

DOI:10.11937/bfyy.201618015

# 不同海拔全缘叶绿绒蒿繁殖分配的差异

张霓雯<sup>1</sup>, 吴云<sup>2</sup>, 刘光立<sup>2</sup>

(1. 四川航天职业技术学院, 四川 广汉 618300; 2. 四川农业大学 风景园林学院, 四川 成都 611130)

**摘 要:**以全缘叶绿绒蒿为试材,采用野外采样调查和实验室烘干称重法,研究不同海拔全缘叶绿绒蒿的繁殖分配特征,以期认识全缘叶绿绒蒿繁殖分配策略对海拔的响应。结果表明:随着海拔升高,全缘叶绿绒蒿个体大小(地上部分生物量)、营养器官生物量显著降低,而繁殖器官生物量、雄蕊生物量、雌蕊生物量和繁殖分配显著增加;全缘叶绿绒蒿存在个体大小依赖的繁殖分配,个体越大,繁殖分配比例越小;不同海拔梯度,全缘叶绿绒蒿花期营养器官与繁殖器官、雄蕊与雌蕊间均存在资源分配上的权衡。随着海拔升高,全缘叶绿绒蒿将更多资源投入繁殖器官且雌蕊获得资源多于雄蕊,这有助于保障植株的成功繁殖。

**关键词:**全缘叶绿绒蒿;繁殖分配;个体大小;海拔;权衡

**中图分类号:**S 567.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)18-0052-05

资源分配模式是植物生活史中的一个重要特征。高山环境中,植物如何将有限的资源在不同功能器官间进行分配以及这种资源分配对策所带来的适度利益与代价,一直是植物生活史进化领域的研究热点之一。繁殖分配(reproductive allocation, RA)是指植物在生长过程中用于繁殖器官的资源比例,它不仅受到非生物因素的影响,还与个体大小、种群密度、种群结构、植物繁育系统、传粉者种类与数量等生物因素有关<sup>[1]</sup>。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,因此高山植物通常会调整其繁殖策略以应对高海拔环境的选择压力。如对阿尔卑斯山 20 种生长在低海拔(600 m)地区和 30 种生长在高海拔(2 700 m)地区的植物研究表明,生长在高海拔地区植物的繁殖分配比例远远大于低海拔地区的植物<sup>[2]</sup>。同时,对青藏高原植物星状风毛菊(*Saussurea stella*)<sup>[3]</sup>、狼毒(*Stellera chamaejasme*)<sup>[4]</sup>以及露蕊乌头(*Aconitum gymmandrum*)<sup>[5]</sup>的研究均发现,随着海拔的升高,植物的繁殖分配比例会显著增加,说明高山环境中,植物存在营养器官与繁

殖器官间资源分配的权衡,海拔越高,植物将更多资源投入到繁殖器官。进一步的研究表明,高山植物不仅在营养器官与繁殖器官间存在资源分配权衡,而且在繁殖器官的雌雄功能间亦存在资源分配的权衡<sup>[3]</sup>。然而,随着海拔升高,高山植物的繁殖分配比例并不总是呈现出稳定增加的规律<sup>[6]</sup>。这可能与不同环境条件下资源限制的程度有关。

值得指出的是,通过对不同海拔居群植物的繁殖分配研究可以深入了解高山植物对环境的适应机制和策略,但基于物种分布的地理范围内的广泛采样而开展的不同海拔居群植物繁殖分配的研究掩盖了海拔以外的因子(如经度、纬度、地理环境等)的影响<sup>[6]</sup>,不利于直观认识海拔因子的作用。因此,现以四川省阿坝州巴郎山同一坡面上不同海拔样地中的全缘叶绿绒蒿(*Meconopsis integrifolia*)为对象,展开繁殖分配的研究,探讨高山植物繁殖分配策略随海拔的变化规律和适应意义,重点回答以下 3 个问题:(1)随着海拔升高,全缘叶绿绒蒿各功能器官间的资源分配呈现何种变化?(2)全缘叶绿绒蒿繁殖分配比例是否依赖个体大小?(3)全缘叶绿绒蒿营养器官与繁殖器官、雄蕊与雌蕊间的资源分配是否存在权衡?

