者的单花停留时间(1.37 ± 0.09)s。

准噶尔无叶豆有效传粉昆虫的平均访花频率为(7.75 ± 0.57)次·花⁻¹·d⁻¹。最有效的传粉者为波氏分舌蜂(图 2),其访花行为占准噶尔无叶豆所有访花行为的 79.2%。另外追踪观察 30 只波氏分舌蜂的访花行为发现(65.8 ± 1.1)%的访花行为发生在同一植株的不同花之间, (34.1 ± 2.1)%的访花行为发生在不同植株间。有效传粉者的访花高峰期表现为 3 峰型: 13:00—14:00, 16:00—17:00 和 19:00—20:00(图 3)。对传粉者的访花行为进行追踪观测后发现,传粉者在阴天或者雨天访花频率很低或者无访花行为。传粉者在高于 16—17 ℃ 的晴天开始有访花行为,风速超过 4.5 m/s 时传粉者无访花行为。



图2 准噶尔无叶豆最有效传粉者波氏分舌蜂

Fig.2 The most effective pollinator *Colletes popovi* Nosk. of *E. songoricum*

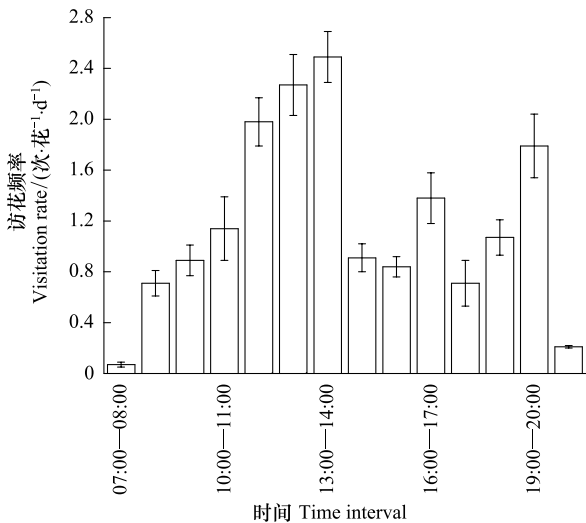


图3 准噶尔无叶豆有效访花者访花频率的日动态变化

Fig.3 The daily dynamics of the visiting frequency of the effective pollinators of *E. songoricum*

2.4 传粉效率

准噶尔无叶豆单花在套袋状态下,柱头置落的花粉数远比子房中的胚珠数量(7—10)多,此时柱头均为自花花粉,但大多数花粉被柱头周围直立生长的簇生毛状物拦截,并没有直接接触柱头,只有少数花粉能够接触柱头(图4)。昆虫访花一次可以带走(180±39)粒花粉(表2)。

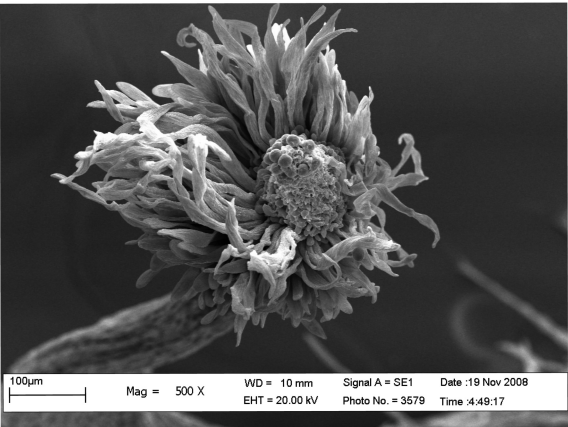


图4 准噶尔无叶豆柱头结构

Fig. 4 The structure of stigma in *E. songoricum*

表2 花粉数量指标	
Table 2 The quantity index of pollen grain	
观测项目 Items of observation	结果 Results
每花花粉数量/粒 Pollen number per flower	11160±1780
套袋柱头花粉数量/粒 Pollen number per stigma after bagging	960±120
昆虫一次带走花粉数量/粒 Pollen number carried by pollinators each time	180±39

2.5 繁育系统

风媒传粉实验中收集的载玻片在显微镜下未检测到随空气传播的花粉,说明准噶尔无叶豆不存在风媒传粉。

去雄套袋不结实,表明该种不存在无融合生殖(表3)。不去雄套袋在阶段Ⅰ的结实率为(8.90±0.85)%,阶段Ⅱ的结实率为0,表明该种生殖成功依赖传粉者(表3)。去雄后人工自花授粉、同株异花授粉、异株异花授粉和对照间在阶段Ⅰ的结实率不存在显著差异(表3),表明该种是自交亲和种。去雄后人工异株异花授粉在阶段Ⅱ的结实率明显高于人工自花授粉、同株异花授粉和对照(表3),表明异株异花花粉对生殖成功贡献更大。该种呈现混合繁育系统。

