

横断山区树线以上区域种子植物的 标本分布与物种丰富度

张大才^{1,2,3} 孙航^{1*}

1 (中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

3 (西南林学院, 昆明 650224)

摘要: 植物标本是植物空间分布信息的重要来源, 也是估算物种丰富度的主要数据资料。本文收集了有关数据库和标本馆的标本资料, 以分析横断山区树线以上区域种子植物标本的采集现状和物种丰富度。将树线以上区域(4,100–5,500 m)划分成14个100 m海拔带, 将每号标本的海拔信息记录到相应的海拔带内。共收集8,316号标本信息, 记载种子植物1,820种, 其中横断山区特有种655种。这些标本在物种间的分布极不均匀, 仅有1–2号标本的物种最多, 共974种, 占53.5%。各海拔带内标本总数、种均标本数和物种丰富度随海拔的增加而下降, 但物种稀疏曲线不能很好地描述物种丰富度沿海拔梯度的分布格局。因此, 需要开展更多的样地调查和标本采集工作, 为物种丰富度的估算积累更多的资料。

关键词: 海拔梯度, 特有种, 植物标本, 物种丰富度, 物种稀疏曲线

Distribution of specimens and species richness of seed plants above timber line in the Hengduan Mountains, southwest China

Dacai Zhang^{1,2,3}, Hang Sun^{1*}

1 Key Laboratory of Biodiversity and Biogeography, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 School of Natural Resources, Southwest Forestry University, Kunming 650224

Abstract: Herbaria can provide important information about the spatial distribution of plants, and are important data sources for estimating species richness. In this study we described elevational patterns of specimen frequencies and species richness of seed plants above timber line in the Hengduan Mountains and discussed the impact of specimen data on the estimation of species richness. Specimen data came from the online database (<http://hengduan.huh.harvard.edu>) and herbaria. Elevations above timber line were divided into fourteen 100-m belts, and the frequencies of specimens in each elevational belt were recorded. There were 1,820 species and 8,316 specimens with elevational information, of which 655 species were endemic to this region. Distribution of specimens among species was extremely uneven. For example, 974 species (about 53.5% of total species) were represented by 1–2 specimens. Total and average number of specimens in elevational belts decreased linearly with the increasing elevation. Species richness also decreased with the increasing elevation, but species rarefaction curves were not useful for describing elevational patterns in species richness. We suggest that more field plot-sampling and specimen collections are needed to accurately estimate species richness.

Key words: elevational gradient, endemic species, plant specimen, species richness, species rarefaction curve

收稿日期: 2007-12-21; 接受日期: 2008-05-21

基金项目: 国家自然科学基金(40771073, 30625004)和美国自然科学基金项目(U. S. National Science Foundation, Grant no. DEB-0321846 to D. E. Boufford)。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hsun@mail.kib.ac.cn

树线以上高山区域由于其低温、低气压、强紫外线和生长周期短等特征被认为是自然环境最为极端的区域之一(Körner, 1999)。高山区域由于难以到达和恶劣的工作条件而成为植物标本采集与植物多样性研究的薄弱地区。然而,高山植物由于其特殊的形态构造和对极端环境多样的适应机制而受到极大的关注(Billings, 1974; 杨扬和孙航, 2006)。

横断山区是全球生物多样性热点地区之一,其生物多样性倍受关注(Boufford & Dijk, 2000; Myers *et al.*, 2000; Boufford *et al.*, 2004)。早在20世纪初期就有国外学者如Handel-Mazzetti, Ward Kingdon, Rock Joseph Francis, Forrest George, Ernest Henry Wilson等在该区域进行过植物标本的采集,其标本基本上都存放在国外著名标本馆中(包士英等, 1998; 罗桂环, 2005)。国内学者如冯国楣、俞德俊、武素功等,以及各有关的考察和采集队也对该区域进行过考察和标本采集(包士英等, 1998)。但对该区域大规模的考察起始于1981年中国科学院组织的横断山区综合科学考察,共采集标本21,082号,这些考察结果汇编为《横断山区维管植物》(上、下册)(王文采, 1993, 1994)。但横断山区海拔范围大,植物多样性的高低与标本的采集强度在不同的海拔带是否具有的一致性?尤其是高海拔区域植物标本的采集是否充分?本研究统计分析采集于树线以上的植物标本,定量分析这些标本的采集状况,为该区域植物多样性的进一步考察与标本采集提供依据。

