

doi:10.11937/bfyy.20174504

不同花色杂色钟报春花特征和繁殖分配的海拔差异

汪书丽¹, 张长耀², 罗建¹, 益西群培³

(1. 西藏农牧学院 高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 西藏农牧学院 公共教学部, 西藏 林芝 860000;
3. 西藏农牧学院 资源与环境学院, 西藏 林芝 860000)

摘要:以西藏色季拉山不同海拔梯度间 3 种花色杂色钟报春为试材, 采用野外采样的方法, 研究了不同海拔对花特征和繁殖分配的影响, 以期探讨不同花色杂色钟报春繁殖策略对海拔的响应。结果表明: 随着海拔的升高, 紫色居群的茎分配随着海拔的升高显著地降低。3 种花色杂色钟报春的叶分配呈增加趋势, 花分配呈减少趋势, 但差异并不显著。5 个花特征参数(总花数、单花面积、单花质量、花展示面积、繁殖投入)随着海拔的升高在 3 种花色中变化趋势不同, 但表现均不显著。繁殖分配随着海拔的升高而呈不显著的减少趋势。3 种花色的总花数、繁殖投入和白色类型的花展示面积与个体大小呈显著正相关。海拔和个体大小共同对总花数(白色类型)和繁殖投入(紫色类型)产生影响, 而对其它个体大小依赖的繁殖组分没有显著影响; 繁殖分配与个体大小呈负相关, 但在一些海拔梯度上不显著。总之, 海拔并不是影响杂色钟报春花特征和繁殖分配的唯一因子。不同花色的繁殖策略并不完全相同, 但差异不明显。

关键词:杂色钟报春; 不同花色; 花特征; 繁殖分配; 海拔; 个体大小依赖

中图分类号: S 682 1⁺. 5 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2018)16-0112-09

高山环境中, 较低的温度与湿度、严苛的土壤条件以及较短的生长季均限制了植物的营养生长, 同时较低的传粉者种类和数量、较低的传粉者活动能力会给植物带来较大的繁殖压力^[1], 因此高山植物的繁殖策略引起研究者的高度关注^[2]。

在山地生态系统中, 海拔常被用作生境梯度的天然划分依据, 海拔通过调节许多环境变量, 如降水量、温度、生长季长短和资源有效性等来影响植物的生长发育, 环境的这一系列变化会对植物

产生一种压力, 使植物的生活史对策发生一定的变化^[3]。随着海拔的变化, 植物的资源分配(主要包括繁殖分配和性分配)如何变化是近几年植物生活史研究的热点问题^[2,4]。而植株大小与资源分配的关系通常被认为是影响植物生活史特征的重要因素之一^[5]。植物繁殖性状的大小依赖性限制植株繁殖输出和繁殖成功的重要内在因素之一, 在影响植物繁殖分配的诸多因子中, 繁殖体大小与个体大小的关系被认为是生活史理论中最基本的研究内容^[6-7]。如果个体大小对繁殖性状的影响依赖于环境条件, 那么植物繁殖特征大小依赖性的现象在不同海拔间可能会有所不同^[8]。因此, 在研究海拔对植物花特征和繁殖分配的影响时, 需要探究海拔是直接产生影响还是通过影响个体大小而产生作用。

杂色钟报春 (*Primula alpicola* (W. W.

第一作者简介: 汪书丽(1983-), 女, 硕士, 副教授, 现主要从事植物系统分类和资源教学与科研等工作。E-mail: luocaoweikou07@126.com.

基金项目: 西藏农牧学院 2015 博士点建设资助项目 (STSD-3); 西藏特色农牧资源研发协同创新中心资助项目。

收稿日期: 2018-03-12

Smith) Stapf), 是高山植物中较有代表性的观赏植物。产于我国西藏东南部(朗县、米林、林芝), 生长于水沟边、灌丛下和林间草甸, 海拔 3 000~4 600 m。在不丹亦有分布^[9], 本种在同一生境的同一群体中常同时出现黄花、紫花和白花的个体。从花卉园艺的观点, 可分为 3 个变种: 原变种 var. *alpicola* 花黄色; 紫花变种 var. *violacea* Stapf. 花淡紫色或蓝紫色; 白花变种 var. *alba* W. W. Sm. 花白色^[10]。花色变化在有花植物中普遍存在, 至少在被子植物的 74 个科中均有此现象^[11], 而花色是植物吸引传粉者的最重要视觉信号^[12], 传粉者访花偏好性与花色有关^[13-14], 颜色鲜艳的花对传粉者的吸引力更强^[15-16]。因此, 不同花色的同种植物可能会有不同的繁殖策略。

关于杂色钟报春的繁殖生态方面的研究尚鲜见报道。该研究以其不同花色居群为试材, 以花特征和繁殖分配表征繁殖策略, 采用野外采样的方法, 研究海拔对不同花色杂色钟报春繁殖策略的影响, 通过分析不同海拔间差异, 以期探讨海拔变化对各花特征和繁殖分配的影响, 各花性状、繁殖分配和个体大小的关系, 以及海拔对各繁殖特征参数的个体大小依赖性的影响, 即其作用机制是直接通过影响个体大小来产生作用及不同花色杂色钟报春的繁殖策略是否存在明显差异等问题。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