2.6 雌雄蕊成熟时间

准噶尔无叶豆柱头从旗瓣闭合时开始具有可授性,旗瓣微开时可授性最强,旗瓣与翼瓣垂直时可授性较强,旗瓣向下翻卷

时柱头具较弱的可授性或不具有可授性(图 1)。准噶尔无叶豆表现为雌蕊先熟。

表 3 准噶尔无叶豆不同处理间(下标)和同一处理不同阶段(上标)间结实率(平均值±标准误差)的比较
Table 3 Fruit set (means±SE) of *E.songoricum* were compared between each pollination treatment (subscript letters) and within each treatment in different phase (superscript letters)

处理 Treatments		自然授粉 Natural pollination	不去雄套袋 No emasculation and bagging	自花授粉 Self-pollination	同株异花授粉 Geitonogamy	异株异花授粉 Outcross pollination	去雄套袋 Emasculation and bagging
结果 Results/%	Phase I	88.61±3.31 a, A (N=1453)	8.90±0.85 a, B (N=90)	89.99±1.20 a, A (N=88)	88.56±2.17 a, A (N=89)	88.55±2.52 a, A (N=90)	0 a, C (N=90)
	Phase II	14.47±1.20 b, B (N=1453)	0.01±0.02 a, C (N=90)	12.93±1.28 b, B (N=88)	13.05±0.32 b, B (N=89)	34.10±1.31 b, A (N=90)	0 a, C (N=90)

N: 每种处理的总花数目; 不同的大写和小写字母表示在 0.01 水平上存在显著差异

2.7 柱头角质层

经过中性红染色之后,套袋的花芽柱头表面无颜色变化,用细毛刷碰触过柱头的花和昆虫拜访过的花柱头表面均呈现红色,说明该种柱头存在角质层结构。

3 讨论

3.1 繁育系统特征

准噶尔无叶豆是自交亲和种,主动自交罕见发生,生殖成功严格依赖传粉者。柱头角质层是与此繁育系统特点相关的结构特点。柱头角质层结构在蝶形花亚科的 7 个族里都有所报道^[17]。Lord 和 Heslop-Harrison^[18]发现豆科植物 *Vicia faba* 的花粉只有在柱头角质层被划破分泌油脂性物质的情况下,才能被水解得以萌发。Britten 和 Dunda^[19]发现在豆科牧草 *Psoralea paten* 中,柱头角质层在划破的情况下会分泌粘性的液体物质,这种液体物质包裹住花粉促使花粉萌发。另外在其他蝶形花亚科植物中或者存在角质层会自发破裂从而促使自交发生的现象,比如 *Vigna adenantha*^[20]。此种特殊的花粉萌发机制被称为“划机制”。准噶尔无叶豆只有在人为机械运动(比如毛刷动作)或昆虫足部划破行为下才能促使花粉萌发。因此,准噶尔无叶豆柱头角质层结构一定程度上能够有效防止主动自交。另外,准噶尔无叶豆的柱头周围挺立的簇生毛,又称花粉刷结构,同样能够有效阻止自花花粉置落在柱头,从而减少自交的机会。

Lloyd 和 Schoen^[21]指出像蝶形花亚科这样具有特殊传粉机制的植物类群在自然选择下会倾向于促进异交。对于准噶尔无叶豆来说,其柱头角质层和花粉刷结构表明该种倾向于异交,但是研究发现准噶尔无叶豆最有效的传粉行为主要发生在同一植株的不同花序之间(65.8±1.1)%,也就是自然状态下异交很少发生。对于自交亲和物种来说,同株异花授粉的交配方式会产生自体受精,并且可能使物种产生自交衰退^[16, 22]。克隆植物的同株异花授粉往往经历更严重的自交衰退^[23]。准噶尔无叶豆具有克隆繁殖的能力,自交亲和并且呈现“集中开花”模式^[7],这些特征都为同株异花授粉提供了机会。因此,如何在不可避免的交配模式下,有效的吸引更多的昆虫对于准噶尔无叶豆来说至关重要。

