

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.04.015

权秋梅. 不同生境与花部特征对巫山淫羊藿结实特性的影响[J]. 广西植物, 2013, 33(4): 516–520

Quan QM. Effect of different habitats and floral characteristics on fruit set in *Epimedium wushanense* [J]. *Guihaia*, 2013, 33(4): 516–520

不同生境与花部特征对巫山淫羊藿结实特性的影响

权秋梅

(西华师范大学 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川 南充 637000)

摘要: 对不同生境中巫山淫羊藿结实特性进行比较研究。结果表明: (1) 三个种群在繁殖时期中不同花部特征的植株繁殖投资差异不大, 如每株分枝数、每株花序数和每株开花数差异均不显著; (2) 三个种群中每株结实数、每株结实率、每花序结实数在不同花部特征中差异显著, PLS 和 SAA 要显著大于 PESS; (3) 三种花部特征在不同生境中单株分枝数和单株花序数均无显著差异。在不同花部特征中种群 1 开花数量相比较少, 因而在结实方面均值均要小于种群 2 和种群 3; (4) 不同花部特征的果实饱满种子数、败育数和败育率均具有显著差异, 而种子数差异不大, 但在种群间均无显著的差异。说明种子的多少更多地受到花部特征的影响。总之, 巫山淫羊藿的结实特性受到生境和花部特征的双重影响, 其中花型比生境对巫山淫羊藿结实特性的影响更为明显。

关键词: 巫山淫羊藿; 不同生境; 花部特征; 结实

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)04-0516-05

Effect of different habitats and floral characteristics on fruit set in *Epimedium wushanense*

QUAN Qiu-Mei

(China West Normal University Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Nanchong 637002, China)

Abstract: The survey of the fruit-setting characteristics of *E. wushanense* revealed in the three habitats were as follows: (1) the resource and reproduction of floral characteristics had no difference among the three habitats, e.g. No significant differences of branches per plant, inflorescences number per plant and flowers per plant was observed among the three habitats; (2) Fruit-setting number per plant, Fruit-setting rate per plant and fruit setting rate per inflorescence of PLS and SAA were remarkably higher than the PESS; (3) The branches per plant and inflorescences number per plant of three floral characteristics had no difference in three habitats. The flowers per plant and fruit set of Population 1 was less than the other populations; (4) The full seed per fruit, percentage of seeds abortion per fruit and number of seeds abortion per fruit were significant different in three floral characteristics, but among the population, which revealed the seeds per fruit had been affected more by floral characteristics. The result suggested that the seed setting characteristics of *E. wushanense* were affected by its flower types and habitats and more by the latter.

Key words: *Epimedium wushanense*; different habitats; floral characteristics; fruit set

两性花植物的花在形态学上具有多样化的适应方式, 其主要目的是通过降低两性器官间干扰以及

减少雄配子浪费而提高植物的雄性生育力(Barrett, 2003)。其中雌雄异位(herkogamy)是一种重要的花

收稿日期: 2012-11-22 修回日期: 2013-02-10

基金项目: 西华师范大学科研启动项目(11B016); 重点实验室开放基金(XNYB09-04)

作者简介: 权秋梅(1981-), 女, 讲师, 主要从事生殖生态学研究。(E-mail) meimeiq@163.com。

部适应机制,即通过花药和柱头位置在空间上分离,可显著降低同株异花授粉水平,从而影响植物交配格局的一种花部机制(张大勇,2004)。早在1862年达尔文综述了对雌雄异位的理解,自1877年,达尔文发表在《同种植物的不同花型》之后,雌雄异位的研究一直备受植物学家的关注,在进化、功能适应意义与遗传、结实及理论模型建立等方面开展了大量研究(Charlesworth & Charlesworth,1979;Fishe,1935;Barrett,1990;Llyod & Webb,1992;Webb & Pearson,1993;Richards,1997;Barrett *et al.*,2000;Baker *et al.*,2000a,2000b;Li *et al.*,2001;Arroyo *et al.*,2002;Jesson & Barrett,2002;Ishihama *et al.*,2003;Kery *et al.*,2003;Jacquemyn *et al.*,2003;Van Rossum & Triest 2006)。

