

网络出版时间:2012-05-22 16:32

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120522.1632.020.html>

紫苞雪莲花期繁殖分配及花部特征 与海拔高度的相关分析

王一峰,裴泽宇,刘启茜

(西北师范大学 生命科学院,甘肃 兰州 730070)

[摘要] **【目的】**对不同海拔高度下的菊科风毛菊属植物紫苞雪莲(*Saussurea iodostegia* Hance)10个居群的花期繁殖器官特征和繁殖分配进行研究,为探讨紫苞雪莲如何与胁迫环境相适应及提高其繁殖分配率提供科学依据。**【方法】**2009-09,在位于青藏高原东缘的甘肃甘南藏族自治州,于不同海拔下(3 050,3 200,3 300,3 400,3 500,3 600,3 700,3 800,3 925,4 000 m)采集10个居群的紫苞雪莲,每个居群取20株样品,测定紫苞雪莲的性器官长度、花粉数、个体大小及繁殖分配,并分析各个指标与海拔高度间的相关性。**【结果】**紫苞雪莲个体大小与海拔高度呈极显著负相关($P<0.01$),紫苞雪莲繁殖分配与海拔高度呈极显著正相关($P<0.01$),个体大小与繁殖分配呈极显著负相关($P<0.01$),花药和花丝长度及花粉数与海拔高度呈极显著负相关($P<0.01$),花柱长度与海拔高度呈极显著正相关($P<0.01$),花丝长度与花粉数呈显著正相关($P<0.05$),花柱长度与花粉数呈显著负相关($P<0.05$)。**【结论】**海拔高度对紫苞雪莲的个体大小及繁殖分配有重要影响,随着海拔升高,植株可获取的资源总量降低,分配给繁殖器官的相对资源量增加,并且在花粉数随着海拔的升高而减少的情况下,紫苞雪莲通过花柱长度的增加来提高柱头对传粉昆虫的感受性,从而在一定程度上提高了其繁殖成功率。

[关键词] 紫苞雪莲;海拔高度;个体大小;繁殖分配;性器官

[中图分类号] Q948

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)06-0195-06

Correlation analysis between altitude and reproductive allocation and floral traits in *Saussurea iodostegia* Hance

WANG Yi-feng, PEI Ze-yu, LIU Qi-qian

(College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: **【Objective】**The correlation between ten populations traits of sexual organs and reproductive allocation of *Saussurea iodostegia* Hance in different altitudes was studied to provide a basis for the research how *Saussurea iodostegia* Hance adapted to the stressful environment and raised its reproductive success ratio. **【Method】**In Ganan Autonomy State of Gansu province in the eastern Qinghai Tibetan Plateau, ten populations of *Saussurea iodostegia* Hance in different altitudes (3 050, 3 200, 3 300, 3 400, 3 500, 3 600, 3 700, 3 800, 3 925, 4 000 m) were collected in September 2009, length of sexual organs, pollen number, individual size and reproductive allocation were measured, analysis of correlation between them and altitude was conducted. **【Result】**The results showed: There was a significantly negative correlation between individual size and altitude ($P<0.01$), a significantly positive correlation between reproductive allocation and altitude ($P<0.01$), a significantly negative correlation between individual size and reproductive allocation

* [收稿日期] 2011-11-29

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40930533);西北师范大学植物学重点学科项目

[作者简介] 王一峰(1964—),男,山东滕州人,教授,硕士生导师,主要从事植物学和植物生态学研究。

E-mail: wangyifeng6481@yahoo.com.cn

tion ($P < 0.01$), significantly negative correlations among anther length, filament length, pollen number and altitude ($P < 0.01$) and a significantly positive correlation between style length and altitude ($P < 0.01$), a positive correlation between filament length and pollen number ($P < 0.05$), and a negative correlation between style length and pollen number ($P < 0.05$). 【Conclusion】 The results suggested there was an important effect of altitude on plant size and reproductive strategies within populations. With increasing altitude, total acquired resources decreased and relative resources allocating reproductive organs increased, the pollen number decreased and the style length elongated. *Saussurea iodostegia* Hance enhanced the sensitivity to pollinators, and increased rate of success of reproduction.

