

滇西北地区马先蒿属植物多样性的地理格局*

王绍翔, 程 军, 冯建孟

(大理大学 农学与生物科学学院, 云南 大理 671003)

摘要:利用大尺度的马先蒿属(*Pedicularis* L.)植物物种分布信息,结合地理信息系统和数理统计分析方法,探讨了滇西北地区马先蒿属植物的物种组成、分布宽度及其多样性的地理格局。结果表明:滇西北地区共拥有马先蒿属植物174种,分属于13个群、61个系;比较重要的群主要包括根叶群 *Grex Rhizophyllum*、短叶群 *Grex Brachyphyllum*、马先蒿群 *Grex Pedicularis*、无枝群 *Grex Apocladus* 等;比较重要的系主要包括长花系 *Ser. Longiflorae*、轮叶系 *Ser. Verticillatae*、琴盔系 *Ser. Lyratae* 和肉质系 *Ser. Carnosae*;在种的水平上,45.4%的物种(包括大部分特有种)分布生境狭窄,仅在1~2个县域有分布;在群、系和种的水平上,随着海拔高差的增加,马先蒿属植物多样性有明显的增加趋势;研究单元内,马先蒿属植物的总体海拔分布宽度与海拔高差之间也存在着显著的正相关关系($R^2=0.56, p<0.01$)。总体上马先蒿属植物的多样性分布格局可能与该属植物区系起源、地壳的差异性抬升和生境异质性格局有关。

关键词:马先蒿属;植物多样性;地理格局;海拔高差;滇西北地区

中图分类号:Q948

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)05-0137-07

马先蒿属(*Pedicularis* L.)是被子植物最大的属之一,约600余种,集中分布在北半球,极少数超越赤道,多数种类分布在寒带及高山,适应于寒冷、湿润的气候^[1-6]。研究表明,云南地区大致拥有该属植物151种,是中国马先蒿属植物的重要分布中心之一^[3-4,7]。同时,位于滇西北地区核心区域的高黎贡山是马先蒿属植物现代分布中心和分化中心之一,而物种繁殖生物学的隔离,特别是传粉昆虫的选择压力可能是造成该属植物在生境上趋同、种类上异质的主要原因^[3]。有学者认为,四川西南部、西藏东南部和云南西北部共同组成的东喜马拉雅-横断山区是马先蒿属植物的分布中心和分化中心,并认为康藏高原为该属植物在云南的分布中心和分化中心,且进一步提出云南马先蒿属植物以东喜马拉雅成分为主^[7]。尽管目前已经认识到滇西北地区是马先蒿属植物在云南的主要分布中心和分化中心;然而至今还未见,有关滇西北地区马先蒿属植物的专题性研究的报道,研究者还不清楚该属植物在滇西北地区的分布格局及它们与环境因子和地质历史之间的联系。本研究以《云南植物志》^[4]为主要数据源,结合其他文献信息^[3,7],探讨了该属植物在滇西北地区的分布格局及其形成机制,以期为该属植物的保护和利用提供基础信息和理论基础。

1 研究区域概况

本研究以广义的“滇西北地区”为研究区域,具体包括迪庆州、丽江市、怒江州和大理州全境以及楚雄州、保山市和德宏州部分县域,共包括43个县(市)域,国土面积145 243 km²。研究区域内的地理位置、地形、气候和植被等主要基础信息参见文献^[8-9]。

2 数据来源

物种数据主要来自《云南植物志》^[4],并参考了《云南马先蒿属植物的生物地理及物种多样性》^[7]和《高黎贡山马先蒿物种多样性与地理分布》^[3]。经统计整理,建立了研究区域内马先蒿属植物的物种数据库。研究区域内各县(市)域的地形及地理数据来自《云南省地图》^[10]。以县(市)域为基本空间单位,获得了滇西北地区43个

* 收稿日期:2014-11-26 修回日期:2015-05-26 网络出版时间:2015-05-15 12:44

项目资助:国家自然科学基金(No. 31360143);大理学院科研启动基金(No. KY431040)