淫羊藿属(*Epimedium*)植物具有雌雄异位的现象,对雌雄异位的研究却仅具有零星报道(Li *et al.*,2009)。在巫山淫羊藿中具有三种花部特征,即雌蕊长度等于或者短于雄蕊(PESS)、雌蕊长于雄蕊(PLS)、雌蕊长于雄蕊并发生偏离雄蕊的弯曲生长(SAA)的花部特征。然而对巫山淫羊藿花部特征的结实特性却尚未有人报道过,因而本文以巫山淫羊藿为材料,选择三个种群,比较了巫山淫羊藿花部特征在种群内和种群间的结实特性。以期对巫山淫羊藿雌雄异位的进化与维持积累资料,并有助于探讨淫羊藿属植物花多果少的原因。

1 材料与研究地点

实验材料来源于南充市与广安市交界地的金城山森林公园(106°28'E,30°45'N),年均降水量在1100mm左右,年均温度17.5℃,多浅沟崖壁,坡度35°左右,湿度相对较高。巫山淫羊藿为圆锥花序,花瓣四枚,特化为距状,淡黄色,雄蕊四枚。种群花期在3~4月初,果期为5~6月。

2 研究方法

野外观测于2010年4月,选取三个处于不同生境的典型种群,即种群1(阳坡),优势种为白栎(*Quercus fabric*)和柏木(*Cupressus fueris*)。种群2(过渡段),主要优势物种主要有楠竹(*Phyllostachys pubescens*)、稀少柏木。种群3(阴坡)乔木层优势物种为柏木(*Cupressus fueris*),此外还有少数杉木

(*Cunninghamia lanceolata*)。用不同颜色的布条标记不同生境中不同花部特征的植株,在2010年5月初~6月底,在果实成熟,但尚未裂开前,统计不同花部特征在每个样方中的每株分枝数、每株花序数、每株开花数、每株结实数、每花序开花数和每花序结实数,并统计每株结实率(结实率=每株结实花数/每株总花数×100%)。并将野外收集的果实带回实验室,记录其每个果实的种子数、饱满种子数、败育数和败育率情况。

所有数据运用SPSS11.0进行Nonparametric test with Kruskal Wallis or with Mann-Whitney U 和 One-way ANOVA with duncan 分析。

3 结果与分析

3.1 不同花部特征的繁殖特点比较

3.1.1 种群内不同花部特征的繁殖特点比较 Non-parametric test 分析表明在3个种群中,每株分枝数、每株花序数和每株开花数均无显著差异(表1~3)。其中每株分枝数和每株花序数为PESS明显

表1 巫山淫羊藿花部特征在种群1中的繁殖指标比较
Table 1 Reproductive indicators about floral characteristics of *E. wushanense* in Population 1

项目 Item	PESS	PLS	SAA	Chi-square	Sig.
每株分枝数 Branches per plant	9.86±0.82a	8.43±1.06a	9.00±0.65a	0.42	0.80
每株花序数 Inflorescences number per plant	2.29±0.42a	1.86±0.26a	2.00±0.30a	0.61	0.73
每株开花数 Flowers per plant	66.14±18.50a	60.43±8.45a	61.86±10.95a	0.07	0.96
每株结实数 Fruit setting per plant	3.71±1.71b	14.00±2.17a	16.00±3.89a	10.09	0.01
每株结实率(%) Fruit-setting rate	4.38±1.50b	23.49±1.49a	24.70±2.02a	13.46	0.00
每花序开花数 Flowers per inflorescence	28.94±2.94a	32.54±2.30a	30.71±3.04a	1.32	0.55
每花序结实数 Fruit setting per inflorescence	1.63±0.49b	7.62±0.75a	7.43±1.34a	24.23	0.00