腊叶标本记载了植物空间分布的相关信息,是分析物种丰富度空间分布的重要信息来源,甚至是唯一来源(Suarez & Tsutsui, 2004)。稀疏法(rarefaction)实现了植物标本和物种丰富度空间分布的有机结合,根据物种稀疏曲线(species rarefaction curves)可评估植物标本的采集强度和描述物种丰富度的分布格局(Herzog *et al.*, 2005; Grytnes & Beaman, 2006; Solow & Roberts, 2006)。有关植物多样性考察和标本采集状况专项数据库的构建,以及中国数字植物标本馆的建成使我们能够全面收集采集于横断山区树线以上区域植物标本的分布信息。因此,本文的主要目的是:(1)分析横断山区树线以上区域植物标本的采集现状和沿海拔梯度的分布;(2)描述树线以上区域物种丰富度的分布格

局,并分析标本数量对物种丰富度估算的影响。

1 研究地概况

横断山区的地理范围有很多界定(李炳元, 1987; 刘伦辉等, 1985, 1989),本文采用李炳元(1987)的界定,行政范围包括云南西部和西北部、四川西部、西藏东南部、甘肃东南部和青海西南部,地理范围为 $24^{\circ}40' - 34^{\circ}00' N$, $96^{\circ}20' - 104^{\circ}30' E$,总面积为36.4万 km^2 。山脉与河流走向为由北向南,地势由北向南、由西向东倾斜,山体平均海拔从川西、藏东的4,000–5,000 m下降到云南西部的3,000 m左右(李炳元, 1989; 张荣祖等, 1997)。南段年平均温度为 $12 - 15^{\circ}C$,北段为 $9 - 12^{\circ}C$;年降雨量在南端、东南与西南部较高,为1,000–1,300 mm,中部与北部较低,为600–800 mm(张荣祖等, 1997)。根据基带植被的性质,整个区域的植被沿康定—木里—中甸(香格里拉)—八宿一线划分为两种类型;南段为亚热带常绿阔叶林或常绿落叶混交林,主要组成树种为栲属(*Castanopsis*)、石栎属(*Lithocarpus*)、栎属(*Quercus*, 包括青冈属(*Cyclobalanopsis*))、含笑属(*Michelia*)、木荷属(*Schima*)、桦木属(*Betula*)、槭属(*Acer*)等;北段属青藏高原高寒植被区域(余有德等, 1989)。在垂直空间上,南、北段植被组成的差异主要体现在3,000 m以下海拔段,而在3,000 m以上海拔段植被组成相似(刘伦辉等, 1984)。

2 研究方法

2.1 植物标本资料来源

(1)数据库资料。美国哈佛大学标本馆和中国科学院昆明植物研究所在横断山区进行了多年的植物多样性考察,考察过程中采集的植物标本信息汇编为“横断山生物多样性数据库”(http://hengduan.huh.harvard.edu),该数据库详细记录了每号标本的空间分布信息,本文拷贝了该数据库的所有标本信息。

(2)标本馆资料。中国数字植物标本馆(CVH, http://www.cvh.org.cn)包括了国内主要标本馆已数字化的标本信息,其中中国科学院植物研究所标本馆和昆明植物研究所标本馆馆藏横断山区的植物标本最多。由于收集国外标本馆馆藏标本信息较困难,本文未统计国外标本馆的标本信息。

2.2 分析方法

2.2.1 海拔范围的确定和海拔带的划分

横断山区森林植被分布上限在4,100 m左右,而且南、北段几乎相同(刘伦辉等, 1984)。因此,横断山区树线以上区域指4,100 m以上的海拔范围。同时由于5,500 m以上区域分布的种子植物较少,所以本研究的海拔范围为4,100–5,500 m。将这一海拔范围划分为14个100 m海拔带,其中5,400–5,500 m海拔带包括了分布于5,400 m以上的所有标本和物种。

2.2.2 物种—标本数据矩阵

将各物种每号标本的海拔信息记录到相应的100 m海拔带内,1号标本计数为1,如果分布有多号标本则直接累计。记录过程中,对于分布地点不详或仅记录到省的标本,以及没有海拔信息的标本都不做记录;1个采集号为1条标本信息,即同一编号的复份标本只记录1个海拔信息。这样得到各个物种的标本信息在各个海拔带分布的物种—标本数据矩阵。