作者简介:王绍翔,男,研究方向为植物多样性,E-mail:457446578@qq.com;通信作者:冯建孟,教授,E-mail:fjm@pku.org.cn

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150515.1244.021.html

县(市)域的经、纬度、最高海拔和最低海拔,并由此获得了个县(市)域的经、纬度中值和海拔高差。

3 方法

3.1 滇西北地区马先蒿属植物物种组成分析

根据滇西北地区马先蒿属植物的数据库,并参照钟补求系统^[11-13],在群和系的水平上进行马先蒿属植物物种组成的分析。

3.2 滇西北地区马先蒿属植物分布宽度的分析

以滇西北地区马先蒿属植物的数据库为基础,根据各物种的分布信息,以县(市)域为基本空间研究单元,分别在群、系和种的水平上获得马先蒿属植物在地理空间上的分布宽度,并建立柱状频度分布图进行分析。

3.3 滇西北地区马先蒿属植物多样性的分布格局

根据研究区域内马先蒿属植物的地理分布信息,分别在群、系和种的水平上,获得各县(市)域的马先蒿属植物的多样性信息。在此基础上,利用 ArcGIS Desktop 8.3TM地理信息系统,分别在群、系和种的水平上,分别绘制研究区域内马先蒿属植物多样性的地理分布格局图。以此为基础,分别在群、系和种的水平上探讨马先蒿属植物多样性与各县(市)域纬度中值之间的关系,进行马先蒿属植物多样性纬度分布格局的分析。考虑到面积对马先蒿属植物多样性的影响,采用单位面积的马先蒿属植物多样性。单位面积的马先蒿属植物多样性采用如下公式计算获得:

$$\text{马先蒿属植物多样性密度} = S / \ln A^{[14]}$$

其中,A 为面积,S 分别为群、系和种的丰富度。必须说明的是,目前包括双柏县、牟定县、南华县等在内的 9 个县(市)域暂时还未发现马先蒿植物的分布。

3.4 海拔高差对马先蒿属植物多样性分布格局的影响

在群、系和种的水平上,分别利用 SPSS 11.5TM统计软件包,探讨群、系和种的多样性格局与海拔高差之间的联系。由于部分马先蒿属植物物种的海拔上限信息缺失,本研究参照 Wang 等人^[15]的处理方法,利用已知海拔上、下限的物种的海拔区间信息,获得各海拔区间内物种的平均海拔宽度,以此补全缺失的海拔上限信息,并估算各研究单元内马先蒿属植物的海拔分布宽度。在此基础上,探讨马先蒿属植物的海拔分布宽度与海拔高差之间的联系。

4 结果

4.1 物种组成

对马先蒿属植物而言,系这一等级从 Prain 的研究^[16]开始至今,均得到广泛应用^[3,7]。虽然群(Grex)存在命名上的问题,钟补求系统仍采用了它作为属与系(Series)之间的分类等级加以讨论^[11-12],为整个马先蒿属提供了系统框架^[7]。研究结果表明,滇西北地区共拥有 174 种马先蒿属植物(含亚种及变种)。为了从不同分类层次了解其中的物种组成,本研究拟参照钟补求系统,分别从群和系的水平探讨滇西北地区马先蒿属植物的物种组成。由表 1 可知:在群的水平上,滇西北地区拥有该属全部 13 个群;其中多裂叶群(Grex *Polyschistophyllum*)为本属最小的一群,是中国特有群,主要分布于四川西部和云南西北部;进一步分析发现,根叶群(Grex *Rhizophyllum*)在滇西北地区分布最为丰富,达 42 种,而斗叶群(Grex *Cyathophora*)和新旌节群(Grex *Neosceptrum*)分布最少,均只有 4 种。在系的水平上,全球马先蒿属植物共有 136 个系,中国有 112 个系。本研究区域则拥有其中的 61 个系,分别占全球和中国马先蒿系总数的 44.8% 和 54.5%。其中比较重要的系主要包括长花系(Ser. *Longiflorae*)、轮叶系(Ser. *Verticillatae*)和琴盔系(Ser. *Lyratae*),分别拥有马先蒿属植物 12 种、11 种和 9 种。