大于PLS和SAA,而PLS和SAA差值不大。三个种群中每株结实数、每株结实率、每花序结实数在不同花部特征中差异显著。其大小为PLS和SAA显著大于PESS,而PLS和SAA差异不大。每花序中的开花数分别在种群1和种群2中无显著的差异,均值为PLS和SAA中要相对较大,其中PLS值要大于SAA值。在种群3中,每花序中的开花数差异显著。

其大小关系与种群 1 和种群 2 相同。

表 2 三种花部特征在种群 2 中的繁殖指标比较

Table 2 Reproductive indicators about floral characteristics of *E. wushanense* in Population 2

项目 Item	PESS	PLS	SAA	Chi-square	Sig.
每株分枝数	10.60±	8.13±	9.50±	2.53	0.28
Branches per plant	1.83a	1.31a	0.52a		
每株花序数	2.20±	1.75±	1.80±	0.16	0.92
Inflorescences number per plant	0.73a	0.31a	0.32a		
每株开花数	114.80±	120.38±	87.10±	2.22	0.29
Flowers per plant	23.91a	18.29a	15.82a		
每株结实数	15.00±	40.50±	33.20±	5.13	0.01
Fruit setting per plant	3.71b	8.57a	6.26a		
每株结实率 (%)	12.90±	32.76±	40.34±	11.14	0.00
Fruit-setting rate	1.70c	5.72b	6.26a		
每花序开花数	54.36±	68.79±	54.61±	0.30	0.26
Flowers per inflorescence	4.62a	3.58a	6.32a		
每花序结实数	5.91±	23.14±	20.44±	11.17	0.00
Fruit setting per inflorescence	1.15b	4.59a	2.87a		

表 3 三种花部特征在种群 3 中的繁殖指标比较

Table 3 Reproductive indicators about floral characteristics of *E. wushanense* in Population 3

项目 Item	PESS	PLS	SAA	Chi-square	Sig.
每株分枝数	10.00±	9.33±	9.43±	0.22	0.89
Branches per plant	2.00a	0.55a	1.27a		
每株花序数	2.25±	1.33±	1.86±	5.34	0.06
Inflorescences number per plant	0.31a	0.16a	0.34a		
每株开花数	82.00±	93.67±	90.29±	0.57	0.75
Flowers per plant	8.40a	12.17a	25.42a		
每株结实数	6.88±	38.22±	38.00±	14.27	0.00
Fruit setting per plant	1.44b	5.95a	9.82a		
每株结实率 (%)	8.39±	40.83±	46.73±	15.42	0.00
Fruit-setting rate	1.59b	7.20a	8.19a		
每花序开花数	36.56±	56.31±	47.06±	6.83	0.03
Flowers per inflorescence	2.13b	5.11a	7.33a		
每花序结实数	3.28±	23.00±	19.47±	26.11	0.00
Fruit setting per inflorescence	0.70b	3.09a	3.32a		

3.1.2 种群间不同花部特征的繁殖特点比较 由表 4 可知三个种群中巫山淫羊藿花部特征 PESS 的繁殖指标的差异。三个种群中单株分枝数和单株花序数均无显著差异,其中种群 2 和种群 3 的单株分枝数和单株花序数均值要大于种群 1。三个种群的单株开花数、单株结实率差异显著,三者的均值均为种群 2>种群 3>种群 1。而单株结实数、每花序开花数和每花序结实数在三个种群中差异极其显著,均值差异为种群 2>种群 3>种群 1。

三个种群间花部特征 PLS 的繁殖指标差异如表 5。三个种群中单株分枝数和单株花序数均无显著差异,其中种群 3 的单株分枝数均值要大于种群

1 和种群 2,单株花序数种群 1>种群 2>种群 3。三个种群的单株开花数、单株结实数、单株结实率差异显著,其中单株开花数、单株结实数、每花序结实数单株开花数均值为种群 2>种群 3>种群 1,而单株结实率和每花序结实数则是种群 3>种群 2>种群 1。单株结实数、每花序开花数和每花序结实数在三个种群中差异极其显著,均值差异为种群 2>种群 3>种群 1。每花序开花数和每花序结实数差异极其显著,均值为种群 2>种群 3>种群 1。

