

中国种子植物特有属的地理分布格局

陈圣宾¹ 欧阳志云^{1*} 方瑜¹ 李振基²

1 (中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

2 (厦门大学生命科学学院, 厦门 361005)

摘要: 生物特有现象的地理格局及其形成机制是生物地理学的重要研究内容。本文通过整合173个地区的中国种子植物特有属编目资料、环境和空间因子数据, 运用多元回归和方差分解的方法, 探索了中国种子植物特有属丰富度及其占全部种子植物属丰富度的比例(特有属比例)与环境(生境异质性和气候)和空间因子的关系。结果表明: (1)特有属丰富度及特有属比例具有很强的空间变异性, 在华中地区最高, 而靠近国界和大陆边缘的地区较低; 相比而言, 种子植物属丰富度的空间变异性较弱, 且表现出显著的纬度梯度性; (2)特有属丰富度及特有属比例主要由空间因子和生境异质性(地形的复杂性)决定, 即在大的空间尺度上, 地理位置决定一个地区特有属比例的理论值, 生境异质性和气候因子对其进行微调; 而种子植物属丰富度的地理格局主要受气候和生境异质性的影响。(3)中国种子植物特有属是主观性非常强的概念, 特有属比例所反映的植物区系系统发育信息可能会很低; 空间因子所解释的方差中到底有多少是系统发育因素, 还需要进一步的研究。本文最后讨论了当前特有属定义和判定的不足之处。虽然理论上认为特有属的判定不应以行政边界为标准, 但是目前几乎所有的中国特有属划分方法均以国界为准, 这在一定程度上降低了中国种子植物特有属概念的科学内涵和在实践中的作用。因此, 我们建议在理论和实践中对中国种子植物特有属概念采取审慎的态度。

关键词: 种子植物, 特有属, 生境异质性, 气候因子, 空间因子, 空间格局

Geographic patterns of endemic seed plant genera diversity in China

Shengbin Chen¹, Zhiyun Ouyang^{1*}, Yu Fang¹, Zhenji Li²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

2 School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005

Abstract: Endemism describes the phenomenon that the distribution of individual species/taxa is critically restricted to a specific region. Seed plant genera endemic to China (endemic genera) are those with their main geographic distribution range within the borders of China. The geographic patterns of endemic genera can not only guide conservation planning, but these organisms are also important biological resources. We gathered data of 173 localities on environmental and spatial factors, and regional seed plant genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN) and endemic genera ratio (EGR), which was calculated by dividing EGRN by GRN. Multiple regression and variance partitioning were used to examine how environmental and spatial variables affect GRN, EGRN, and EGR. Our results showed that: (1) EGRN and EGR had stronger spatial variability than GRN, with highest values (richness and ratio) in central China and lower near national borders and continental edges. GRN exhibited an evident latitudinal gradient. (2) EGRN and EGR were mainly determined by habitat heterogeneity and spatial factors. Regional theoretical EGR was constrained by its geographical location, and was further adjusted by habitat heterogeneity (topographical complexity) and climatic factors. Geographical patterns of GRN, on the other hand, were mainly determined by climatic conditions and habitat heterogeneity rather than spatial factors. (3) Seed plant genera endemic to China could be rather difficult to define, and probably reflected inadequate information on phylogenetic evolution of local

收稿日期: 2010-12-03; 接受日期: 2011-04-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB421105)和国家科技支撑计划项目(2006BAC08B04)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

flora. Further studies are needed to examine the variance explained by spatial factors through a phylogenetic lense. Finally, flaws in the definition and classification of seed plant genera endemic to China were discussed. Theoretically, genera endemic to China should not be defined according to the political borders. But, in practice, nearly all the lists of seed plant genera endemic to China proposed by several authors were based on the relationship between the geographic distribution of specific genus and national borders. Thus, we recommend that, the concept of seed plant genera endemic to China should be used carefully in both theoretical research and biodiversity conservation practices.