3.2 花部综合特征和传粉特性对沙漠生境的适应

传粉作为植物有性生殖中一个关键阶段,为人们认识生态过程的多样性、物种的适应与分化提供了理想的研究框架^[4]。沙漠生境以其多变的气候条件而被列为典型的胁迫生境^[24-25],在此种严酷的生境条件下,对于准噶尔无叶豆这样一种生殖成功依赖传粉者的物种来说,传粉者的访花行为将对交配成功起到关键作用。为了在适宜昆虫活动的气候条件下尽可能提高传粉效率,从准噶尔无叶豆的花部特征看,其在长期的进化过程中形成了一系列吸引传粉者的策略。

花色、气味等诱物作为一种信号或招牌诱使访问者来访花,而报酬是指最终吸引昆虫且能补偿访花所付出的能量消耗的物质,如花粉和花蜜等^[26]。植物综合利用色素和特殊的表面纹理,能够有效吸引传粉者^[1]。准噶尔无叶豆的有效传粉者只对红色和紫色的花进行访花,但是蜜蜂看不见红色^[1],作为对红色花被片的补偿,旗瓣内侧暴露有黄色的辐射状斑点,被称为蜜导。黄色对于蜂类是可见花色,并且根据追踪观测发现此斑点在短距离内对昆虫发现花蜜具有引导作用。

Sprengel^[27]注意到花的一些特征会受到环境因子的影响,如有花蜜的植物有多种机制保护花蜜避免雨水混合或稀释。沙漠气候下影响传粉的主要气象因子是风速和温度,强风和高温会导致柱头表面干燥和花蜜快速蒸发^[8],从而会影响部分传粉行为或花粉萌发。在单花整个花期过程中准噶尔无叶豆的龙骨瓣始终闭合,作者认为此种结构特征可以保护柱头免受偶然的雨水,强风和高温,并且有效得减少了花蜜的蒸发,偶尔雨水的混合或稀释,是对于沙漠生境的适应性表现。另外雨天和阴天花部闭合不打开也是对于沙漠气候多变的适应性表现。

由于受到沙漠公路、南水北调以及石油开采等经济行为的强烈干扰,准噶尔无叶豆目前生境破碎化严重,分布面积缩小,个体数量减少,种群呈现衰退趋势表明该种亟待保护与复壮^[11]。准噶尔无叶豆受胁最主要的内在因素是其有性繁殖能力低,由于其生殖成功严格依赖传粉者,种群复壮最主要的途径就是提高有性繁殖能力。因此,保存现有准噶尔无叶豆居群面积,进行

人工养蜂,或者人工促进居群内与居群间的传粉,增加后代的基因杂合度,可以达到复壮种群的目的。

References:

- [1] Zhang D Y. The Evolution of Plant Life History and Reproductive Ecology. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] Harder L D, Barrett S C H. Pollen dispersal and mating patterns in animal-pollinated plants // Lloyd D G, Barrett S C H, eds. *Floral Biology: Studies on Floral Evolution in Animal-Pollinated Plants*. New York: Chapman & Hall, 1996: 140-190.
- [3] Huang S Q, Jin B F, Wang C F, Guo Y H. Floral display and pollen flow in a natural population of *Sagittaria trifolia*. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(7): 726-730.
- [4] Huang S Q. Studies on plant-pollinator interaction and its significances. *Biodiversity Science*, 2007, 15(6): 569-575.
- [5] Barrett S C H. Sexual interference of the floral kind. *Heredity*, 2002, 88(2): 154-159.
- [6] Saunders N E, Sipes S D. Reproductive biology and pollination ecology of the rare Yellowstone Park endemic *Abronia ammophila* (Nyctaginaceae). *Plant Species Biology*, 2006, 21(2): 75-84.
- [7] Ma W B, Shi X, Zhang D Y, Yin L K. Flowering phenology and reproductive features of the rare plant *Eremosparton songoricum* in desert zone, Xinjiang, China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 2008, 32(4): 760-767.
- [8] Ma M, Fan J F, Li J. Pollination characteristics of ephemeroïd plant *Eremurus anisopterus*. *Journal of Plant Ecology (Acta Phytocologica Sinica)*, 2006, 30(6): 1012-1017.
- [9] Zhang LY, Hai Y. Plant communities excluded in the book of 'The Vegetation and Its Utilization in Xinjiang': I. The desert plant communities. *Arid Land Geography*, 2002, 25(1): 84-89.
- [10] Vasipchenko. *Floral of U.S.S.R.* 1941, 310-311.
- [11] Zhang D Y, Ma W B, Shi X, Wang J C, Wang X Y. Distribution and bio-ecological characteristics of *Eremosparton songoricum*, a rare plant in Gurbantunggut desert. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3): 430-436.
- [12] Liu HL, Shi X, Wang JC, Yin L K, Huang Z Y, Zhang D Y. Effects of sand burial, soil water content and distribution pattern of seeds in sand on seed germination and seedling survival of *Eremosparton songoricum* (Fabaceae), a rare species inhabiting the moving sand dunes of the Gurbantunggut Desert of China. *Plant and Soil*, 2011, 345(1/2): 69-87.
- [13] Zhang Y M, Wang H L, Wang X Q, Yang W K, Zhang D Y. The microstructure of microbiotic crust and its influence on wind erosion for a sandy soil surface in the Gurbantunggut Desert of Northwestern China. *Geoderma*, 2006, 132(3/4): 441-449.
- [14] Zhang LY, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut sandy desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [15] Etcheverry A V, Alemán M M, Fleming T F. Flower morphology, pollination biology and mating system of the complex flower of *Vigna caracalla* (Fabaceae; Papilionoideae). *Annals of Botany*, 2008, 102(3): 305-316.
- [16] Yang C F, Sun S G, Guo Y H. Resource limitation and pollen source (self and outcross) affecting seed production in two louseworts, *Pedicularis siphonantha* and *P. longiflora* (Orobanchaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2005, 147(1): 83-89.
- [17] Shivanna K R, Owens S J. Pollen pistil interactions (Papilionoideae) // Stirton C H, Zarucchi J L, eds. *Advances in Legume Biology. Monographs of Systematic Botany of the Missouri Botanical Garden*, 1989: 157-182.
- [18] Lord E M, Heslop-Harrison Y. Pollen-stigma interaction in the Leguminosae: stigma organization and the breeding system in *Vicia faba* L. *Annals of Botany*, 1984, 54(6): 827-836.
- [19] Britten E J, Dundas I S. A dimorphic pollination system in a potentially valuable semi-arid pasture legume, the *Psoralea patens* complex // *Proceedings of the 15th International Grassland Congress*. Kyoto, Science Council of Japan and Japan Society of Grassland Science, 1985: 209-210.
- [20] Castro M A, Agulló M A. Anatomy of the stigma of *Vigna adenantha* (C. F. Mayer) Marechal, Mascherpa and Stainer (Leguminosae, Papilionoideae). *Biocell*, 1998, 22: 9-18.
- [21] Lloyd D G, Schoen D J. Self- and cross-fertilization in plants. I. Functional dimensions. *International Journal of Plant Sciences*, 1992, 153(3): 358-369.
- [22] Young A, Boyle T, Brown T. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 1996, 11(10): 413-418.
- [23] Eckert C G, Barrett S C H. Inbreeding depression in partially self-fertilizing *Decodon verticillatus* (Lythraceae): population-genetic and experimental analyses. *Evolution*, 1994, 48(4): 952-964.
- [24] Noy-Meir I. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 25-51.
- [25] Polis G A. Desert communities: an overview of patterns and processes // Polis G A, ed. *The Ecology of Desert Communities*. Tucson: University of Arizona Press, 1995: 1-26.
- [26] Wang R H. A Study on Reproductive Biology in Magnolia and Its Systematic Characterization [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [27] Sprengel C K. Discovery of the secret of nature in the structure and fertilization of flowers // *Flower Biology*. US: Springer-Verlag, 1996: 3-43.

参考文献:

- [1] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 黄双全, 靳宝锋, 王青锋, 郭友好. 慈姑花的开放式样及其花粉流. *植物学报*, 1999, 41(7): 726-730.
- [4] 黄双全. 植物与传粉者相互作用的研究及其意义. *生物多样性*, 2007, 15(6): 569-575.
- [7] 马文宝, 施翔, 张道远, 尹林克. 准噶尔无叶豆的开花物候与生殖特征. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 760-767.
- [8] 马森, 范俊峰, 李静. 类短命植物异翅独尾草的传粉特性. *植物生态学报*, 2006, 30(6): 1012-1017.
- [9] 张立运, 海鹰. 《新疆植被及其利用》专著中未曾记载的植物群落类型 I. 荒漠植物群落类型. *干旱区地理*, 2002, 25(1): 84-89.
- [11] 张道远, 马文宝, 施翔, 王建成, 王习勇. 准噶尔无叶豆的地理分布、群落学特征及生物生态学特性. *中国沙漠*, 2008, 28(3): 430-436.
- [14] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [26] 王若涵. 木兰属生殖生物学研究及系统演化表征探析 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元