

青海东南部山丹百合生态多样性分析

莫帼超, 唐道城, 缪雨薇

(青海大学 高原花卉研究中心 青海 西宁 810016)

摘要:以青海省东南部地区 12 个居群的山丹百合为研究对象, 设样地调查其群落特征, 分析其土壤理化性质, 通过居群间生态因子的相关分析及聚类分析, 对居群间生态多样性进行评价, 探讨山丹百合资源的漂移线路。结果表明: 山丹百合主要生长在以绣线菊、马莲、马仙蒿、金露梅和棘豆为优势种的阴坡灌丛中, 在垂直结构上居于灌木层片。12 个居群的山丹百合各土壤性状都表现出显著差异, 具有较丰富的多样性。各土壤因子中以全氮含量与其它因子之间的相关性较显著, 各地理因子中以年均温对土壤性状的影响最大, 其次是坡向和年日照时长。通过研究发现青海省山丹百合存在 3 条主要的迁徙路线, 表现出由低海拔向高海拔、低纬度向高纬度以及高经度向低经度迁徙的趋势。

关键词: 山丹百合; 生态多样性; 伴生植物; 土壤因子

中图分类号: S 682.2⁺9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)12-0069-05

山丹百合 (*Lilium pumilum* DC.) 为百合科 (Liliaceae) 百合属 (*Lilium*) 卷瓣组多年生球根植物, 不仅具有较高的观赏价值, 还具有较高的药用及食用价值。百合属全世界约有 94 个种, 我国有 47 种, 18 个变种。据青海植物志记载^[1], 青海境内有 2 种, 主要分布在东南部地区, 其中山丹百合为青海地区唯一一种野生百合。目前国内对秦巴山区^[2] 和岷江流域^[3] 野生百合资源的研究较多, 研究限于形态学^[4]、细胞学^[5] 和分子水平^[6], 生态多样性研究的报道相对较少。车飞^[7] 等通过秦巴山区野生百合生态特征的调查, 发现野生百合多生长在富含有机质的土壤中。吴祝华^[8] 等在调查岷江百合生境时发现, 岷江百合生长于干旱河谷灌丛的弱碱性褐土上, 肥力水平较高, 但有效成分较低, 垂直结构上居于灌木层片。青藏高原由于地理气候独特, 形成了山丹百合的独立分布区, 尤以青海东南部分布最为集中。目前对青藏高原山丹百合生态多样性的研究报道几乎没有。该试验收集青海省东南部地区的山丹百合种质资源, 对种内居群进行生境调查, 分析其土壤条件, 旨在探讨其生态多样性, 为了解青藏高原山丹百合资源的漂移路线和资源保护提供一些背景资料。

1 材料与方法

2009 年 7 月赴青海省东部农业区及黄南藏族自治州等地收集山丹百合。在踏勘的基础上, 详细记载样地现场的自然地理地貌、气候特征; 随机取 1 m × 1 m 样方 3 个, 记录植被群落特征、居群内植物的分布频度、密度等指标; 采集植物根系周围的土样, 带回实验室分析其全氮、全磷、全钾、有机质、pH 及电导率等生理生化指标^[9]。利用 SAS 及 NTsys 软件对生态因子进行分析。

2 结果与分析

2.1 青海东南部山丹百合分布地理环境的多样性

经调查发现 (表 1), 青海东南部地区山丹百合主要分布在海拔 2 310 ~ 3 950 m, 东经 101° 12' 02.1" ~ 102° 58' 36", 北纬 35° 08' 30.1" ~ 37° 15' 57.5" 的区域内, 与青海植物志记载比较发现山丹百合的海拔分布在上升; 多性喜阴凉, 40% 分布在阴坡, 40% 分布在半阴坡, 只有 20% 分布在林缘阳坡; 70% 分布于灌草丛中, 30% 分布在农地边缘。分布区域年平均降水量 327 ~ 550 mm, 年平均温度为 2.3 ~ 7.2 °C, 全年日照时间为 1 546 ~ 2 624.9 h。分布区域广, 适应性强, 南北分布跨度大, 东西分布较为狭窄。

