

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.01.034

青藏高原东缘小花风毛菊花期繁殖分配的海拔差异

杨亚军, 王一峰, 祁如林, 杨洋

(西北师范大学生命科学学院逆境植物资源与生态实验室, 兰州 730070)

摘要: 通过采样调查法和烘干称重法,对分布在青藏高原东缘不同海拔高度下的小花风毛菊的花期繁殖分配进行研究,结果表明:1)花期植株地上生物量、株高、管状小花数目、繁殖器官及营养器官生物量均随海拔升高呈线性递减趋势,管状小花生物量随海拔升高呈线性递增趋势;2)花期繁殖分配随海拔升高呈线性递增趋势;3)花期繁殖分配随个体大小(地上生物量和株高)的增大呈线性递减趋势;4)花期管状小花生物量与管状小花数目之间存在权衡现象。

关键词: 海拔差异; 繁殖分配; 小花风毛菊; 权衡; 个体大小

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)01-0207-07

Reproductive allocation changes from *Saussurea parviflora* in eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau at various altitudes during flowering

YANG Ya-Jun, WANG Yi-Feng, QI Ru-Lin, YANG Yang

(Laboratory of Resource of Plant and Ecology within Stress, College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To study the effect of elevation on the reproductive allocation of *S. parviflora* during the flowering, sampling survey method and weighting after dried method are chosen so as to study *S. parviflora*'s morphological features at various altitudes. It show that, firstly, during flowering, above-ground biomass in plant itself and its organs related to reproduction and vegetation has an obvious trend of decreasing as altitude goes up. Besides, its number and stem length also slope down little by little. On the contrary, tubuliflorous biomass and reproductive allocation take on a relative trend of increasing and prosperity. Secondly, a shift phenomenon in balance from tubuliflorous biomass and its number would probably be formed.

Keywords: Altitude difference; Reproductive allocation; *Saussurea parviflora*; Trade-off; Individual size

1 引言

植物的生活史对策是植物在进化过程中使其生活史中的各个组成成分形成对生境的适应性响应^[1]。随着海拔的升高,调控植物的环境因子(如温度)会不断发生变化,这些改变会使植物产生一种

胁迫压力,植物的生长和繁殖会受到这种胁迫压力的影响。在环境资源受限的情况下,植物必须将光合作用产生的能量在其生长和繁殖之间的分配进行权衡以提高适合度^[2],从而会出现如何将有限的资源在其营养生长与生殖生长之间的合理分配问题^[3]。繁殖分配和性分配是近年来对植物资源分配

收稿日期: 2017-03-17

基金项目: 国家自然科学基金(31460105); 国家中医药管理局项目(201207002); 甘肃省自然科学基金(1208RJZA126); 兰州市科技局项目(2013-4-89); 甘肃省生态学、生物学重点学科项目

作者简介: 杨亚军(1991-), 男, 回族, 甘肃平凉人, 硕士研究生, 研究方向为植物生态学。E-mail: 332037368@qq.com

通讯作者: 王一峰。E-mail: wangyifeng6481@aliyun.com

研究的两个主要方面,其中繁殖分配已成为对植物生活史研究的热点问题.植物的生活史对策很大程度上在其资源分配模式上得到体现,而植物的繁殖策略是通过调整优化这种资源分配模式来适应变化的环境^[4-5].

