

青海东南部绿绒蒿叶片表现特征与海拔的相关性分析

拓广辉, 唐楠*, 唐道城 (青海大学高原花卉研究中心, 青海省园林植物与观赏园艺重点实验室, 青海西宁 810016)

摘要 [目的]研究青海东南部绿绒蒿叶片表现特征与海拔的相关性。[方法]对青海东南部地区主要绿绒蒿属资源的分布进行实地踏勘, 调查植株叶片表现特征和分布区海拔, 通过二者的相关性分析, 探讨绿绒蒿资源的表现特征变化与海拔的相关性。[结果]青海东南部绿绒蒿主要分布在海拔3 000~3 900 m, 随着海拔的升高, 多数种株高下降显著, 与海拔呈显著负相关; 叶长和叶柄长均有所下降, 但下降不显著; 叶宽受海拔影响较小。3个绿绒蒿种的叶片表皮毛密度均与海拔呈正相关, 上表皮的表皮毛密度大于下表皮, 上、下表皮的表皮毛密度差异与绿绒蒿种或变种有关。[结论]该研究对于了解绿绒蒿对青藏高原不同海拔气候变化的响应及适应机理, 以及对未来不同气候环境变化条件下的繁育与管理均具有重要意义。

关键词 绿绒蒿; 表现特征; 海拔; 相关性

中图分类号 Q 948.1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)02-0040-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.02.013



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Correlation Analysis on Leaf Characters of *Meconopsis* genus and Altitude in the Southeast Region of Qinghai Province

TUO Guang-hui, TANG Nan, TANG Dao-cheng (Plateau Flower Research Center of Qinghai University, The Key Laboratory of Garden Plant and Ornamental Horticulture in Qinghai Province, Xining, Qinghai 810016)

Abstract [Objective] To study correlation analysis on leaf characters of *Meconopsis* genus and altitude in the southeast region of Qinghai Province. [Method] On site survey of *Meconopsis* genus resources in the southeast region of Qinghai, the leaf characters of species or varieties and distribution altitude was investigated. Relevance analysis between leaf characters and altitudes provided the references for probing into the genetic evolution and adaptation mechanism of *Meconopsis* genus resources in Qinghai-Tibet plateau. [Result] The majority of *Meconopsis* species or varieties in Qinghai southeast region distributed in 3 000m to 3 900 m, the plant height, leaf length and leaf stalk length of the major species or varieties showed decline and negative correlation along with the altitude rised, but leaf width. The leaf epidermis density of 3 species showed a significant correlation along with the altitude rises. Upper epidermis density of leaf was more than the lower epidermis density. The density difference of upper and lower epidermis was related to the species or varieties. [Conclusion] The study would have a significance for interpretation of the response and adaptation to climate change on different altitudes.

Key words *Meconopsis*; Leaf character; Altitude; Correlation

绿绒蒿为罂粟科绿绒蒿属(*Meconopsis* Vig.), 属内有49种(分属于2亚属、5组、9系), 分布于东亚中国境内的喜马拉雅地区有38种, 集中分布于青藏高原的有32种, 其中7种为特有种, 分布于青海的有6种4变种^[1-2]。青藏高原为内陆高原气候, 离地高差大, 气候多变, 形成了许多特殊的绿绒蒿种及变种。不少学者对绿绒蒿属多种进行资源分布、遗传构成、观赏及药用价值的研究^[3-8], 但对青海境内绿绒蒿属资源的表现特征与海拔的相关性研究较少。笔者以青海东南部地区主要绿绒蒿资源的叶片表现性状为对象, 研究其与分布区域海拔的相关性, 旨在为研究绿绒蒿资源在高海拔地区的遗传演变、适应机理及人工繁育提供一定的基础信息。

1 材料与方

1.1 调查方法 对青海省囊谦县、泽库县、玛多县、达日县、玉树县、玛沁等地的各种绿绒蒿进行实地踏勘(点式、点线结合), 采集植物样品, 利用GPS进行样点定位(海拔、经度、纬度)。现场测定不同海拔下全缘叶绿绒蒿、多刺绿绒蒿、总状花绿绒蒿2~3年开花植株基生叶的叶长、叶宽(中部最宽处)和叶柄长, 重复5次(5株), 每株取3片叶, 取其平均值。