2.2 伴生植物群落及伴生植物多样性

在群落中山丹百合并不属于优势种 (表 2), 在垂直层片中处于灌木层片。其伴生植物主要有 14 科 18 属, 其中以蔷薇科、菊科及豆科最多, 绣线菊属、蒿属及棘豆属为优势属; 伴生植物以草本为主, 其次为灌木和乔木。由此说明山丹百合分布伴生植物多样, 以灌丛和草本地被植物为主, 在高原地区绣线菊属、蒿属及棘豆是寻找山丹百合的先锋植物。

第一作者简介: 莫帼超 (1987-), 女, 在读硕士, 现主要从事植物遗传多样性研究工作。E-mail: mgc-chao@163.com.

责任作者: 唐道城 (1954-), 男, 硕士, 教授, 博士生导师, 现主要从事高原花卉研究工作。E-mail: tangdaocheng6333@163.com.

基金项目: 青海省科技局资助项目 (2007-K-08)。

收稿日期: 2011-04-01

表 1 采样地的地理位置和生态因子

Table 1 The geographical position and ecological factors of sampling localities

居群①	海拔/m	经度/°N	纬度/°E	年均降水量/mm②	年均温度/°C②	年日照时数/h②	坡向、坡度/°	植被类型
HY	2 763	E101°23'58.4"	N36°39'08.5"	508.9	4.8	2 219.5	半阴坡, 阳坡 30~70	高山灌草、岩缝
BK	2 776.5	E101°33'23.3"	N37°09'37.8"	550	4.2	2 264.8	阴坡 50~80	灌草丛
XM	2 827	E101°59'45.6"	N37°15'57.5"	520	4.3	2 252.3	阳坡 70~90	高山灌草
DW	3 950	E102°08'03"	N35°54'08"	425.7	6.2	2 624.9	阴坡 0~50	草甸、林缘地
XH	2 310	E102°23'08"	N35°08'30.1"	368.6	5.5	1 939.7	半阴坡 45~55	灌草丛
BZ	2 440	E102°22'29.3"	N37°01'24.2"	345	5.4	2 021.3	阴坡 40~60	灌草丛
KD	2 316	E102°28'56.0"	N36°57'0.7"	351	5.2	2 021.7	阴坡 40~60	灌草丛
ZL	2 358	E102°34'9.1"	N36°51'58.3"	327	5	2 021.7	半阴坡 30~50	灌草丛
MY	2 656	E102°58'36"	N36°03'23"	519.2	7.2	2 208	阴坡 30~80	林缘地
RN	2 650	E101°12'02.1"	N36°32'33.1"	408.9	2.3	1 691.5	半阴坡 0~5	灌草丛
PA	2 518	E102°06'39.4"	N36°29'43.9"	450	3.1	1 764.4	半阴坡 5~10	灌草丛
SZ	2 645	E101°33'09.8"	N36°38'48.7"	427	2.4	1 546	半阴坡 0~5	灌草丛

注:①HY 为湟源县湟源峡, BK 为大通县宝库乡, XM 为门源县仙米林场, DW 为同仁县多哇乡, XH 循化县文都乡, BZ 为互助县巴扎乡, KD 为互助县塔多村, ZL 为互助县扎龙口村, MY 为民和县西沟乡, RN 为湟源县日月乡, PA 为平安县, SZ 为湟源县多巴镇双寨乡;②由各地气象部门提供。