4.2 群、系、种的分布宽度

从图 1 可以看出,在群的水平上,大多数群的分布宽度集中在 12~23 个县之间,计有 8 个群,所占比重达到 61%。而分布宽度在 1~5 个县(市)域和大于 30 个县(市)域的群则均只有 1 个群,分别为多裂叶群和马先蒿群(Grex *Pedicularis*)。在系的水平上则发现分布宽度在 1~4 个县(市)域的系最多,达 28 个系,所占比重达到 45.9%;总体上看,随着分布宽度的增加,相应的系的数量呈递减趋势(图 2)。图 3 显示,分布宽度只在 1 到 2 个

县(市)域的马先蒿属植物物种最多,达 79 种,占滇西北地区马先蒿属植物物种总数的 45.4%;其次是分布宽度在 3 到 4 个县(市)域的物种,达 40 种,占滇西北地区马先蒿属植物物种总数的 22.9%。其中,分布宽度最大即在 17 个县(市)域有分布的只有纤裂马先蒿(*Pedicularis tenuisecta*)1 种。

表 1 滇西北地区马先蒿属植物重要群、系的组成

群、系名	物种个数	群、系名	物种个数	群、系名	物种个数
根叶群 <i>Grex Rhizophyllum</i>	42	直管群 <i>Grex Orthosiphonia</i>	5	少花系 <i>Ser. Oliganthae</i>	6
短叶群 <i>Grex Brachyphyllum</i>	21	多裂叶群 <i>Grex Polyschistophyllum</i>	5	弱小系 <i>Ser. Deliles</i>	6
马先蒿群 <i>Grex Pedicularis</i>	20	斗叶群 <i>Grex Cyathophora</i>	4	少叶系 <i>Ser. Paucifiliatae</i>	6
无枝群 <i>Grex Apocladus</i>	16	新旌节群 <i>Grex Neosceptrum</i>	4	大王系 <i>Ser. Rrges</i>	5
之形花群 <i>Grex Sigmantha</i>	16	长花系 <i>Ser. Longiflorae</i>	12	小叶系 <i>Ser. Carneosa</i>	4
旌节群 <i>Grex Sceptrum</i>	11	轮叶系 <i>Ser. Verticillatae</i>	11	糖秕系 <i>Ser. Furfuraceae</i>	4
轮枝群 <i>Grex Cyclocladus</i>	8	琴盔系 <i>Ser. Lyratae</i>	9	球状系 <i>Ser. Strobilaceae</i>	4
长茎群 <i>Grex Dolichomiscus</i>	7	肉质系 <i>Ser. Carnosae</i>	6	短叶系 <i>Ser. Brevisfoliae</i>	4
长叶群 <i>Grex Dolichophyllum</i>	7	多叶系 <i>Ser. Polyphyllatae</i>	6	拟蕨系 <i>Ser. Filiculae</i>	4