1.2 表皮毛的测定与分析 现场每个样点取2~3年生开花

植株5株, 每株取5片基生叶, 除部分装入塑料自封袋中保鲜处理外, 剪取叶片的中央部分, 面积约为1.5 cm×1.5 cm, 立即用50%乙醇配制的FAA固定液固定。在实验室XTT型实体解剖镜下, 每片基生叶的上下表皮各观测5个视野, 测定其表皮毛数, 根据视野面积计算表皮毛密度^[9]。

表皮毛密度(个/mm²)= 视野平均表皮毛数(个)/视野面积(mm²)

1.3 数据分析 采用DPS数据处理系统进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 青海东南部绿绒蒿资源的空间分布 由图1可知, 青海东南部绿绒蒿属资源有6个种, 种间空间分布差异大。以久治绿绒蒿分布空间最狭窄, 仅局限于4 000 m左右的空间; 全缘叶绿绒蒿分布空间区域最大, 3 400~4 900 m均有分布; 多刺绿绒蒿集中分布在3 900~4 900 m的较高空间区域; 五脉绿绒蒿集中分布在3 000~4 000 m的较低空间区域; 红花绿绒蒿和总状绿绒蒿分布空间为3 600~4 700 m。红花绿绒蒿、五脉绿绒蒿和久治绿绒蒿在海拔4 000 m左右共生; 红花绿绒蒿、全缘叶绿绒蒿和总状花绿绒蒿在海拔3 800~4 000 m共生; 多刺绿绒蒿与全缘叶绿绒蒿在海拔3 800~4 900 m共生; 全缘叶绿绒蒿与总状花绿绒蒿在4 300~4 400 m共生。

2.2 同种绿绒蒿在不同海拔下的株高及叶片表现特征分析

2.2.1 不同海拔下全缘叶绿绒蒿的株高及叶片表现特征。 由图2和表1可知, 全缘叶绿绒蒿株高在海拔3 500~4 000 m

基金项目 青海省园林植物与观赏园艺重点实验室专项; 青海省高端创新人才千人计划项目。

作者简介 拓广辉(1984—), 男, 甘肃定西人, 助理工程师, 从事园林植物栽培生理研究。*通信作者, 副教授, 博士, 从事园林植物遗传育种研究。

收稿日期 2018-10-12

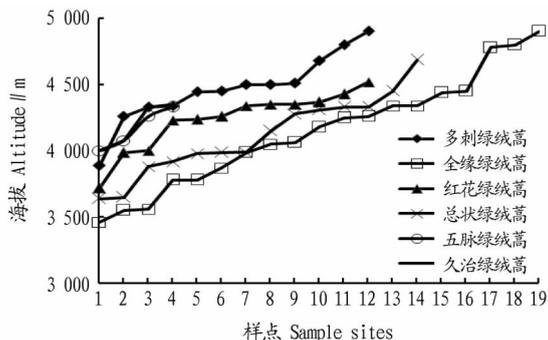


图1 青海东南部绿绒蒿资源分布

Fig.1 Distribution of *Meconopsis* resources in Southeast Qinghai

变化幅度较小,海拔4 000 m 以上变化幅度较大,随着海拔的升高,株高急剧下降,与海拔呈显著负相关;叶长、叶宽、叶柄与海拔相关性不显著。

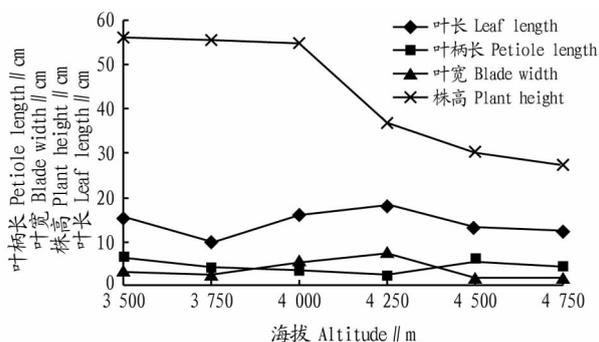


图2 不同海拔下全缘叶绿绒蒿的株高及叶片表观特征

Fig.2 Plant height and apparent characteristics of *Meconopsis integrifolia* at different altitudes