样地位于青藏高原东南部的色季拉山, 系念青唐古拉山向南延伸的余脉, 与喜马拉雅山东部向北发展的山系相连。隶属于西藏自治区林芝县境内(东经 94°25'~94°45', 北纬 29°35'~29°57')。西坡最低海拔高度为 2 800~3 000 m, 东坡低至 2 100 m, 主峰海拔高度 5 200 m^[17]。其地处藏东南湿润气候区与半湿润气候区的分界面上, 受印度洋季风的影响, 气候冬温夏凉、干湿季分明。发育了完整的山地垂直生态系统, 属于东喜马拉雅北翼山地森林及高山生态系统的典型代表^[17-18]。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置和取样

2015、2016 年 6—8 月在色季拉山境内根据杂色钟报春的实际分布情况共选取海拔梯度 7 个

(表 1), 其中黄色类型和白色类型分布较广, 均选取 5 个海拔梯度: 黄色为 3 350、3 595、3 841、4 067、4 415 m, 白色类型为 3 384、3 595、3 841、4 067、4 415 m。紫色类型分布较少, 仅在 3 个海拔采集到个体: 3 243、3 595、3 841 m; 每个海拔梯度分别选择 4 个间距大于 1 km 的生境相似的样点, 所有植株均在自然状态下搜集, 将各部分器官装到信封并标记带回实验室。每个样点收集 6~8 株, 这样每个海拔收集 30 株左右(白色和紫色类型数量个别海拔梯度仅找到零星个体, 尤其是紫色类型数量很少, 图 1)。

1.2.2 花特征的测量和生物量的测定

总花数、花数目(正在盛开的花的数目)、花面积、单花面积、花展示面积、花分配、茎分配、叶分配、个体大小、繁殖分配和繁殖投入的测量和计算主要参考苏梅等^[19]和李冰等^[20]的方法。其中, 单花面积是对每个植株盛开的花中随机测量 3 朵花的花面积取平均值, 茎的生物量包括茎和花序梗的总干质量。

表 1 色季拉山杂色钟报春居群概况

Table 1 The background of populations of *P. alpicola* on Sejila mountain

海拔 Altitude/m	花色 Color	经度 Longitude	纬度 Latitude	生境 Habitat
3 243	紫色	94°18'8.5"	29°39'32.5"	山坡草地
3 350	黄色	94°30'15.9"	29°33'59.3"	山坡草地
3 384	白色	94°33'24.8"	29°33'29.0"	山坡草地
3 595	白色, 黄色, 紫色	94°25'34.8"	29°38'47.3"	林缘草地
3 841	白色, 黄色, 紫色	94°26'50.7"	29°38'51.0"	林缘草地
4 067	白色, 黄色	94°35'37.7"	29°34'58.4"	山坡草地
4 415	白色, 黄色	94°40'23.1"	29°37'6.0"	山坡草地

1.3 数据分析

采用 SAS System for Windows V8 软件和 SPSS 19.0 软件对各个参数在不同海拔间取平均值, 用一般线性回归分析海拔和各花特征、繁殖分配的关系并作图; 在对个体大小和花特征及繁殖分配的关系进行分析时, 对个体大小、花特征和繁殖分配数据均进行了常用对数转换; 用一般线性回归分析每个海拔梯度的各花色居群的花特征和繁殖分配与个体大小的关系。对于与个体大小在各个海拔均显著($P < 0.05$)相关的参数, 则以个体大小为协变量, 运用 SPSS 19.0 软件协方差分析比较不同海拔居群间斜率和截距的差异。



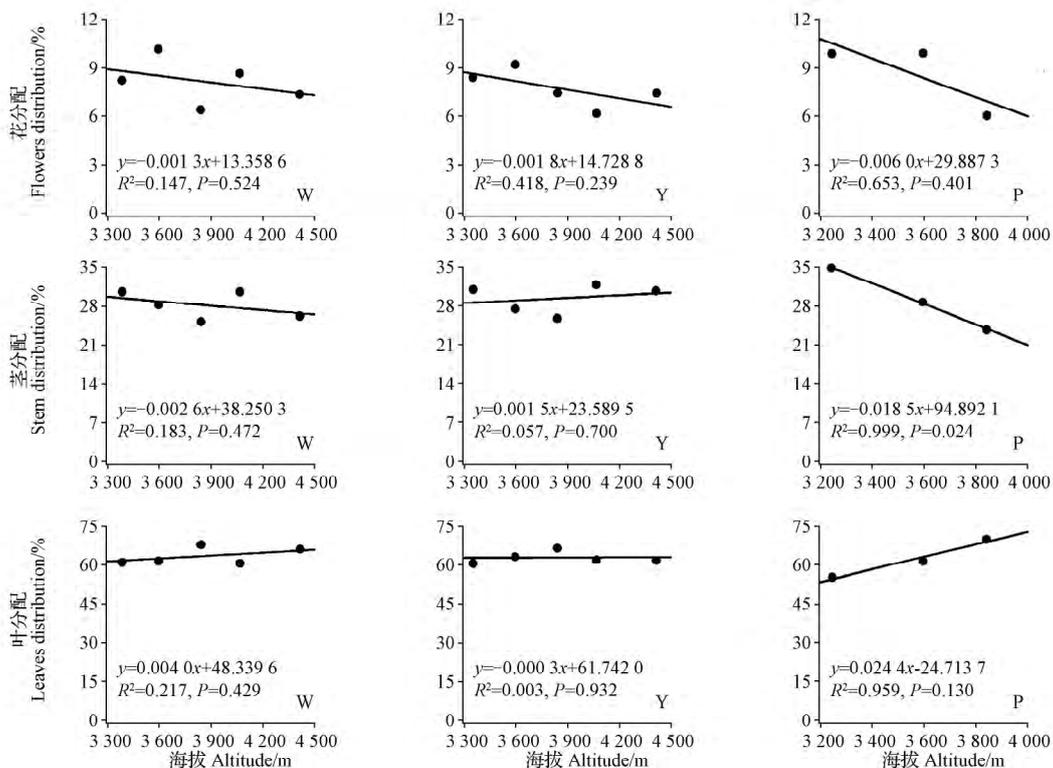
图1 3种花色的杂色钟报春
Fig 1 Three colors of *P. alpicola*