Key words: *Saussurea iodostegia* Hance; altitude; individual size; reproductive allocation; sexual organs

达尔文通过早期的博物学观察发现,植物生长的基本活动就是从环境中获取资源、利用资源并对资源进行分配^[1]。植物的资源分配主要是繁殖分配和性分配,其中繁殖分配是植物生活史理论的热点问题,它是指植物将可利用资源分配到繁殖体与营养体的比例,影响这种比例的因素是多方面的,如个体大小、密度、竞争、环境资源状况等^[2]。青藏高原海拔较高、气候寒冷、温差大、常年多风、太阳辐射强,生态因素复杂。与低海拔地区的植物相比,处于高海拔地区的植物通常具有不同的繁殖分配形式^[3]。分析个体大小依赖的繁殖策略是理解植物繁殖资源分配的前提^[4]。繁殖分配的大小依赖性反映了资源获取和繁殖分配在一个有限资源库的权衡,该权衡理论认为,如果分配给繁殖的资源量增加,那么将导致分配给存活、生长的资源量减少,进而影响到植物未来的生长与繁殖活动。可以说,权衡关系是生活史进化理论的最基本假设^[5]。除了影响繁殖分配外,海拔对植物的个体大小同样会产生影响。Kawano 等^[6]的研究发现,随着海拔升高,繁殖分配增加,个体大小一般也会随着海拔的升高而减少。Fabbro 等^[7]比较了 20 种(10 个科)生长在低海拔(600 m)和 30 种(15 个科)生长在高海拔(2 700 m)地区的植物,发现生长在高海拔地区植物的繁殖分配远远高于低海拔地区的植物,证明与低海拔地区的植物相比,有性繁殖对高山植物具有更为重要的作用。在高寒生态系统中,昆虫的多样性、丰富性以及活动性都有所降低^[8]。花作为被子植物的繁殖器官,比其他所有类群有机体的繁殖器官均表现出了更高的变异性^[9]。在种群内,繁殖分配可能依赖于有机体的条件或资源状况,如果雌雄适合度由于个体大小或资源条件的差异而受到不同的影响,那么可以预测植物会根据对 2 个适合度影响大小的不同而调整繁殖分配^[10],从而以变异的形式作为手段之一来实现交配成功,提高繁殖成功率。

风毛菊属植物的所有种在亚洲几乎都有分布,在我国主要分布于西南和西北高海拔的青藏高原、天山、横断山区和喜马拉雅山,这里也是风毛菊属的“现代分布中心”^[11]。

本试验以分布在青藏高原的紫苞雪莲为研究对象,初步探讨了该物种繁殖分配与海拔的相关性,旨在为紫苞雪莲的繁殖分配对青藏高原独特生态环境的适应性研究提供科学依据。

1 研究区概况

本试验材料均采自位于青藏高原的甘肃省甘南藏族自治州,该地区经纬度为 $100^{\circ}45' \sim 104^{\circ}45' \text{E}$ 、 $33^{\circ}06' \sim 35^{\circ}34' \text{N}$,境内海拔 1 200~4 800 m,平均气温 1.7°C ,年降雨量 400~800 mm。该区地处青藏高原东北边缘,地势西高东低,地形复杂。全州面积为 4.5 万 km^2 ,现辖合作市和碌曲、玛曲、夏河、舟曲、迭部、卓尼和临潭 7 县^[12]。

2 材料与方法

2.1 材料

紫苞雪莲(*Saussurea iodostegia* Hance)属多年生草本植物,高 20~50 cm;其根状茎平展,茎直立,带紫色,被白色长柔毛;叶呈条状披针形或宽披针形,边缘具锐细齿,最上部叶片为苞叶状,椭圆形,膜质,紫色,全缘;头状花序 4~6 个,于茎顶密集成伞房状,总苞片 4 层,边缘或全部呈暗紫色,被白色长柔毛;管状花冠紫色。

2.2 样品采集

2009-09,在甘肃甘南藏族自治州,从低地到高山共选择 10 个不同海拔,即 3 050,3 200,3 300,3 400,3 500,3 600,3 700,3 800,3 925,4 000 m。在每个海拔随机挖取整株植株,每个居群中取样 20 株(表 1)。样品分株编号,分别统计每株的头状花序数及小花数。在紫苞雪莲盛花期,从不同编号的