Key words: seed plant, endemic genera, habitat heterogeneity, climatic factor, spatial factor, spatial pattern

特有性是一个地域性概念, 即若一个分类单元仅在某一区域出现, 那么该分类单元就被认为是该地区特有的(Anderson, 1994)。对特有现象的分析可在种、属和科等各个分类水平上进行。植物特有属是指分布限于某一自然地区或生境的属, 是某一自然地区或生境内植物区系的特有现象, 以其适宜的自然地理环境及生境条件与邻近地区区别开来。因此, 它们分布区的界线是自然地区的界线, 而不受行政界线的限制(王荷生, 1989)。

国内学者对中国种子植物特有属(以下简称中国特有属)的界定标准有一定的差异。如王荷生(1989)认为地理分布严格限于某自然区域内的属为真特有属, 稍超出其自然分布地区界线的则为半特有属。符合上述标准的中国种子植物特有属有321属。吴征镒(1991)认为中国特有属是指仅分布在中国, 或分布中心在中国而超出国界不多的属, 并据此判定中国种子植物特有属共有257属, 占全国3,117属的8.3%, 主要分布在亚热带地区。应俊生和张玉龙(1994)认为中国特有属为243属。最近, 吴征镒等(2011)采用比较严格的界定标准, 认为中国种子植物特有属为239属, 隶属67科。这些差异主要是由界定方法、分类系统和资料来源的不同导致的(吴征镒等, 2005)。但总体而言, 这些特有属的定义均基于种子植物属分布范围与中国国界的关系。因此, 我们可以预测, 随着植物地理学资料的增加, 中国种子植物特有属的组成和数量也会发生一定的变化(许瑾等, 2008)。

由于特有植物分布范围较小, 容易受到灭绝威胁, 故特有植物能够指导区域性生物多样性保护优先区规划(Lamoreux *et al.*, 2006; Casazza *et al.*, 2008); 而且, 许多特有属植物也是重要的生物资源(马骥等, 2004)。因此, 阐明中国特有属的分布格局及其决定因素具有重要的理论和实践意义。

目前, 已有许多学者从不同尺度对中国特有属的地理分布格局进行了分析。在省级行政区尺度上, 西南地区的云南、四川和贵州特有属最多, 而西北的新疆以及东北的黑龙江和吉林最少(吴征镒, 1991; 王荷生和张懿铨, 1994b; 应俊生和张玉龙, 1994)。在区域尺度上, 中国亚热带地区的特有属比例在川东-鄂西地区最高(沈泽昊和张新时, 2000)。在云南, 中国特有属比例的最小值出现在滇南和滇西南的热带地区, 最大值出现在滇西北横断山区(朱华, 2008; 冯建孟和朱有勇, 2010)。Zhu等(2007)分析了全国204个地区种子植物属的地理成分, 同样发现川东-鄂西地区特有属比例最高, 而在北纬40°以北的地区, 以及物种非常丰富但靠近国界的地区(如西双版纳、台湾和海南岛), 特有属比例非常低。

植物的分布不仅取决于现代生境条件, 也受地质时期环境的影响, 因此, 特有现象具有多方面的成因, 包括现代和地质时期的气候条件、地貌因子、土壤因子和边缘效应等(应俊生, 1996; 张宏达, 1997; 吴征镒等, 2011)。例如, 在区域尺度上, 李锡文(1994)认为, 滇西北地区主要为新特有属, 而滇东南地区主要为古特有属, 这与它们的地质历史特征相关联; 而在全国尺度上, 中国东部主要为古特有属, 西部和西南部主要为新特有属(王荷生, 1989; 王荷生和张懿铨, 1994a; 郝日明, 1997; 吴征镒等, 2005)。不同地区特有属比例与温度和降水等气候参数均无显著的线性关系(Zhu *et al.*, 2007), 这提示我们, 中国特有属作为一个具有内在空间尺度的概念, 其地理分布格局可能与空间位置具有密切的相关性。

本文基于大量的区域性中国特有属编目资料以及环境和空间因子数据, 通过与种子植物属丰富度进行比较, 探索了中国特有属的地理分布格局及

其与环境 and 空间因子的关系, 并建立了包含环境因子和空间因子的多元回归模型。

1 材料和方法

1.1 数据来源

我们以“植物”和“特有属”等为关键词, 通过对中国知网(CNKI)、维普资讯和万方等中文文献数据库的检索, 收集了中国271个地区的种子植物特有属编目资料, 其中有173篇文献满足下列标准, 进入最终的数据分析和研究: (1)具有确切的调查面积, 且大于50 km²; (2)具有海拔(最低和最高)和经纬度数据; (3)若同一区域有2篇以上文献报道, 采用最新发表的数据; (4)若两篇文献报道的区域有重叠之处, 则舍弃面积较小者; (5)同时包含非特有属丰富度数据; (6)非湿地生态系统; (7)有具体的特有属名录。我们采取目前应用较多的应俊生和张玉龙(1994)的特有属界定标准重新核定特有属丰富度, 确定所报道地区的种子植物属丰富度(*genera richness*, GRN, 以下为属丰富度)、特有属丰富度(*endemic genera richness*, EGRN)和特有属比例(*endemic genera ratio*, EGR)。其中特有属比例是某一区域特有属丰富度与属丰富度的比值(%)。