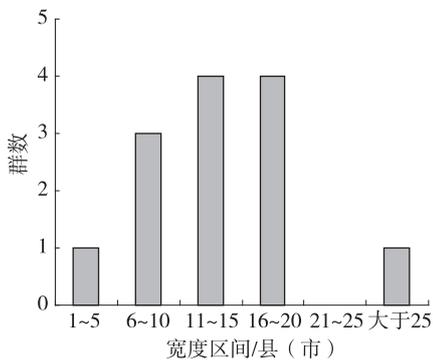


图 1 群的分布宽度

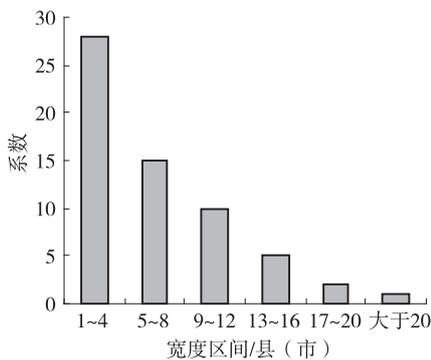


图 2 系的分布宽度

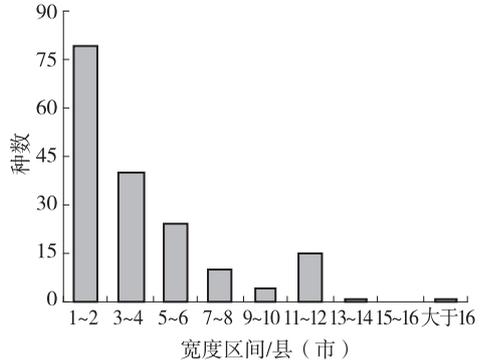


图 3 种的分布宽度

4.3 多样性分布格局及其与纬度的关系

在群的水平上,位于研究区域北端的德钦县和中甸县拥有本属全部 13 个群;其次为丽江市、鹤庆县和维西县,均有 12 个群分布;再次为大理市和贡山县,均有 11 个群分布;其他县(市)域的马先蒿属植物群的分布则相对较少,如楚雄市、禄丰县、梁河县、龙陵县和陇川县均只有 1 个群分布(表 2)。在系的水平上,马先蒿属植物的分布格局呈现出与群水平相似的格局,即研究区域北部分布着相对更为丰富的马先蒿属植物系的多样性(表 2,图 5)。在种的水平上,马先蒿属植物的多样性格局与群和系的水平相似(表 2,图 6),其中在北部的德钦县和中甸县物种丰富度分别达到了 98 和 94 种,分别占研究区域内马先蒿属植物物种总数的 56.3%和 54%。总体看来,无论在群的水平,还是在系和种的水平,马先蒿属植物的多样性随着纬度的升高,均呈增加趋势(表 2,图 4~图 6)。

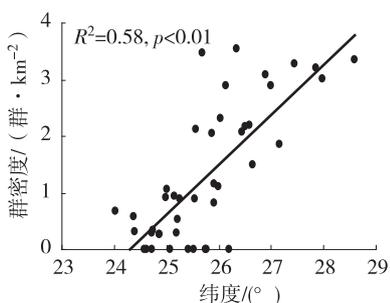


图 4 群密度与纬度的关系

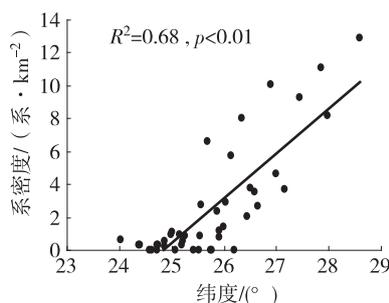


图 5 系密度与纬度的关系

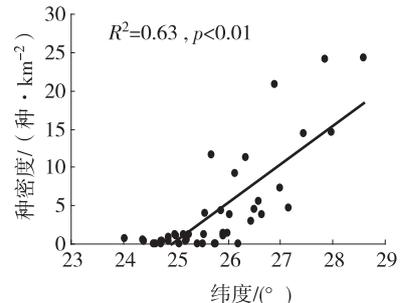


图 6 种密度与纬度的关系

表 2 群、系、种多样性的地理分布格局

县(市)名	纬度/(°)	群数	系数	种数	县(市)名	纬度/(°)	群数	系数	种数
瑞丽市	24.015	2	2	2	元谋县	25.745	0	0	0
潞西市	24.370	2	1	2	武定县	25.765	0	0	0
陇川县	24.390	1	1	1	宾川县	25.875	7	8	15
双柏县	24.570	0	0	0	永平县	25.905	4	4	5
施甸县	24.615	0	0	0	云龙县	25.915	3	3	4
龙陵县	24.720	1	1	1	大姚县	25.980	4	5	5
昌宁县	24.720	0	0	0	泸水县	26.040	8	10	13
梁河县	24.735	1	1	1	洱源县	26.125	10	20	32
楚雄市	24.860	1	2	3	永仁县	26.185	0	0	0
盈江县	24.870	0	0	0	鹤庆县	26.345	12	27	38
南涧县	24.980	3	3	4	剑川县	26.435	7	7	10
腾冲县	25.005	4	4	4	永胜县	26.510	8	14	17
南华县	25.060	0	0	0	兰坪县	26.590	8	13	20
弥渡县	25.155	3	3	4	华坪县	26.655	5	9	13
禄丰县	25.185	1	1	1	丽江县	26.900	12	39	81
保山市	25.220	2	2	2	福贡县	26.990	10	16	25
巍山县	25.260	3	3	4	宁蒗县	27.150	7	14	18
牟定县	25.415	0	0	0	维西县	27.450	12	34	53
姚安县	25.520	0	0	0	中甸县	27.850	13	45	98
祥云县	25.545	3	3	4	贡山县	27.970	11	30	53
漾濞县	25.565	7	9	13	德钦县	28.590	13	50	94
大理市	25.690	11	21	37					