样品中分别随机取出 10 朵小花,分装入样本瓶,用 V(冰乙酸)=18:2:2)固定。
FAA 固定液(V(体积分数 70%乙醇):V(甲醛):

表 1 紫苞雪莲采样地概况

Table 1 Sampling area of *Saussurea iodostegia* Hance

居群编号 Population	取样数 Sample number	海拔/m Elevation	采集地 Locaion	采集日期 Date	生境 Habitat
1	20	3 050	临潭 Lintan	2009-09-08	山坡草地 Hillside meadow
2	20	3 200	合作 Hezuo	2009-09-10	山坡灌丛 Hillside shrub
3	20	3 300	卓尼 Zhuoni	2009-09-11	路边岩石 Rock of roadside
4	20	3 400	卓尼光盖山 Guanggaishan mountain of Zhuoni	2009-09-06	山坡草地 Hillside meadow
5	20	3 500	卓尼大峪沟 Dayu ditch of Zhuoni	2009-09-20	山坡草地 Hillside meadow
6	20	3 600	夏河 Xiahe	2009-09-17	山坡灌丛 Hillside shrub
7	20	3 700	迭山 Dieshan	2009-09-15	山坡草地河边 Hillside meadow of riverside
8	20	3 800	夏河县桑科草原 Grassland of Xiahe	2009-09-09	沙地 Sandland
9	20	3 925	临潭县莲花山 Lotus mountain of Lintan	2009-09-18	路边 Road side
10	20	4 000	玛曲 Maqu	2009-09-12	灌丛 Shrub

2.3 测定项目及方法

2.3.1 性器官长度 随机抽取性器官完整的小花朵,用镊子将雌、雄器官分离,用毫米尺测量花丝、花药及花柱的长度,并记录。

2.3.2 花粉数 在花药未裂的花中取其所有的花药,将其置于盐酸溶液(V(蒸馏水):V(盐酸)=1:3)中,于 80 ℃下加热 4 h。水解,然后移入 0.5 mL 的乳酸-甘油(V(乳酸):V(甘油)=3:1)混合液中,涡流搅动 30 s,移入血球记数板,每次取样约 0.1 mL,每个样滴 4 次,每次记数 4 个角的 4 个方格(0.1 mm),取 4 次的平均值估算每朵花的总花粉数^[12]。统计每个海拔高度采集的 20 株紫苞雪莲的总小花数求其平均值,作为不同海拔高度下每株紫苞雪莲的小花数。从与所取样品编号相同的样本瓶中,随机取出 10 朵花药未裂的小花,按上述方法估算出每朵小花的花粉数,计算其平均值作为不同海拔下每朵小花的花粉数,再乘以(相同海拔)每株的小花数,

即为不同海拔下每株紫苞雪莲的总花粉数^[12]。

2.3.3 个体大小与繁殖分配 将采集样本置烘箱中于 80 ℃下烘干 24 h 后,用电子天平(1/10 000 g)称取质量。取 1/2 开裂的花药称量各繁殖器官(雄蕊群、雌蕊群、心皮、花被)及同一样本营养部分(根、茎、叶)干质量。个体大小用营养部分(根、茎、叶)干质量表示;繁殖分配为总花干质量占营养部分干质量的百分比,即花期繁殖分配。

2.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行分析,用 OrginPro 8 绘图。

3 结果与分析

3.1 紫苞雪莲个体大小与海拔的关系

图 1 显示,紫苞雪莲的个体大小与海拔高度呈极显著负相关($P<0.01$),即随着海拔的升高,紫苞雪莲的个体逐渐变小。

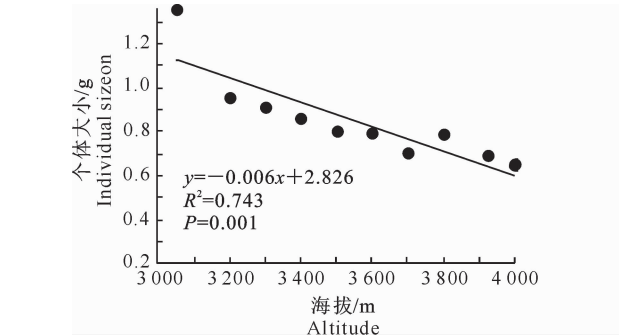


图 1 紫苞雪莲个体大小与海拔的回归分析
Fig. 1 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance individual size on altitude

