ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 31 卷 第 17 期 Vol.31 No.17 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 17 期　　2011 年 9 月　(半月刊)

目　　次

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 37 * 2011-09

封面图说:相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

彩图提供:陈建伟教授　国家林业局　E-mail: cites.chenjw@163.com

施翔, 王建成, 张道远, 刘会良. 荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义. 生态学报, 2011, 31(17): 4935-4940.
Shi X, Wang J C, Zhang D Y, Liu H L. Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species *Eremosparton songoricum* (FABACEAE). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 4935-4940.

荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义

施 翔[1,2], 王建成[1], 张道远[1,3,*], 刘会良[1]

(1. 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;
(2. 石河子大学农学院林学系, 石河子 832011; 3. 中国科学院吐鲁番沙漠植物园, 新疆 838008)

摘要: 连续 2a 采用野外记录的方式对荒漠植物准噶尔无叶豆的结实、结籽格局进行了比较研究。结果表明: 植株内花序生成格局表现为不同大小的花序在总花序中的比重与其结实率存在显著正相关, 其中含有中等花数目的花序所占的比重及其结实率均最高, 此种分布格局能够最大程度的保证繁殖成功; 果序内果实生成格局表现为单花着生位置(从近柄端算起)与其结实量占总结实量的比例成线性负相关, 花序基部的结实比例最高, 顶部结实比例近为 0; 荚果内种子生成格局表现为: 中间位置的胚珠败育率最低。另外, 年际间荚果内仅有(1.08±0.03)粒和(1.07±0.03)粒种子能够完全成熟, 此种结籽格局是准噶尔无叶豆保证后代质量的最佳策略。

关键词: 准噶尔无叶豆; 结实格局; 结籽格局; 繁殖成功

Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species *Eremosparton songoricum* (FABACEAE)

SHI Xiang[1,2], WANG Jiancheng[1], ZHANG Daoyuan[1,3,*], LIU Huiliang[1]

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

2 *Forestry College, College of Agriculture in Shihezi University, Shihezi* 832011, *China*

3 *Turpan Eremophytes Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Turpan* 838008, *China*

Abstract: Plant reproductive modules include flowers, inflorescences, fruits and seeds, and also the reproductive branches that bear these plant parts, which have certain distribution pattern and quantitative change dynamics. Selective abortion is one of the sources of seed plant fruiting and seeding patterns. In order to determine the patterns of fruit production among and within inflorescences, seed production within pods, and further examine the evolutionary, ecological significance of selective abortion in a desert species *Eremosparton songoricum* (Litv.) Vass., we did our research over two years in a wild population in the north edge of Gurbantunggut Desert, XinJiang, China. To record the fruit production among inflorescences, 141 and 105 inflorescences from twenty individual plants were randomly chosen in 2007 and 2008, respectively. Fruit development and position within each inflorescence were monitored daily, and the number of completely mature fruits within each inflorescence was counted to get the frequency distribution and the fruit set of different inflorescence sizes. To determine percentage of fruit production from basal position to distal position within the inflorescences, 100 inflorescences with 16 and 13 flowers were chosen in 2007 and 2008, respectively. To determine the

基金项目: 国家自然科学基金项目(30970543; 31070472); 国家重点基础研究发展计划(2009CB825104); 中国科学院"十二五"预研重要方向性项目群项目(kSCX2-YW-Z-1020)

收稿日期: 2010-07-26; **修订日期**: 2010-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Daoyuanzhang@163.net.

seed production within pods, 300 completely mature fruits were randomly chosen in 2007 and 2008 to monitor the seed production from basal position to distal position within each pod. Results showed that the frequency distribution and fruit set of different inflorescence sizes were positively correlated, with the middle inflorescence size being the most frequent and also having the highest fruit set, which appears to be the optimal reproductive strategy; The flowers from the basal position of an inflorescence were more likely to set fruit, which appears to maintain the reproductive success from the adaptive strategy angle, and the percentage of fruit production at the distal position of an inflorescence was approximately zero which may be make up to the loss of basal flowers of an inflorescence caused by desert weather condition or distal flower may play more important role in male function for attracting more insects rather than bearing fruit; Ovules from the middle position within an ovary were more likely to produce seed. There were an average of only 1.08±0.03 and 1.07±0.03 seeds matured per pod in 2007 and 2008, respectively. Producing one seed per pod may be the optimal strategy in this limited resource desert situation, with the single seed appearing to be of higher quality (16.23±0.30) mg than those derived from multi-seed pods (18.44±0.32) mg. Also, a single seeded pod, compared with two or three seeds within one pod, can lower the weight of the dispersal fruit unit, which will improve the dispersal distance and then play an important role in occupying new habitats for this rare species.

