

# 不同海拔狼毒种群花性状变异及交配系统特征的研究

骆望龙, 李佳欣, 孙淑范, 夏建强, 汪睿, 张勃

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**选择高海拔和低海拔 2 个不同地理分布的狼毒(*Stellera chamaejasme*)自然种群,通过对花性状测定和人工辅助授粉,探究了狼毒的花性状变异程度及其交配系统特征。结果表明:2 个狼毒种群花性状变异幅度较大,低海拔种群花性状变异系数为 9.25%~105.27%,高海拔种群为 4.32%~80.05%。狼毒花各性状的变异在不同种群内表现一致,单株丛花序数变异系数最大,单花序小花数变异次之,株高变异相对较小,冠口直径、花筒长和花序头直径变异系数最小,而且同一花性状均值在不同种群间存在极显著差异( $P < 0.01$ )。人工辅助授粉结果表明,在低海拔种群和高海拔种群中,自然授粉和人工异交处理下的结实率之间无显著差异( $P > 0.05$ ),自交、自主自交和无融合结实处理下的结实率均与自然授粉和人工异交处理存在显著差异( $P < 0.05$ )。综合表明,两狼毒种群花性状存在变异,且繁殖器官(除单株丛花序数和单花序小花数)的变异程度小于营养器官,其交配系统均为自交不亲和。

**关键词:**狼毒;花性状变异;交配系统

**中图分类号:**Q944.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)04-0027-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2020.04.005

植物的繁殖特征(Reproductive traits),尤其是花表型特征(Floral traits),无论是种内不同居群间还是居群内不同个体间均表现出巨大的变异性<sup>[1]</sup>。花性状与植物的传粉系统、性分配及生活史密切相关<sup>[2]</sup>,是应对环境变化的一种策略<sup>[3-4]</sup>。因此,花表型变异被认为是植物进化的显著标志<sup>[5]</sup>。交配系统是植物控制其配子结合形成合子的所有属性<sup>[6]</sup>,因而决定着种群世代间的基因传递、后代适合度及其遗传多样性,对物种的进化具有深远意义<sup>[2]</sup>。

狼毒(*Stellera chamaejasme*)是草原退化的重要指示性物种之一<sup>[7]</sup>,主要分布于东亚、南亚和俄罗斯等

国,我国主要分布在东北、西北和西南地区的温带草原或高寒草甸。狼毒的花序为管状小花组成的头状花序,花色变异较大,有黄色、红白色和纯红色等多种类型<sup>[8]</sup>。近年来,由于全球气候变化及人类长期对草地的干扰(如放牧、乱开滥垦等),狼毒在退化草地中大面积扩散,已造成我国优质草地面积和产草量急剧下降,严重影响到草地畜牧业的可持续发展<sup>[9-10]</sup>。因此,了解狼毒花性状变异及交配系统特征,掌握其繁殖适应性,对于有效控制狼毒种群的入侵和扩散具有重要意义。然而,目前有关狼毒的研究主要集中在种子散布特征<sup>[11]</sup>、种群空间分布格局和种群动态<sup>[12-13]</sup>、化感作用<sup>[14]</sup>以及繁殖分配<sup>[15-18]</sup>等方面,而对不同地理分布下狼毒花表型变异及交配系统特征的研究相对较少。为此,本文选取天祝和丽江两个狼毒自然种群,通过测量花性状和人工控制授粉处理,以期了解该物种花性状的变异性及其交配系统特征。具体回答如下 2 个问题:1)不同种群内狼毒花性状的变异特征是什么? 2)狼毒的交配系统是什么?