表 2 不同居群山丹百合的主要伴生植物

Table 2 Primary associated plants of *Lilium pumilum* populations

居群①	植物名称	学名	种数	频度②	密度	生活型
HY	绣线菊	<i>Spiraea salicifolia</i> L.	5	多	4	灌木
	艾蒿	<i>Artemisia argyi</i>		中	3	草本
	荚果蕨	<i>Mattuccia wrightii</i> L.		中	3 丛	草本
	禾本科草	<i>Poaceae</i>		多	5 丛	草本
BK	绣线菊	<i>Spiraea salicifolia</i> L.	7	中	3	灌木
	马仙蒿	<i>Lousewort</i>		多	4	草本
	火绒草	<i>Leontopodium alpinum</i>		少	1	草本
XM	披针叶黄华	<i>Thermopsis lanceolata</i> R. Br.		少	1	草本
	金露梅	<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb.	6	中	2	灌木
	艾蒿	<i>Artemisia argyi</i>		多	4	草本
	细叶益母草	<i>Leonurus sibiricus</i> Linn.		少	1	草本
DW	门源蒿草	<i>Kobresia menyuanica</i> Y. C.		多	5	草本
	金露梅	<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb.	8	中	2	灌木
	草麻黄	<i>Ephedra sinica</i>		多	4	草本
	青海云杉	<i>Picea crassifolia</i>		少	1	乔木
	青杨	<i>Populus cathayana</i> var. <i>cathayana</i>		少	1	乔木
	艾蒿	<i>Artemisia argyi</i>		中	3	草本
	棘豆	<i>Oxytropis falcatae</i>		多	5	草本
XH	肉果草	<i>Lancea tibetica</i> Hook. f. et Thoms.	4	少	1	草本
	唐松草	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> L. var. <i>sibiricum</i> Regel		少	1	草本
BZ	金露梅	<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb.	6	少	1	灌木
	马莲	<i>Iris ensata</i> Thunb.		中	3	草本
	野葱花	<i>A. fistulosum</i>		少	1	草本
	棘豆	<i>Oxytropis falcatae</i>		中	2	草本
KD	棘豆	<i>Oxytropis falcatae</i>	4	少	1	草本
	马莲	<i>Iris ensata</i> Thunb.		中	3	草本
ZL	马莲	<i>Iris ensata</i> Thunb.	7	中	3	草本
	银露梅	<i>Dasiphora fruticosa</i> var. <i>davurica</i>		多	6	灌木
	杨属植物	<i>Populus cathayana</i> var. <i>latifolia</i>		少	1	乔木
	棘豆	<i>Oxytropis falcatae</i>		中	3	草本
MY	马仙蒿	<i>Lousewort</i>	5	中	3	草本
RN	绣线菊	<i>Spiraea salicifolia</i> L.		多	4	灌木
	芍药	<i>Paeonia lactiflora</i>	5	中	3	草本
PA	波斯菊	<i>Cosmos bipinnatus</i> C. W.		多	5	草本
	波斯菊	<i>Cosmos bipinnatus</i> C. W.	7	多	4	草本
	向日葵	<i>Helianthus annuus</i>		中	3	草本
SZ	荷包牡丹	<i>Dicentra Spectabilis</i> (L.) Lem.	5	多	5	草本

注:①居群同表 1;②表中频度分级水平:1 株为少, 2~3 株为中, ≥4 株为多。

2.3 土样特征的多样性

各居群的土壤分析表明(表 3), 土壤的含水量为 4.85%~15.32%, 毛管孔隙度为 13.26%~46.85%, 容重

为 0.18~1.05 g/cm³, 全氮含量为 0.428~2.008 g/kg, 全磷含量为 3.231%~8.220%, 全钾含量为 0.619%~0.782%, 有机质含量为 2.039%~3.278%, pH 为

7.87~8.48, 电导率为 0.117~0.360 mS/cm。据我国第 2 次土壤普查有机质含量分级标准^[10], 12 个居群的百合有机质含量均为三级水平; 另外民和及双寨 2 个居群的可溶性盐含量明显高于其它居群。利用 SAS 软件对 12 个居群土壤的 9 个指标分析表明, 各指标居