表1 不同海拔下全缘叶绿绒蒿株高及表观特征

Table 1 Plant height and apparent characteristics of *Meconopsis integrifolia* at different altitudes

海拔 Altitude m	叶长 Leaf length cm	叶柄长 Petiole length cm	叶宽 Blade width cm	株高 Plant height cm
3 500	15.07	6.33	3.13	56.24
3 750	9.66	3.74	2.11	55.74
4 000	15.84	3.42	5.26	54.82
4 250	17.96	2.22	7.48	37.23
4 500	13.16	5.60	1.52	30.11
4 750	12.06	4.42	1.81	27.12
方程 Equation	$y = 15.103 9 - 0.000 3x$ $r = -0.044$ $R^2 = 0.001 9$ $P = 0.934 0$	$y = 6.725 6 - 0.000 6x$ $r = -0.184 3$ $R^2 = 0.033 9$ $P = 0.726 6$	$y = 6.450 9 - 0.000 7x$ $r = -0.139 5$ $R^2 = 0.019 5$ $P = 0.792 1$	$y = 156.723 9 - 0.027 4x$ $r = -0.942 4$ $R^2 = 0.888$ $P = 0.004 9$

2.2.2 不同海拔下多刺绿绒蒿的株高及叶片表观特征。由图3和表2可知,多刺绿绒蒿株高在海拔4 200~4 400 m 变化幅度较大,海拔4 400 m 以上变化幅度减小;叶长在海拔4 200~4 600 m 变化幅度较大,4 600 m 以上变化幅度明显减小;叶柄长在海拔4 200 m 以上变化幅度较小。随着海拔升高而株高逐渐下降,但二者相关性不显著。叶长、叶柄长与海拔呈显著负相关。叶宽与海拔的相关性不显著。

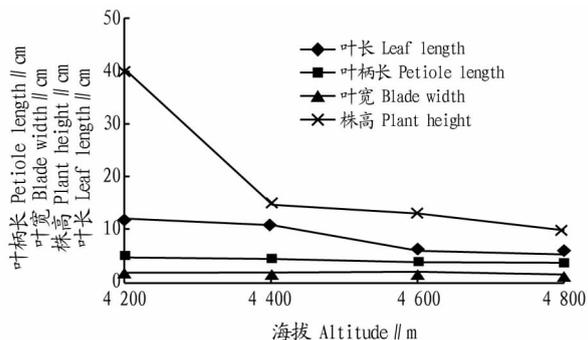


图3 不同海拔下多刺绿绒蒿株高及叶片表观特征

Fig.3 Morphological indexes of *Meconopsis horridula* at different altitudes

表2 不同海拔高度下多刺绿绒蒿各形态指标

Table 2 Morphological indexes of *Meconopsis horridula* at different altitudes

海拔 Altitude m	叶长 Leaf length cm	叶柄长 Petiole length cm	叶宽 Blade width cm	株高 Plant height cm
4 200	12.42	5.22	2.24	40.22
4 400	11.16	4.76	1.96	15.13
4 600	6.34	4.06	2.18	13.41
4 800	5.86	3.94	1.84	10.23
方程 Equation	$y = 64.07 - 0.012 3x$ $r = -0.949 6$ $R^2 = 0.901 7$ $P = 0.050 4$	$y = 14.7400 - 0.002 3x$ $r = -0.971 0$ $R^2 = 0.942 8$ $P = 0.029$	$y = 4.260 0 - 0.000 5x$ $r = -0.675 9$ $R^2 = 0.456 9$ $P = 0.3241$	$y = 226.050 0 - 0.045 8x$ $r = -0.858$ $R^2 = 0.735 9$ $P = 0.142 1$

2.2.3 不同海拔下总状花绿绒蒿的株高及叶片表观特征。从图4和表3可以看出,总状花绿绒蒿株高在海拔3 600~4 600 m 变化幅度较小,随着海拔升高而降低,表现出株高与海拔呈显著负相关。叶长、叶柄长、叶宽受海拔影响较小,与海拔相关性不显著。