**收稿日期:**2019-10-24; **修回日期:**2019-11-08

**基金项目:**国家自然科学基金(31960349);甘肃省草学优势学科开放课题-学科建设专项基金(GAU-XKJS-2018-001)

**作者简介:**骆望龙(1992-),男,甘肃礼县人,在读硕士。

E-mail:18894310809@163.com

张勃为通讯作者。E-mail:zbsonny@163.com

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料和地点

本研究选取不同地理分布的 2 个狼毒种群,位于云南丽江东巴谷(N 27°00. 897', E 100°14. 683')的丽江种群和位于甘肃天祝白石头沟(N 37°12', E 102°47')的天祝种群。其中丽江种群的海拔为 2 660 m,花期在 5 月,花色为黄色;天祝种群的海拔为 3 071 m,花期在 7 月,花色为红白色。



图 1 狼毒花(序)形态(A和B)及花性状测量(C)示意图

Fig. 1 Schematic diagram of *S. chamaejasme* inflorescence (A and B) and floral traits measurement (C)

注:A 天祝狼毒种群的花序形态;B 丽江狼毒种群的花序形态;C 狼毒花部结构

### 1.3 交配系统的检测

在花苞期选择花期一致,生长健康的狼毒单枝花序进行挂牌标记。共标记 88 个花序。试验共设 5 个处理,具体操作如下。

(1)开放授粉(对照)。不去雄,不套袋,自然授粉,检测自然状态下的结实率。

(2)异花授粉。去雄,套袋,人工辅助异花授粉,检测异交亲和性及结实率。

(3)自交授粉。去雄,套袋,人工辅助自花授粉,检测自交亲和性及结实率。

(4)自主自交。不去雄,开花前套袋,检测是否存在自主自花授粉现象。

(5)无融合结实。去雄,套袋,不授粉,检测是否结实。

开放授粉、异花授粉和自交授粉各标记 22 个花序,共计 1 579 个小花;自主自交和无融合生殖各标记 11 个花序,共计 326 个小花。各处理花序(或小花)座果结实后统计其结籽数。

结实率 = (结实数 / 处理花朵数) × 100%。

### 1.4 数据处理

利用 R 3. 6. 1 软件对狼毒各种群花性状进行相关

### 1.2 花性状的测量

在盛花期,根据种群大小随机选择 100—120 个单枝(即花序),用电子游标卡尺(精度为 0. 01 mm)测量其花部结构的比例尺寸。测量性状包括花筒长、冠口直径、花序头直径(图 1)。每个单枝测量至少 5 朵小花,其平均值作为单枝花性状的表型值,各单枝平均值作为种群花性状的表型值。同时,统计该单枝花序的小花数,并用卷尺测量其株高,最后记录该花序在株丛的总花序数。

性分析和主成分分析,对不同授粉处理的结实率进行单因素方差分析, Sigmaplot 10. 0 软件进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 狼毒不同种群的花性状及其变异性

天祝和丽江狼毒种群花性状变异系数范围较大,但其花性状的变异趋势相同。其中,单株丛花序数变异系数最大,单花序小花数变异系数次之,株高的变异系数相对较小,冠口、花筒长和花序头直径变异系数最小,表明狼毒冠口直径、花筒长和花序头直径稳定性强于株高、单株丛花序数和单花序小花数(表 1)。

狼毒同一花性状在不同种群间存在极显著差异 ( $P < 0. 01$ )。天祝狼毒种群花性状除单株丛花序数极显著高于丽江种群外,其他花性状均极显著低于丽江种群。其中,株高间差异最大,单花序小花数间和花序头直径间差异次之,花筒长间和冠口直径间差异最小。

### 2.2 狼毒不同花性状间的相关性

天祝和丽江狼毒各性状间具有一定的相关性(表 2)。天祝狼毒种群中,花序头直径与除株高以外的其他性状具有极显著相关性,与花筒长的相关系数最大(0. 81);花筒长与除株高以外的其他性状具有显著相

关性;冠口直径与花筒长、花序头直径和单株丛花序数显著相关外,与株高和单花序小花数无相关性;株高与单花序小花数和单株丛花序数具有显著相关性,与其他性状均无相关性,相关个数最少。而在丽江狼毒种群中,花序头直径与除株高和单株丛花序数以外的其他性状具有显著相关性,与花筒长相关系数

最大(0.45);花筒长与花序头直径极显著相关外,与其他性状均无相关性;冠口直径与花序头直径和单花序小花显著相关,与其他性状无相关性;株高与单花序小花具有显著相关性,与其他性状均无相关性,相关个数最少。