群间都存在极显著差异, 表现出土壤性质的多样性。说明山丹百合适应土壤环境广泛, 对土壤水分、毛管孔隙度、全氮含量要求不严格, 但对土壤磷含量要求较高。

表 3 山丹百合不同居群土壤的理化性质及其差异显著性分析

Table 3 Characteristics and significant analysis of soil factors in *Lilium pumilum* populations

居群①	土壤理化因子②								
	HS	KX	RZ	QN	QP	QK	YJ③	Ph	DD
HY	10.62dD	19.15jJ	0.30iI	1.604dD	4.601dD	0.684bcdBCD	3.278aA	7.88jJ	0.170bB
BK	10.02FF	20.56hH	1.05aA	0.738hH	4.083gG	0.684bcdBCD	2.039fF	8.48aA	0.117eE
XM	11.86cC	16.68kK	0.24jJ	2.008aA	4.308fF	0.782aA	3.104bB	8.10iI	0.130cdCD
DW	7.20hH	28.34eE	0.53dD	0.914gG	3.313iI	0.619dD	2.420eE	8.26eE	0.120deDE
XH	7.63gG	31.25dD	0.46eE	1.339eE	4.417eE	0.684bcdBCD	3.275aA	8.16gG	0.120deDE
BZ	10.03eE	26.29FF	0.90bB	0.660iI	3.231jJ	0.750abAB	3.149bB	8.38cC	0.120deDE
KD	10.03eE	26.01gG	0.82cC	1.051fF	3.763hH	0.619dD	2.952cC	8.36dD	0.167bB
ZL	15.32bB	19.79iI	0.22kK	1.859bB	4.444eE	0.717bcBC	3.176bB	7.87jJ	0.130cdCD
MY	18.24aA	13.26L	0.18L	1.778cC	4.335fF	0.684bcdBCD	3.146bB	8.12hH	0.360aA
RN	5.21iI	46.85aA	0.39hH	0.505kK	5.644cC	0.652cdCD	2.078fF	8.41bB	0.140cC
PA	4.85kK	41.25cC	0.41gG	0.551jJ	8.220aA	0.684bcdBCD	2.365eE	8.24fF	0.160bB
SZ	4.96jJ	44.49bB	0.43fF	0.428L	6.066bB	0.684bcdBCD	2.573dD	8.15gG	0.350aA
均值	9.66	27.83	0.49	1.120	4.702	0.687	2.796	8.20	0.174
变幅	10.47	33.59	0.87	1.580	4.989	0.163	1.239	0.61	0.243

注: ①居群同表 1; ②HS 为含水量(%), KX 为毛管孔隙度(%), RZ 为容重(g/cm³), QN 为全氮含量(g/kg), QP 为全磷含量(%), QK 为全钾含量(%), YJ 为有机质含量(%), Ph 为 pH 值, DD 为电导率(mS/cm); ③土壤有机质含量分级标准: >4% 为一级, 3%~4% 为二级, 2%~3% 为三级, 1%~2% 为四级, 0.6%~1% 为五级, <0.6% 为六级; ④大写字母表示在 1% 的极显著水平的差异显著性分析结果, 小写字母表示 5% 的显著水平的差异显著性分析结果。

2.4 生态多样性综合评价

综合评价表明(表 4), 土壤含水量与毛管孔隙度呈极显著负相关($r = -0.87617$), 与全氮含量呈极显著正相关($r = 0.79394$), 与有机质含量呈显著相关($r = 0.58442$)。土壤毛管孔隙度分别与全氮含量和全磷含量呈极显著负相关($r = -0.79790$)和显著正相关($r = 0.63468$)。容重与土壤的其它性状多呈负相关,

但与 pH 值呈极显著正相关($r = 0.76770$); 全氮含量与有机质呈极显著正相关($r = 0.72469$), 与 pH 值呈极显著负相关($r = -0.71383$); 全磷含量与其它土壤性状多呈负相关, 但是多数没有达到显著水平; 全钾含量与各指标间均没达到显著水平; 有机质与 pH 值呈显著负相关($r = -0.65469$)。