繁殖分配是植物将所有可利用资源分配给繁殖或生殖生长的比例,它是植物产生后代、种群得以延续和发展的关键因素.对草本植物的研究显示,影响植物繁殖分配的因素除了外界环境外,在很大程度上还受到植物本身可塑性和遗传性的影响^[6];而对藜科猪毛菜属植物紫翅猪毛菜(*Salsola affinis*)的研究表明植物繁殖分配在较低海拔与个体大小呈负相关关系,在高海拔呈正相关关系,而钠猪毛菜(*Salsola nitraria*)的繁殖分配在较低海拔下与个体大小呈正相关关系^[7].因此影响植物繁殖分配因素除了外界环境(如土壤、水分、海拔及生物因子等)外,还受到个体大小、交配系统和种群密度等诸多因素的影响^[8].对毛茛科的钝裂银莲花(*Anemone obtusiloba*)^[9]和露蕊乌头(*Aconitum gymnantrum*)^[10]、瑞香科狼毒(*Stellera chamaejasme*)^[11]、蓼科中华山蓼(*Oxyria sinensis*)^[12]以及菊科风毛菊属的紫苞雪莲(*Saussurea iodostegia*)、川西风毛菊(*Saussurea dzeurensis*)、柳叶菜风毛菊(*Saussurea epilobioides*)、尖苞风毛菊(*Saussurea subulisquama*)、钝苞雪莲(*Saussurea nigrescens*)^[13-15]等多个种的研究发现海拔作为外界环境因子其繁殖分配具有显著影响.植物的生长情况不仅受到内部资源状况的影响,还会受到外界环境调控,外界环境的调控可能比内部资源状况对植物的影响更显著^[16].海拔是重要的外界环境因素之一,影响植物生长的环境变量如温度、光照等会随着海拔的升高而发生明显变化,从而造成植物在不同海拔梯度下的个体大小、繁殖对策等发生复杂性转变^[17],因此认为海拔制约下的环境因子能够对植物繁殖对策产生重要影响^[11].

青藏高原拥有独特的地理环境、气候条件、丰富的植被类型及许多特有物种^[18].国内外近年来关于对植物繁殖分配研究的文章主要涉及到毛茛科、瑞香科、龙胆科、虎耳草科等多种植物^[9,11,19,20],也不乏对菊科风毛菊属植物繁殖分配的研究^[3,21].其中从理论和实验两个方面对植物的繁殖分配进行了广泛而深入的研究,包括群落水平^[22]和种群水平^[23].株高和地上生物量也是影响植物繁殖生长和营养生长资源配置的主要特

征^[24].株高可以指示植物的生长势,然而对风毛菊属植物的繁殖分配的相关研究中很少涉及植株高度.因此,在对小花风毛菊的繁殖策略进行研究时,把植株高度也作为研究指标,来探讨繁殖分配以及植物如何调节其繁殖分配来适应特定生存环境具有重要的生态学意义^[25].

近些年实验发现,风毛菊属植物在青藏高原东缘这一特殊地区大量分布,且小花风毛菊(*Saussurea parviflora*)是该属在青藏高原东缘分布的一个优势种,是研究不同海拔梯度下植物花期繁殖分配的理想材料.本文选择分布在青藏高原东缘不同海拔梯度下菊科风毛菊属植物的优势种小花风毛菊为研究对象,主要探讨以下三个问题:1)海拔作为外界因子对小花风毛菊花期各生物量及繁殖分配是否存在影响;2)小花风毛菊个体大小(株高和地上生物量)与繁殖分配的海拔差异;3)小花风毛菊花期管状小花生物量和管状小花数量之间是否存在权衡关系.旨在深入了解小花风毛菊适应性形态习性,将高寒草甸植被的研究资料进行补充和完善.

2 材料和方法

2.1 材料

2.1.1 研究区概况 实验材料采自位于青藏高原东北边缘的甘肃省甘南藏族自治州合作市,以及夏河、玛曲、卓尼县(表 1).样地位置介于 $101^{\circ}73' \sim 103^{\circ}59'E, 33^{\circ}74' \sim 37^{\circ}10'N$ 之间,境内海拔 1200~4800m,平均气温 $1.7^{\circ}C$,年降雨量 400~800mm.样地处于青藏高原东北边缘,地势西高东低,地形复杂.