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于四川省阿坝州汶川县与小金县的卧龙自然保护区巴郎山(东经 102°53.850'~102°56.806'、北纬 30°52.828'~30°54.671',海拔 4 484 m)阳坡的 5 个不同海拔样地内。巴郎山年均温 8.6 °C,1 月平均气温 -1.7 °C,7 月平均气温 17.0 °C,年平均降水量 700~900 mm,降

**第一作者简介:**张霓雯(1989-),女,四川广元人,本科,助教,现主要从事园林植物栽培应用等研究工作。E-mail:631991145@qq.com

**责任作者:**刘光立(1977-),男,山东德州人,博士,副教授,现主要从事园林植物栽培与野生植物应用等研究工作。E-mail:liugl\_1@163.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31370436)。

**收稿日期:**2016-04-18

水集中在 5—9 月,此阶段降水占全年总降水量的 76.1%。

样地内植被类型属于高山草甸,植物以一年生或多年生草本为主。主要包括:驴蹄草(*Caltha palustris*)、穗花报春(*Primula deflexa* Duthie)、独花报春(*Omphalogramma viciiflorum*)、垂头菊(*Cremanthodium reniforme*)、红花绿绒蒿(*Meconopsis punicea*)以及蓼科(*Polygonaceae*)植物。

## 1.2 试验材料

全缘叶绿绒蒿(*Meconopsis integrifolia*)属罂粟科绿绒蒿属一年生或多年生草本,是该属分布较广的物种之一,主要分布于中国、缅甸、尼泊尔、巴基斯坦等国,分布于海拔 2 500 m 的林缘到海拔 5 000 m 的雪线区间,生境多为高山草甸。植株高 15~150 cm,花黄色,通常 3~5 朵生于茎上部叶腋内,花瓣基部被毛,花瓣数 3~6;雄

蕊多数;子房卵形;蒴果。花期 5—8 月,果期 9—10 月。以种子进行繁殖<sup>[7]</sup>。

## 1.3 试验方法

在充分踏察的基础上,选择坡向、坡度和土壤条件基本一致的全缘叶绿绒蒿分布地,沿海拔梯度间隔约 200 m 共设置 5 个研究样地(表 1)。

2014 年盛花期(6 月),于不同海拔样地随机(取样植株间隔 10 m 以上)挖取整株植株,每个海拔样地取样 10 株,将样品分株编号,带回实验室。室内将每个植株分为花(繁殖器官)、茎和叶(营养器官),同时细分了花内的雄蕊(花丝和花药)、雌蕊(柱头、花柱和子房),分别装在纸袋内烘干至恒重(75 ℃,24 h),用万分之一天平称量各部分的干质量,以干质量表示生物量。

表 1

全缘叶绿绒蒿样地信息

Table 1

Location of plots of *M. integrifolia*

采集地点 Sample site	海拔高度 Elevation/m	生境 Habitat	经纬度 Longitude and Latitude
样地 1 Plot 1	3 681	高山草甸 Alpine meadow	东经 102°56. 806',北纬 30°52. 828'
样地 2 Plot 2	3 841	高山草甸 Alpine meadow	东经 102°55. 543',北纬 30°53. 815'
样地 3 Plot 3	4 081	高山草甸 Alpine meadow	东经 102°55. 377',北纬 30°53. 427'
样地 4 Plot 4	4 215	高山草甸 Alpine meadow	东经 102°54. 542',北纬 30°54. 331'
样地 5 Plot 5	4 452	高山草甸 Alpine meadow	东经 102°53. 850',北纬 30°54. 671'