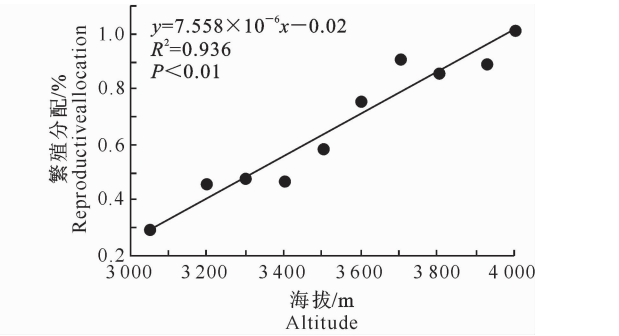


图 2 紫苞雪莲繁殖分配与海拔的回归分析
Fig. 2 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance reproductive allocation on altitude

3.2 紫苞雪莲繁殖分配与海拔的关系

图 2 显示,随着海拔高度的增加,紫苞雪莲繁殖分配比例不断增加,并且繁殖分配与海拔高度呈极显著正相关($P<0.01$)。

3.3 紫苞雪莲个体大小与繁殖分配的关系

图 3 显示,个体大小与繁殖分配呈极显著负相关($P<0.01$),表明随着紫苞雪莲植物个体的增大,繁殖分配会相应减小。这说明植物个体越大,对繁殖的绝对投入越高,但其相对的繁殖分配越低,小个体的繁殖分配则相对较高。

3.4 紫苞雪莲性器官与海拔的关系

图 4~7 显示,紫苞雪莲花药和花丝长度及花粉数与海拔均呈极显著的负相关($P<0.01$),花柱长度与海拔呈极显著正相关($P<0.01$),表明随着海

拔的升高,紫苞雪莲花柱变长。

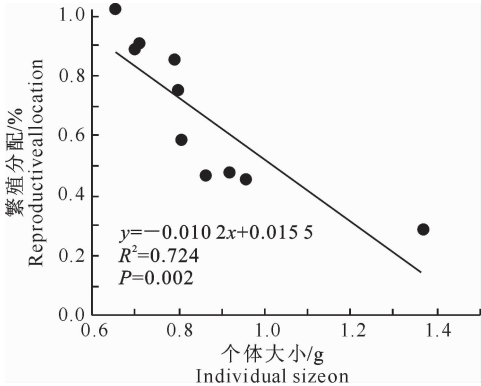


图 3 紫苞雪莲个体大小与繁殖分配的回归分析
Fig. 3 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance individual size on reproductive allocation

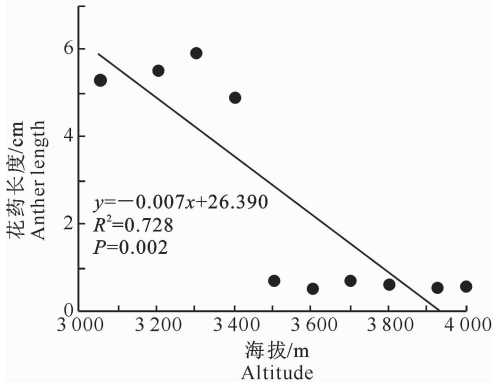


图 4 紫苞雪莲花药长度与海拔的回归分析
Fig. 4 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance anther length on altitude

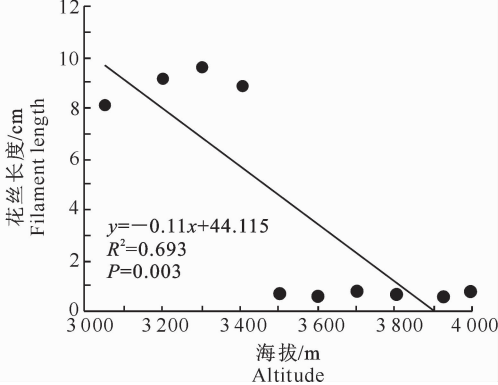


图 5 紫苞雪莲花丝长度与海拔的回归分析
Fig. 5 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance filament length on altitude