2.2.3 物种丰富度的估算和标本采集强度的评估

插值法(interpolation)和稀疏法(rarefaction)是估算物种丰富度最常见的方法,其中稀疏法近年来被广泛应用(Fu *et al.*, 2006; Grytnes & Beaman, 2006; Solow & Roberts, 2006)。稀疏法假定植物标本采集满足随机、充分的条件,在此基础上构建的物种稀疏曲线将出现渐进拐点,即随标本数量的增加,物种丰富度将保持不变或增加很少。本文根据物种稀疏曲线来分析横断山区树线以上区域物种丰富度沿海拔梯度的分布格局,并结合各海拔带的种均标本数量评估各个海拔带植物标本的采集强度。用EcoSim7.68软件计算各海拔带的物种丰富度(Gotelli & Entsminger, 2004)。

本文所指特有种系横断山区特有种,其分布范围局限于横断山区范围内,或其主要分布范围在横断山区内并向邻近地区延伸的物种;特有率指特有种占所有种的百分比。统计分析图在SigmaPlot 10.0中绘制。

3 研究结果

3.1 植物区系资料

根据植物标本资料记载,横断山区树线以上分

布有种子植物70科297属1,820种。种数最多的科为菊科,共184种,其次为玄参科,共163种;种数排在前10位的科共包括植物1,100种,占总种数的60.4%。种数最多的属为马先蒿属(*Pedicularis*),共136种,其次为杜鹃属(*Rhododendron*),共83种;种数排在前10位的属共包括676种,占总种数的37.1%(表1)。在生活型组成上以草本植物最丰富,共1,538种,占总种数的84.5%;木本植物共282种,占15.5%。

标本资料记载,横断山区特有种有35科121属655种,特有率为35.5%,稍高于该区域种子植物的平均特有率(32.4%)(Zhang & Sun, 2007)。特有种最多的科是玄参科,共80种,其次为菊科,共73种;特有种数排在前10位的科共包括植物490种,占特有种总数的74.8%。特有种最多的属为马先蒿属,共72种,其次为虎耳草属(*Saxifraga*),共37种;特有种数排在前10位的属共包括339种,占特有种总数的51.8%(表2)。

3.2 标本数量在物种间的分布

横断山区树线以上区域共分布有种子植物标本8,316号,种均4.57号,低于该区域种子植物的平均标本数(12.1号)(张大才, 2008)。标本在物种间的分布极不均匀,物种数量与标本数量二者的关系曲线呈现为“L”形(图1A)。仅有1–2号标本的物种有974种,共有标本1,309号,即53.5%的物种拥有的标本仅占标本总数的15.7%;有10号及多于10号标本的物种共241种,有标本3,999号,即13.2%的物种占了标本总数的48.1%。标本数量最多的物种为山葶苈(*Draba oreades* var. *oreades*),有标本50号。

横断山区特有种共有标本2,414号,种均3.69号,低于所有种的平均标本数。标本数量在物种间的分布同样不均匀(图1B)。仅有1–2号标本的物种有404种,占特有种的61.7%;有10号及多于10号标本的物种有60种,占特有种的9.2%。

在这些物种中只在树线以上区域有标本分布的物种(也可大致认为这些物种在该区域的分布限于树线以上区域)共有248种,有标本536号,种均2.16号。其中横断山区特有种132种,有标本247号,种均1.87号。

3.3 标本数量沿海拔梯度的分布

横断山区所有种和特有种在各海拔带的标本总数和种均标本数随海拔的增加大致呈现为单调

表1 横断山区树线以上区域种子植物物种数排在前10位的科和属

Table 1 The top ten families and genera comprising the largest number of seed plants above timber line in the Hengduan Mountains

科名 Families	种数 Number of species	属名 Genera	种数 Number of species
菊科 Compositae	184	马先蒿属 <i>Pedicularis</i>	136
玄参科 Scrophulariaceae	163	杜鹃花属 <i>Rhododendron</i>	83
毛茛科 Ranunculaceae	134	虎耳草属 <i>Saxifraga</i>	69
虎耳草科 Saxifragaceae	102	龙胆属 <i>Gentiana</i>	66
杜鹃花科 Ericaceae	100	柳属 <i>Salix</i>	55
龙胆科 Gentianaceae	93	风毛菊属 <i>Saussurea</i>	55
伞形科 Umbelliferae	90	报春属 <i>Primula</i>	50
石竹科 Caryophyllaceae	79	无心菜属 <i>Arenaria</i>	47
蔷薇科 Rosaceae	78	紫堇属 <i>Corydalis</i>	45
禾本科 Gramineae	77	乌头属 <i>Aconitum</i>	35
		翠雀属 <i>Delphinium</i>	35
合计 Total	1,100	合计 Total	676