Key Words: *E. songoricum*; fruiting pattern; seeding pattern; reproductive success

高等植物的花、花序、果实和种子,甚至着生这些器官的生殖枝均可称为生殖构件[1],这些生殖构件呈现一定的分布格局和数量动态变化[2-6]。种子植物的结实、结籽格局中,果实和种子的败育可分为随机败育和选择性败育。国内外许多研究学者都曾针对选择性败育的现象,原因及其生态进化意义进行了深入的探讨[7-9]。选择性败育包括果实和种子两种选择性败育现象。花序从基部向顶部顺次开放的植物中,果实败育格局有两种类型,多数表现为花序基部向顶部结实率逐渐下降[10-13],少数表现为花序中部[14]或顶部[15]结实率最高。在果实内种子呈线性排列的植物中,种子的选择性败育包括有 3 种类型,第一类为选择果实花梗端或基部的种子败育[16-17];第二类为选择性地败育果实柱头端和基部的种子而成熟果实中部的种子[18];第三类为选择性地败育果实柱头端的种子[19-20]。对于选择性败育的原因,被普遍接受的包括有资源限制、传粉限制、同胞竞争、虫食作用等[21-22],但是每种原因造成果实或种子败育所占的比例很难进行量化分析。选择性败育的生态进化意义在于首先其可以提高母本及后代的适合度[23-24],其次在于其对于果实的扩散具有重要意义,因此成熟含有少量种子的果实具有更高的适合度[25]。

准噶尔无叶豆系豆科无叶豆属多年生小半灌木,稀有种[26],在我国仅片断化分布于新疆古尔班通古特沙漠局部区域的流动—半流动沙丘上[27]。2004—2006 年对自然种群的调查中发现该物种是兼性克隆植物,花序为向顶式开放,其单株开花数 200—3000 朵不等,结实率低于 16%[28],远低于自交亲和两性花植物 72% 的结实率[29];种子在果实内呈线性排列,结籽率低于 16%[28],远低于大多数两性花植物 50%—85% 的结籽率,可见该种有性生殖环节存在障碍。本文重点从物种生殖分配的角度出发,通过对其植株内花序间、果序内和荚果内不同部位的结实、结籽数量进行观察统计,拟重点研究:(1)准噶尔无叶豆自然种群花序间结实格局;(2)准噶尔无叶豆自然种群果序内的结实格局;(3)准噶尔无叶豆自然种群荚果内结籽格局;并进一步分析探讨结实、结籽格局的生态进化意义,本项研究有助于该物种保育工作的开展,同时还有助于深入理解其他荒漠植物的繁殖策略。

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的半流动沙丘(46°31′05 N, 88°33′04 E, 海拔 662m, 面积 280m×30m)。古尔班通古特沙漠干旱少雨, 温差大, 蒸发强烈, 因此该地区属于典型的温带内陆荒漠性质[30]。准噶尔无叶豆种群6 月初开花,6 月底花期结束;叶为退化状,长总状花序多互

生于叶腋;果实 7 月间开始成熟,8 月底果期结束。准噶尔无叶豆果实发育初期,荚果内多具有 2—3 枚受精的胚珠,荚果发育成熟后多数仅其中一枚能够发育成熟。野外调查及试验在 2007—2008 年的 6 月至 8 月间进行。