表 1 狼毒种群花性状变异及其种群间比较

Table 1 Floral traits variation and its inter-population comparison in *S. chamaejasme* population

性状	狼毒种群				种群间比较	
	天祝 Mean±SE	CV/%	丽江 Mean±SE	CV/%	<i>t</i>	<i>P</i>
冠口直径/mm	0.55±0.01	14.07	0.69±0.01	15.20	-10.23	<0.001
花筒长/mm	11.75±0.10	4.32	12.88±0.13	9.97	7.09	<0.001
花序头直径/mm	28.60±0.24	9.28	30.46±0.28	9.25	5.05	<0.001
单花序小花数/个	25.73±0.65	27.87	28.89±0.77	27.19	3.14	<0.001
单株丛花序数/个	15.44±1.13	80.05	7.81±0.81	105.27	5.51	<0.001
株高/cm	19.41±0.31	17.75	27.37±0.50	18.55	13.52	<0.001

表 2 两狼毒种群不同花性状间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of different floral traits between two populations of *S. chamaejasme*

	冠口直径	花筒长	株高	花序头直径	单花序小花数	单株丛花序数
冠口直径		0.07	0.12	0.25*	0.29**	0.01
花筒长	0.48***		0.01	0.45***	-0.05	-0.10
株高	-0.05	0.07		0.18	0.22*	0.06
花序头直径	0.51***	0.81***	0.13		0.40**	0.01
单花序小花数	0.02	0.27**	0.23**	0.36***		0.24*
单株丛花序数	-0.22*	-0.22*	0.27**	-0.25**	-0.05	

注:表左下方天祝狼毒种群( $n=120$ );表右上方为丽江狼毒种群( $n=104$ );\*表示在 0.05 水平上差异显著;\*\*表示在 0.01 水平上差异显著;\*\*\*表示在 0.001 水平上差异显著

### 2.3 狼毒不同花性状变异主成分分析

通过对狼毒 6 个花性状进行主成分分析,两种群分别提取了 3 个主成份,结果如表 3 所示。天祝种群前 3 个主成了解释了总变异的 78.54%,丽江种群的 3 个主成了解释能力较弱,占总变异的 68.01%。天祝

种群第一主成分在花筒长、花序头直径和冠口直径 3 个性状的载荷最高,总体反映了繁殖器官小花和花序的大小。而丽江种群第一主成分在花序头直径和单花序小花数 2 个性状的载荷最高,主要反映了花序的总体大小。这说明在两个种群中与花大小相关的性状对

表 3 狼毒种群花性状变异的主成分分析

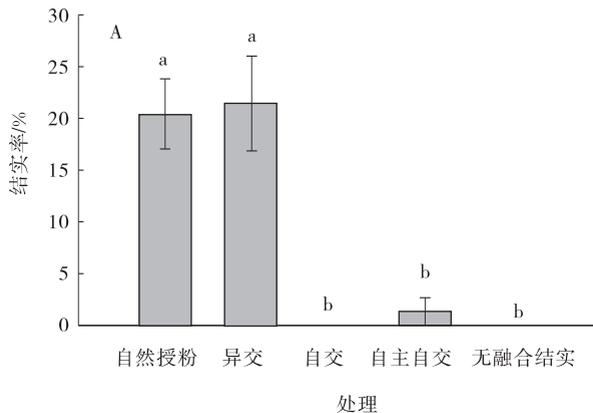
Table 3 Principal component analysis of floral traits variation in *S. chamaejasme* population

性状	天祝			丽江		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
冠口直径	0.435	-0.226	0.483	0.413	0.066	0.421
花筒长	0.566	0.026	0.121	0.296	-0.657	-0.340
花序头直径	0.588	0.075	0.047	0.585	-0.290	-0.178
单花序小花数	0.279	0.443	-0.662	0.519	0.370	-0.035
单株丛花序数	-0.251	0.509	0.528	0.141	0.549	-0.692
株高	0.062	0.698	0.182	0.331	0.204	0.442
特征值	1.565	1.175	0.940	1.366	1.139	0.959
累积贡献率/%	40.81	63.81	78.54	31.08	52.70	68.01