气候数据来自WorldClim数据库(<http://www.worldclim.org>), 主要包括潜在蒸散(*potential evapotranspiration*, PET)、实际蒸散(*actual evapotranspiration*, AET)、最冷月均温(*mean temperature of the coldest month*, TCM)、年均温(*mean annual temperature*, TEM)、最干月降雨量(*precipitation of the driest month*, PDM)和年降雨量(*annual precipitation*, PRE)。

生境异质性变量包括各个区域的面积(AREA)和海拔幅度(*range in elevation*, REL) (Chen *et al.*, 2011), 二者呈显著正线性相关($r = 0.303$, $P = 0.019$)。

除了环境因子外, 属丰富度、特有属丰富度和特有属比例的空间分布, 特别是特有属丰富度和特有属比例也可能受地理位置影响。在环境均一的假设前提下, 由于特有属定义的限制, 必然造成特有属丰富度和特有属比例在靠近边界的地区都较低, 而在中部地区出现峰值。因此, 有必要进行趋势面分析(*trend surface analysis*, Legendre & Legendre, 1998)。空间因子包括每个地区中心点的经度(X)和纬度(Y)及其二次方和三次方, 即X、Y、X²、XY、

Y²、X³、X²Y、XY²、Y³等9项。

1.2 统计分析

在本研究中, 自变量包括生境异质性变量、气候变量和空间变量; 因变量为属丰富度、特有属丰富度和特有属比例。

首先, 检验各个变量的正态性, 并对正态性较差的属丰富度、特有属丰富度、AREA和REL取自然对数。为了比较各个自变量的变异程度, 我们计算了属丰富度、特有属丰富度和特有属比例的变异系数(CV), CV越大则变异程度越大。采用Moran's *I* 检验属丰富度、特有属丰富度和特有属比例的空间自相关特征。Moran's *I* 的取值区间为[-1, 1], 负(正)值表示负(正)的空间自相关, 而0则表示随机性的空间格局(Moran, 1950)。

然后, 运用Pearson相关性系数检验各个自变量间的线性相关性; 运用回归的方法检验各个因变量与各个自变量之间的回归关系, 必要时增加其二次方。依据AIC指数(Akaike's information criterion)分别筛选最优的生境异质性模型、气候模型、空间模型和包含各个环境和空间因子的综合模型。AIC指数描述模型的精确性和复杂性之间的权衡, 可以在一系列备选模型中筛出最优模型, 即AIC值最低的模型(Akaike, 1974)。

再者, 采用方差分解(*variation partitioning*, Borcard *et al.*, 1992)的方法, 把全部被解释的因变量方差分解成生境异质性(H)、气候(C)和空间因子(S)的独立效应及其交互效应(HC、HS、CS、HCS); 其中独立作用部分的大小表明一类因子的相对重要性(Mac Nally, 2000)。

由于地理分布数据一般都存在空间自相关, 这可能会增大统计分析过程中I型错误的可能性(Diniz-Filho *et al.*, 2003)。因此, 我们采用Dutilleul(1993)提出的方法, 重新估计自由度和显著性。全部统计分析由SAM v3.1软件完成(Rangel *et al.*, 2006)。

2 结果

2.1 地理分布格局

在所研究的173个地区中, 种子植物属丰富度(GRN, 以下为属丰富度)最高为1,202属, 最低为130属, 平均为553属。热带和亚热带地区属丰富度较高, 一般在500属以上(图1a)。特有属丰富度

(EGRN, 以下为特有属丰富度)最高为52属, 最低为1属, 平均为15属。秦岭—淮河以南及横断山脉以东地区特有属丰富度较高, 大多在20属以上。值得注意的是, 属丰富度较高的云南南部和南岭以南的热带和亚热带地区, 特有属丰富度大多在20属以下, 低于秦岭和横断山脉地区(图1b)。特有属比例(EGR, 以下为特有属比例)最高为5.5%, 最低为0.3%, 平均为2.5%。特有属比例较高的区域是四川盆地周边地区, 包括秦岭、横断山脉、武陵山脉等, 多在4.0%以上, 并呈现向四周逐渐降低的趋势(图1c)。特有属丰富度的变异系数(CV)最大(74.0%), 特有属比例次之(53.4%), 属丰富度最小(37.6%)。属丰富度、特有属丰富度和特有属比例之间均具有显著的线性相关性, 且在特有属丰富度和特有属比例间最强(表1)。