2.1.2 研究材料 小花风毛菊属多年生草本植物,高 30-100cm;根状茎横走,茎直立,被稀疏的短柔毛或无毛;叶呈条状披针形或椭圆形,边缘有锯齿,上部茎叶渐小,披针形或线状披针形,全部叶上面绿色,无毛或被微毛,下面绿色,无毛或被微毛;头状花序多数,在茎枝顶端排列成伞房花序,小花紫色;瘦果长 3mm,花果期 7~9 月.生于山坡阴湿处、山谷灌丛中、林下或石缝中,海拔 1600~3500m.分布于河北、山西、青海、甘肃、宁夏、新疆、内蒙古、四川(中国植物志).(材料来源见表 1)

2.2 方法

2.2.1 取样 2015 年 8 月-9 月,在小花风毛菊盛花期,选取 6 个海拔梯度(2700m、2850m、3000m、3200m、3450m 和 3600m),每个海拔梯度上选取两

组居群, 在每个居群内随机挖取 20 株完整的样品植株进行分株编号带回实验室。

2.2.2 生物量的测定 测量前先去植物上混杂的泥土以及根系部分, 室内首先测量植株高度, 然后将花期的小花风毛菊地上部分分为繁殖器官(花期的头状花序轴以及管状小花)和营养器官(茎和叶)两部分, 把每个植株繁殖器官上的管状小花小心分离并按株分装到带有编号的信封袋, 同时统计同一植株上的管状小花数目, 将同一植株上的营养器官、管状小花以及去除管状小花的花序轴进行编号。在 80℃ 下烘干 24h 后用 1/10000 电子天平称同一海拔同一居群 100 朵管状小花生物量, 并计算出一朵管状小花的生物量。植株的个体大小以地上

部分的总生物量(包括茎、叶、管状小花和花序轴)和株高表示, 营养器官生物量为茎和叶的总生物量, 繁殖器官生物量为管状小花和花序轴的总生物量。繁殖分配为繁殖器官生物量与地上生物量的比值。

2.2.3 统计分析 分别取同一居群 20 个植株的地上生物量、株高、繁殖器官生物量、营养器官生物量、同一植株上每个头状花序中的管状小花数目和管状小花生物量的均值用方差分析(ANOVA)分析与海拔间的相关性, 同时对管状小花数目和管状小花生物量进行分析是否存在权衡关系。所有数据均采用 Excel 2003 和 SPSS20.0 软件进行分析和分析, 用 Origin8.5 作图。

表 1 小花风毛菊采样地概况

Tab. 1 Sampling area of *Saussurea parviflora*

居群 Population	采集日期 Collection date	海拔 Elevation(m)	经纬度 Longitude and latitude	生境 Habitat	采集地点 Sample site
1	2015/8/23	2700	102.74°E, 35.21°N	山坡灌丛 Hillside shrub	阿子合村附近 Close by Azihe of the village
2	2015/8/23	2700	102.73°E, 35.21°N	山坡灌丛 Hillside shrub	阿子合村附近 Close by Azihe of the village
3	2015/8/24	2850	102.92°E, 35.09°N	山坡草地 Hillside meadow	卡加曼乡附近山坡 At the nearby hillside Township Kajiaman
4	2015/8/24	2850	102.90°E, 35.43°N	山坡灌丛 Hillside shrub	卡加曼乡附近山坡 At the nearby hillside Township Kajiaman
5	2015/8/26	3000	102.63°E, 35.19°N	草地 Meadow	夏河尕阴山 Gayin Mountain in Xiahe
6	2015/8/26	3000	102.62°E, 35.18°N	山坡灌丛 Hillside shrub	夏河尕阴山 Gayin Mountain in Xiahe
7	2015/8/27	3200	103.59°E, 34.50°N	山坡草地 Hillside meadow	卓尼卡布沟 Kabu furrow in Zhuoni
8	2015/8/27	3200	103.57°E, 34.52°N	山坡草地 Hillside meadow	卓尼卡布沟 Kabu furrow in Zhuoni
9	2015/8/29	3450	102.66°E, 34.09°N	草地 Meadow	碌曲郎木寺镇附近 Close by Langmu temple in Luqu
10	2015/8/29	3450	102.65°E, 37.10°N	草地 Meadow	碌曲郎木寺镇附近 Close by Langmu temple in Luqu
11	2015/8/30	3600	101.75°E, 33.76°N	山坡灌丛 Hillside shrub	道尔加村附近 Close by Daojiaer of the village
12	2015/8/30	3600	101.73°E, 33.74°N	山坡灌丛 Hillside shrub	道尔加村附近 Close by Daojiaer of the village