变异起主导作用。天祝种群第二主成分在株高和单株丛花序数上载荷最高,反映其株丛大小变异。丽江种群,第二主成分在单株丛花序数上载荷最高,为0.549,第三主成分在株高和冠口直径的载荷最高,分别为0.442和0.421。

## 2.4 不同授粉处理下狼毒的结实率

两种群不同授粉处理下的结实率均存在显著差异



(图2)。丽江种群在自然授粉和人工辅助异交处理下的结实率间无显著差异( $P>0.05$ );自交、自主自交和无融合结实处理下的结实率均显著低于自然授粉和异交授粉处理( $P<0.05$ )。同样,在天祝种群,自然授粉与异交授粉处理间也无显著差异( $P>0.05$ ),其自交、自主自交和无融合结实处理下的结实率为0。这表明两个狼毒种群均为异花传粉,需要传粉媒介。

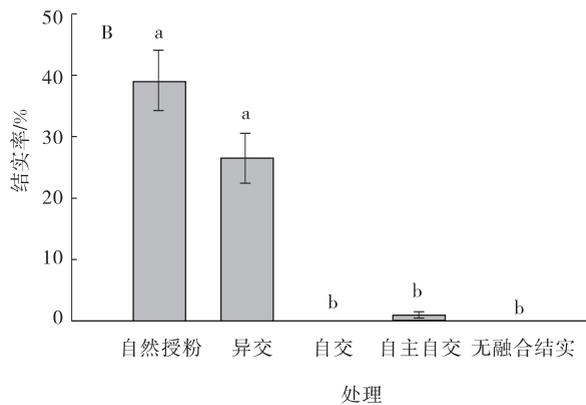


图2 狼毒2种群不同授粉处理下的结实率

Fig. 2 Fruit set ratio of two population of *S. chamaejasme* under different pollination treatments

注:A 丽江狼毒种群;B 天祝狼毒种群。不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

植物在同一物种不同种群或个体之间均存在着各种形式和不同程度的表型变异,这些变异是在自然选择压力下植物对生物和非生物环境适应的结果<sup>[19]</sup>。Berg假说认为,辐射对称花的变异异常高于两侧对称花<sup>[20]</sup>,但无论哪种花型,其繁殖性状的变异性都显著小于营养性状<sup>[21]</sup>。普遍认为,大多数植物繁殖性状尤其是花结构性状是传粉者介导自然选择进化的结果<sup>[19]</sup>,而营养性状易受空间地理环境的影响,表现出较大的表型可塑性<sup>[22,23]</sup>。同样,本研究发现,两狼毒种群内营养性状株高的变异系数相对较大,花部结构性状,如冠口直径、花筒长和花序头直径的变异系数较小,这与孙海芹等<sup>[19]</sup>的研究结果基本一致。花部结构性状具有较小的变异性说明这类性状相对保守,对保证植物授粉成功和维持物种稳定具有重要作用<sup>[24]</sup>。例如植物花大小变异较小能保证传粉昆虫精确传粉,提高传粉效率和繁殖适合度<sup>[25]</sup>。有研究表明,管状花植物因传粉特化也能导致其繁殖器官具有较小的变异性<sup>[21]</sup>,狼毒花序也由管状小花组成,花部器管变异性小可能也与其特化传粉者有关。而狼毒单株丛花序数和单花序小花数变异系数在两种群内表现最高,这可

能与种群内个体的年龄<sup>[26]</sup>或营养环境的高度异质性有关<sup>[4]</sup>,也可能与个体的遗传多样性(基因型)<sup>[27]</sup>有关。另外,本研究发现,低海拔狼毒种群花性状均值除单株丛花序数以外,其他花性状均值极显著高于高海拔种群。这可能是在高海拔区,温度低和生长季较短,可利用资源有限<sup>[28]</sup>,限制了狼毒的发育生长<sup>[29]</sup>。而高海拔狼毒种群具有高的单株丛花序数,这可能是因为随海拔升高访花昆虫的种类、数量和访花频率均随之下降<sup>[30]</sup>,植物增加繁殖枝数能大大提高其花展示(floral display),增大对传粉者的吸引,以提高其繁殖成功率。