1.2　花序间结实格局

2007 年和 2008 年分别随机标记 20 株植株,并从中随机选择 141 和 101 个花序(原始分别标记了 200 个花序,部分花序在发育过程中遭到自然或人为因素的破坏),果实开始发育时每日观察果实形态以及在花序中着生的位置,统计每个花序中完全成熟的果实的数目(脱落的幼嫩的果荚不能正常发育),并且根据花序上的花痕数目统计每个花序的花数目,并计算不同大小的花序(Different inflorescence sizes)的比重和结实率,比重=不同大小的花序的数量/总花序数×100%;结实率=结实量/花数目×100%。

1.3　果序内结实格局

2007 年和 2008 年分别标记 100 个均含有 16 朵花和 13 朵花的花序进行标记(2007 年生成的花序大小普遍大于 2008 年的花序)。参照果序间成熟果实的统计方法,计算不同年际间果序内部从近柄端(1)至远端各位置的结实比例,结实比例=各位置的总结实量/所有位置的总结实量×100%。

1.4　荚果内结籽格局

2007 年和 2008 年分别随机选择 300 个成熟的果实,在体式显微镜下用解剖刀将果皮小心打开,将近果柄端的位置记为"1",对每粒果荚内的种子成熟的位置以及胚珠数目进行记录统计。

1.5　数据分析

所有数据用 SPSS17.0 进行分析,用 Origin 7.5 作图。用 Bivariate Correlations 来进行不同大小花序的比重与结实率的相关性分析;用 Linear Regression 来建立果序内部从近柄端至远端各位置的结实量占总结实量的比例的线性回归方程;胚珠位置与结籽数目的二次回归方程用 Curve Estimation 来建立。数据的正态性根据 Kolmogorov-Smimov 指数和 Shapiro-Wilk 指数综合考虑,方差齐性检验用 Levene 检验法。

2　结果与分析

2.1　花序间结实格局

准噶尔无叶豆花序大小分布在 2—19 朵花之间,2007 年和 2008 年(图 1)均倾向于生成含有中等花数量(7—14)的花序,含有少量花(<5)和含有大量花(>14)的花序所占的比重较低;含有中等花数量的花序的结实率也普遍较高。并且经过 Bivariate Correlations 分析后发现,植株内不同大小的花序在总花序中的比重与其结实率在年际间均成显著正相关(P=0.026; 0.012)。

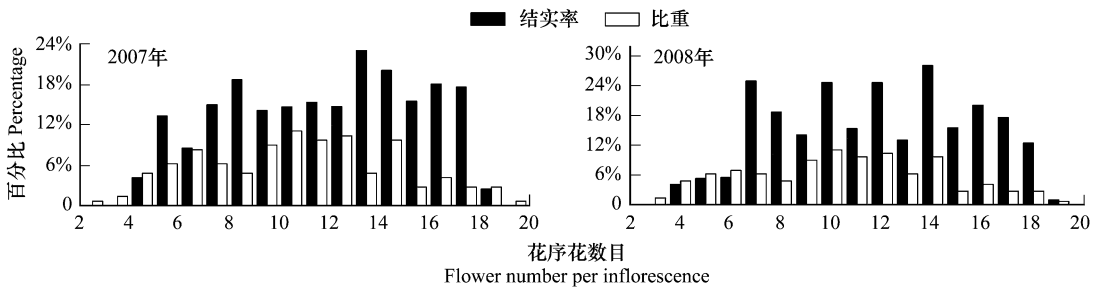

图 1　准噶尔无叶豆 2007 年和 2008 年不同大小的花序的比重与结实率的相关性

Fig. 1　The correlation between frequency distribution of inflorescence size and the fruit set in *E. songoricum* from 2007 to 2008

2.2　果序内结实格局

2007 年和 2008 年(图 2)单花着生位置(从近柄端算起)与其结实量占总结实量的比例成线性负相关,花序基部的结实比例最高,顶部结实比例近为 0。

2.3　荚果内结籽格局

2007 年和 2008 年(图 3)单粒荚果分别生成(8.31±0.12)和(8.38±0.11)枚胚珠,仅有(1.08±0.03)和

(1.07±0.03)粒种子能够完全成熟。荚果内结籽格局均表现为荚果内部中间位置的胚珠败育率最低,经过 Curve Estimation 分析后发现,胚珠位置与结籽数目均与二次回归方程拟合较好(R^2=0.774; 0.737)。