2 结果与分析

2.1 海拔对地上生物量分配的影响

随着海拔的升高,3种花色杂色钟报春的花分配呈降低趋势,但均未达到显著水平($P > 0.05$);3种花色杂色钟报春分配到茎上的部分所占比例随海拔的升高变化不同:黄色表现为正相关,但不差异显著($P > 0.05$)。白色和紫色类型均表现为负相关,其中紫色达到显著水平($P < 0.05$),白色未达到显著水平($P > 0.05$);3种类型的叶分配随着海拔升高均呈不显著($P > 0.05$)的

0.05);3种花色杂色钟报春分配到茎上的部分所占比例随海拔的升高变化不同:黄色表现为正相关,但不差异显著($P > 0.05$)。白色和紫色类型均表现为负相关,其中紫色达到显著水平($P < 0.05$),白色未达到显著水平($P > 0.05$);3种类型的叶分配随着海拔升高均呈不显著($P > 0.05$)的



注:W. 白色杂色钟报春;Y. 黄色杂色钟报春;P. 紫色杂色钟报春。下同。
Note: W. White *P. alpicola*; Y. Yellow *P. alpicola*; P. Purple *P. alpicola*. The same below.

图2 不同海拔间地上生物量分配的变化

Fig 2 Variation of above ground biomass allocation among altitudes

增加趋势(图 2)。总之,3 种花色类型的杂色钟报春的地上生物量分配与海拔的相关性分析中,除紫色类型的茎分配与海拔表现出了显著的负相关性,3 种花色的花分配和叶分配分别随着海拔呈不显著的降低和增加趋势。

2.2 海拔对花特征和繁殖分配的影响

从图 3 可以看出,3 种花色的杂色钟报春随

着海拔的升高,总花数、单花面积、单花质量、花展示面积、繁殖投入变化趋势几乎不同,但差异均不显著($P>0.05$);随着海拔的升高,白色和黄色杂色钟报春的总花数呈减少趋势,紫色表现为增加趋势;白色杂色钟报春的单花面积随海拔升高而减小,黄色和紫色则增加;3 种花色杂色钟报春的单花质量均随海拔升高而减少;3 种花色杂色钟