植物交配系统不仅影响种群的进化潜力<sup>[31]</sup>,还决定着开花植物的入侵和扩散能力<sup>[32-33]</sup>。异交植物因其能避免自交或近交衰退(Inbreeding depression)<sup>[34]</sup>,被认为是开花植物最为有利的交配系统类型<sup>[35]</sup>。因此,异交既能保持植物高的遗传多样性,也能增强植物对环境的适应能力<sup>[36]</sup>。本研究表明,不同地理分布的两个狼毒种群均表现为自交不亲和,属典型的异交植物。狼毒这种自交不亲和系统,一方面保证了狼毒种群具有较高的遗传和表型多样性,从而增强了该物种对不同环境的适应能力;另一方面,自交不亲和系统有效避免了狼毒的近交衰退,使其产生的后

代与周围植物相比具有较强的竞争优势,增强了该物种的入侵能力。另外,Baker法则认为,具有自交亲和性和自主授精特征的植物最易成为入侵物种<sup>[37]</sup>,而狼毒作为典型的异交植物,在退化草地中能大面积入侵、扩散<sup>[10]</sup>,这可能与该物种的传粉系统特征有关。

## 4 结论

不同地理分布的狼毒种群其花性状具有丰富的表型多样性和变异性。花性状变异系数在高海拔种群和低海拔种群内总体表现为繁殖性状(除单株丛花序数和单花序小花数)变异较小,营养性状变异较大;低海拔种群可获得更多的资源投入,如株高、花序头直径和单花序小花数等的花性状均值极显著高于高海拔种群。2个狼毒种群均具有异交的交配系统特征,这是保证其种群具有高的遗传多样性和较强入侵扩散能力的基础。