## 1.4 数据分析

由于在挖取植株的过程中,不能完全挖取植株根系,因此以地上部分总生物量表示植株个体大小(individual biomass, *IB*),以茎叶质量表示营养器官生物量(vegetative organ biomass, *VB*),以每株花的总干质量表示繁殖器官生物量(reproductive organ biomass, *RB*),以花丝和花药干质量表示雄蕊生物量(stamen biomass, *SB*),以柱头、花柱和子房干质量表示雌蕊生物量(pistil biomass, *PB*),分析植株个体大小效应时,以地上部分总生物量和繁殖器官生物量间的关系为标准,繁殖分配(*RA*)以繁殖器官生物量占地上部分总生物量的比值来表示。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检测全缘叶绿绒蒿个体大小(*IB*)、营养器官生物量(*VB*)、繁殖器官生物量(*RB*)、雄蕊生物量(*SB*)、雌蕊生物量(*PB*)、繁殖分配(*RA*)于不同海拔间的差异,采用 Spearman correlation analysis 检测营养器官与繁殖器官、雄蕊与雌蕊生物量、个体大小与繁殖器官生物量、繁殖分配间的相关性。对个体大小(*IB*)、营养器官生物量(*VB*)、繁殖器官生物量(*RB*)、雄蕊生物量(*SB*)、雌蕊生物量(*PB*)、繁殖分配(*RA*)原始数据进行自然对数转换,以满足分析数据的正态性要求。采用 SPSS 19.0 进行数据分析,Excel 2007 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔全缘叶绿绒蒿各器官生物量的差异

从图 1 可以看出,随着海拔升高,全缘叶绿绒蒿(*M. integrifolia*)个体大小(地上部分生物量)呈现出逐渐降

低的趋势,样地 5(4 452 m)最小,样地 1(3 681 m)最大,方差分析表明不同海拔间植株个体大小具有显著差异( $F_{4,49}=3.323, P=0.018$ )。海拔的变化使得植株营养器官生物量与繁殖器官生物量表现不一致,即随着海拔的升高,全缘叶绿绒蒿营养器官生物量极显著降低( $F_{4,49}=6.784, P<0.001$ ),海拔越高营养器官生物量越小,与之相反,繁殖器官生物量极显著增加( $F_{4,49}=15.299, P<0.001$ ),海拔越高繁殖器官生物量越大。

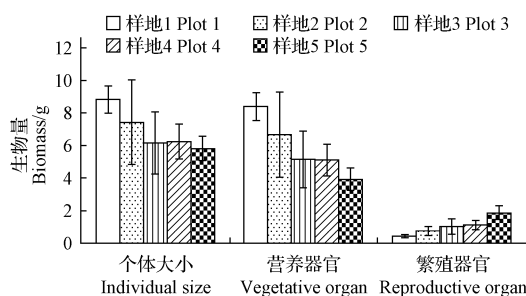


图 1 不同海拔全缘叶绿绒蒿个体大小(地上部分)、营养器官和繁殖器官生物量的差异

Fig. 1 Differences in individual size (aboveground biomass), vegetative organ biomass and reproductive organ biomass of *M. integrifolia* at different altitudes

由图 2 可知,随着海拔的升高,全缘叶绿绒蒿(*M. integrifolia*)繁殖分配比例极显著提高( $F_{4,49}=24.791, P<0.001$ ),表明随着海拔升高,植株将更多的资源投入到繁殖器官,以增加对传粉者的吸引、保障胚珠

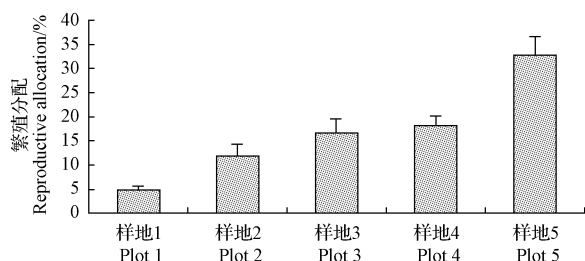


图2 不同海拔全缘叶绿绒蒿繁殖分配的差异

Fig. 2 Differences in reproductive allocation of *M. integrifolia* at different altitudes