3 讨论

准噶尔无叶豆植株内含有中等花数目的花序所占比重最高,而此种花序类型的结实率也是最高的,此种分布格局最大程度地保证了繁殖成功,这与 Lack[31] 的研究结果一致。

Ohara 和 Higashi[32] 对罂粟科植物 *Corydalis ambigua* 的研究结果相反:具有较大花展示的花序的结实率最高,但是植株更加倾向于产生具有较小花展示的花序,有限的资源可能是 *C. ambigua* 此种花序生成格局重要的选择力量。对于准噶尔无叶豆来说,较大的花展示有利于吸引传粉者,昆虫访花频率更高[33],植株似乎应该倾向于生成大的花展示来增加花粉转移的机会,但是植株花序的大小必须建立在用于产生吸引结构的有效资源和用于成熟果实的有效资源两方面的权衡基础之上[34-36]。资源有限是准噶尔无叶豆结实的主要影响因素之一[37],大的花展示无疑会增加投资,准噶尔无叶豆在资源有限的选择压力下,选择更多得生成含有中等花数目的花序是保障对传粉者的吸引力的基础上提高结实率的最佳策略。

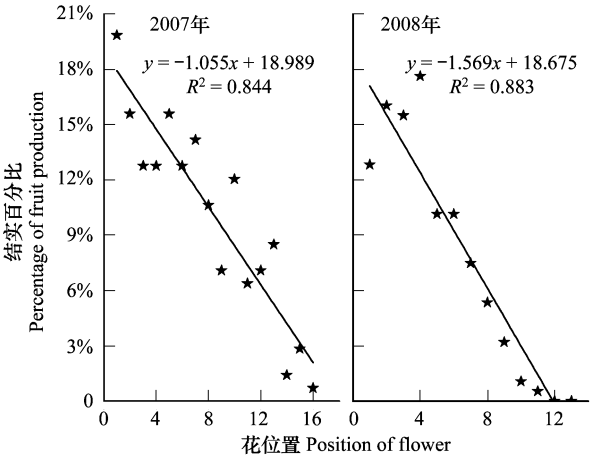

图 2 自然状态下准噶尔无叶豆 2007 年和 2008 年果序内部从近柄端至远端各位置的结实量占总结实量的比例

Fig. 2 The percentage of fruit production from basal position to distal position within the inflorescence in *E. songoricum* from 2007 to 2008 under natural condition

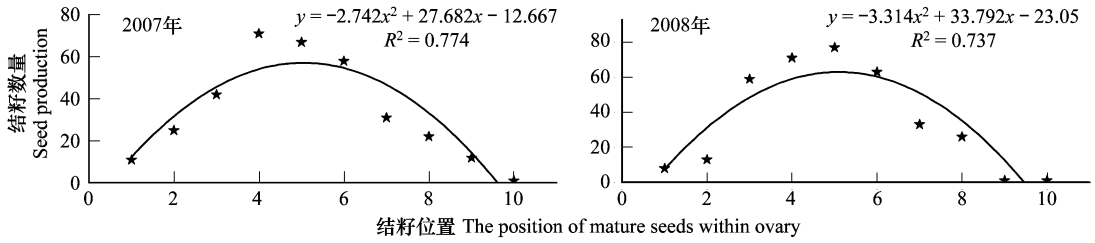

图 3 自然状态下准噶尔无叶豆 2007 年和 2008 年荚果内部从近柄端至远端各位置的结籽量变化

Fig. 3 The variation of seed production from basal position to distal position within the pod in *E. songoricum* in 2007 and 2008 under natural condition