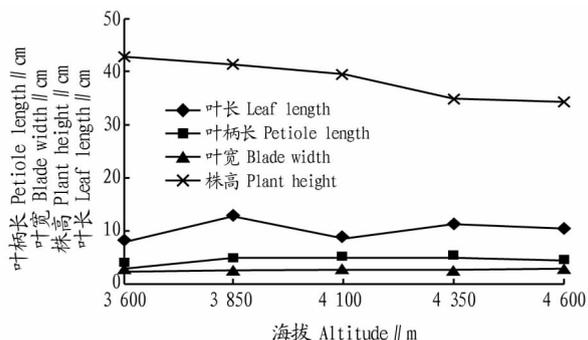


图4 不同海拔下总状绿绒蒿的株高及叶片表观特征

Fig.4 Plant height and apparent leaf characteristics of *Meconopsis racerosa* at different altitudes

2.3 不同海拔下绿绒蒿资源的表皮毛数量变化 由表4可知,3种绿绒蒿基部叶片的上、下表皮毛均随着海拔升高而增加,其差异达极显著水平。上表皮毛多于下表皮毛,下表皮毛的密度约为上表皮毛密度的61.5%~83.7%。全缘叶绿绒蒿上下表皮毛的密度(2.33、1.96个/mm²)明显高于多刺绿绒蒿(1.70、1.09个/mm²)和总状绿绒蒿(1.85、1.14个/mm²),其次是总状绿绒蒿。多刺绿绒蒿叶片的上、下表皮毛与总状绿

绒蒿差异较小,且下表皮毛的密度显著小于上表皮毛密度(下表皮毛密度/上表皮毛密度分别为61.5%和64.5%)。

表3 不同海拔下总状绿绒蒿的株高及表观叶片特征

Table 3 Plant height and apparent leaf characteristics of *Meconopsis racemosa* at different altitudes

海拔 Altitude m	叶长 Leaf length cm	叶柄长 Petiole length cm	叶宽 Blade width cm	株高 Plant height cm
3 600	7.92	3.24	2.28	42.83
3 850	12.74	5.11	2.58	41.44
4 100	8.76	5.02	2.68	39.62
4 350	11.41	4.98	2.52	35.22
4 600	10.53	4.18	2.66	34.56
方程 Equation	$y = 3.892 4 + 0.001 6x$ $r = -0.314 8$ $R^2 = 0.099 1$ $P = 0.605 9$	$y = 1.636 0 + 0.000 7x$ $r = -0.345 7$ $R^2 = 0.119 5$ $P = 0.568 8$	$y = 1.396 0 + 0.000 3x$ $r = -0.688 0$ $R^2 = 0.473 3$ $P = 0.199 1$	$y = 76.060 4 - 0.009 1x$ $r = -0.973 5$ $R^2 = 0.947 8$ $P = 0.005 1$

3种绿绒蒿基部叶片上、下表皮毛密度与海拔相关性分析结果表明(表5),全缘叶绿绒蒿和多刺绿绒蒿随海拔增加,上、下表皮毛密度也增加,且均与海拔呈显著正相关,相关性高达0.937 5/0.957 2和0.988 2/0.964 8,总状绿绒蒿基生叶的上、下表皮毛分布密度与海拔具有一定的相关性(0.662 5/0.661 6),但相关性不显著。

表5 海拔与3种绿绒蒿资源基部叶片上下表皮毛的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the above and below leaves of the resource base of artemisia annual

指标 Index	全缘叶绿绒蒿 <i>Meconopsis integrifolia</i>		多刺绿绒蒿 <i>Meconopsis horridula</i>		总状绿绒蒿 <i>Meconopsis racemosa</i>	
	上表皮 Epicuticle	下表皮 Hypodermi	上表皮 Epicuticle	下表皮 Hypodermi	上表皮 Epicuticle	下表皮 Hypodermi
方程 Equation	$y = -0.807 4 + 0.002 5x$	$y = -6.880 7 + 0.002 1x$	$y = -16.444 3 + 0.003 9x$	$y = -10.302 8 + 0.002 5x$	$y = -8.847 6 + 0.002 6x$	$y = -4.515 9 + 0.001 36x$
r	0.937 5	0.957 2	0.988 2	0.964 8	0.662 5	0.661 6
R^2	0.878 8	0.916 3	0.976 4	0.930 8	0.438 8	0.437 9
p	0.005 7	0.002 7	0.011 8	0.035 2	0.223 1	0.223 9