受精和种子成功发育。

图3表明,在繁殖器官内部,全缘叶绿绒蒿(*M. integrifolia*)雄蕊生物量和雌蕊生物量随着海拔升高表现出相同的增加趋势,但雌蕊生物量的增加量明显高于雄蕊,且随着海拔升高显著增加( $F_{4,49} = 3.760, P = 0.010$ ),雄蕊生物量增加不显著( $F_{4,49} = 1.960, P = 0.117$ )。这表明随着海拔的升高,植株将更多的资源分配到雌性功能器官,以满足胚珠受精和种子发育,提高植株的雌性适合度。

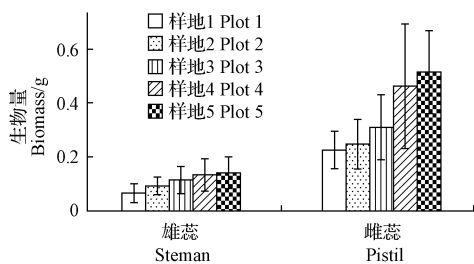


图3 不同海拔全缘叶绿绒蒿雄蕊生物量与雌蕊生物量的差异

Fig. 3 Differences in stamen biomass and pistil biomass of *M. integrifolia* at different altitudes

## 2.2 个体大小与繁殖分配间的关系

Spearman 相关性分析表明,全缘叶绿绒蒿个体大小与繁殖器官生物量间存在负相关关系( $r = -0.118, P = 0.413$ ),即随着个体生物量的逐渐减少,植株繁殖器官的生物量不断增加。回归分析亦得到相似的结果, $y = -0.036x + 1.290$ ( $y$ 为繁殖器官生物量, $x$ 为个体大小)(图4)。同时,植株繁殖分配与个体大小的关系更为明显,Spearman 相关分析表明,二者存在极显著的负相关关系( $r = -0.520, P < 0.001$ ),回归分析亦获得相似的结果, $y = -2.261x + 32.58$ ( $y$ 为繁殖分配, $x$ 为个体大小),即随着个体生物量的逐渐减少,植株繁殖分配比例显著增加(图4),说明全缘叶绿绒蒿存在个体大小依赖的繁殖分配。植株生长环境表明,海拔越高的植株,个体生物量越小,但此时较大的环境压力会使得植株将有限的资源更多的投入到繁殖器官,使得繁殖分配比例提高。

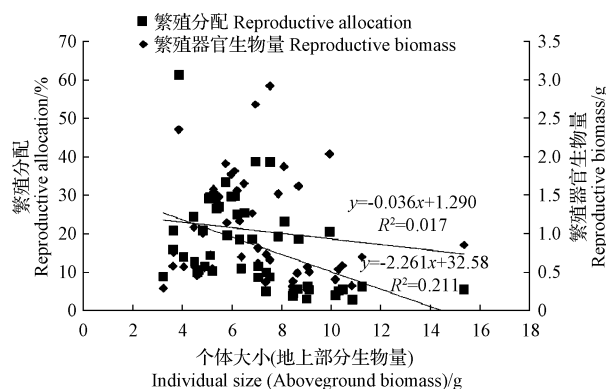


图4 全缘叶绿绒蒿个体大小(地上部分生物量)与繁殖器官生物量、繁殖分配的线性回归关系

Fig. 4 Linear regression relationships between individual size (aboveground biomass) and reproductive organ biomass, reproductive allocation of *M. integrifolia*

## 2.3 全缘叶绿绒蒿各器官间资源分配的权衡

Spearman 相关分析表明,全缘叶绿绒蒿营养器官生物量与繁殖器官生物量间呈现出显著的负相关关系( $r = -0.349, P = 0.013$ )。回归分析表明,全缘叶绿绒蒿营养器官生物量与繁殖器官生物量间呈现较好的线性关系(图5)。表明全缘叶绿绒蒿对营养器官和繁殖器官间的资源投入存在权衡关系,表现为对繁殖器官资源投入的增加会导致对营养器官资源投入的减少,这可能与高山环境资源限制、较强的环境压力有关。