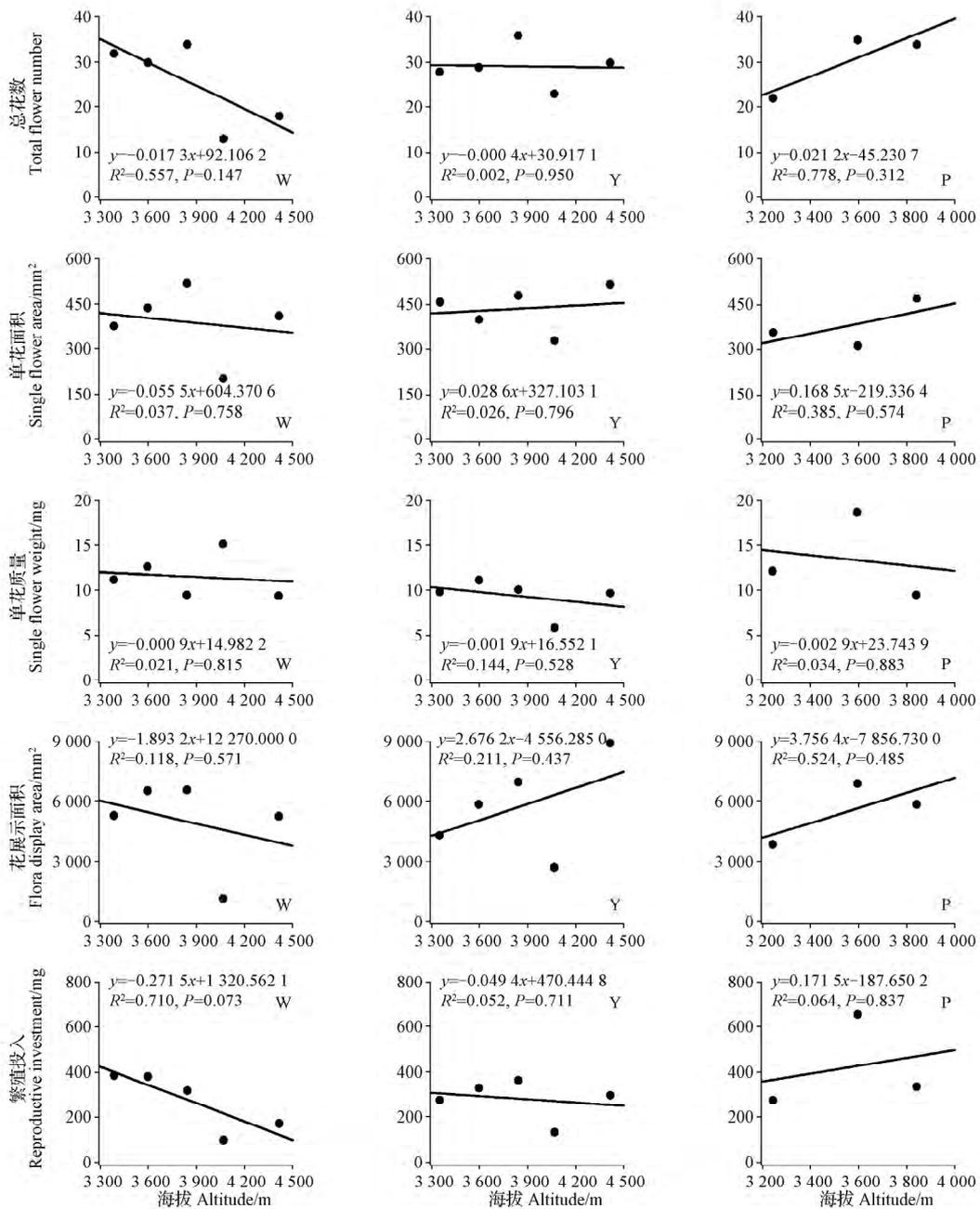


图 3 不同海拔间花特征的变化

Fig. 3 Variation of flower traits among altitudes

报春的花展示面积随着海拔升高的变化趋势不同:白色居群减小,而黄色和紫色居群呈增大趋势;白色和黄色杂色钟报春的繁殖投入与海拔呈负相关,紫色呈正相关。

从图4可以看出,3种花色杂色钟报春的繁殖分配随海拔的升高均呈下降趋势,但差异均不显著($P>0.05$)。

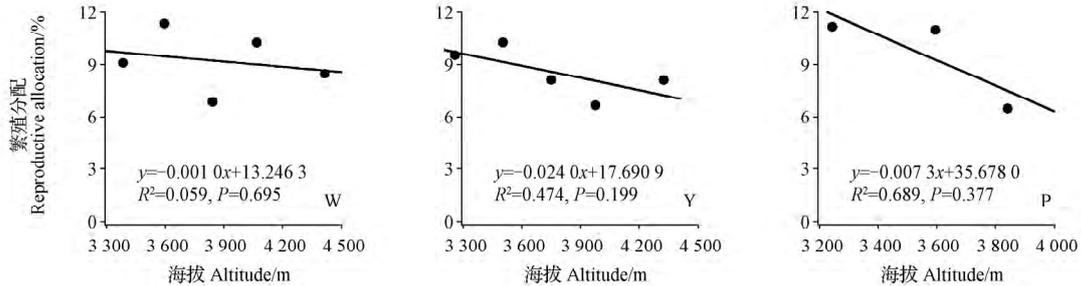


图4 不同海拔间繁殖分配的变化

Fig. 4 Variation of reproductive allocation among altitudes

2.3 个体大小对繁殖特征和繁殖分配的影响

白色和紫色杂色钟报春分别在海拔4067、3595 m处仅发现3个个体,2种花色的这2个海拔均不参与个体大小相关性的计算。

由表2可知,3种花色杂色钟报春5个花特征和繁殖分配与个体大小相关性表现模式不同。在不同海拔梯度下,3种花色杂色钟报春的总花数和繁殖投入、白色类型的花展示面积均表现出极显著或显著的正相关模式,说明这些特征是个体大小依赖的。相对于个体大小的增大,总花数、繁殖投入和花展示面积(白色类型)均相应的增加;3种花色的单花面积、单花质量在各个海拔梯度上与个体大小相关模式不同,在一些海拔梯度与个体大小相关性不显著,整体上没有表现出统一的个体大小依赖性。黄色和紫色居群的花展示

面积随着个体大小的增大而呈增加趋势,但在一些海拔相关性不显著,整体没有表现出个体大小依赖性。3种花色的繁殖分配在各个海拔梯度上与个体大小都表现出负相关,但在个别海拔上相关性不显著;不同海拔间,白色类型的总花数以及紫色类型的繁殖投入与个体大小的回归斜率变化显著($P<0.05$),但截距差异不显著。说明个体大小依赖的总花数(白色)和繁殖投入(紫色)在海拔间的差异是通过海拔影响个体大小而产生的;而黄色和紫色类型的总花数、白色类型的花展示面积、白色和黄色类型的繁殖投入个体大小依赖的斜率和截距在海拔间差异均不显著,表明海拔效应和海拔-个体大小交互作用对这些组分在海拔间的差异均无显著的影响。