表 4 三个种群中巫山淫羊藿花部特征 PESS 的繁殖指标比较

Table 4 Reproductive indicators about PESS of *E. wushanense* in three populations

项目 Item	种群 1	种群 2	种群 3	Chi-square	Sig.
每株分枝数	9.17±	10.60±	10.00±	0.92	0.63
Branches per plant	0.54a	1.83a	2.00a		
每株花序数	2.00±	2.20±	2.25±	0.42	0.80
Inflorescences number per plant	0.36a	0.73a	0.31a		
每株开花数	51.67±	114.80±	82.00±	7.75	0.02
Flowers per plant	9.38c	23.91a	8.40b		
每株结实数	2.17±	15.00±	6.88±	11.20	0.00
Fruit setting per plant	0.87c	3.71a	1.44b		
每株结实率 (%)	3.78±	12.90±	8.39±	8.76	0.01
Fruit-setting rate	1.63b	1.82a	1.59a		
每花序开花数	28.94±	54.36±	36.56±	13.69	0.00
Flowers per inflorescence	2.94c	4.62a	3.58b		
每花序结实数	1.63±	5.91±	3.28±	11.38	0.00
Fruit setting per inflorescence	0.49c	1.15a	0.70b		

表 5 三个种群中巫山淫羊藿花部特征 PLS 的繁殖指标比较

Table 5 Reproductive indicators about PLS of *E. wushanense* in three populations

项目 Item	种群 1	种群 2	种群 3	Chi-square	Sig.
每株分枝数	8.43±	8.13±	9.33±	1.65	0.43
Branches per plant	1.06a	1.30a	0.55a		
每株花序数	1.86±	1.75±	1.33±	2.42	0.29
Inflorescences number per plant	0.26a	0.31a	0.16a		
每株开花数	60.43±	120.38±	93.67±	6.31	0.04
Flowers per plant	8.45c	18.29a	12.17b		
每株结实数	14.00±	40.50±	38.22±	9.31	0.01
Fruit setting per plant	2.17b	8.57a	5.95a		
每株结实率 (%)	23.49±	32.77±	40.83±	8.50	0.01
Fruit-setting rate	1.49c	5.72b	2.85a		
每花序开花数	32.54±	74.22±	54.61±	16.04	0.00
Flowers per inflorescence	2.30c	10.88a	6.32b		
每花序结实数	7.62±	24.33±	20.44±	14.06	0.00
Fruit setting per inflorescence	0.75b	6.07a	2.87a		

Nonparametric test 分析表明三个种群中 SAA 的单株分枝数和单株花序数无显著差异。而在单株开花数、单株结实数、单株结实率和单花序开花数中差

异显著。其中单株开花数为种群 2>种群 3>种群 1; 单株结实数、单株结实率为和单花序开花数为种群 3>种群 2>种群 1。而单花序结实数和单花序结实率在三个种群中差异极其显著,均值大小为种群 3>种群 2>种群 1。

表 6 三个种群中巫山淫羊藿花部特征 SAA 的繁殖指标比较
Table 6 Reproductive indicators about SAA of *E. wushanense* in three populations

项目 Item	种群 1	种群 2	种群 3	Chi-square	Sig.
每株分枝数 Branches per plant	9.00± 0.65a	9.50± 0.52a	9.43± 1.27a	0.30	0.85
每株花序数 Inflorescences number per plant	2.00± 0.30a	1.80± 0.32a	1.86± 0.34a	0.45	0.80
每株开花数 Flowers per plant	61.86± 10.95b	99.30± 12.36a	90.29± 25.42a	7.08	0.02
每株结实数 Fruit setting per plant	16.00± 3.89b	37.10± 5.43a	38.00± 9.82a	11.20	0.03
每株结实率 (%) Fruit-setting rate	24.70± 2.02c	37.45± 2.33b	46.73± 8.19a	8.76	0.02
每花序开花数 Flowers per inflorescence	30.71± 3.04b	47.39± 5.71a	51.65± 8.44a	9.82	0.01
每花序结实数 Fruit setting per inflorescence	7.43± 1.31b	18.44± 2.66a	21.65± 3.37a	15.01	0.00