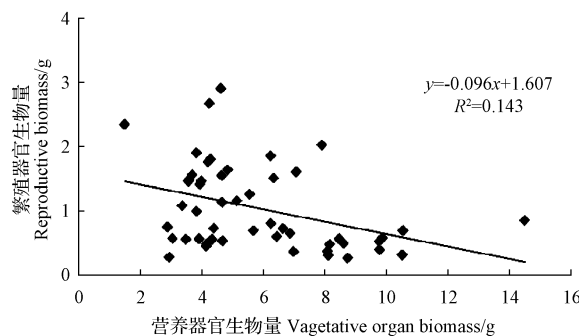


图5 全缘叶绿绒蒿营养器官生物量与繁殖器官生物量间的线性回归关系

Fig. 5 Linear regression relationship between vegetative organ biomass and reproductive organ biomass of *M. integrifolia*

值得指出的是,全缘叶绿绒蒿雄蕊生物量与雌蕊生物量间呈显著的正相关关系( $r = 0.303, P = 0.032$ ),且呈现较好线性关系(图6)。具体表现为,随着雄蕊生物量的增加,植株雌蕊生物量亦呈增加趋势,结合图3可知,随着海拔升高,植株对雌性功能器官的资源投入大于雄性功能器官,这表明植株对雌雄功能器官的资源投入与不同海拔间亦存在权衡。



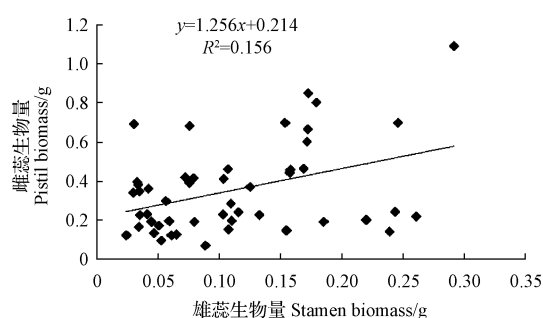


图6 全缘叶绿绒蒿雄蕊生物量与雌蕊生物量间的线性回归关系

Fig. 6 Linear regression relationship between stamen biomass and pistil biomass of *M. integrifolia*

### 3 结论与讨论

#### 3.1 海拔对植物繁殖特征的影响

该研究表明,随着海拔的升高,全缘叶绿绒蒿个体大小呈现出逐渐降低的趋势,这可能是高海拔地区的低温、生长季短、较低的资源有效性等因素限制了植物的生长<sup>[8-10]</sup>。随着海拔升高,植株个体逐渐减小,亦可在一定程度上减少植株在极端环境中的暴露,降低环境压力对其的伤害<sup>[9]</sup>,这是植物对高山恶劣环境长期适应的结果。

随着海拔的升高,温度与湿度、生长季、可利用资源的量以及资源利用的有效性均存在不同程度的降低,面对强烈的环境压力,植物往往会采用各异的资源分配对策以达到最优化的资源利用,这就使得植物不同海拔种群间的繁殖特征和策略发生改变<sup>[11]</sup>。对不同海拔样地中全缘叶绿绒蒿繁殖分配的研究表明,随着海拔的升高,植物营养器官生物量(VB)呈减小的趋势,而繁殖器官生物量(RB)、雌雄蕊生物量(SB, PB)以及繁殖分配(RA)均呈增加的趋势,这与张茜等<sup>[4]</sup>、李冰等<sup>[12]</sup>、丁建林等<sup>[13]</sup>的结果一致。对此,该研究认为可能有以下原因:一是随着海拔升高,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;二是高山环境中,资源的有效性、较短的生长季导致植物必须在营养生长和繁殖生长间做出权衡(trade-off),海拔越高,植物有性繁殖的压力越大,使得植物增加对繁殖结构的资源投入,从而造成全缘叶绿绒蒿(*M. integrifolia*)繁殖器官生物量、繁殖分配比例的增加;三是全缘叶绿绒蒿(*M. integrifolia*)属兼性异交繁育类型<sup>[14]</sup>,需要传粉者,而高海拔地区严苛多变的环境条件会降低传粉者的种类与数量、降低传粉者的活动能力与范围,继而造成花粉输入和输出的减少,降低植物的雌雄适合度,这就使得植物需要将更多的资源投入到繁殖器官,以吸引传粉者,继而保障有性生殖的成功。