### 参考文献:

- [1] 张勃. 鼠尾草花表型的进化生态学研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2010.
- [2] Barrett S C H, Crowson D. Mating Systems in Flowering Plants[J]. *Encyclopedia of Evolutionary Biology*, 2016, 473-479.
- [3] 邓荣华, 高瑞如, 刘后鑫, 等. 自然干旱梯度下的酸枣表型变异[J]. *生态学报*, 2016, 36(10): 2954-2961.
- [4] 社会聪, 蒋雅婷, 田敏, 等. 浙江省野生蜡梅花部形态变异及其与环境因子的相关性[J]. *生态学报*, 2018, 38(16): 5800-5809.
- [5] 张晶, 王玉祥, 张博. 新疆黄花苜蓿花部形态变异研究[J]. *中国草地学报*, 2012, 34(5): 47-52.
- [6] 张大勇, 姜新华. 植物交配系统的进化、资源分配对策与遗传多样性[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 130-143.
- [7] 王福山, 何永涛, 石培礼, 等. 狼毒对西藏高原高寒草甸退化的指示作用[J]. *应用与环境生物学报*, 2016, 22(4): 567-572.
- [8] 张永洪. 瑞香狼毒的繁育系统、分子进化及地理分布格局形成的研究[D]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 2008.
- [9] 刘英, 龙瑞军, 姚拓. 草地狼毒研究进展[J]. *草业科学*, 2004, 21(6): 55-61.
- [10] Zhao B Y, Liu Z Y, Hao L, *et al.* Damage and control of poisonous weeds in western grassland of China[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(10): 1512-1521.
- [11] 邢福, 王艳红, 郭继勋. 内蒙古退化草原狼毒种子的种群分布格局与散布机制[J]. *生态学报*, 2004, 24(1): 143-148.
- [12] 赵成章, 高福元, 王小鹏, 等. 黑河上游高寒退化草地狼毒种群小尺度点格局分析[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(11): 1319-1326.
- [13] 高福元, 赵成章, 卓马, 等. 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性[J]. *生态学报*, 2014, 34(3): 605-612.
- [14] 周淑清, 王慧, 黄祖杰, 等. 狼毒在土壤里腐解过程中对苜蓿化感作用的研究[J]. *中国草地学报*, 2008, 30(4): 78-82.
- [15] 李钰, 赵成章, 侯兆疆, 等. 高寒退化草地狼毒种群个体大小与茎、叶的异速生长[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 241-246.
- [16] 张茜, 赵成章, 董小刚, 等. 高寒退化草地不同海拔狼毒种群花大小与叶大小, 叶数量的关系[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(1): 40-46.
- [17] 侯兆疆, 赵成章, 李钰, 等. 不同坡向高寒退化草地狼毒株高和枝条数的权衡关系[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(3): 281-288.
- [18] Zhang Z Q, Zhang Y H, Sun H. The reproductive biology of *Stellera chamaejasme* (Thymelaeaceae): A self-incompatible weed with specialized flowers[J]. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2011, 206(6): 567-574.
- [19] 孙海芹, 李昂, 班玮, 等. 濒危植物独花兰的形态变异及其适应意义[J]. *生物多样性*, 2005, 13(5): 376-386.
- [20] Berg R L. The Ecological Significance of Correlation Pleiades[J]. *Evolution*, 1960, 14(2): 171-180.
- [21] 路宁娜, 赵志刚. 花对称性与植物花大小的变异性: 在高寒草甸植物群落检验 Berg 的假说[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(5): 460-467.
- [22] Wolfe L M, Krstolic J L. Floral Symmetry and Its Influence on Variance in Flower Size[J]. *American Naturalist*, 1999, 154(4): 484-488.
- [23] Paiaro V, Oliva G E, Cocucci A A, *et al.* Geographic patterns and environmental drivers of flower and leaf variation in an endemic legume of Southern Patagonia[J]. *Transactions of the Botanical Society of Edinburgh*, 2012, 5(1): 13-25.
- [24] 李海东, 任宗昕, 吴之坤, 等. 二型花柱植物海仙花报春花部性状随地理梯度的变异[J]. *生物多样性*, 2015, 23(6): 747-758.
- [25] Nikkeshi A, Kurimoto D, Ushimaru A. Low flower-size

- variation in bilaterally symmetrical flowers: Support for the pollination precision hypothesis[J]. *American Journal of Botany*, 2015, 102(12): 2032–2040.
- [26] 邢福, 郭继勋, 魏春雁. 退化草原狼毒个体年龄判定方法及其种群年龄结构的研究[J]. *应用生态学报*, 2004, (11): 2104–2108.
- [27] Ghimiray T S, Sarkar I, Roy A. Variability studies in chrysanthemum grown over two environments[J]. *Research on Crops*, 2005, 6(3): 514–516.
- [28] 何玉惠, 赵哈林, 刘新平, 等. 不同类型沙地长穗虫实的繁殖分配及其与个体大小的关系[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(1): 59–64.
- [29] Woodward A D. Evolutionary and ecophysiological responses of mountain plants to the growing season environment[J]. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 59–124.
- [30] Bingham R A, Orthner A R. Efficient pollination of alpine plants[J]. *Nature*, 1998, 391(6664): 238–239.
- [31] Muyle A, Marais G. Mating Systems in Plants, *Genome Evolution and*[J]. *Encyclopedia of Evolutionary Biology*, 2016, 480–492.
- [32] Charlesworth D. Evolution of plant breeding systems[J]. *Current Biology*, 2006, 16(17): 726–735.
- [33] Zhang L, Yu L, Lou A. No evolutionary change in the mating system of *Solanum rostratum* (Solanaceae) during its invasion in China[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 1–6.
- [34] Harwood C E, Thinh H H, Quang T H, *et al.* The effect of inbreeding on early growth of *Acacia mangium* Vietnam[J]. *Silvae Genetica*, 2004, 53(2): 65–69.
- [35] Nasrallah J B. Plant mating systems: self-incompatibility and evolutionary transitions to self-fertility in the mustard family[J]. *Current Opinion in Genetics & Development*, 2017, 47: 54–60.
- [36] O'Hanlon P C, Peakall R, Briese D T. A review of new PCR-based genetic markers and their utility to weed ecology[J]. *Weed Research*, 2000, 40(3): 239–254.
- [37] Baker H G. Self-compatibility and establishment after long-distance dispersal[J]. *Evolution*, 1955, 9(3): 347–349.