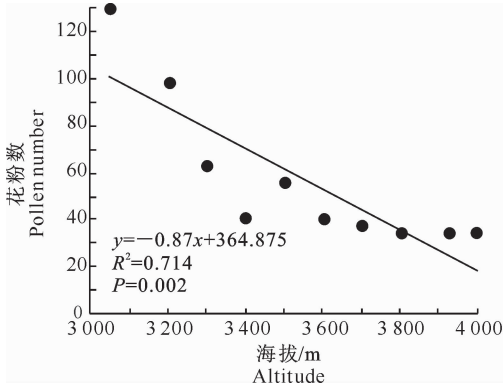


图 6 紫苞雪莲花粉数与海拔的回归分析
Fig. 6 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance pollen number on altitude

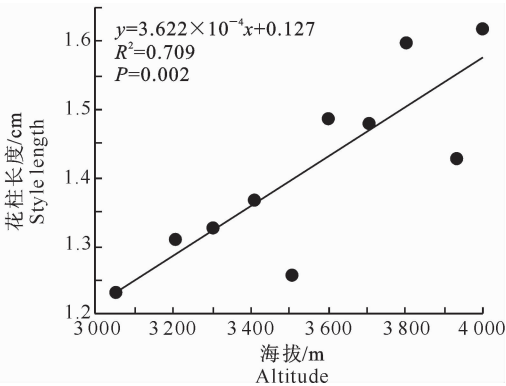


图 7 紫苞雪莲花柱长度与海拔的回归分析
Fig. 7 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance style length on altitude

3.5 紫苞雪莲不同性器官之间的关系

由图 8 和图 9 可见,紫苞雪莲花丝长度与花粉数呈显著正相关($P<0.05$),表明花丝越长,花粉数

越多;花柱长度与花粉数呈显著负相关($P<0.05$),表明花粉数越少,花柱越长。

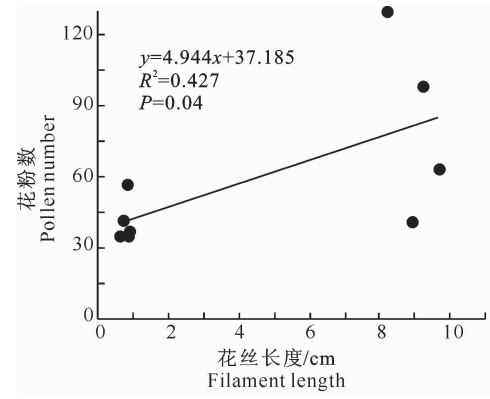


图 8 紫苞雪莲花丝长度与花粉数的回归分析
Fig. 8 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance filament length on pollen number

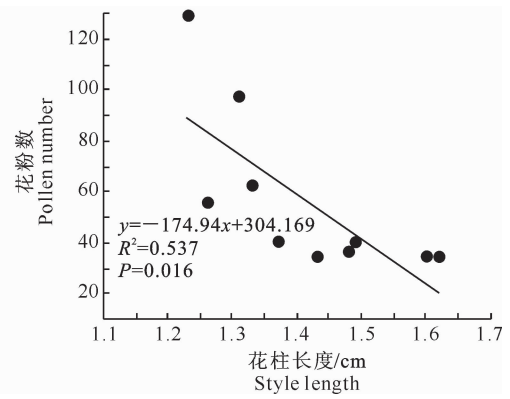


图 9 紫苞雪莲花柱长度与花粉数的回归分析
Fig. 9 Regression of *Saussurea iodostegia* Hance style length on pollen number

4 讨 论

植物的生长除与本身生态习性有关外,与周围的环境条件如海拔也有很大的关系。本研究结果表明,随着海拔的升高,紫苞雪莲个体变小,这是其对高山胁迫环境的适应。由于高海拔地区的紫外线强度大且温度低,其中生长的植物株高的降低对提高植物的结籽率及吸引昆虫访花有着积极的作用,较矮的植株所形成的温暖花部环境可以吸引更多的传粉者访花^[13]。一般认为,随着海拔的升高,植株可获取的资源总量降低,因此投入到繁殖的绝对资源量应该减少,但繁殖分配(分配给花的相对资源量)则有所增加^[7]。本试验结果表明,紫苞雪莲繁殖分配随海拔高度的增加而增大,说明随着海拔升高,生长期缩短,输送给植物的可利用资源减少,植物为了提高生存效率,尽可能分配较少的资源给营养器官,而较多资源用于生殖来完成生活史。因此,高海拔植物的繁殖分配更高^[3]。