关于果序内败育格局的研究,准噶尔无叶豆花序基部至顶部结实率呈递减趋势。关于此种结实格局存在两种最普遍的假说:资源竞争[21,38]和构造效应[39-41]。资源竞争假说即花序内的子房竞争有限的资源,发育早和(或)空间位置接近资源的果实比后发育和位于资源远端的果实获得更多的资源[25]。构造效应假说即花序内部存在对于不同位置的繁殖成功率的构造限制,其花序末端的结实率不会因为剔除基部花而发生改变[14]。另外不同部位接收到的花粉质量和(或)数量的差异也可能是造成此种结实格局的原因之一[42]。对于准噶尔无叶豆来说,养分贫瘠的沙质土壤不能为其提供足够的资源[28],补充养分和剔除部分花芽和果荚均能显著提高结实率[37],因此认为资源限制是造成果实败育的合理解释。但是基部至顶部结实比例呈现下降趋势,可能是因为准噶尔无叶豆生成一个果实比生成一朵花消耗更多的资源[37],果序基部的果实先发育,其主要与花形成竞争,能获取更多的母本资源,这些果实因而更容易成熟[43-44];顶部的果实后发育,主要与果实进行竞争,竞争所得资源有限,不能满足果实成熟的条件,这是基部果实存在的时间优势。另一方面,当供给繁殖的资源有限时,植株上距光合产物源和营养源最近的果实存在对资源竞争的空间优势。时间与空间优势的综合作用,使得准噶尔无叶豆形成花序基部的结实比例最高,顶部结实比例近为 0 的结实格局。这与

Guitian[45]在 *Prunus mahaleb* 和 Medrano 等[21]在 *Pancratium maritimus* 中发现的结果相一致。从适应策略来理解,准噶尔无叶豆花序基部的花是保证繁殖成功的必要,一方面,顶部的花是为了补偿基部花的损失,此种空间效应可能是为了抵御沙漠大风和高温天气给先期发育果实造成干扰的一种补偿效应;另一方面,顶部的花可能对发挥雄性功能作用更大,因为其可能更多的用于昆虫向其他植株转运花粉[29]。

关于荚果内种子败育格局的研究,在豆科植物中较多的文献对种子形成与所处的胚珠位置进行了研究,但研究结果不尽相同。准噶尔无叶豆的结籽格局表现为果荚内中间位置的胚珠更容易形成种子,这与 Link[46]对豆科植物 *Pisum sativum* 的研究结果一致。选择性败育荚果内的种子可以有效提高后代的适合度,其可能是某些生活在资源贫乏、干旱少雨条件下的植物在长期进化过程中形成的一种生殖保障[47]。准噶尔无叶豆荚果内形成多粒种子的平均单粒种子重量(16.23±0.30)mg 远低于荚果内仅形成一粒种子的重量(18.44±0.32)mg,因此认为荚果内仅形成 1 粒种子是为了达到最佳种子质量所形成的适应策略[37]。另外,荚果内仅形成一粒种子相对于生成 2—3 粒种子,明显降低了以果实作为扩散单位的重量,这样将有利于传播距离的扩大,对种群占领新生境具有一定的意义。

References:

[1] Fang Y M. Plant Reproductive Ecology. Jinan: Shandong University Publishing House, 1996: 1-8.

[2] Lovett-Doust J. Experimental manipulation of patterns of resource allocation in the growth cycle and reproduction of *Smyrnium olusatrum* L. Biological Journal of the Linnean Society, 1980, 13(2): 155-166.

[3] Primack R B, Lloyd D G. Andromonoecy in the New Zealand montane shrub Manuka, Leptospermum scoparium (Myrtaceae). American Journal of Botany, 1980, 67(3): 361-368.

[4] Thomson J D, Barrett S C H. Temporal variation of gender in *Aralia hispida* Vent. (Araliaceae). Evolution, 1981, 35(6): 1102-1107.

[5] Cox P A. Vertebrate pollination and the maintenance of dioecism in Freycinetia. American Netherlands, 1982, 120(1): 65-80

[6] Ellstrand N C. Multiple paternity within the fruits of the wild radish, *Raphanus sativus*. American Netherlands, 1984, 123(6): 173-185.

[7] Jaranowski J. Fertilization and embryo development in cases of autogamy. Genetica Polonica, 1962, 3: 209-242.

[8] Bawa K S, Webb C J. Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees: implicatons for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. American Journal of Botany, 1984, 71(5): 736-751.

[9] Navarro L. Fruit-set and seed weight variation in *Anthyllis vulneraria* subsp. *vulgaris* (*Fabaceae*). Plant Systematics and Evolution, 1996, 201(1/4): 139-148.