表2 横断山区树线以上区域种子植物特有物种数排在前10位的科和属

Table 2 The top ten families and genera comprising the largest number of endemic seed plants above timber line in the Hengduan Mountains

科名 Families	种数 Number of species	属名 Genera	种数 Number of species
玄参科 Scrophulariaceae	80	马先蒿属 <i>Pedicularis</i>	72
菊科 Compositae	73	虎耳草属 <i>Saxifraga</i>	37
毛茛科 Ranunculaceae	67	无心菜属 <i>Arenaria</i>	34
虎耳草科 Saxifragaceae	47	紫堇属 <i>Corydalis</i>	33
石竹科 Caryophyllaceae	46	龙胆属 <i>Gentiana</i>	31
报春花科 Primulaceae	45	报春属 <i>Primula</i>	30
罂粟科 Papaveraceae	38	乌头属 <i>Aconitum</i>	26
龙胆科 Gentianaceae	36	翠雀属 <i>Delphinium</i>	26
杜鹃花科 Ericaceae	31	杜鹃花属 <i>Rhododendron</i>	26
十字花科 Cruciferae	27	风毛菊属 <i>Saussurea</i>	24
合计 Total	490	合计 Total	339

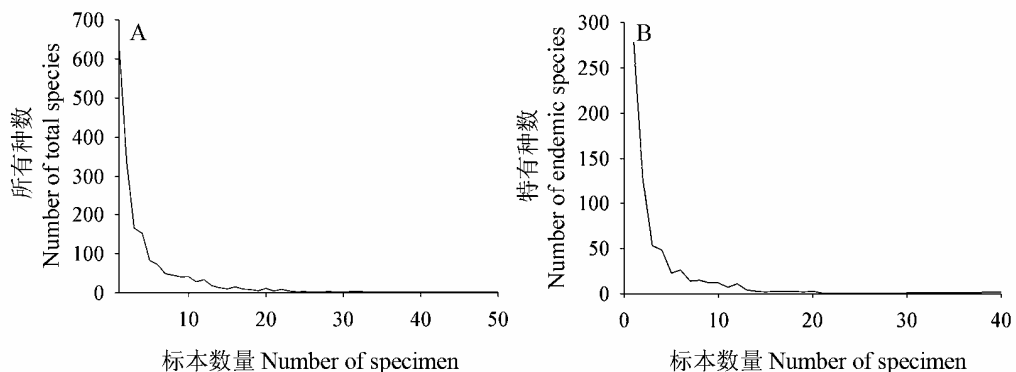


图1 横断山区树线以上区域种子植物标本数量在物种间的分布

Fig. 1 The distribution of specimens of seed plants among species above timber line in the Hengduan Mountains

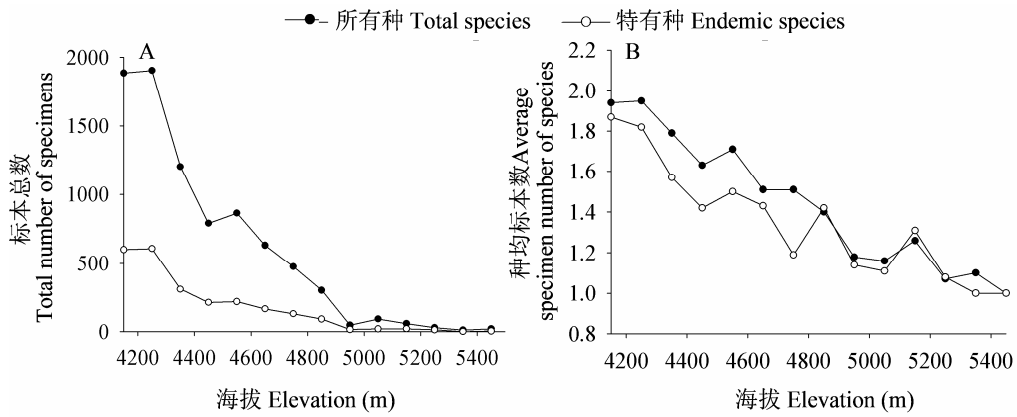


图2 标本数量沿海拔梯度的分布

Fig. 2 The distribution of frequencies of specimens in each elevational belt along an elevational gradient in the Hengduan Mountains