表2 不同海拔间个体大小与花特征和繁殖分配的关系

Table 2 Relationships between plant size and floral traits and reproductive allocation among altitudes

颜色 Color	海拔 Altitude/m	样本数 Number	总花数 Total flower number	单花面积 Single flower area	单花质量 Single flower weight
白色 White	3384	30	$y=0.5384x-0.4491$ $R^2=0.642$ $P<0.001$	$y=0.0910x+2.2422$ $R^2=0.062$ $P=0.183$	$y=0.2865x-0.0035$ $R^2=0.212$ $P=0.010$
	3595	30	$y=0.4927x-0.2683$ $R^2=0.669$ $P<0.001$	$y=0.1139x+2.2333$ $R^2=0.075$ $P=0.144$	$y=0.1025x+0.7340$ $R^2=0.055$ $P=0.213$
	3841	29	$y=0.4852x-0.2577$ $R^2=0.386$ $P<0.001$	$y=0.1192x+2.2730$ $R^2=0.043$ $P=0.282$	$y=-0.0260x+1.0638$ $R^2=0.002$ $P=0.836$
	4415	31	$y=0.5150x-0.4985$ $R^2=0.633$ $P<0.001$	$y=0.1129x+2.2251$ $R^2=0.102$ $P=0.081$	$y=-0.0159x+0.9910$ $R^2=0.001$ $P=0.891$
F值 F value			A=1.072ns B=4.446*		

表 2(续)
Table 2(Continued)

颜色 Color	海拔 Altitude/m	样本数 Number	总花数 Total flower number	单花面积 Single flower area	单花质量 Single flower weight
黄色 Yellow	3 350	30	$y=0.4761x-0.2079$ $R^2=0.618$ $P<0.001$	$y=0.2412x+1.8165$ $R^2=0.157$ $P=0.030$	$y=0.2122x+0.2060$ $R^2=0.037$ $P=0.311$
	3 595	30	$y=0.4817x-0.2303$ $R^2=0.586$ $P<0.001$	$y=0.3115x+1.5013$ $R^2=0.220$ $P=0.009$	$y=0.1956x+0.3413$ $R^2=0.047$ $P=0.252$
	3 841	30	$y=0.4424x-0.0714$ $R^2=0.345$ $P<0.001$	$y=0.0764x+2.3909$ $R^2=0.013$ $P=0.550$	$y=-0.1951x+0.2709$ $R^2=0.043$ $P=0.270$
	4 067	30	$y=0.3162x+0.3026$ $R^2=0.202$ $P=0.013$	$y=0.2405x+1.7177$ $R^2=0.168$ $P=0.025$	$y=0.3992x-0.6006$ $R^2=0.066$ $P=0.170$
	4 415	30	$y=0.4483x-0.1342$ $R^2=0.514$ $P<0.001$	$y=-0.0148x+2.754$ $R^2=0.001$ $P=0.863$	$y=0.2256x+0.1722$ $R^2=0.182$ $P=0.019$
F 值 F value			A=0.507ns B=1.854ns		
紫色 Purple	3 243	30	$y=0.3590x+0.0956$ $R^2=0.228$ $P=0.008$	$y=0.2770x+1.5551$ $R^2=0.867$ $P=0.002$	$y=0.1925x+0.4017$ $R^2=0.046$ $P=0.256$
	3 841	25	$y=0.4480x-0.1297$ $R^2=0.609$ $P<0.001$	$y=0.1869x+1.9792$ $R^2=0.161$ $P=0.050$	$y=0.5501x-1.0747$ $R^2=0.407$ $P<0.001$
F 值 F value			A=0.937ns B=5.458ns		