3 结果

3.1 各生物量与海拔的相关性

由图 1、图 2 可以看出, 小花风毛菊的株高和地上生物量与海拔高度均呈极显著负相关关系($P < 0.01$), 即海拔越高, 其植株越矮、地上生物量越小。

图 3 显示: 小花风毛菊的繁殖器官生物量及营养器官生物量均与海拔呈极显著负相关关系($P < 0.01$), 也就是说随着海拔高度的增加, 小花风毛菊对繁殖器官和营养器官的相对资源投入量均减小。

图 4 表明: 小花风毛菊的管状小花生物量与海拔高度之间呈极显著正相关关系($P < 0.01$), 但管状小花数目与海拔呈极显著负相关关系($P <$

0.01),即海拔越高,小花风毛菊个体植株的管状小花数目越少,而管状小花的质量越大。

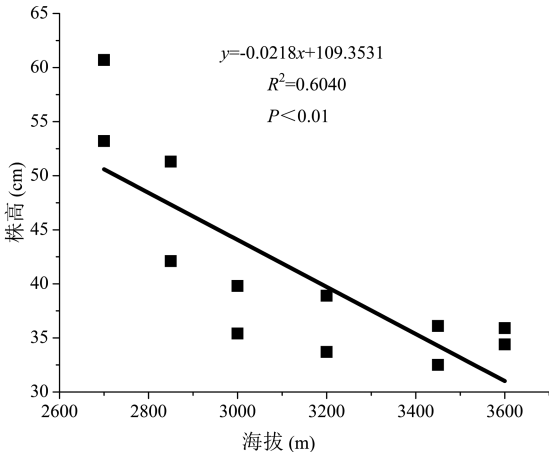


图 1 株高与海拔的线性回归关系

Fig. 1 Liner regression relationship between plant height and elevation

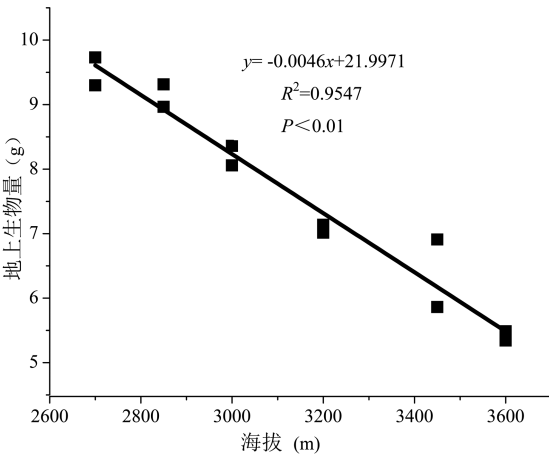


图 2 地上生物量与海拔的线性回归关系

Fig. 2 Liner regression relationship between aboveground biomass and elevation

3.2 繁殖分配与海拔的相关性

由图 5 可以看出,小花风毛菊的繁殖分配与海拔呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$),即随着海拔的升高,小花风毛菊对繁殖器官的资源分配量加大。

3.3 繁殖分配与个体大小的相关性

由图 6 可以看出,小花风毛菊在各海拔梯度上的株高与繁殖分配呈显著负相关关系 ($P = 0.01$),即随着株高的增大,各海拔梯度小花风毛菊的繁殖分配呈现出明显的减小趋势。

由图 7 可以发现,小花风毛菊的地上生物量与繁殖分配呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$),即随着地上生物量的增加,各海拔梯度小花风毛菊的繁