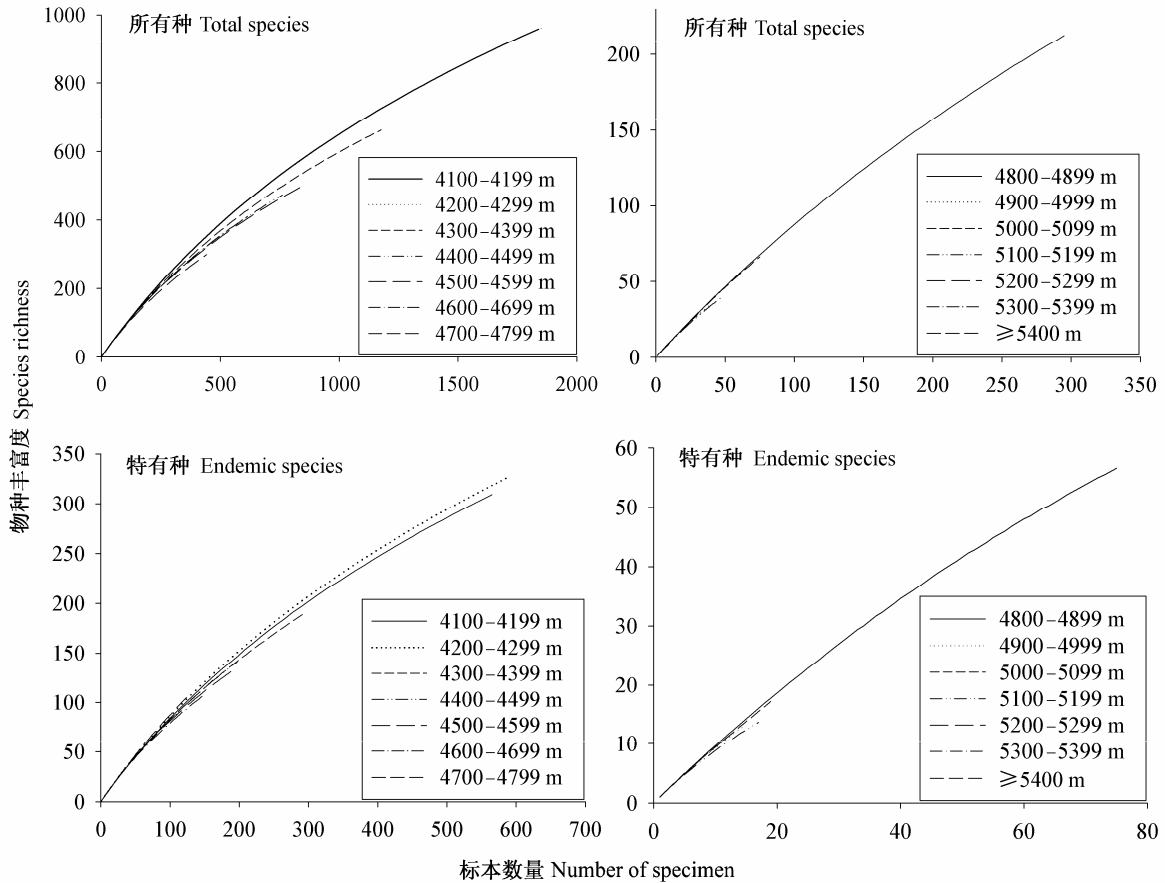


图3 各海拔带物种稀疏曲线。由于部分海拔带内标本数量较少而使其物种稀疏曲线在图中未能得到区分。

Fig. 3 Species rarefaction curves of all 100-m elevational belts based on rarefaction. The specimens in some 100-m elevational belts are rare, so their species rarefaction curves are invisible in this figure.

下降的格局(图2)。4,900 m以上区域的标本数量较少,所有种共有标本262号,仅占标本总数的3.15%,种均标本1.13号;特有种共有标本76号,每种基本上仅有1号标本(图2)。

3.4 物种丰富度沿海拔梯度的分布

所有种丰富度随海拔的增加而单调下降,但各海拔带内物种丰富度的差异较小;在4,800 m以上,物种稀疏曲线甚至难以区分各海拔带内物种丰富度的差异。特有种丰富度随海拔的增加总体上呈现下降趋势,但除几个较低海拔带外,物种稀疏曲线同样不能很好地区分各海拔带内物种丰富度的差异,大多数海拔带内物种稀疏曲线都表现为直线关系(图3),这充分说明这些海拔带内标本采集的强度较低。