3 结论与讨论

(1) 青藏高原受大气环流和地势格局的制约,形成了高原温度、水分状况不同的地域组合,呈现出从东南温暖湿润向西北寒冷干旱的变化^[10]。海拔是温、光、气、水生态因子的集中反映,一定海拔下的4个生态因子相对稳定,随着海拔的升高,气温、气压降低,光照强度增大,植物的生物学特性也随着生态因子的改变而变化。绿绒蒿属于典型的高山野生花卉^[11]。由于原产地生境特殊,引种栽培具有相当大的难度^[7]。尤其是从高海拔地区引种到中海拔地区,由于海拔的变化会带来植物学和生物学的系列变化^[6]。因此,必须了解绿绒蒿对海拔及生态因子变化的适应性反映。

(2) 随着海拔升高,绿绒蒿属多数种的株高逐渐降低。在一定海拔之上,株高与海拔呈负相关。种间、变种间与海拔的相关性强弱差异较大,全缘叶绿绒蒿和总状绿绒蒿的株高与海拔呈显著负相关,对海拔反应敏感,适应能力弱,引种驯化困难。多刺绿绒蒿尽管与海拔存在一定的相关性,但相关性不显著,说明对海拔的反应较为迟钝,对综合生态环境因子的适应面较宽,有利于引种驯化栽培。

(3) 随着海拔升高,绿绒蒿属多数种的叶片长度、叶柄长

表4 不同海拔下3种绿绒蒿资源基部叶片上、下表皮毛差异性分析

Table 4 Difference analysis of the upper and lower surface fur of the leaves at the resource base of three artemisia annua species at different altitudes

品种 Variety	海拔 Altitude//m	上表皮 Epicuticle 个/mm ²	下表皮 Hypodermis 个/mm ²
全缘叶绿绒蒿 <i>Meconopsis integrifolia</i>	3 550	0.696 7 eE	0.600 6 fF
	3 870	1.227 1 dD	1.095 1 eE
	4 064	2.264 6 cC	1.677 4 dD
	4 340	3.466 6 aA	2.830 4 bB
	4 450	2.743 2 bB	2.522 7 cC
	4 800	3.607 8 aA	2.997 2 aA
多刺绿绒蒿 <i>Meconopsis horridula</i>	4 260	0.416 0 dD	0.307 4 cC
	4 500	0.927 2 cC	0.529 6 bB
	4 800	2.451 7 bB	1.732 5 aA
	4 950	2.994 7 aA	1.810 2 aA
总状绿绒蒿 <i>Meconopsis racemosa</i>	3 638	0.804 4 dD	0.571 9 dD
	3 920	1.650 6 bB	1.053 4 bB
	4 280	0.862 9 dD	0.607 1 dD
	4 450	1.263 4 cC	0.831 5 cC
	4 685	4.659 5 aA	2.618 8 aA

注:同列不同小写字母表示不同海拔间差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different altitudes at 0.05 level; different capital letters stand for significant differences at 0.01 level