4.4 多样性、海拔分布宽度与海拔高差的关系

从图 7 到图 9 可以看出,随着表征地形复杂度的海拔高差的增加,无论是在群还是在系或种的水平,马先蒿属植物的多样性均呈递增趋势。地形复杂、海拔高差较大的滇西北地区北部区域,马先蒿属植物多样性相对较为丰富。研究结果也表明,随着海拔高差的增大,研究单元内物种的海拔分布宽度也有明显的增大趋势(图 10),即分布于海拔高差较大、地形复杂的滇西北地区北部的马先蒿属植物的总体海拔分布宽度也相对较大。

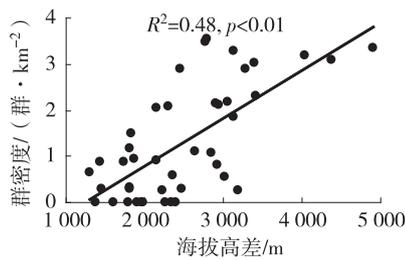


图 7 群密度与海拔高差的关系

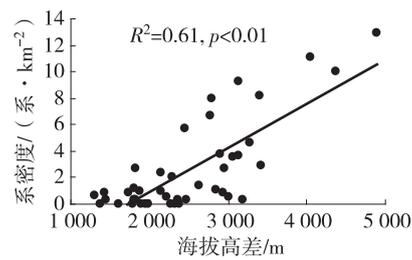


图 8 系密度与海拔高差的关系

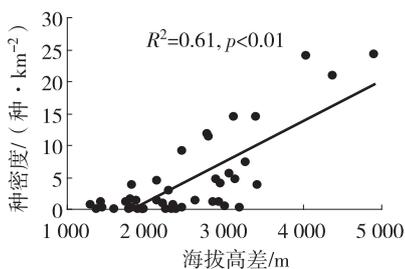


图 9 种密度与海拔高差的关系

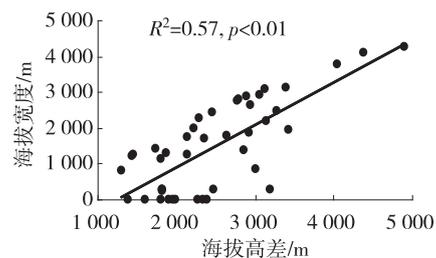


图 10 海拔宽度与海拔高差的关系

5 讨论

本研究利用大尺度的物种分布数据,分别在群、系和种的水平上探讨了滇西北地区马先蒿植物物种组成、分布宽度和多样性格局,并对有关格局成因进行了探讨。尽管过去有关云南地区马先蒿属植物多样性的研究结果已经表明滇西北地区是马先蒿属植物起源和分布的重要区域^[3,7]。但与这些研究不同的是,本研究着重在群、系、种等3个分类层次上分别展开探讨;其次,本研究以滇西北地区的马先蒿属植物多样性为研究对象,并结合地理信息系统和数理统计的方法探讨有关分布格局的成因。因此,本研究为更好地保护和利用滇西北地区马先蒿属植物资源提供了重要的基本信息和理论基础。