4 讨论

4.1 植物标本分布

本文对目前采集于横断山区树线以上区域种子植物的标本进行了详细的统计,标本范围覆盖了相关数据库和国内所有大型标本馆,但结果显示标本采集强度总体上相对较低。突出表现在两个方面:一是大部分物种仅有1-2号标本(图1),二是较高海拔区域物种平均标本数量更低(图2),物种稀疏曲线几乎呈直线关系(图3)。导致这种现象的可能原因有:(1)高海拔区域特有种更丰富(高于该区域种子植物的平均特有率),部分物种分布范围狭窄,而且个体数量极少,标本可能仅限于模式标本;(2)高海拔区域生产力低,物种种群密度低(王长庭等, 2004; 周才平等, 2004),个体数量少,稀有物种占有更大比例,特别是分布范围局限于高海拔地区物种的标本数量更少(种均标本仅有1.87号);(3)高海拔区域难以到达,而且生长季节短,标本采集受季节影响大,采集难度更大。

另外,也有少部分采集于树线以上的植物标本未包括在本研究中,包括:(1)没有具体采集地与海拔记载的标本,在标本统计过程中发现这部分标本占有很大的比例,特别是早期采集的标本很多都缺乏海拔分布信息。因此,在今后的标本采集中进行规范的记录非常重要;(2)未数字化的植物标本;(3)部分存放于标本馆之外的标本;(4)未鉴定标本;(5)国外标本馆的馆藏标本。但是,本研究所统计的标

本资料应是横断山区树线以上所采集植物标本的绝大部分,即使将上述未统计标本计算在内,4,900 m以上各海拔带内种均标本数量也不会有太多的增加。

4.2 树线以上高海拔区域物种丰富度格局

物种稀疏曲线表明,横断山区树线以上区域物种丰富度随海拔的增加而表现为下降的趋势(图3),这与其他地区高海拔区域物种丰富度沿海拔梯度的分布格局一致(Vetaas & Grytnes, 2002; Grytnes, 2003; Wang *et al.*, 2007)。原因是高海拔区域物种丰富度直接受温度的控制(Bhattarai *et al.*, 2004),气温随海拔的增加而线性下降必然导致物种丰富度随海拔的增加而单调下降。

但是,标本资料的缺乏使得物种稀疏曲线不能很好地区分各海拔带的物种丰富度,甚至表现为直线关系(图3),这是用物种稀疏曲线描述高海拔区域物种丰富度分布格局的共同问题(Fu *et al.*, 2006; Grytnes & Beaman, 2006)。而且高海拔区域更高比例的稀有物种(标本数量较少的物种)也使得物种稀疏曲线不能很好地区分各个海拔带的物种丰富度(Grytnes & Beaman, 2006)。

插值法是用来估算物种丰富度的另一常见方法,但是该方法会造成物种丰富度在高海拔地区随海拔的增加而急剧下降的人为分布格局(Grytnes & Vetaas, 2002)。而且,由于高海拔带标本资料的缺乏,各种出版物中有关高海拔带物种海拔分布信息的记载也相对不完整,如根据《中国植物志》、《横断山区维管植物》等出版物的统计数据,横断山区4,100 m以上区域分布有种子植物1,632种,低于本研究统计的物种丰富度。因此插值法也不能很好地估算高海拔带的物种丰富度。

基于标准样地观测的 α 多样性和区域物种的 γ 多样性显著相关,所以根据 α 多样性的海拔分布格局可以很好地理解 γ 多样性的海拔分布格局(Eriksson, 1993; Zobel, 1997)。但是,目前所有 α 多样性测度的海拔上限都在树线附近(沈泽昊等, 2001; 冯建孟等, 2006),而更高海拔段缺少 α 多样性观测数据。树线以上高海拔区域,物种丰富度随海拔的增加而单调下降的分布格局在众多的研究中都得到证实,但是由于数据资料的不充分而使目前物种丰富度的计算方法都不能很好地估算各个

海拔带的物种丰富度, 需要开展更多的样地调查和植物标本采集工作。

横断山区是一些温带-高山成分的分布与分化中心(孙航, 2002; 孙航和李志敏, 2003), 这些类群也是树线以上区域物种最丰富的类群(表1, 2)。同时, 它们也是比较新的类群, 对于研究横断山区植物区系的起源与演化具有重要意义(张富民等, 2003; 王玉金和刘建全, 2004; Luo *et al.*, 2005)。高山植物对全球气候变化最为敏感(Kullman, 2004; 李荣平等, 2006), 因此这些区域的植物标本资料不仅在分类学上有重要意义, 而且也记载着对全球气候响应的信息(Woodward, 1987; 郑淑霞和上官周平, 2005), 因而加强树线以上区域植物标本的采集与研究意义深远。