表 4 不同居群山丹百合土壤性状间相关系数矩阵

Table 4 Correlation coefficient matrix of soil characteristics of *Lilium pumilum* populations

土壤因子①	土壤因子①							
	HS	KX	RZ	QN	QP	QK	YJ	Ph
KX	-0.87617 **							
RZ	-0.26269	0.05085						
QN	0.79394 **	-0.79790 **	-0.56397					
QP	-0.48296	0.63468 *	-0.34080	-0.36160				
QK	0.32984	-0.34328	-0.18649	0.39811	-0.03223			
YJ	0.58442 *	-0.56838	-0.35298	0.72469 **	-0.37864	0.42332		
Ph	-0.43154	0.36421	0.76770 **	-0.71383 **	-0.06892	-0.29571	-0.65469 *	
DD	0.21263	0.05307	-0.35895	0.00427	0.25158	-0.09478	0.09241	-0.20999

注: ①土壤因子同表 3; ②相关系数分析: $\alpha_{0.01} = 0.67204$, 用 * 表示; $\alpha_{0.05} = 0.57744$, 用 * 表示。

将分布的地理因子结合土壤因子综合评价发现(表 5), 海拔与土壤因子负相关, 但是不显著。孔隙度和 pH 值与各地理因子多负相关。含水量与经度(0.67799)及年均温(0.69490)显著正相关。孔隙度与年均温(-0.74926)及年日照时长(-0.73274)极显著负相关。容重与坡向(-0.62324)显著负相关, 全磷含

量与年均温(-0.68678)和年日照时长(-0.67476)显著负相关, 土壤盐分含量与植被(0.58957)显著正相关。由表 5 中各因子对土壤性状的相关系数的绝对值之和可知, 年均温对土壤性状的影响最大, 其次是坡向和年日照时长。

表 5 不同居群山丹百合土壤性状与地理因子的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between geographic factors and soil characteristics of *Lilium pumilum* populations

土壤因子①	海拔/m	经度/°E	纬度/°N	年均降水量/mm	年均温/°C	年日照时长/h	坡向②	植被③	伴生植物种类数/个
HS	-0.15656	0.67799 *	0.14772	0.16759	0.69490 *	0.45069	-0.16936	0.57084	-0.06490
KX	-0.05653	-0.50957	-0.19543	-0.33384	-0.74926 **	-0.73274 **	0.16939	-0.28846	-0.01509
RZ	-0.03145	0.08852	0.29304	-0.12042	-0.01256	0.09885	-0.62324 *	-0.26375	0.07125
QN	-0.06938	0.36962	-0.02373	0.18585	0.56142	0.46654	0.32663	0.32042	-0.27672
QP	-0.24735	-0.25383	-0.04437	0.12425	-0.68678 *	-0.67476 *	0.44433	0.15796	0.21816
QK	-0.30896	0.10135	0.40726	0.14479	-0.04442	-0.04589	0.51444	0.29412	-0.08739
YJ	-0.35961	0.37669	-0.13994	-0.24055	0.57098	0.15462	0.17284	0.32879	-0.54288
Ph	0.07717	-0.13439	0.12305	-0.01849	0.19587	-0.07924	-0.49911	-0.15321	0.29963
DD	-0.09218	0.25001	-0.12404	0.25324	0.02196	-0.31030	-0.09542	0.58957 *	0.21972

注: ①土壤因子同表3, ②在进行相关系数分析时, 坡向的赋值: 阴坡 0 半阴坡; 1 阳坡; 2; 植被类型的赋值: 草甸; 0 灌草; 1, 林缘地; 2; 伴生植物种类数: (3~4)个; 1, (5~6)个; 2 (7~8)个; 3, ③相关系数分析: $\alpha_{0.01}=0.70522$ 用 ** 表示 $\alpha_{0.05}=0.57631$ 用 * 表示。