## Study on flower traits variation and mating system characteristics of populations of *Stellera chamaejasme* at high and low altitude

LUO Wang-long, LI Jia-xin, SUN Shu-fan, XIA Jian-qiang,  
WANG Rui, ZHANG Bo

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Eegineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In this study, two natural populations of *Stellera chamaejasme* were selected which were from different geographical distributions at high and low altitudes. The degree of variation in floral traits and the characteristics of its mating system were explored by the measurement of floral traits and the treatment of artificial assisted pollination. The results showed that the two *S. chamaejasme* population had a large variation in floral traits, and the coefficient of variation (CV) ranged from 9.25% to 105.27% in low-altitude population and from 4.32% to 80.05% in high-altitude population. The variation in all traits of *S. chamaejasme* was consistent in different populations. The CV of the number of inflorescence per plant was the largest, followed by the number of flowers per inflorescence, the CV of plant height was relatively small, and the CV of corolla diameter, cylinder length and inflorescence head diameter were the smallest; the mean values of the same flower traits were signifi-

cantly different between two populations ( $P < 0.001$ ). The results of artificial assisted pollination showed that there was no significant difference in the seed-setting rate between natural pollination and artificial cross-pollination treatment in low-altitude population and high-altitude population ( $P > 0.05$ ), while the seed-setting rate under self-pollination, autonomous self-fertilization and apomixis were significantly different from that under natural pollination and artificial cross-pollination treatment ( $P < 0.05$ ). In conclusion, there was variation in floral traits of two populations of *S. chamaejasme*, the degree of variation in the reproductive organs (except the number of inflorescence per plant and the number of flowers per inflorescence) was less than that of the vegetative organs, and their mating system were self-incompatibility.

**Key words:** *Stellera chamaejasme*; Floral traits variation; Mating system characteristics

.....  
(上接 26 页)

## Effect of low temperature stress on respiration of root in *Medicago sativa*

LIU Mei-jun<sup>1</sup>, DING Lu<sup>1</sup>, WANG Li-na<sup>1</sup>, HUANG Xin-ru<sup>1</sup>

(College of Grassland and Environment Science, Xinjiang Agricultural University, Key laboratory of Grassland Resources and Ecology of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** Respiration is the only source of energy for the alfalfa roots without chloroplasts. In this experiment, Xinmu No. 4 was used to study the effect of low temperature on the respiration in the alfalfa roots after the treatment at different temperature, 26°C, 12°C and 4°C. The results showed that low temperature significantly inhibited the growth of alfalfa roots, and the maximum degree of inhibition occurred under 4°C treatment. With the decline of treatment temperature, the proline content and conductivity of root cells increased significantly, which indicated that although self-osmotic regulation could resist low temperature stress, the membrane structure of root cells was still destroyed by the low temperature, especially under 4°C treatment. ATP content and the respiratory rate of total respiratory, cytochrome C oxidase (COX) pathway, and alternate oxidase (AOX) pathway, in alfalfa root cells decreased significantly in different degrees under both 12°C and 4°C treatment, and the most significant decline was found under 4°C treatment, indicating that low temperature stress significantly inhibited root respiratory metabolism, and resulted in insufficient energy supply to root cells. In addition, the ratio of AOX respiration to total respiratory in root cells increased gradually after different low temperature treatment, but the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content also increased significantly, which indicated that the increase in the ratio of AOX respiration to the total respiration in root cells at 4°C is not enough to eliminate the damage of reactive oxygen species to cells.

**Key words:** low temperature stress; respiratory electron transfer; reactive oxygen species; root; *Medicago sativa*