殖分配呈明显减小趋势。

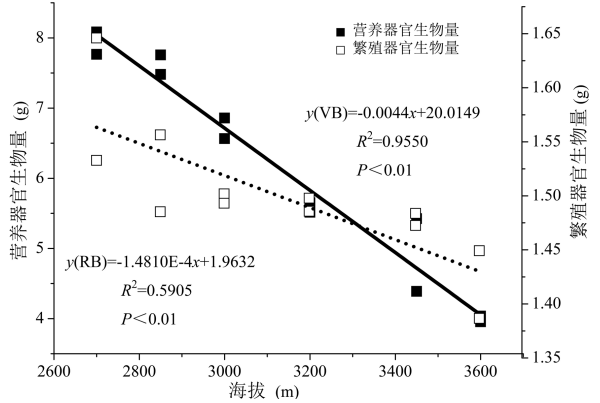


图 3 营养器官生物量及繁殖器官生物量与海拔的线性回归关系

Fig. 3 Liner regression relationship between vegetative organ biomass, reproductive organ biomass and elevation

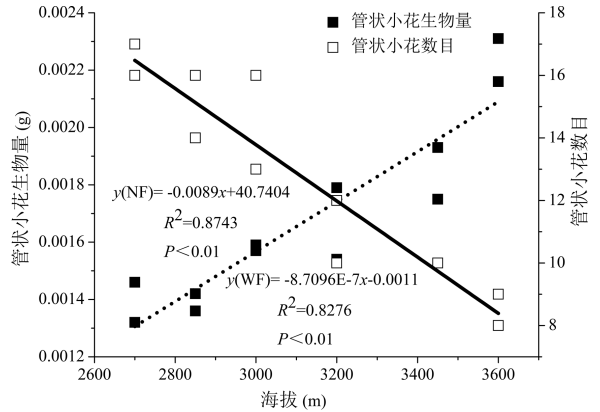


图 4 管状小花生物量及管状小花数目与海拔的线性回归关系

Fig. 4 Liner regression relationship between weight of tubular florets, number of tubular florets and elevation

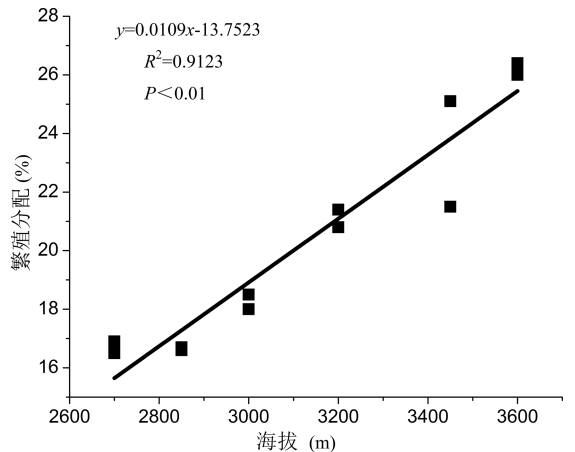


图 5 繁殖分配与海拔的线性回归关系

Fig. 5 Liner regression relationship between reproductive allocation and elevation

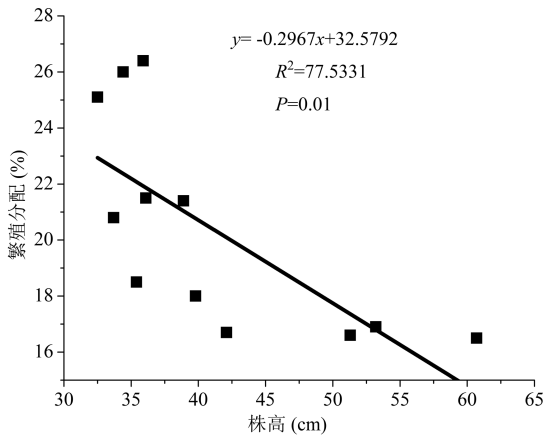


图 6 繁殖分配与株高的线性回归关系

Fig. 6 Liner regression relationship between reproductive allocation and plant height