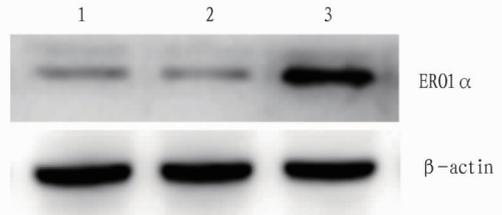
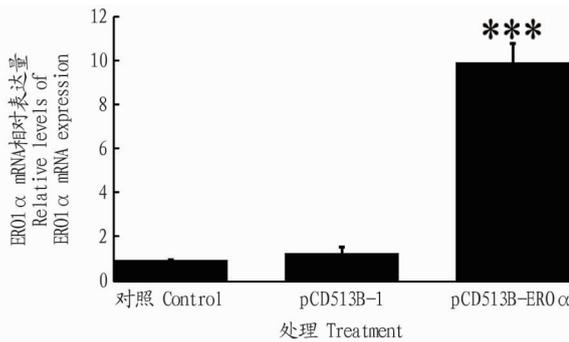
度、叶片宽度均有所变化。全缘叶绿绒蒿叶片长度、宽度和叶柄长度与海拔具有一定的负相关性,但相关性均不显著;多刺绿绒蒿的叶长、叶柄长与海拔呈显著负相关,株高和叶宽与海拔存在一定的负相关,但相关性不显著;总状绿绒蒿除株高与海拔呈显著负相关外,叶长、叶柄、叶宽与海拔均无显著负相关关系。这说明种间和变种间对不同海拔下生态因子的适应能力存在较大差异,多刺绿绒蒿叶片的表观性状对海拔变化较为敏感,而其他2个种的叶部表观性状对海拔的反映相对迟钝。在由高海拔地区引向低海拔地区过程中,多刺绿绒蒿的株高变化不大,但叶部性状变化较大;全缘叶绿绒蒿和总状绿绒蒿的株高变化较大,而叶部表观性状变化较小。

(4) 随着海拔升高,各种绿绒蒿的表皮毛密度逐渐增加。在低海拔地区表皮毛密度小,随海拔上升的增幅也较小;在高海拔地区表皮毛密度大,随着海拔增加表现出急剧上升。在各海拔下,各种绿绒蒿均表现出上表皮表皮毛密度大于下表皮表皮毛密度,随着海拔增加上下表皮毛密度的比值逐渐增大。全缘叶绿绒蒿和多刺绿绒蒿基部叶片的上下表皮毛

(下转第93页)

选,成功筛选到稳定表达 ERO1 α 的 RAW264.7 细胞,为后续

研究 ERO1 α 的免疫调节作用提供了技术支持。



注:A是 RT-qPCR 检测 pCD513B-ERO1 α 转导 RAW 264.7 细胞后 ERO1 α mRNA 表达变化,*** P <0.001。B是 Western blot 检测 pCD513B-ERO1 α 转导 RAW 264.7 细胞后 ERO1 α 蛋白表达变化;1 是正常细胞 Control 组,2 是 pCD513B-1 组,3 是 pCD513B-ERO1 α 组

Note:A,RT-qPCR detection of ERO1 α mRNA in RAW264.7 macrophage transduced with pCD513B-ERO1 α lentivirus,*** P <0.001.B;Western blot detection of ERO1 α protein in RAW264.7 macrophage transduced with pCD513B-ERO1 α lentivirus;1,The control group of normal cells,2,The pCD513B-1 group,3,The pCD513B-ERO1 α group

图 5 pCD513B-ERO1 α 慢病毒转导 RAW264.7 细胞 ERO1 α 表达效果测定

Fig.5 The overexpression effect of ERO1 α transduced with pCD513B-ERO1 α overexpression lentivirus in RAW264.7 macrophage

参考文献

- [1] POLLARD M G, TRAVERS K J, WEISSMAN J S. ERO1p: A novel and ubiquitous protein with an essential role in oxidative protein folding in the endoplasmic reticulum[J]. *Molecular cell*, 1998, 1(2): 171-182.
- [2] FRAND A R, KAISER C A. ERO1p oxidizes protein disulfide isomerase in a pathway for disulfide bond formation in the endoplasmic reticulum[J]. *Molecular cell*, 1999, 4(4): 469-477.
- [3] ARAKI K, NAGATA K. Functional in vitro analysis of the ERO1 protein and protein-disulfide isomerase pathway[J]. *The journal of biological chemistry*, 2011, 286(37): 32705-32712.
- [4] KUTOMI G, TAMURA Y, TANAKA T, et al. Human endoplasmic reticulum oxidoreductin 1- α is a novel predictor for poor prognosis of breast cancer[J]. *Cancer Sci*, 2013, 104(8): 1091-1096.
- [5] MAY D, TTIN A, GAL O, et al. ERO1-L α plays a key role in a HIF-1-mediated pathway to improve disulfide bond formation and VEGF secretion under hypoxia; Implication for cancer[J]. *Oncogene*, 2005, 24: 1011-1020.
- [6] KUKITA K, TAMURA Y, TANAKA T, et al. Cancer-associated oxidase ERO1- α regulates the expression of MHC class I molecule via oxidative