#### 3.2 个体大小与繁殖分配的关系

PICKERING<sup>[15]</sup>研究认为,繁殖分配(花期或果期)是依赖于个体大小的。资源有效性、竞争和遗传差异是造成植物个体大小差异的主要原因,并产生繁殖分配强烈的个体大小依赖;而这种依赖性归因于内在影响即资源获取和繁殖分配在一个植株内的生理权衡<sup>[4]</sup>。通常,具有个体大小依赖的植物,其繁殖器官生物量与个体大小呈正相关,而繁殖分配与个体大小呈负相关,即个体越小,越少的繁殖绝对资源投入,越多的繁殖资源相对投入。该研究发现,全缘叶绿绒蒿的繁殖分配与个体大小(地上部分生物量)呈负相关,这与理论预测一致。对于一个有限的资源库而言,对繁殖活动投入的增加,意味着对茎、叶等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<sup>[16]</sup>。REEKIE<sup>[17]</sup>认为,繁殖分配随个体大小增大而减小,或许是由于繁殖代价随个体大小增大的一个直接结果,代价的增加可以部分的解释为对繁殖支持结构的分配增加。该研究中的海拔区间为3 681~4 452 m,海拔越低的样地,植株个体越大,而较大的个体由于更容易受到动物踩踏、强风冰雹袭击的干扰,使得个体大的植株其繁殖代价亦较大,进而表现为增加对繁殖支持结构的资源投入,从而导致繁殖分配降低<sup>[18]</sup>。值得提出的是,各海拔样地中全缘叶绿绒蒿繁殖器官生物量与个体大小间亦呈负相关关系,这与理论预测不一致。其中的原因可能有以下几点:一是高山植物全缘叶绿绒蒿以种子进行有性繁殖<sup>[7]</sup>,海拔越高,环境压力越大(如温度降低、降雨、大风、强光等),植物个体的繁殖压力可能增大,虽然此时植物个体较小,但为保障有性繁殖的成功,植物将更多的资源投入到繁殖结构;二是由于是盛花期采样,各海拔样地中的采样植株均处于开花阶段,随着海拔的升高,受低温和降雨的缘故,传粉昆虫的丰富度、活动能力均受到影响,为保障异交结实,植物可能需要增加对繁殖器官的资源投入,如增加花瓣的资源投入以提高对传粉昆虫的吸引,而此时植物个体大小随着海拔升高而降低,这使得各海拔样地中全缘叶绿绒蒿的繁殖器官生物量与个体大小呈负相关关系。

#### 3.3 各器官间资源分配的权衡

一般而言,随着海拔的升高,环境胁迫程度加强,植株的光合能力降低,植物通过光合作用形成的光合产物需要用于存活、繁殖等多方面功能,由于植物不同生长阶段个体的光合能力不同,加之环境中资源的有效性,使得植物体内各功能部分之间的资源分配存在权衡。正如孟丽华等<sup>[19]</sup>指出,权衡理论的实质就是有限的资源若用于一种功能就不能再用于其它的功能或过程。该研究表明,随着海拔的升高,全缘叶绿绒蒿对繁殖器官资源的投入增大,而对营养器官资源的投入减少,二者