Weiner 等^[4]提出,植物繁殖分配与个体大小呈线性关系模型,即个体大小与繁殖分配是一种简单的线性负相关。本试验结果与 Weiner 等^[4]的研究结论一致,即紫苞雪莲繁殖分配随个体增大而减少,这可能是繁殖代价随个体增大的一个直接结果,繁殖代价的增大可以部分地解释为对繁殖结构的分配增加^[10]。繁殖分配的大小依赖性实际上是植物获取资源时在植株内产生生理权衡的结果。在高山环境中,植物生长过程面临复杂且不稳定的多种外界环境因素的干扰,随着植株个体的增大,植株受动物取食、踩踏以及强风、冰雹等袭击的可能性也随之增大,因此大个体植株的繁殖代价通常较高,相应地需要对繁殖支持结构投入更多的资源,从而使繁殖分

配降低^[14]。

在青藏高原的东缘,高山地带的低温会降低昆虫的访花频率及活动能力,而且传粉昆虫物种的相对丰富度和每种植物获得访问的昆虫数量均随海拔升高而降低^[15]。在高海拔地区,传粉昆虫的访花率降低,但可由其他机制来维持授粉的平衡。如 Bingham 等^[8]研究表明,传粉昆虫访花率的降低不一定会限制其授粉作用。在高海拔地区,虽然传粉者的多样性和活动能力均较低海拔地区有所降低,但这可由花柱的伸长,即通过提高柱头对传粉昆虫的感受性来加以补偿。本研究中,紫苞雪莲的花粉数及花药和花丝长度也均随海拔的升高而降低,但花柱长度却随着海拔的升高而增长,花柱长度的显著变异提高了柱头对传粉昆虫的感受性,弥补了因昆虫数量减少等不利因素带来的影响,进而使得传粉者来访时最先触碰到柱头,从而保证了传粉昆虫能够更加成功而有效地对减少的花粉进行传播^[12]。这说明植物会根据外界环境的改变,调节其对繁殖性状的资源分配,通过对繁殖策略进行适应性调整来最大限度地保障其繁殖成效。

[参考文献]

[1] 张大勇. 理论生态学研究 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
Zhang D Y. Researches on theoretical ecology [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2000. (in Chinese)

[2] 张林静, 石云霞, 潘晓玲. 草本植物繁殖分配与海拔高度的相关分析 [J]. 西北大学学报, 2007, 37(2): 77-80.
Zhang L J, Shi Y X, Pan X L. Analysis of correlativity between reproductive allocation and altitude in plants [J]. Journal of Northwest University, 2007, 37(2): 77-80. (in Chinese)

[3] 赵 方, 杨永平. 中华山蓼不同海拔居群的繁殖分配研究 [J]. 植物分类学报, 2008, 46(6): 830-835.
Zhao F, Yang Y P. Reproductive allocation in a dioecious peren-

nial Oxyria sinensis (Polygonaceae) along altitudinal gradients [J]. Journal of Systematics and Evolution, 2008, 46 (6): 830-835. (in Chinese)

[4] Weiner J, Rosenmeier L, Massoni E S, et al. Is reproductive allocation in *Senecio vulgaris* plastic [J]. Botany, 2009, 87 (5): 475-481.

[5] 陈学林, 梁 艳, 齐 威, 等. 一年生龙胆属植物的繁殖分配及其花大小、数量的权衡关系研究 [J]. 草业学报, 2009, 18 (10): 58-66.

Chen X L, Liang Y, Qi W, et al. Studies on reproductive allocation, floral size and its trade off with floral number of annual *Gentiana* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18 (10): 58-66. (in Chinese)

[6] Kawano S, Masuda J. The productive and reproductive biology of flowering plants: VIII. Resource allocation and reproductive capacity in wild populations of *Heloniopsis orientalis* [J]. Oecologia (Berl), 1980, 45: 307-317.

[7] Fabbro T, Körner C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation [J]. Flora, 2004, 199 (12): 70-81.