- folding[J]. *Journal of immunology*, 2015, 194(10): 4988-4996.
- [7] TANAKA T, KAJIWARA T, TORIGOE T, et al. Cancer-associated oxidoreductase ERO1- α drives the production of tumor-promoting myeloid-derived suppressor cells via oxidative protein folding[J]. *Journal of immunology*, 2015, 194(4): 2004-2010.
- [8] 陈风雷, 小鼠 Zhangfei 基因过表达和 shRNA 干扰慢病毒载体的构建和鉴定[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 42-43.
- [9] CHEN F L, LIN P F, LI X, et al. Construction and expression of lentiviral vectors encoding recombinant mouse CREBZF in NIH 3T3 cells[J]. *Plasmid*, 2014, 76: 24-31.
- [10] CHEN F L, LI Q, ZHANG J Y, et al. Silencing effect of lentiviral vectors encoding shRNA of Herp on endoplasmic reticulum stress and inflammatory responses in RAW 264.7 macrophages[J]. *Genetics and molecular research*, 2015, 14(4): 17587-17598.
- [11] RASCHKE W C, BAIRD S, RALPH P, et al. Functional macrophage cell lines transformed by Abelson leukemia virus[J]. *Cell*, 1978, 5(1): 261-267.
- [12] BLESCH A. Lentiviral and MLV based retroviral vectors for ex vivo and in vivo gene transfer[J]. *Methods*, 2004, 33(2): 164-172.

(上接第 42 页)

密度与海拔呈显著正相关,而总状绿绒蒿的叶片上下表皮毛密度与海拔有一定相关性,但相关性较弱。在相近海拔外,全缘叶绿绒蒿的上下表皮毛密度最大,总状绿绒蒿和多刺绿绒蒿叶片的上下表皮毛密度相对较小。通过表皮毛密度与海拔的关系分析,说明表皮毛参与了生态适应性的调节,因此,利用叶片表皮毛密度可以为引种驯化提供一定的理论信息。

根据绿绒蒿属植物分布的生态信息,叶部表现性状除受海拔影响外,还受阴坡与阳坡的影响,由于取样时对阴阳坡的辨识可能存在差异,该研究未纳入分析,在后续研究中获得准确的阴阳坡信息后,对其结论可能适当调整。

参考文献

- [1] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海植物志[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1999: 387-392.
- [2] SULAIMAN I M, BABU C R. Ecological studies on five species of endan-

- gered Himalayan poppy, *Meconopsis* (Papaveraceae) [J]. *Botanical journal of the linnean society*, 1996, 121(2): 169-176.
- [3] 谢鸿妍. 滇西北藏药绿绒蒿属植物的民族植物学研究[D]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 1999.
- [4] 王彬, 宋学华, 陈重明. 藏药绿绒蒿的民族植物学研究进展[J]. *中国医学生物技术应用杂志*, 2003(1): 39-45.
- [5] 王彬, 宋学华, 陈重明. 青海久治地区绿绒蒿属植物的民族植物学研究[C]// 首届中国民族植物学学术与产业发展研讨会文集. 杭州: [出版者不详], 2002.
- [6] 王彬, 宋学华, 陈重明, 等. 藏药绿绒蒿的品种研究[J]. *中国野生植物资源*, 2003, 22(4): 43-46.
- [7] 郭世民, 赵远, 王曙光. 总状绿绒蒿药效学的初步研究[J]. *云南中医中药杂志*, 2003, 24(1): 25-27.
- [8] 拓广辉, 唐楠, 唐道城. 青海东南部主要绿绒蒿资源分布区的土壤及伴生植物[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2017, 35(4): 50-55.
- [9] 李苗苗, 唐道城, 曾莹. 青海不同海拔高度下 3 种绿绒蒿表皮毛密度的变化[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2008, 26(6): 16-18.
- [10] 孙鸿烈. 青藏高原研究的新进展[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(6): 536-542.
- [11] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志: 第 2 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 45.