[10] Solomon B P. Patterns of pre- and postfertilization resource allocation within an inflorescence: evidence for interovary competition. American Journal of Botany, 1988, 75(7): 1074-1079.

[11] Herrera J. Allocation of reproductive resources within and among inflorescences of Lavandula stoechas (Lamiaceae). American Journal of Botany, 1991, 78(6): 789-794.

[12] Karoly K. Pollinator limitation in the facultatively autogamous annual, Lupinus nanus (Leguminosae). American Journal of Botany, 1992, 79(1): 49-56.

[13] Guitián J, Navarro L. Allocation of reproductive resources within inflorescences of *Petrocoptis grandiflora* (Caryophyllaceae). Canadian Journal of Botany, 1996, 74(9): 1482-1486.

[14] Sutherland S. Why hermaphroditic plants produce many more flowers than fruits: experimental tests with *Agave mckelveyana*. Evolution, 1987, 41(4): 750-759.

[15] Goldingay R L, Whelan R J. The influence of pollinators on fruit positioning in the Australian shrub Telopea speciosissima (Proteaceae). Oikos, 1993, 68(3): 501-509.

[16] Ganeshaiah K N, Uma Shaanker R. Seed abortion in wind-dispersed pods of *Dalbergia sissoo*: maternal regulation or sibling rivalry?. Oecologia, 1988, 77(1): 135-139.

[17] Arathi M, Ortiz P L, Talavera S. Apical pattern of fruit production in the racemes of *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Caesalpinioideae): role of pollinators. American Journal of Botany, 1999, 86(12): 1708-1716.

[18] Bawa K S, Buckley D P. Seed: ovule ratios, selective seed abortion, and mating systems in Leguminosae. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, 1989, 29: 243-262.

[19] Horovita A, Meiri L, Beiles A. Effects of ovule positions in fabaceous flowers on seed set and outcrossing rates. Botanical Gazette, 1976, 137(3): 250-254.

[20] Hossaert M, Valéro M. Effect of ovule position in the pod on patterns of seed formation in two species of Lathyrus (Leguminosae: Papilionoideae). American Journal of Botany, 1988, 75(11): 1714-1717.

[21] Medrano M, Guitián P, Guitián J. Patterns of fruit and seed set within inflorescences of *Pancratium maritimum* (Amaryllidaceae): nonuniform