参考文献

- Bao SY (包士英), Mao PY (毛品一), Yuan SX (苑淑秀) (1998) *A Brief History of Plant Collection in Yunnan* (云南植物采集史略). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Bhattarai KR, Vetaas OR, Grytnes JA (2004) Fern species richness along a central Himalayan elevation gradient, Nepal. *Journal of Biogeography*, **31**, 389–400.
- Billings WD (1974) Adaptation and origins of alpine plants. *Arctic Alpine Research*, **6**, 129–142.
- Boufford DE, Dijk PPV (2000) South-central China. In: *Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions* (eds Mittermeier RA, Myers N, Mittermeier CG), pp. 338–351. Cemex, Mexico.
- Boufford DE, Dijk PPV, Zhi L (2004) Mountains of Southwest China. In: *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Ecoregions* (eds Mittermeier RA, Robles-Gil P, Hoffmann M, Pilgrim JD, Brooks TM, Mittermeier CG, Lamoreux JL, Fonseca G), 2nd edn, pp. 159–164. Cemex, Mexico.
- Eriksson O (1993) The species-pool hypothesis and plant community diversity. *Oikos*, **68**, 371–374.
- Feng JM (冯建孟), Wang XP (王襄平), Xu CD (徐成东), Yang YH (杨元合), Fang JY (方精云) (2006) Altitudinal patterns of plant species diversity and community structure on Yulong Mountains, Yunnan, China. *Journal of Mountain Science* (山地学报), **24**, 110–116. (in Chinese with English abstract)
- Fu CZ, Hua X, Li J, Chang Z, Pu ZC, Chen JK (2006) Elevational patterns of frog species richness and endemic richness in the Hengduan Mountains, China: geometric constraints, area and climate effects. *Ecography*, **29**, 919–927.
- Gotelli NJ, Entsminger GL (2004) *EcoSim: Null Models Software for Ecology*. Version 7.0. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear. <http://homepages.together.net/~gentsmin/ecosim.htm>
- Grytnes JA, Vetaas OR (2002) Species richness and altitude: a comparison between null model and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *The American Naturalist*, **159**, 294–304.
- Grytnes JA (2003) Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. *Ecography*, **26**, 291–300.
- Grytnes JA, Beaman JH (2006) Elevational species richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Biogeography*, **33**, 1838–1849.
- Herzog SK, Kessler M, Bach K (2005) The elevational gradient in Andean bird species richness at the local scale: a foothill peak and a high-elevation plateau. *Ecography*, **28**, 209–222.
- Körner C (1999) *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kullman L (2004) The changing face of the alpine world. *Global Change Newsletter*, **57**, 12–14.
- Li BY (李炳元) (1987) On the boundaries of the Hengduan Mountains. *Mountain Research* (山地研究), **5** (2), 74–82. (in Chinese with English abstract)
- Li BY (李炳元) (1989) Geomorphologic regionalization of the Hengduan mountainous region. *Mountain Research* (山地研究), **7** (1), 13–20. (in Chinese with English abstract)
- Li RP (李荣平), Zhou GS (周广胜), Zhang HL (张慧玲) (2006) Research advances in plant phenology. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**, 541–544. (in Chinese with English abstract)
- Liu LH (刘伦辉), Yu YD (余有德), Zhang JH (张建华) (1984) The division of vertical vegetation zone in Hengduanshan. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **6**, 205–216. (in Chinese with English abstract)
- Liu LH (刘伦辉), Yu YD (余有德), Zhang JH (张建华) (1985) Discussion upon the regularities of vegetational distribution in the Hengduanshan Mountains. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **7**, 323–335. (in Chinese with English abstract)
- Liu LH (刘伦辉), Yu YD (余有德), Zhang JH (张建华) (1989) Vegetation regionalization of the Hengduan Mountainous region. *Mountain Research* (山地研究), **7**(3), 47–55. (in Chinese with English abstract)
- Luo GH (罗桂环) (2005) *History of Western Botanical and Zoological Studies in China* (近代西方识华生物史). Shandong Education Press, Ji'nan. (in Chinese)
- Luo Y, Zhang FM, Yang QE (2005) Phylogeny of *Aconitum* subgenus *Aconitum* (Ranunculaceae) inferred from ITS sequences. *Plant Systematics and Evolution*, **252**, 11–25.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853–858.
- Shen ZH (沈泽昊), Fang JY (方精云), Liu ZL (刘增力), Wu J (伍杰) (2001) Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the east aspect of Gongga Moun-