3.2 种子产量

3.2.1 种群内不同花部特征的种子产量差异 由 one-way ANOVA 分析可知种群内不同花部特征的种子产量差异(表 7~表 10)。在三个种群中,不同花部特征的果实饱满种子数、败育数和败育率均具有显著差异,而种子数差异不大。其中花部特征 PESS 的饱满种子数显著要低于其余两种花部特征,而花部特征 PESS 败育数和败育率要显著高于 PLS 和 SAA。

3.2.2 种群间不同花部特征的种子产量差异 Non-parametric test 分析表明种群间不同花部特征中的饱满种子数、败育数、种子数和败育率均无显著的差异。从均值看,在 PESS 中种群 2 的饱满种子数、败育数和种子数均要高于种群 1 和种群 3,而种群 3 中的败育率却要高于种群 1 和种群 2。PLS 和 SAA 除了败育率种群 2 要高于种群 1 和种群 2 以外,其余与 PESS 一致。

4 讨论

本研究对巫山淫羊藿不同花部特征的繁殖特征比较分析表明:在三个种群中,每株分枝数、每株花序数和每株开花数均无显著差异,仅仅只有种群 3

中每花序的开花数具有差异,总的说来,在繁殖时

表 7 不同花部特征在三个种群中种子产量差异
Table 7 Seed yield of three populations in different floral characteristics

种群 Population	项目 Item	PESS	PLS	SAA	F	Sig.
1	饱满种子数	6.74± 0.36b	8.58± 0.51a	8.91± 0.38a	8.21	0.00
	败育数	2.95± 0.38a	1.72± 0.32b	1.61± 0.29b	4.89	0.01
	种子数	9.69± 0.36a	10.31± 0.32a	10.52± 0.35a	1.54	0.21
	败育率 (%)	29.00± 3.71a	16.14± 2.95b	16.60± 3.10b	5.02	0.01
	饱满种子数	6.00± 0.47b	9.28± 0.38a	8.65± 0.31a	19.05	0.00
	败育数	3.74± 0.40a	1.36± 0.25b	1.50± 0.30b	16.94	0.00
3	种子数	9.74± 0.42a	10.64± 0.33a	10.51± 0.32a	1.60	0.21
	败育率 (%)	37.85± 3.98b	12.65± 2.30a	13.86± 2.58a	22.20	0.00
	饱满种子数	7.00± 0.52b	9.32± 0.61a	9.03± 0.55a	4.98	0.01
	败育数	3.77± 0.65a	1.96± 0.40b	1.84± 0.41b	4.60	0.01
	种子数	10.77± 0.28a	11.29± 0.38a	10.88± 0.35a	0.61	0.54
	败育率 (%)	32.93± 5.42a	18.84± 3.90b	17.85± 3.82b	3.61	0.03
2	饱满种子数	6.74± 0.36b	8.58± 0.51a	8.91± 0.38a	8.21	0.00
	败育数	2.95± 0.38a	1.72± 0.32b	1.61± 0.29b	4.89	0.01
	种子数	9.69± 0.36a	10.31± 0.32a	10.52± 0.35a	1.54	0.21
	败育率 (%)	29.00± 3.71a	16.14± 2.95b	16.60± 3.10b	5.02	0.01
	饱满种子数	6.00± 0.47b	9.28± 0.38a	8.65± 0.31a	19.05	0.00
	败育数	3.74± 0.40a	1.36± 0.25b	1.50± 0.30b	16.94	0.00