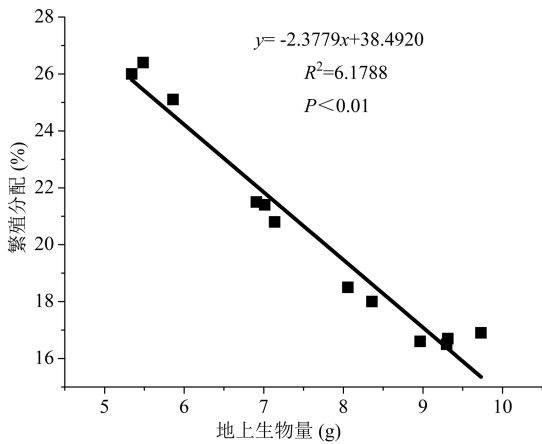


图 7 繁殖分配与地上生物量的线性回归关系

Fig. 7 Liner regression relationship between reproductive allocation and aboveground biomass

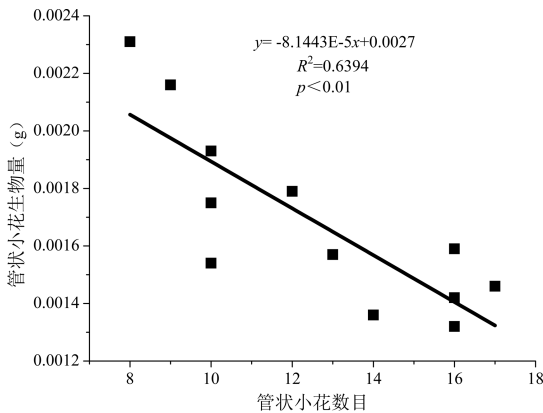


图 8 管状小花生物量与管状小花数目的线性回归关系

Fig. 8 Liner regression relationship between weight of tubular florets and number of tubular florets

3.4 管状小花生物量和管状小花数目的权衡关系

图 8 显示: 小花风毛菊管状小花数目和管状小

花生物量呈负相关关系, 即小花风毛菊管状小花数目和管状小花生物量之间存在权衡现象。

4 讨论

4.1 海拔对小花风毛菊花期各生物量的影响

对不同海拔小花风毛菊居群的研究显示: 随着海拔的升高, 植株的个体大小(株高和地上生物量)、繁殖器官生物量、营养器官生物量、管状小花数目均呈线性减小趋势, 说明了小花风毛菊在不同海拔梯度上对资源分配做了适应性调整, 与上述理论一致。由于越到高海拔地区, 植物将面临更多复杂且不稳的外界因素干扰, 故而个体越大的植株所需要付出的繁殖代价就越高。在环境资源受限的情况下, 增加对支持结构的资源投入, 会导致繁殖分配降低。植株矮小的个体面对恶劣环境的适应性会更好, 受到外界干扰较小。较矮的株高所形成的温暖花部环境由于可以吸引更多的传粉者访花从而大于较高的植物所具有的其它优势^[4], 因此投入到繁殖部分(花)的资源更多^[11]。此外, 植株距离地面越近, 热量在叶冠层的积累就越高^[20], 所以小花风毛菊通过减小在高海拔地区植株高度来确保花部的温度, 从而提高种子产量并吸引更多传粉昆虫前来访花^[27]。对川西风毛菊(*S. dzeurensis*) 8 个海拔居群的研究也显示: 花期植物个体大小、头状花序数量、繁殖器官及营养器官生物量均与海拔呈线性递减趋势^[14]。由于小花风毛菊属于虫媒传粉植物, 因此在高海拔地区小花风毛菊为了提高繁殖分配, 把资源投入到管状小花生物量上, 产生更大的花, 以吸引更多传粉昆虫前来访花, 进而加大了花粉的输入和输出。这可能是小花风毛菊的管状小花生物量随着海拔的增高逐渐增大的原因之一。