间呈现显著负相关关系,这说明高海拔环境中植物有限的资源在营养器官与繁殖器官间存在权衡。

资源的有效性不但造成在个体水平上存在显而易见的营养和繁殖投资关系的权衡,而且,在花的水平上,雄性功能与雌性功能间亦存在资源的权衡。该研究表明,海拔升高,繁殖压力增大,全缘叶绿绒蒿雄性功能器官和雌性功能器官获取的资源均在增加,但相对于雄性功能器官而言,全缘叶绿绒蒿将更多的资源投入到雌性功能器官,这可能与其自身的繁殖机制有关。全缘叶绿绒蒿自身花粉较为充足,相对于花粉的输出而言,高海拔样地中的全缘叶绿绒蒿可能更注重花粉接收的质量(胚珠受精),因此,高海拔样地中全缘叶绿绒蒿将更多的资源投入到雌蕊部分以满足胚珠受精和种子发育。总之,全缘叶绿绒蒿各功能器官间资源分配的权衡是为了更好的应对海拔变化所带来的繁殖压力,从而保证在恶劣的高山环境中性繁殖的顺利实现。高山植物的资源分配策略是多方面因素共同作用的结果,开展生物因素与非生物因素间交互作用的研究有助于全面、深入认识高山植物繁殖策略及其适应意义。

#### 参考文献

- [1] HUTCHINGS M J. Resource allocation patterns in clonal herbs and their consequences for growth[M]. *Plant Resource Allocation*, 1997: 161-186.
- [2] FABBRO T, KÖRNER C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation[J]. *Flora*, 2004, 199: 70-81.
- [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(11): 1145-1153.
- [4] 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.
- [5] 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(8): 1576-1580.
- [6] 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.
- [7] 任祝三. 昆明气候条件对于绿绒蒿属幼苗生长的影响[J]. *云南植物研究*, 1993, 15(1): 110-112.
- [8] ZHAO Z G, DU G Z, ZHOU X H, et al. Variations with altitude in reproductive traits and resource allocation of three Tibetan species of *Ranunculaceae*[J]. *Australian Journal of Botany*, 2006, 54: 691-700.
- [9] KÖRNER C H. Functional plant ecology of high mountain ecosystems [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [10] GUO H, MAZER S J, DU G Z. Geographic variation in primary sex allocation per flower within and among 12 species of *Pedicularis* (Orobanchaceae): proportional male investment increases with elevation[J]. *American Journal of Botany*, 2010, 97: 1334-1341.
- [11] 索南措,王一峰,李梅,等. 青藏高原东缘常见种长毛风毛菊的繁殖分配[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(6): 1433-1438.
- [12] 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.
- [13] 丁建林,韩越,包维楷,等. 岷江百合的生物量分配对策及其海拔效应[J]. *应用与环境生物学报*, 2014, 20(2): 254-260.
- [14] 吴云,刘玉蓉,彭瀚,等. 高山植物全缘叶绿绒蒿在不同海拔地区的传粉生态学研究[J]. *植物生态学报*, 2015, 39(1): 1-13.
- [15] PICKERING C M. Size-dependent reproduction in Australian alpine *Ranunculus*[J]. *Australian Journal of Botany*, 1994, 19: 336-344.
- [16] 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.
- [17] REEKIE E G. An explanation for size-dependent reproductive allocation in *Plantago major*[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76: 43-50.
- [18] 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.
- [19] 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.

## Variations of Reproductive Allocation of *Meconopsis integrifolia* at Different Altitudes

ZHANG Niwen<sup>1</sup>, WU Yun<sup>2</sup>, LIU Guangli<sup>2</sup>

(1. Sichuan Aerospace Vocational College, Guanghan, Sichuan 618300; 2. College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130)

**Abstract:** In order to research the reproductive allocation strategy of *Meconopsis integrifolia* in response to altitude, the reproductive allocation traits of this species were studied at five different elevation plots, by using the field sampling investigation and laboratory drying and weighing methods. The results showed that individual size (aboveground biomass) and vegetative organ biomass reduced with the rising altitudes, however, there were significant increasing in reproductive organ biomass, stamen biomass, pistil biomass and reproductive allocation; individual size dependent reproductive allocation existed, namely, heavier individual size (aboveground biomass), lower reproductive allocation; there were trade-off between vegetative organ biomass and reproductive organ biomass, between stamen biomass and pistil biomass at different altitudes. With the rising altitudes, the species invested more resources in reproductive organ and pistil, which could ensure the reproductive success in the harsh alpine habitats.

**Keywords:** *Meconopsis integrifolia*; reproductive allocation; individual size; altitudes; trade-off