位于滇西北核心区域的高黎贡山为马先蒿属植物的现代分布中心之一^[3]。而康藏高原是云南马先蒿属植物分布最为集中的区域,也是分化最为强烈的区域^[7]。本研究结果表明,滇西北地区拥有的马先蒿属植物种类异常丰富。在群的水平上,拥有钟补求系统^[11-12]的全部13个群;在系的水平上,分布着61个系,分别占全国和云南的54.5%和84.7%;在种的水平上,滇西北地区拥有174个种,分别占全国和云南的49.4%和93%。因此可以认为,无论在国家尺度,还是在区域尺度下,滇西北地区可能是马先蒿属植物重要分布中心之一。这与过去的相关研究是一致的^[3,7]。研究结果还表明,除了群的水平以外,在系和种的水平上,滇西北地区大多数马先蒿属植物的分布范围狭小。尤其是在种的水平上,占45.4%的物种分布宽度只在1到2个县(市)域。李文丽等人通过对云南地区马先蒿属植物多样性的研究,发现云南地区共拥有马先蒿属植物特有种52种^[7]。本研究结果则表明,本研究区域拥有其中的44种,其中,30种的分布宽度只局限于1至2个县(市)域。Tang等人认为特有种或生境狭窄的物种更易濒危,即生境狭窄可能是导致物种濒危的重要因素之一^[17]。因此,考虑到滇西北地区马先蒿属植物生境的狭窄性,本研究认为部分马先蒿属植物极有可能因生境狭窄而存在极高的濒危风险。同时,研究也注意到滇西北地区社会经济发展相对落后,开发利用当地资源和发展经济是一种必然趋势。因此,为避免在今后的经济开发过程中导致生境狭窄的马先蒿属植物的濒危乃至灭绝,应该注重该地区自然生境的保护,尤其要保护当地马先蒿属植物的狭窄生境。

马先蒿属植物在纬度上的分布格局表明,在滇西北地区马先蒿属植物多样性从南到北呈递增趋势。而大量研究则发现生物多样性的纬度格局存在着普遍规律,即在纬度梯度上,从低纬到高纬度地区,物种多样性呈递减趋势^[18-20]。这一反常的规律可能与马先蒿属植物的起源地有关。Limpricht提出东喜马拉雅地区是本属植物的起源中心和多样性中心^[21]。杨春锋也认为中国的横断山脉地区是该属植物的起源和演化中心,拥有该属植物所有花部特征的代表类群是该属植物的全球分布中心^[22]。由此本研究认为,从区系起源和扩散角度看,滇西北北部可能是马先蒿属植物的起源中心之一,在漫长的进化和迁移进程中,马先蒿属植物向四周扩散和迁移,其中也包括往南扩散。处于起源地核心区域的滇西北北部地区,马先蒿属植物多样性处于饱和状态,而南部则未达到饱和。故从北到南,马先蒿属植物多样性呈递减趋势;从区系分化角度来看,喜马拉雅造山运动过程中,地壳抬升带来环境条件的巨大变迁,且地层抬升程度越高,环境变化越剧烈,生物类群的区系分化强度也可能相应增大。从南到北,研究区域内表征地壳抬升程度的海拔高差呈递增趋势^[8],这可能意味着在这一地壳运动过程中马先蒿属植物区系分化强度从南到北呈递增趋势。因此,与喜马拉雅造山运动有关的地壳差异性抬升所导致的马先蒿属植物区系分化强度的纬度分异,也可能是造成马先蒿属植物多样性在滇西北地区呈现北多南少格局的因素之一。

从生态角度来看,生境异质性也可能是解释滇西北地区马先蒿属植物多样性纬度格局的重要因素。生境异质性理论认为,几乎很少有物种能够在所有生境类型中出现,即生境条件越复杂越不均质,依赖于生境的物种就越复杂多样^[23]。所以,在面积一定的条件下,包含更多生境类型的地区拥有较高的物种丰富度。过去有关植物多样性分布格局的生境异质性解释^[8,23-25]的对象大多是研究区域内的植被整体或主体(如种子植物),其中可能包含不同生态特性的植物类群,如研究区域内可能既分布着喜温暖环境的植物类群,也可能分布着喜温凉环境的植物物种。因此,复杂的生境可以容纳更多丰富、多样的植物物种。冯建孟等人认为在区域尺度下,滇西北地区巨大的海拔高差以及由此造成的丰富多样的生境可能造成了该区域丰富的植物多样性^[8]。但与过去的相关研究不同,本研究的研究对象马先蒿属植物通常被认为是适应高寒环境的植物类群,即它们对生境的需求大都