颜色 Color	海拔 Altitude/m	样本数 Number	花展示面积 Flora display area	繁殖投入 Reproductive investment	繁殖分配 Reproductive allocation
白色 White	3 384	30	$y=0.5597x+1.6734$ $R^2=0.488$ $P<0.001$	$y=0.8248x-0.4526$ $R^2=0.569$ $P<0.001$	$y=-0.1752x+1.5474$ $R^2=0.056$ $P=0.207$
	3 595	30	$y=0.4507x+2.1881$ $R^2=0.195$ $P=0.015$	$y=0.5952x+0.4657$ $R^2=0.659$ $P<0.001$	$y=-0.4048x+2.4657$ $R^2=0.471$ $P<0.001$
	3 841	29	$y=0.4212x+2.2570$ $R^2=0.270$ $P=0.004$	$y=0.4592x+0.8061$ $R^2=0.367$ $P<0.001$	$y=-0.5408x+2.8061$ $R^2=0.446$ $P<0.001$
	4 415	31	$y=0.5468x+1.8295$ $R^2=0.423$ $P<0.001$	$y=0.4991x+0.4926$ $R^2=0.301$ $P=0.001$	$y=-0.5010x+2.4926$ $R^2=0.303$ $P=0.001$
F 值 F value			A=0.550ns B=2.655ns	A=1.114ns B=1.811ns	
黄色 Yellow	3 350	30	$y=0.4983x+1.8684$ $R^2=0.183$ $P=0.019$	$y=0.6883x-0.0019$ $R^2=0.283$ $P=0.003$	$y=-0.3117x+1.9981$ $R^2=0.075$ $P=0.143$
	3 595	30	$y=0.4782x+2.0360$ $R^2=0.128$ $P=0.052$	$y=0.6773x+0.1110$ $R^2=0.365$ $P<0.001$	$y=-0.3228x+2.1110$ $R^2=0.116$ $P=0.066$
	3 841	30	$y=0.3666x+2.4642$ $R^2=0.092$ $P=0.104$	$y=0.6375x+0.1994$ $R^2=0.276$ $P=0.003$	$y=-0.3626x+2.1994$ $R^2=0.110$ $P=0.074$
	4 067	30	$y=0.3743x+2.1670$ $R^2=0.110$ $P=0.074$	$y=0.7154x-0.2980$ $R^2=0.161$ $P=0.028$	$y=-0.2847x+1.7020$ $R^2=0.030$ $P=0.364$
	4 415	30	$y=0.2917x+2.8880$ $R^2=0.130$ $P=0.051$	$y=0.6738x-0.0380$ $R^2=0.568$ $P<0.001$	$y=-0.3262x+2.0380$ $R^2=0.236$ $P=0.007$
F 值 F value			A=1.147ns B=2.644ns		
紫色 Purple	3 243	30	$y=0.2889x+2.5160$ $R^2=0.202$ $P=0.312$	$y=0.5514x+0.4973$ $R^2=0.202$ $P=0.013$	$y=-0.4486x+2.4973$ $R^2=0.144$ $P=0.039$
	3 841	25	$y=0.4807x+1.9650$ $R^2=0.232$ $P=0.015$	$y=0.9982x-1.2044$ $R^2=0.670$ $P<0.001$	$y=-0.0019x+0.7956$ $R^2=0$ $P=0.990$
F 值 F value			A=5.299ns B=6.917*		

注: A 为截距, B 为斜率; * 差异显著 ($P<0.05$), ** 差异极显著 ($P<0.01$), ns 差异不显著。

Notes: A. Intercept, B. Slope; *, Significant differences at the 0.05 level; **, Significant differences at the 0.01 level; ns. No significant differences.

3 讨论与结论

3.1 海拔对地上生物量分配的影响

生物量分配是重要的资源配置方式,是植物净碳获取的重要驱动因子,生物量分配格局和方式对植物未来的生长与繁殖具有直接的影响^[21]。随着海拔升高,空气更加稀薄、太阳辐射增强、土壤湿度降低,导致投入到营养器官的资源减少,继而相对增加了对繁殖器官的资源投入^[1]。一些研究认为,随着海拔的升高,植物对叶的投入越小,对花和茎的投入越大^[19-20],而课题组通过地上生物量参数与海拔的线性回归分析显示,紫色类型的茎分配随着海拔的升高显著地降低,这与上述结论相反,但紫色居群分布相对较少,海拔梯度仅设置3个,一定程度可能会影响结果,需要进一步的扩大海拔梯度范围来确定。除此之外,随着海拔的升高,3种花色杂色钟报春对叶的投入呈增加趋势,对花的投入反而呈减少趋势,与其它研究成果的结论也不相同,但统计意义上并不显著。原因可能在于海拔并不是唯一的作用因子,环境中的其它因子如坡向、植被、土壤、干扰等以及内在的系统发育等都会对植物的繁殖策略产生影响^[2]。其它环境因子的综合作用使生物量分配和海拔之间的关系并不显著;另外也可能是采样时个体发育时间尤其是花期不同造成的,高海拔样点的花期稍滞后影响花的总生物量。

3.2 海拔对花特征和繁殖分配的影响

随着海拔的升高,昆虫的多样性和活动能力降低^[22],高海拔植物面对传粉者缺乏的选择压力和恶劣自然环境的资源限制,需要在繁殖器官花部做出努力,来加大昆虫前来传粉的“广告投资”。一些研究中,随着海拔升高,植物花大小(单花质量)增大而花数量减少^[23],增大花展示面积^[19-20],繁殖器官的绝对资源量(繁殖投入)减少而繁殖器官生物量的比重增加^[24-25]。该研究结果表明,随着海拔的升高,3种花色的杂色钟报春的单花质量减少,与以往研究不同。而总花数、单花面积、花展示面积和繁殖投入在3种花色中变化趋势不同,但5个特征变化均不显著。

关于海拔和繁殖分配的关系,多数研究认为植物的繁殖分配随着海拔的升高而增加^[2,23,26]。

说明由于资源限制的存在,随着海拔的升高,大多数高山植物会选择增加繁殖器官相对资源量的投入,即增加繁殖分配^[24];该研究结果中,3种花色杂色钟报春的繁殖分配均随着海拔的升高而减少,与上述多数研究结论相反,但表现并不显著,支持植物的繁殖分配模式随海拔的升高并不总是呈现一致性的变化规律^[2,27]。