[8] Bingham R A, Orthner A R. Efficient pollination of alpine plants [J]. Nature, 1998, 391: 238-239.

[9] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

Zhang D Y. Life history evolution in plants and reproductive ecology [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)

[10] 梁 艳, 张小翠, 陈学林. 多年生龙胆属植物个体大小与花期资源分配研究 [J]. 西北植物学报, 2008, 28 (12): 2400-2407.

Liang Y, Zhang X C, Chen X L. Individual size and resource allocation in perennial *Gentiana* [J]. Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica, 2008, 28 (12): 2400-2407. (in Chinese)

[11] 朱世新. 河南风毛菊属植物的分类研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2001.

Zhu S X. A taxonomic study on the genus *Saussurea* in Henan Province [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2001. (in Chinese)

[12] 王一峰, 高宏岩, 施海燕, 等. 小花风毛菊的性器官在青藏高原的海拔变异 [J]. 植物生态学报, 2002, 32 (2): 379-384.

Wang Y F, Gao H Y, Shi H Y, et al. Adaptive significance of *Saussurea parviflora*'s sexual organs, Qinghai-tibetan plateau, China [J]. Journal of Plant Ecology, 2002, 32 (2): 379-384. (in Chinese)

[13] 樊宝丽, 孟金柳, 赵志刚. 海拔对青藏高原东部毛茛科植物繁殖特征和资源分配的影响 [J]. 西北植物学报, 2008, 28 (4): 805-811.

Fan B L, Meng J L, Zhao Z G. Influence of altitude on reproductive traits and resource allocation of species of ranunculaceae at east Qinghai Tibetan Plateau [J]. Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica, 2008, 28 (4): 805-811. (in Chinese)

[14] 赵志刚, 杜国祯, 任青吉. 5 种毛茛科植物个体大小依赖的繁殖分配和性分配 [J]. 植物生态学报, 2004, 28 (1): 9-16.

Zhao Z G, Du G Z, Ren Q J. Size-dependent reproduction and sex allocation in five species of ranunculaceae [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28 (1): 9-16. (in Chinese)

[15] 何亚平, 费世民, 刘建全, 等. 高山植物繁育系统研究进展初探 [J]. 四川林业科技, 2005, 26 (4): 43-49.

He Y P, Fei S M, Liu J Q, et al. A preliminary review of studies of alpine plant breeding system [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2005, 26 (4): 43-49. (in Chinese)

(上接第 194 页)

[12] 顾地周, 丛小力, 宋利丽, 等. 木通马兜铃的组织培养和快速繁殖 [J]. 植物生理学通讯, 2008, 44 (1): 136.

Gu D Z, Cong X L, Song L L, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Aristolochia manshuriensis* Kom [J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44 (1): 136. (in Chinese)

[13] 姜云天, 陈艳秋, 朱俊义, 等. 细叶杜香高效快繁体系建立及种质试管保存研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31 (2): 118-123.

Jiang Y T, Chen Y Q, Zhu J Y, et al. Highly efficient micro-propagation system and *in vitro* germplasm preservation for *Ledum palustre* var. *angustum* N. Bush [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2009, 31 (2): 118-123. (in Chinese)

[14] 高新一, 王玉英. 植物无性繁殖实用技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2003: 380.

Gao X Y, Wang Y Y. Technology of plant asexual reproduction [M]. Beijing: Shield Press, 2003: 380. (in Chinese)

[15] Danielle J D, William E V, Kwai Y L. The anatomy of tissue cultured red raspberry prior to and after transfer to soil [J]. Plant Cell: Tissue and Organ Culture, 1985 (1): 43-50.

[16] 李合生. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 256-258.

Li H S. The modern plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 256-258. (in Chinese)

[17] 王雯雯, 马秋月, 朱俊义, 等. 大字杜鹃离体快繁体系建立及种质试管保存研究 [J]. 植物研究, 2009, 29 (2): 198-203.

Wang W W, Ma Q Y, Zhu J Y, et al. In vitro rapid propagation system and *in vitro* germplasm preservation of *Rhododendron schlippenbachii* Maxim. [J]. Bulletin of Botanical Research, 2009, 29 (2): 198-203. (in Chinese)