趋于温凉。而且本研究发现,研究单元内马先蒿属植物的总体海拔分布宽度及其多样性随着海拔高差的增大均有明显的增长趋势,这可能意味着马先蒿属植物经过长期进化,出现了适应不同海拔生境或热量梯度的多样类群,而不仅仅局限或趋同于高寒温凉的环境。因此,由海拔高差所导致的生境异质性也可能是解释马先蒿属植物多样性分布格局的重要因素;同时生境异质性理论不仅可能适用于研究区域内植物整体多样性分布格局的解释,而且对于特定分类地位的植物类群多样性格局的解释也可能是适用的。

参考文献:

- [1] 《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志(第 68 卷)[M]. 北京:科学出版社,1963.
Editor Board of Flora of China. Flora of China (vol. 68) [M]. Beijing: Science Press, 1963.
- [2] 《云南植被》编写组. 云南植被[M]. 北京:科学出版社, 1987.
Editor Board of Vegetation in Yunnan. Vegetation in Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 1987.
- [3] 王红,李德铎. 高黎贡山马先蒿物种多样性与地理分布[J]. 云南植物研究, 1999, 21(S1): 35-43.
Wang H, Li D Z. Geographical patterns and species diversity of *Pedicularis* L. in Gaoligong mountains [J]. Acta Botanica Yunnanica, 1999, 21(S1): 35-43.
- [4] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志(第 16 卷)[M]. 北京:科学出版社, 2006.
Kunming Institute of Botany of CAS. Flora of Yunnan (vol. 16) [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [5] 关放,于兰,杨云. 马先蒿属植物的研究进展[J]. 西北药学杂志, 2002, 21(3): 142-144.
Guan F, Yu L, Yang Y. Advances of study on *Pedicularis* L. [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2002, 21(3): 142-144.
- [6] 王静,唐亚,夏怡凡,等. 川渝地区马先蒿属物种丰富度空间分布格局及其影响因素[J]. 云南植物研究, 2007, 29(1): 51-57.
Wang J, Tang Y, Xia Y F, et al. Geographical pattern of species richness of *Pedicularis* L. (Scrophulariaceae) in Sichuan and Chongqing and its relationship with main environmental factors [J]. Acta Botanica Yunnanica, 2007, 29(1): 51-57.
- [7] 李文丽,王红,李德铎. 云南马先蒿属植物的生物地理及物种多样性[J]. 云南植物研究, 2002, 24(5): 583-589.
Li W L, Wang H, Li D Z. Biogeography and species diversity of *Pedicularis* L. in Yunnan [J]. Acta Botanica Yunnanica, 2002, 24(5): 583-589.
- [8] 冯建孟,董晓东,徐成东,等. 取样尺度效应对滇西北地区种子植物物种多样性纬度分布格局的影响[J]. 生物多样性, 2009, 17(3): 266-271.
Feng J M, Dong X D, Xu C D, et al. Effects of sampling scale on latitudinal patterns of species diversity in seed plants in northwestern Yunnan, China [J]. Biodiversity Science, 2009, 17(3): 266-271.
- [9] 冯建孟,徐成东,查凤书,等. 长江上游滇西北地区植物区系组成及物种多样性[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(1): 65-72.
Feng J M, Xu C D, Zha F S, et al. Plant diversity and flora composition in Northwest Yunnan [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(1): 65-72.
- [10] 赵鼎汉. 云南省地图[M]. 北京:中国地图出版社, 1999.
Zhao D H. Map of Yunnan province [M]. Beijing: Sinomap Press, 1999.
- [11] 钟补求. 马先蒿属(*Pedicularis*)的一个新系统(上)[J]. 植物分类学报, 1955, 4(2): 71-147.
Zhong B Q. A new taxonomical system of *Pedicularis* (Vol. 1) [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1955, 4(2): 71-147.
- [12] 钟补求. 马先蒿属(*Pedicularis*)的一个新系统(续)[J]. 植物分类学报, 1956, 5(1): 19-74.
Zhong B Q. A new taxonomical system of *Pedicularis* (to be continued) [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1956, 5(1): 19-74.
- [13] 钟补求. 马先蒿属(*Pedicularis*)的一个新系统(二续)[J]. 植物分类学报, 1956, 5(4): 205-278.
Zhong B Q. A new taxonomical system of *Pedicularis* (to be continued in Vol. 2) [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1956, 5(4): 205-278.
- [14] Qian H. Large-scale biogeographic patterns of vascular plant richness in: an analysis at the genera level [J]. Journal of Biogeography, 1998, 25(3): 829-836.
- [15] Wang Z H, Tang Z Y, Fang J Y. Altitudinal patterns of seed plant richness in the Gaoligong mountains, south-east Tibet, China [J]. Diversity and Distribution, 2007, 13(6): 845-854.
- [16] Prain D. The species of *Pedicularis* of the Indian Empire [J]. Annals of Botanical Garden, 1890, 3(2): 1-196.
- [17] Tang Z Y, Wang Z H, Zheng C Y, et al. Biodiversity in China's mountains [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2006, 4(7): 347-352.