随着海拔的升高,3种花色杂色钟报春在花部特征和繁殖投入呈现的趋势与其它研究结果不太一致,且统计学上并不显著,并未表现出明显的规律性,说明海拔对这些繁殖特征参数的影响不大。原因可能在于:其它环境因子同样影响了杂色钟报春的繁殖策略。杂色钟报春一般生长在牛、羊等牲畜干扰较多的环境,动物干扰因素可能也会影响其繁殖策略的变化;另外,在色季拉山,杂色钟报春一般生长水资源充裕的草甸,而且高海拔地区土壤有机物不易分解而导致土壤潜在肥力增加,可能不存在资源限制^[27]。

3.3 个体大小对繁殖特征和繁殖分配的影响

3种花色的总花数和繁殖投入与个体大小呈显著正相关,即同一海拔梯度下,个体越大,植株生产的花越多,对花投入的绝对资源量越多,表现出了植物繁殖适合度的提高;白色类型的花展示面积与个体大小呈显著正相关,支持苏梅等^[19]的结论,即个体较大的植株具有较大的可利用资源量,可将更多的资源分配给花展示,虽然增加了成本,但能获得更大的收益。白色居群的总花数和紫色居群的繁殖投入个体大小依赖的回归斜率在海拔间差异显著截距差异不显著,说明海拔-个体大小共同产生影响。而不同花色的花特征参数和个体大小的回归斜率和截距在海拔间差异均不显著,表明海拔效应和海拔-个体大小交互作用均没有显著的影响。除海拔和个体大小外,其它生境或内在遗传等因素可能影响了这些繁殖组分。

对于一个有限的资源库来说,对繁殖活动投入越大,意味着对营养活动的减少,导致获取资源的能力下降,影响个体的存活和生长^[28]。因此,多数研究支持繁殖分配存在个体大小依赖性,且个体大小与繁殖分配呈负相关^[19,28-29]。不同海拔梯度下,随着个体的增大,3种花色的杂色钟报春的繁殖分配呈降低趋势,支持上述结论。但是该研究结果中繁殖分配和个体大小在一些海拔梯度

上,不存在显著的相关性。植物存在个体大小依赖的繁殖分配的前提条件是假定植物的可用资源一定^[30]。杂色钟报春可能生境营养条件较好,受资源限制较小,使繁殖分配在一些海拔梯度并不显著地依赖于个体大小。

综上,海拔对 3 种花色杂色钟报春的地上生物量(除紫色居群的茎分配与海拔显著负相关)、花特征和繁殖分配参数的影响基本上不显著,说明海拔不是影响杂色钟报春的唯一作用因子;3 种花色的总花数、繁殖投入和白色居群的花展示面积存在个体大小依赖性。海拔和个体大小共同对总花数(白色居群)和繁殖投入(紫色居群)产生影响,而对其它不同花色的繁殖组分海拔间的差异没有显著影响。繁殖分配在一些海拔梯度上,不存在显著的个体大小依赖性;综合海拔和个体大小 2 个方面的相关分析,随着海拔的升高,不同花色杂色钟报春的繁殖策略并不完全相同,各个繁殖参数变化趋势在不同花色中不完全一致,随着环境改变做出了一定的适应性调整,但差异并不明显。除了海拔和个体大小,交配系统、生活史特征、遗传特性及个体间的竞争(种群密度)和环境中的资源有效性水平都能影响植物的资源分配策略^[31-33]。因此要明确杂色钟报春的繁殖策略问题还需要进一步研究。

参考文献

[1] 张露文,吴云,刘光立.不同海拔全缘叶绿绒蒿繁殖分配的差异[J].北方园艺,2016(18):52-56.

[2] 彭德力,张志强,牛洋,等.高山植物繁殖策略的研究进展[J].生物多样性,2012,20(3):286-299.

[3] 董小刚.高寒退化草地狼毒种群繁殖分配与繁殖对策研究[D].兰州:西北师范大学,2011.

[4] 王一峰,靳洁,曹家豪,等.川西风毛菊果期资源分配对海拔的响应[J].生态学报,2016,36(18):5790-5797.

[5] LIU F, CHEN J M, WANG Q F. Trade-offs between sexual and asexual reproduction in a monoecious species *Sagittaria pygmaea* (Alismataceae): The effect of different nutrient levels[J]. Plant Systematics and Evolution, 2009, 277: 61-65.

[6] MCINTOSH M E. Plant size, breeding system, and limits to reproductive success in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae)[J]. Plant Ecology, 2002, 162(2): 273-288.

[7] 刘左军,杜国桢,陈家宽.不同生境下黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)个体大小依赖的繁殖分配[J].植物生态学报,2002,26(1):44-50.

[8] CAO G X, KUDO G. Size-dependent sex allocation in a

monocarpic perennial herb, *Cardiocrinum cordatum* (Liliaceae)[J]. Plant Ecology, 2008, 194(1): 99-107.

[9] 陈封怀,胡启明.报春花属[M]//中国植物志编辑委员会.中国植物志:第 59 卷.北京:科学出版社,1990:138-139.

[10] 胡启明.报春花属[M]//吴征镒.西藏植物志:第三卷[M].北京:科学出版社,1986:833.

[11] 尚利娜.长白山地区访花昆虫与蜜源植物的协同适应[D].长春:东北师范大学,2010.