期,种群中的不同花部特征的植株繁殖投资差异不大。而三个种群中每株结实数、每株结实率、每花序结实数在不同花部特征中差异显著,PLS 和 SAA 差值不大,而两者均要显著大于 PESS。在 Li *et al.* (2009) 年的研究中表明:PLS 和 SAA 的两性器官的变化有助于把花药和柱头进行空间隔离,增强花粉输出量,使柱头有更多的机会接受外源花粉,促进异交。而 PESS 中,在花药开裂后成熟花粉滞落在自身的柱头上而发生花粉阻塞,降低了植株的种子产量。我们的结果与其一致。因而在种群中不同花部特征对巫山淫羊藿的结实具有显著的影响,这与三型花柱 *Pontederia sagittata* 植物的结实情况一致 (Waites & Gren, 2006),但软紫草两型花柱的研究不一致。

三种花部特征在不同生境中单株分枝数和单株花序数均无显著差异。其中 PESS 三个种群的单株开花数、单株结实率差异显著,三者的均值均为种群 2>种群 3>种群 1。而单株结实数、每花序开花数和每花序结实数在三个种群中差异极其显著,均值差异为种群 2>种群 3>种群 1。PLS 三个种群的单株开花数、单株结实数、单株结实率差异显著,其中单株开花数、单株结实数、每花序结实数单株开花数均

值为种群 2>种群 3>种群 1,而单株结实率和

表 8 种群间不同花部特征的种子产量差异

Table 8 Seed yield of different floral characteristics among three populations

花部特征 Floral char- acteristics	项目 Item	生境 1 Habitat 1	生境 2 Habitat 2	生境 3 Habitat 3	Chi- square	Sig.
PESS	饱满种子数	6.74± 0.38a	7.00± 0.52a	6.00± 0.47a	3.86	0.14
	败育数	2.95± 0.38a	3.77± 0.65a	3.74± 0.40a	2.30	0.31
	种子数	9.69± 0.36a	10.77± 0.28a	9.74± 0.42a	4.92	0.08
	败育率(%)	29.00± 3.71a	32.93± 5.42a	37.85± 3.98a	2.96	0.22
PLS	饱满种子数	8.58± 0.36a	9.32± 0.61a	9.28± 0.38a	1.67	0.43
	败育数	1.72± 0.32a	1.96± 0.40a	1.36± 0.25a	1.03	0.59
	种子数	10.31± 0.32a	11.29± 0.38a	10.64± 0.33a	4.22	0.12
	败育率(%)	16.14± 2.95a	18.84± 3.90a	12.65± 2.30a	1.17	0.55
SAA	饱满种子数	8.91± 0.51a	9.03± 0.55a	8.65± 0.31a	0.55	0.75
	败育数	1.61± 0.29a	1.84± 0.41a	1.50± 0.30a	0.15	0.92
	种子数	10.52± 0.35a	10.88± 0.35a	10.15± 0.32a	2.67	0.26
	败育率(%)	16.60± 3.10a	17.85± 3.82a	13.86± 2.58a	0.33	0.84

每花序结实数则是种群 3>种群 2>种群 1。单株结实数、每花序开花数和每花序结实数均值差异为种群 2>种群 3>种群 1。SAA 中单株开花数为种群 2>种群 3>种群 1; 单株结实数、单株结实率为和单花序开花数为种群 3>种群 2>种群 1。而单花序结实数和单花序结实率均值大小为种群 3>种群 2>种群 1。

种群 1 可能由于处于阳坡的原因,出现矮化,花序相对较短,开花数量相对其余两个种群来说要少,因而在结实方面均值均要小于种群 2 和种群 3。由此可见,不同生境对巫山淫羊藿不同花部特征的结实成功具有显著的影响,甚至达到极其显著的水平,但影响程度在不同生境中表现不一,这与软紫草两型花柱的研究类似(冯建菊等 2006)。

不同花部特征的果实饱满种子数、败育数和败育率均具有显著差异,而种子数差异不大。其中花部特征 PESS 的饱满种子数显著要低于其余两种花部特征,而花部特征 PESS 败育数和败育率要显著高于 PLS 和 SAA。不同花部特征中的饱满种子数、败育数、种子数和败育率在种群间均无显著的差异。说明种子的多少更多地受到花部特征的影响。