4.2 海拔对小花风毛菊繁殖分配的影响

在恶劣的生态环境中, 植物从外界所能获取的资源受到限制, 植物必须权衡各功能器官之间的资源分配用以提高适合度。因而繁殖分配能够反映植物对当前环境的适应性特征^[28]。影响植物繁殖分配的环境因素有很多, 如光照、温度、水分、土壤结构、生长季长度、资源有效性等, 而这些环境因素会随着海拔高度的不同发生的剧烈变化。本研究结果显示: 随着海拔的升高, 小花风毛菊对繁殖器官的资源投入量增大。对紫苞雪莲(*S. iodostegia*)、川西风毛菊(*S. dzeurensis*)、柳叶菜风毛菊(*S. epilobioides*)、尖苞风毛菊(*S. subulisquama*)、钝苞雪莲(*S. nigrescens*) 等多个种的研究也得出了与本

实验相同的结论^[13-15]. 出现这种结果可能有两个原因:第一,小花风毛菊属虫媒传粉植物,随着海拔的升高,大气含氧量、气温等环境因素会减少,影响传粉昆虫的访花频率,故而会对小花风毛菊的生存繁殖产生不利影响,由于小花风毛菊是头状花序,花色鲜艳、花较大,对传粉昆虫的吸引能力很强,但随着海拔的升高,环境恶劣程度加剧,为了生存和繁殖,小花风毛菊必须加大对花的资源投入以便于吸引传粉昆虫前来访花,因此高海拔居群比低海拔居群的繁殖结构(花)所需要资源投入量更多,即增大了繁殖结构的相对资源比例;第二、在高海拔地区,由于生存环境的改变,植物对营养部分的投入收益较低,从而将更多的资源投入到繁殖部分;第三、高海拔地区气压降低致使植株叶片气孔关闭,从而对小花风毛菊的光合作用和生长速率有限制作用,使小花风毛菊同化的资源减少,因此将有限的资源分配到繁殖器官(花)上用以保证物种的生存和繁衍.

4.3 个体大小对繁殖分配的影响

当植物的资源获取受到限制,植物对茎、叶等营养器官的资源投入量增大,就意味着对繁殖器官的相对投入减少,从而会影响繁殖分配. 本研究结果发现,个体大小(株高和地上生物量)对各海拔梯度小花风毛菊的繁殖分配影响显著,即个体越大,各海拔小花风毛菊的繁殖分配越小. 对长毛风毛菊(*Saussurea hieracioides*)、柳叶菜风毛菊(*S. epilobioides*)、尖苞风毛菊(*S. subuliquama*)、钝苞雪莲(*S. nigrescens*)等植物繁殖分配与海拔差异研究的结果也支持这一结论^[32,15]. 对于一个有限的资源库来说,对繁殖活动投入的加大,意味着对叶和根的营养活动投入的减少,所以导致获取资源的能力下降,影响个体的存活和生长,个体越大,对繁殖器官的绝对投入越低,其相对的繁殖分配也就越低. 因此个体较小的植物其繁殖分配反而相对较高^[3].

4.4 管状小花数目和管状小花生物量之间的权衡关系

权衡理论主要思想就是将有限的资源用于一种功能就不能再用于其他的功能或结构. 如植物对繁殖器官的资源投资增加,相应的会降低对其他功能和结构的投资^[29]. 本研究发现,小花风毛菊的管状小花数目和管状小花生物量之间存在“此消彼长”的权衡关系,即随着海拔的升高,小花风毛菊管状小花生物量逐渐增大,而管状小花数目逐渐减

小. 对星状风毛菊(*Saussurea stella*)、长毛风毛菊(*S. hieracioides*)和狼毒(*S. chamaejasme*)等植物的研究均发现植物在许多生物量之间存在权衡^[3,11,32]. 植物出现这种结果可能的原因是:在环境因素不利的情况下,植物若将有限的资源投入到花数量上,则不但需要形成繁殖器官,还需要形成总苞片等其他辅助结构,无疑将增大植物生长的光合产物需求,使植物处于不利的竞争态势,因此小花风毛菊在植株总生物量下降的情况下,有选择性的减少管状小花数量,将有限的资源投入到每个管状小花的大小上,以便于完善花部特征的构件,最大程度地保证生殖生长的完成. 植物在异质生境下花大小-数量权衡机制是植物功能可塑性对资源胁迫的响应,也是对外界环境适应性的表现^[30].