- [18] 冯建孟,徐成东. 云南西部地区地带性植物群落物种多样性的地理分布格局[J]. 生态学杂志, 2009, 28(4): 595-600.
Feng J M, Xu C D. Geographical distribution patterns of zonal plant community species diversity in West Yunnan, China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(4): 595-600.
- [19] 朱富寿, 廖昕荣. 物种多样性纬度梯度分布格局的形成机制[J]. 科技资讯, 2009, 9(11): 214-215.
Zhu F S, Liao X R. Mechanism of latitudinal patterns of species diversity[J]. Information of Science and Technology, 2009, 9(11): 214-215.
- [20] 陈圣宾, 欧阳志云, 方瑜, 等. 中国种子植物特有属的地理分布格局[J]. 生物多样性, 2011, 19(4): 414-423.
Cheng S B, Ouyang Z Y, Fang Y, et al. Geographic patterns of endemic seed plant genera diversity in China[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(4): 414-423.
- [21] Limpricht W. Studien über die gattung *Pedicularis* [J]. Repert Spec Nov Regni Veg, 1924, 20: 161-265.
- [22] 杨春锋. 马先蒿属植物的花部分化与传粉适应[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
Yang C F. Flower differentiation and pollination adaptation in species of *Pedicularis*[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- [23] Cramer M J, Willig M R. Habitat heterogeneity, habitat associations, and rodent species diversity in a sand-shinery-oak landscape[J]. Journal of Mammalogy, 2002, 83(3): 743-753.
- [24] 陈圣宾, 欧阳志云, 郑华, 等. 美洲森林群落 beta 多样性的纬度梯度性[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1334-1340.
Cheng S B, Ouyang Z Y, Zheng H, et al. Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(5): 1334-1340.
- [25] 冯建孟, 徐成东. 中国种子植物物种丰富度的大尺度分布格局及其与地理因子的关系[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 249-254.
Feng J M, Xu C D. Distribution patterns of species richness of seed plants in china and its relationship with geographical factors[J]. Ecology and Environment, 2009, 18(1): 249-254.

Geographical Patterns of *Pedicularis* (Scrophulariaceae) in Northwest Yunnan, Southwest China

WANG Shaoxiang, CHENG Jun, FENG Jianmeng

(Department of Agriculture and Life Science, Dali University, Dali Yunnan 671003, China)

Abstract: Based on the large scale information, the present study examined the components, distribution width and patterns of *Pedicularis* in Northwest Yunnan, coupled with statistic investigations and GIS technique. Our results showed that the study area held 166 species, belonging to 61 series and 13 groups (as "grexes"). The most important grexes were *Grex Rhizophyllum*, *Grex Brachyphyllum*, *Grex Pedicularis* and *Grex Apocladus*, et al., and *Ser. Longiflorae*, *Ser. Verticillatae*, *Ser. Lyratae* and *Ser. Carnosae* were the most important series. At species level, 46% of the species (including most of endemic species) were observed in only in one or two counties. At grexes, series and species level, the species diversity of *Pedicularis* increased with the increase of latitude. In addition, there were strong correlations between altitudinal width of *Pedicularis* and altitudinal variation. Overall, geographical patterns of *Pedicularis* may be linked with its floristic origin, uneven stratum uplift of Himalayan Mountains and the patterns of habitat heterogeneity.

Key words: *Pedicularis*; diversity; geographical patterns; altitudinal variation; Northwest Yunnan

(责任编辑 方 兴)