参考文献:

- 张大勇. 2004. 植物生活史进化与繁殖生态[M]. 北京科学出版社: 292-328
- Arroyo J, Barrett SCH, Hidalgo R *et al.* 2002. Evolutionary maintenance of stigma-height dimorphism in *Narcissus papyraceus* (Amaryllidaceae) [J]. *Am J Bot* **89**: 1 242-1 249
- Barrett SCH. 1990. The evolution and adaptive significance of heterostyly [J]. *Trend Ecol Evol* **5**: 144-148
- Baker AM, Thompson JD, Barrett. 2000a. Evolution and maintenance of stigma-height dimorphism in *Narcissus*. I. Floral variation and style-morph ratios [J]. *Heredity* **84**: 502-513
- Baker AM, Thompson JD, Barrett SCH. 2000b. Evolution and maintenance of stigma-height dimorphism in *Narcissus*. II. Fitness comparisons between style morphs [J]. *Heredity* **84**: 514-524
- Barrett SCH, Jesson LK, Baker AM. 2000. The evolution and function of stylar polymorphisms in flowering plants [J]. *Ann Bot* **85** (Supplement A): 253-265
- Barrett SCH. 2003. Mating strategies in flowering plants: the outcrossing-selfing paradigm and beyond. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* [J]. *Biol Sci* **358**: 991-1 004
- Charlesworth D, Charlesworth B. 1979. A model for the evolution of distyly [J]. *Am Nat* **114**: 467-498
- Fisher RA. 1935. On the selective consequences of East's (1927) theory of heterostyly in *Lythrum* [J]. *J Gen* **30**: 369-382
- Feng JJ (冯建菊), Tang DY (谭敦炎). 2006. Comparative study of fruit setting characteristics of distyly *Arnebia euchroma* (Boraginaceae) plants (软紫草二型花柱植株结实特性的比较研究) [J]. *Acta Bot Bor-Occ Sin* (西北植物学报) **26**(12): 2 587-2 591
- Ishihama F, Nakano C, Ueno S *et al.* 2003. Seed set and gene flow patterns in an experimental population of an endangered heterostylous herb with controlled local opposite-morph density [J]. *Funct Ecol* **17**: 680-689
- Jacquemyn H, Van Rossum F, Brys R. *et al.* 2003. Effects of agricultural land use and fragmentation on genetics, demography and population persistence of the rare *Primula vulgaris* and implications for conservation [J]. *Belg J Bot* **136**: 5-22
- Jesson CK, Barrett SCH. 2002. Enatiostyly in *wachendorfia* (Hamamelidaceae): the influence of reproductive systems on the maintenance of the polymorphism [J]. *Am J Bot* **89**: 253-262
- Kery M, Matthies D, Schmid B. 2003. Demographic stochasticity in population fragments of the declining distylous perennial *P. veris* (Primulaceae) [J]. *Basic Appl Ecol* **4**: 197-206
- Lloyd DG, Webb CJ. 1992. The Selection of Heterostyly [M]// Barrett SCH (editor). Evolution and function of heterostyly. Berlin: Springer Verlag: 179-207
- Li QJ, Xu ZF, Kress WJ *et al.* 2001. Flexible style that encourages outcrossing [J]. *Nature* **410**: 432
- Li YX, Quan QM, Sun GL. 2009. Effect of floral morphology on fruit set in *Epimedium sagittatum* (Berberidaceae) [J]. *Plant Syst Evol* **279**: 51-58
- Richards AJ. 1997. Plant Breeding Systems [M]. Cambridge: Chapman & Hall
- Webb CJ, Pearson PE. 1993. The evolution of approach herkogamy from protandry in New Zealand *Gentiana* (Gentianaceae) [J]. *Plant Syst Evol* **186**: 187-191
- Wailes AR, Gren JA. 2006. Sigma receptivity and effects of prior self-pollination on seed set in tristylous *Lythrum salicaria* [J]. *Am J Bot* **93**(1): 142-147