polination, resource limitation, or architectural effects?. American Journal of Botany, 2000, 87(4): 493-501.
[22] Holland J N, Bronstein J L, DeAngelis D L. Testing hypotheses for excess flower production and low fruit-to-flower ratios in a pollinating seed-consuming mutualism. Oikos, 2004, 105(3): 633-640.
[23] Casper B B, Head S B, Apanius V. Ecological correlates of single-seededness in a woody tropical flora. Oecologia, 1992, 90(2): 212-217.
[24] Zhao X J, Tan D Y. Selective abortion and its evolutionary, ecological significance in seed plants. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6): 1007-1018.
[25] Lee T D. Patterns of fruit and seed production// Lovett-Doust J L, Lovett-Doust L L, eds. Plant Reproductive Ecology: Patterns and Strategies. New York: Oxford University Press, 1988: 179-202.
[26] Yin L K, Tan L X, Wang B. Rare and Endangered Higher Plants Endemic to Xinjiang. Urumchi: Xinjiang Scientific and Technical Publishing House, 2006: 74-75.
[27] 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.
[28] 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.
[29] Sutherland S, Delph L F. On the importance of male fitness in plants: patterns of fruit set. Ecology, 1984, 65(4): 1093-1104.
[30] Zhang LY, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut sandy desert. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 1923-1932.
[31] Lack D. The Natural Regulation of Animal Numbers. Oxford: Oxford University Press, 1954: 343-343.
[32] Ohara M, Higashi S. Effects of inflorescence size on visits from pollinators and seed set of *Corydalis ambigua* (Papaveraceae). Oecologia, 1994, 98(1): 25-30.
[33] Shi X, Wang J C, Zhang D Y, Gaskin J F, Pan B R. Pollination ecology of the rare desert species *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). Australian Journal of Botany, 2010, 58(1): 35-41.
[34] Willson M F, Miller L J, Rathcke B J. Floral display in Phlox and Geranium: adaptive aspects. Evolution, 1979, 33(1): 52-63
[35] Schemske D W. Evolution of floral display in the orchid *Brassavola nodosa*. Evolution, 1980, 34(3): 489-493.
[36] Firmage D H, Cole F R. Reproductive success and inflorescence size of *Calopogon tuberosus* (Orchidaceae). American Journal of Botany, 1988, 75(9): 1371-1377.
[37] Shi X, Wang J C, Zhang D Y, Gaskin J, Pan B R. Pollen source and resource limitation to fruit production in the rare species *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). Nordic Journal of Botany, 2010, 28(4): 438-444.
[38] Guitián J, Guitián P, Medrano M. Causes of fruit set variation in *Polygonatum odoratum* (Liliaceae). Plant Biology, 2001, 3(6): 637-641.
[39] Wolfe L M. Why does the size of reproductive structures decline through time in Hydrophyllum appendiculatum (Hydrophyllaceae) developmental constraints vs. resource limitation. American Journal of Botany, 1992, 79(11): 1286-1290.
[40] Diggle P K. Architectural effects and the interpretation of patterns of fruit and seed development. Annual Review of Ecology and Systematics, 1995, 26(1): 531-552.
[41] Wolfe L M, Denton W. Morphological constraints on fruit size in *Linaria canadensis*. International Journal of Plant Sciences, 2001, 162(6): 1313-1316.
[42] Buide M L. Intra-inflorescence variation in floral traits and reproductive success of the hermaphrodite *Silene acutifoli*. Annals of Botany, 2004, 94(3): 441-448.
[43] Obeso J R. Seed mass variation in the perennial herb *Asphodelus albus*: sources of variation and position effect. Oecologia, 1993, 93(4): 571-575.
[44] Vaughton G. Nonrandom patterns of fruit set in *Banksia spinulosa* (Proteaceae): interovary competition within and among inflorescences. International Journal of Plant Sciences, 1993, 154(2): 306-313.
[45] Guitian J. Selective fruit abortion in *Pruans mahaleb* (Rosaceae). American Journal of Botany, 1994, 81(12): 1555-1558.
[46] Linck A J. The morphological development of the fruit of Pisum sativum var. Alska. Phytomorphology, 1961, 11: 79-84.
[47] Wang Y C, Hou Y W, Zhang Y J, Yang C. Reproductive strategies of Tetraena mongolica Maxim. Acta Phytoecologica Sinica, 2001, 25(6): 699-703.

参考文献:

[1] 方炎明. 植物生殖生态学. 济南: 山东大学出版社, 1996: 1-8.
[24] 赵学杰, 谭敦炎. 种子植物的选择性败育及其进化生态意义. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1007-1018.
[26] 尹林克, 谭丽霞, 王兵. 新疆珍稀濒危特有高等植物. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2006: 74-75.
[27] 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.
[28] 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.
[30] 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.
[47] 王迎春, 侯艳伟, 张颖娟, 杨持. 四合木种群生殖对策的研究. 植物生态学报, 2001, 25(6): 699-703.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 17 September, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

（源于 2010 年版 CSTPCD 数据库）

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	**生态学报**	**11764**	1	**生态学报**	**1.812**
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次，**全国排名第 1**；影响因子 1.812，**全国排名第 14**；第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊；中国精品科技期刊

生　态　学　报
（SHENGTAI　XUEBAO）
（半月刊　1981 年 3 月创刊）
第 31 卷　第 17 期　（2011 年 9 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 17　2011

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
主　编	冯宗炜
主　管	中国科学技术协会
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
出　版	科学出版社 地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
印　刷	北京北林印刷厂
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
订　购	全国各地邮局
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences，CAS Add：18，Shuangqing Street，Haidian，Beijing 100085，China
Published by	Science Press Add：16 Donghuangchenggen North Street， Beijing　100717，China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House， Beijing 100083，China
Distributed by	Science Press Add：16 Donghuangchenggen North Street，Beijing 100717，China Tel：（010）64034563 E-mail：journal@ cspg. net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add：P. O. Box 399 Beijing 100044，China

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 70.00 元