参考文献:

- [1] 祖元刚,王文杰,杨逢建,等. 植物生活史型的多样性及动态分析[J]. 生态学报, 2002, 22: 1811.
- [2] Tilman D. Plant strategies the dynamics and structure of plant communities [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [3] 王一峰,李梅,李世雄,等. 青藏高原东缘星状风毛菊生殖分配对海拔的响应[J]. 植物生态学报, 2012, 36: 1145.
- [4] Fabbro T, Korner C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation [J]. Flora, 2004, 199: 70.
- [5] Sawrey O R P. Effect of altitude and co-occurring species on sequential reproductive stages in a grassland harebell [D]. Dunedin: University of Otago, 2013.
- [6] 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:自然科学版, 2007, 37: 77.
- [7] 刘尊驰,刘华峰,赵丹,等. 紫翅猪毛菜、钠猪毛菜不同个体大小繁殖分配差异及随海拔的变化[J]. 生态学报, 2015, 35: 5957.
- [8] Hutchings M J. Resource allocation patterns in clonal herbs and their consequences for growth [M]. New York: Academic Press, 1997.
- [9] 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: 10.
- [10] 张挺峰,张勇,李亚珺. 青藏高原露蕊乌头不同海拔居群的开花持续期与繁殖分配[J]. 西北植物学报, 2014, 34: 1576.
- [11] 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: 247.
- [12] 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: 830.
- [13] 王一峰, 裴泽宇, 刘启茜. 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[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40: 195.
- [14] 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: 901.
- [15] 王一峰, 刘启茜, 裴泽宇, 等. 青藏高原 3 种风毛菊属植物的繁殖分配与海拔高度的相关性[J]. 植物生态学报, 2012, 36: 39.
- [16] Guo H, Mazer S J, Du G. Geographic variation in primary sex allocation per flower within and among 12 species of *Pedicularis* (*Orobanchaceae*): Proportional male investment increases with elevation[J]. *Am J Bot*, 2010, 97: 1334.
- [17] 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: 130.
- [18] 高宏岩. 七种风毛菊属植物在青藏高原东缘高寒草甸的适应对策[D]. 西北师范大学硕士学位论文, 2008.
- [19] 梁艳. 青藏高原东缘龙胆属植物繁殖分配对策研究[D]. 西北师范大学硕士学位论文, 2009.
- [20] 王赞, 胡莉娟, 段元文, 等. 岩白菜(虎耳草科)不同海拔居群的繁殖分配[J]. 植物分类与资源学报, 2010, 32: 270.
- [21] 索南措, 王一峰, 李梅, 等. 青藏高原东缘常见种长毛风毛菊(*Saussurea hieracioides*)的繁殖分配[J]. 生态学杂志, 2013, 32: 1433.
- [22] 操国兴, 钟章成, 谢德体, 等. 不同群落中川鄂连蕊茶的生殖分配与个体大小之间关系的探讨[J]. 植物生态学报, 2005, 29: 361.
- [23] 冯丽, 张景光, 张志山, 等. 沙坡头人工固沙区油蒿繁殖分配的研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28: 473.
- [24] 王天慧. 植物表型可塑性及生活史对策研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- [25] 苏智先, 钟章成. 四川大头茶种群生殖生态学研究 II. 种群生物量生殖配置格局研究[J]. 生态学报, 1998, 18: 379.
- [26] Körner C. *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems* [M]. Germany: Springer, 2001.
- [27] Reekie E G. An explanation for size-dependent reproductive allocation in *Plantago* [J]. *Can J Bot*, 1998, 76: 43.
- [28] 牛克昌, 赵志刚, 罗燕江, 等. 施肥对高寒草甸植物群落组分种繁殖分配的影响[J]. 植物生态学报, 2006, 30: 817.
- [29] 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: 1157.
- [30] 王永健, 方兴, 钟章成. 不同生境对蝴蝶花花部与果实特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30: 4628.