- tain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **25**, 721–732. (in Chinese with English abstract)
- Solow AR, Roberts DL (2006) Museum collections, species distributions, and rarefaction. *Diversity and Distributions*, **12**, 423–424.
- Suarez AV, Tsutsui ND (2004) The value of museum collections for research and society. *BioScience*, **54**, 66–74.
- Sun H (孙航) (2002) Evolution of Arctic-Tertiary flora in Himalayan-Hengduan Mountains. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **24**, 671–688. (in Chinese with English abstract)
- Sun H (孙航), Li ZM (李志敏) (2003) Qinghai-Tibet Plateau uplift and its impact on Tethys flora. *Advances in Earth Sciences* (地球科学进展), **18**, 852–862. (in Chinese with English abstract)
- Vetaas OR, Grytnes JA (2002) Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal. *Global Ecology and Biogeography*, **11**, 291–301.
- Wang CT (王长庭), Wang QJ (王启基), Long RJ (龙瑞军), Jing ZC (景增春), Shi HL (史惠兰) (2004) Changes in plant species diversity and productivity along an elevation gradient in an alpine meadow. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 240–245. (in Chinese with English abstract)
- Wang WT (王文采) (1993, 1994) *Vascular Plants of the Hengduan Mountains* (Vol. 1 and 2) (横断山区维管植物 (上、下册)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wang YJ (王玉金), Liu JQ (刘建全) (2004) A preliminary investigation on the phylogeny of Saussurea (Asteraceae: Cardueae) based on chloroplast DNA *trn* L-F sequences. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **42**, 136–153. (in Chinese with English abstract)
- Wang ZH, Tang ZY, Fang JY (2007) Altitudinal patterns of seed plant richness in the Gaoligong Mountains, south-east Tibet, China. *Diversity and Distribution*, **13**, 845–854.
- Woodward FI (1987) Stomatal numbers are sensitive to increases in CO₂ from pre-industrial leaves. *Nature*, **327**, 617–618.
- Yang Y (杨扬), Sun H (孙航) (2006) Advances in the functional ecology of alpine and arctic plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **28**, 43–53. (in Chinese with English abstract)
- Yu YD (余有德), Liu LH (刘伦辉), Zhang JH (张建华) (1989) Vegetation regionalization of the Hengduan Mountainous Region. *Mountain Research* (山地研究), **7**(1), 47–55. (in Chinese with English abstract)
- Zhang DC, Sun H (2007) Division of the southern and northern subregions in the Hengduan Mountains and their species richness. *Newsletter of Himalayan Botany*, **40**, 15–19.
- Zhang DC (张大才) (2008) *Elevational Patterns of Seed Plant Richness in the Hengduan Mountains, Southwest China* (横断山区种子植物丰富度沿海拔梯度的分布格局). PhD dissertation, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming. (in Chinese)
- Zhang FM (张富民), Ge S (葛颂), Chen WL (陈文俐) (2003) Phylogeny of the *Aconitum delavayi* complex (Ranunculaceae) based on evidence from nuclear ribosomal ITS sequences. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **41**, 220–228. (in Chinese with English abstract)
- Zhang RZ (张荣祖), Zheng D (郑度), Yang QY (杨勤业), Liu YH (刘燕华) (1997) *Physical Geography of Hengduan Mountains* (横断山区自然地理). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zheng SX (郑淑霞), Shangguan ZP (上官周平) (2005) Tempo-spatial variations in the stomatal density and δ¹³C value of *Quercus liaotungensis* leaves. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **41** (2), 30–36. (in Chinese with English abstract)
- Zhou CP (周才平), Ouyang H (欧阳华), Wang QX (王勤学), Masataka W, Sun QQ (孙青强) (2004) Estimation of net primary productivity in Tibetan Plateau. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), **59**, 74–79. (in Chinese with English abstract)
- Zobel M (1997) The relative role of species pools in determining the plant species richness: an alternative explanation of species coexistence? *Trends in Ecology and Evolution*, **12**, 266–269.

(责任编辑: 周玉荣)