[12] 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.

[13] 施海燕,吴杰,李继莲,等.小峰熊蜂访花偏爱性[J].昆虫学报,2008,51(9):946-952.

[14] ROMINA M, JULIETA N. Pollinator response to flower color polymorphism and floral display in a plant with a single-locus floral color polymorphism: Consequences for plant reproduction[J]. Ecological Research, 2012, 27(2): 377-385.

[15] 吴雪莲,谭敦炎.异果芥的花部综合征及其繁育系统[J].植物分类学报,2007,45(4):538-550.

[16] POTTS S G, BIESMEIJER J C, KREMEN C, et al. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2010, 25(6): 345-353.

[17] 徐凤翔.西藏色季拉山森林植被类型、生态环境及经营措施研究的综合报告[M]//徐凤翔.西藏高原森林生态研究.沈阳:辽宁大学出版社,1995.

[18] 柴勇,彭建松,张国学.西藏色季拉山种子植物区系分析[J].云南林业科技,2003(3):36-47.

[19] 苏梅,齐威,阳敏,等.青藏高原东部大通翠雀花的花特征和繁殖分配的海拔差异[J].兰州大学学报(自然科学版),2009,45(2):61-65.

[20] 李冰,刘左军,赵志刚,等.海拔对钝裂银莲花不同花色居群间繁殖特征及繁殖分配的影响[J].草业学报,2013,22(1):10-19.

[21] BAZZAZ F A, GRACE J. Plant Resource Allocation[M]. London: Academic Press, 1997.

[22] MANI M S. Introduction to high altitude entomology: Insect life above timberline in the Northwestern Himalayas[M]. London: Methuen, 1962.

[23] 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、数量与个体大小的关系[J].生态学报,2013,32(12): 3160-3166.

[24] 吴云,张露雯,彭瀚,等.海拔对全缘叶绿绒蒿植株性状和花特征的表型选择分析[J].西北植物学报,2016,36(7): 1443-1449.

[25] 王沙沙.不同海拔梯度下椭圆形花锚的生存和繁殖策略变化模式研究[D].兰州:兰州大学,2013.

[26] 王一峰,靳洁,侯宏红,等.川西风毛菊花期资源分配随海拔的变化[J].植物生态学报,2015,39(9):901-908.

[27] 孟丽华,王政昆,刘春燕,等.高山植物圆穗蓼的繁殖资源分配[J].西北植物学报,2011,31(6):1157-1163.

[28] 张茜,赵成章,马小丽,等.高寒草地狼毒种群繁殖分配对海

拔的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 247-252.

[29] 郝楠, 苏雪, 吴琼, 等. 祁连山高寒草甸两型闭锁花植物块茎堇菜的繁殖分配[J]. 草业科学, 2015, 32(4): 586-592.

[30] ZHANG D Y, JIANG X H. Size-dependent resource allocation and sex allocation in herbaceous perennial plants[J]. Journal of Evolutionary Biology, 2002, 15(1): 74-83.

[31] 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.

[32] BAZZAZ F A, ACKERLY D D, REEKIE E G. Reproductive allocation in plants[A]//MICHAEL F. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities[M]. UK: Wallingford, 2001: 1-29.

[33] KARLSSON P S, MENDEZ M. The resource economy of plant reproduction[A]. REEKIE E G, BAZZAZ F A. Reproductive allocation in plants[M]. UK: Academic Press, 2005: 1-49.

Altitudinal Variations of Flower Traits and Reproductive Allocation of Different Colors in *Primula alpicola*

WANG Shuli¹, ZHANG Changyao², LUO Jian¹, YIXI Qunpei³

(1. Res. Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000; 2. Basic Teaching Department, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000; 3. Resources & Environment College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000)

Abstract: In order to investigate the response of reproductive strategy of *Primula alpicola* to altitude, flower traits and reproductive allocation of three colors in *P. alpicola* at different altitudes on Sejila mountains were examined through field sampling. The results showed that, as altitude increased, stems distribution of purple flower populations decreased significantly, leaves distribution and flowers distribution of three colors were respectively in the trend of increasing and decreasing but difference were not significant. The five flower traits included total flower number, single flower area, single flower weight, flora display area, reproductive investment had different change tendencies, all of which were not significant. Reproductive allocation did not decrease obviously with altitude rising. There was no obvious correlation between altitude and reproductive allocation. The correlations between reproductive traits and individual size were various at different altitudes. Total flower number, reproductive investment and flora display area of white flower populations were positively correlated with individual size significantly. Both altitude and individual size affected total flower number of white flower populations and reproductive investment of purple flower populations, but had no important influence on the other size-dependent reproductive traits of different colors. There were no consistent correlation models between individual size and single flower area, single flower weight separately at varying altitudes. Reproductive allocation had negative relationships which were no significant on some altitudes with individual size. In short, the results suggested that altitude didn't significantly influence flower traits and reproductive allocation of different colors of *P. alpicola*. Altitude could not fully explain the change of resource allocation strategy of *P. alpicola*. Reproductive strategies of different colors were not exactly the same with slight differences.

Keywords: *Primula alpicola*; different colors; flower traits; reproductive allocation; altitude; individual size-dependent