2.5 居群生态多样性与迁徙

由各居群的地理因子聚类分析(图1)可知, 在距离 L=2 时可以分为三大类和 1 个独立类群, 分别是 I 类群包括循化、巴扎、堪多和扎龙口 4 个居群, II 类群包括日月乡、平安和双寨居群, III 类群包括湟源、宝库、仙米和民和居群。多哇形成独立类群。根据各居群土壤因子聚类分析(图2)表明, 当 L=5 时可以分为三大类群, 第一类群包括多哇、循化、巴扎和堪多居群, 第二类群包括湟源、宝库、仙米、扎龙口和民和居群, 第三类群

包括日月乡、平安和双寨居群。二类生态要素聚类分析结果的吻合度达到 80% 以上。综合 2 个聚类分析, 可以认为山丹百合在青海的迁徙路线主要有 3 条。这 3 条路线中包含了由低海拔向高海拔的迁徙, 由低纬度向高纬度的迁徙以及由高经度向低经度的迁徙。山丹百合分布的生态多样性是由于迁徙线路不同所造成的。同时同一路线上, 由于迁徙时间的延长又形成了相对独立的生态居群。

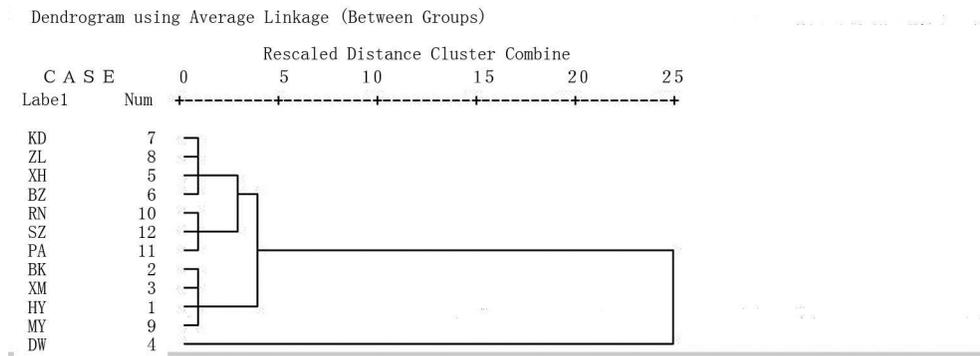


图 1 山丹百合居群地理因子的聚类图

Fig. 1 Dendrogram of geographic factors of *Lilium pumilum* populations

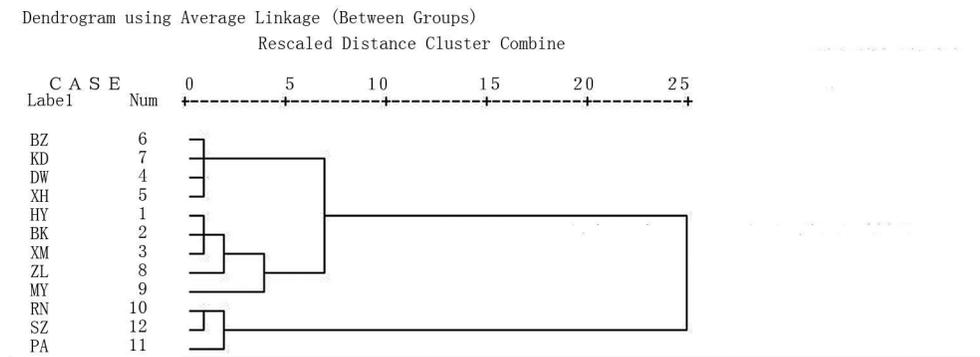


图 2 山丹百合居群土壤因子的聚类图

Fig. 2 Dendrogram of soil factors of *Lilium pumilum* populations

3 结论与讨论

通过调查发现,山丹百合生存适应能力较强,在青海省分布区域广,其分布区南北跨度大,东西跨度较为狭窄。山丹百合性喜阴凉,多分布在以绣线菊、马莲、马仙蒿、金露梅和棘豆为主要优势种的植物群落中,在垂直结构上居于灌木层片。山丹百合喜弱碱性较肥沃的土壤,这与吴祝华等对岷江百合的生境调查结果基本相符。对 12 个居群的山丹百合各土壤性状进行差异显著性分析,都表现出极显著差异,具有较丰富的多样性。

通过相关性分析发现,全氮含量与含水量、孔隙度、有机质及土壤 pH 值之间都存在极显著相关。各地理因子中以年均温对土壤性状的影响最大,其次是坡向和伴生年均日照时长。比对聚类分析结果和青海植物志记载,青海省的山丹百合主要存在 3 条迁移路线。第 1 条是低海拔向高海拔的迁徙路线,包括湟源→宝库→仙米,出现这种现象的原因可能有以下二点:一方面在低海拔地区由于人为干扰导致山丹百合资源的流失,另一方面由于全球气温的变暖导致性喜冷凉气候的山丹百合往高海拔地区的迁徙;第 2 条是有高经度向低经度的迁徙路线,包括民和→平安→双寨→日月乡居群;第 3 条是有低纬度向高纬度的迁徙

路线,包括循化→多哇→扎龙→堪多→巴扎。各迁徙路线内由于迁徙时间的延长又形成了相对独立的生态居群;在由高经度向低经度迁徙路线中,民和与平安、双寨和日月乡被聚为了 2 个不同类群。

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: 280.
- [2] 向地英, 张延龙, 郝瑞杰. 秦巴山区及毗邻地区野生百合性状描述[J]. 中国农学通报, 2006, 22(10): 97-100.
- [3] 邓明文. 岷江百合种质资源遗传多样性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [4] 向地英, 张延龙, 牛立新. 秦巴山区及毗邻地区野生百合的形态多样性研究[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(4): 385-388.
- [5] 荣立苹, 雷家军, 毕晓颖, 等. 8 种野生百合染色体数目的变异[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(9): 48-50.
- [6] 张克中, 贾月慧, 张启翔, 等. 部分中国野生百合亲缘关系的 AFLP 技术分析[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(2): 19-22.
- [7] 车飞, 牛立新, 张延龙, 等. 秦巴山区野生百合资源及其生境土壤特征的调查[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 9955-9957.
- [8] 吴祝华, 姜福星, 施季森, 等. 岷江百合生境及遗传多样性[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(7): 40-43.
- [9] 南京林业大学. 田间实验和统计方法[M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1985.
- [10] 史瑞和, 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1981.

Analysis of Ecotypic Diversities of *L. pumilum* DC. in Southeast Area of Qinghai Province

MO Guo-chao, TANG Dao-cheng, MIU Yu-wei

(Plateau Flower Research Center, Qinghai University, Xining, Qinghai 810018)

Abstract: An experiment was conducted to analyze the ecotypic diversities of 12 populations of *L. pumilum* DC. in southeast area of Qinghai province through investigating the vegetation characteristics, climate characteristics and geographical characteristics of the populations and soil characteristics. The results showed that most *L. pumilum* grew in shady shrubbery dominated by *Spiraea salicifolia*, *Iris ensata*, *Lousewort*, *Dasiphora fruticosa* and *Oxytropis falcatae*, and located at shrubbery synusia in vertical structure. Great diversities were showed between 12 populations. QN had a significant relation with other soil factors. Among all geographic factors, it was found that average temperature annual was the most important factor that affects the soil characteristics, followed by slope side and sunshine duration annual. There were three mainly migratory highway along altitude, longitude and latitude.

Key words: *L. pumilum* DC.; ecotypic diversities; associated plants; soil factors