从属丰富度、特有属丰富度到特有属比例, 它们与经度的单峰型关系愈发明显, 峰值分别出现在98°E、107°E和110°E附近, 出现峰值的经度逐渐增加(图2a, c, e)。就它们与纬度的关系来看, 属丰富度随纬度升高基本呈单调下降趋势(图2b), 而特有属丰富度和特有属比例则与纬度呈单峰型关系, 峰值出现在30°N左右(图2b, d, f)。

在空间距离较近时(<700 km), 3个因变量均具有显著的正空间自相关特征, Moran's *I*以特有属比例最高, 特有属丰富度次之, 属丰富度最低。随着距离的增加, Moran's *I*逐渐降低, 从特有属比例、特有属丰富度到属丰富度, 降低的速率逐渐减小。在700–1,500 km之间, Moran's *I*测度的主要是华中地区与其他地区的3个因变量的相似性, 多为负值, 以属丰富度最高, 特有属丰富度次之, 特有属比例最低。当距离大于1,500 km时, Moran's *I*仍均为负值, 但以特有属比例最高, 特有属丰富度次之, 属

表1 中国种子植物属丰富度(GRN)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)之间的相关性(丰富度数据均经过自然对数转换)

Table 1 Correlation between genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN), and endemic genera ratio (EGR) of seed plants in China. Richness data were ln-transformed.

	属丰富度 GRN	特有属丰富度 EGRN
特有属丰富度 EGRN	0.703*	
特有属比例 EGR	0.311*	0.852*

* $P < 0.05$, Significant at 0.05 level based on Dutilleul's method (1993)

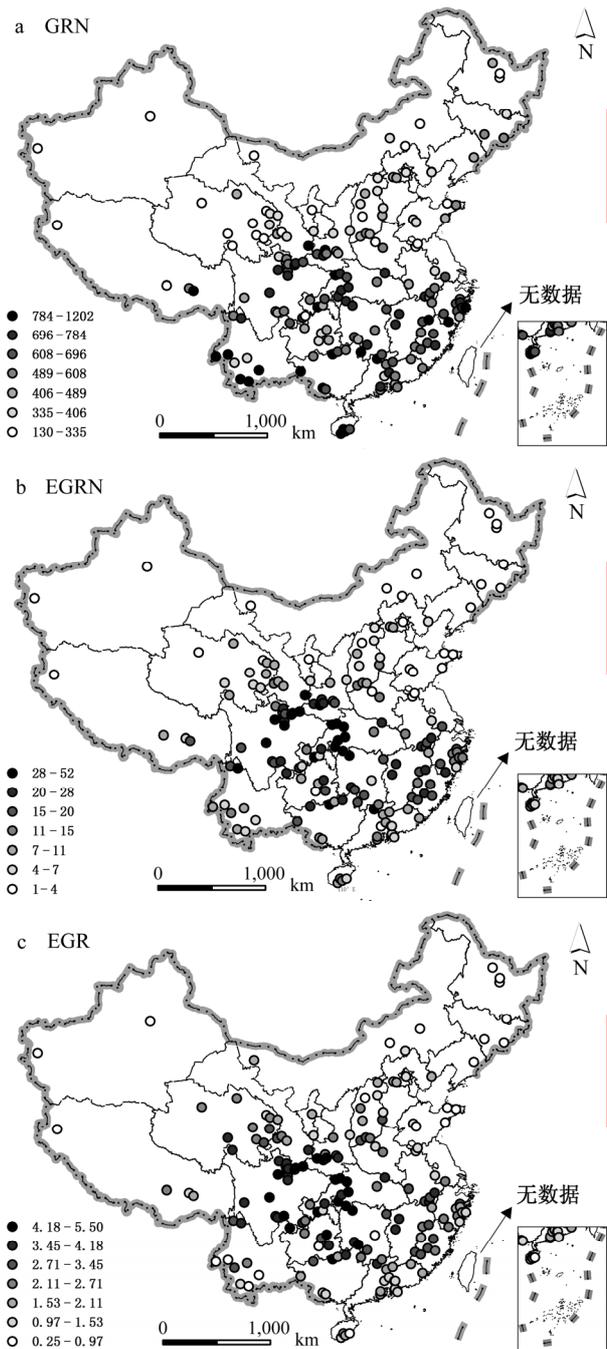


图1 中国种子植物属丰富度(GRN)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)的地理分布格局。

Fig. 1 Geographic patterns of genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN) and endemic genera ratio (EGR) for seed plants.

丰富度最低(图3)。这也表明特有属丰富度和特有属比例在近国界的地区均比较低, 具有相对弱的空间负相关; 对属丰富度而言, 此时的Moran's *I*最低,

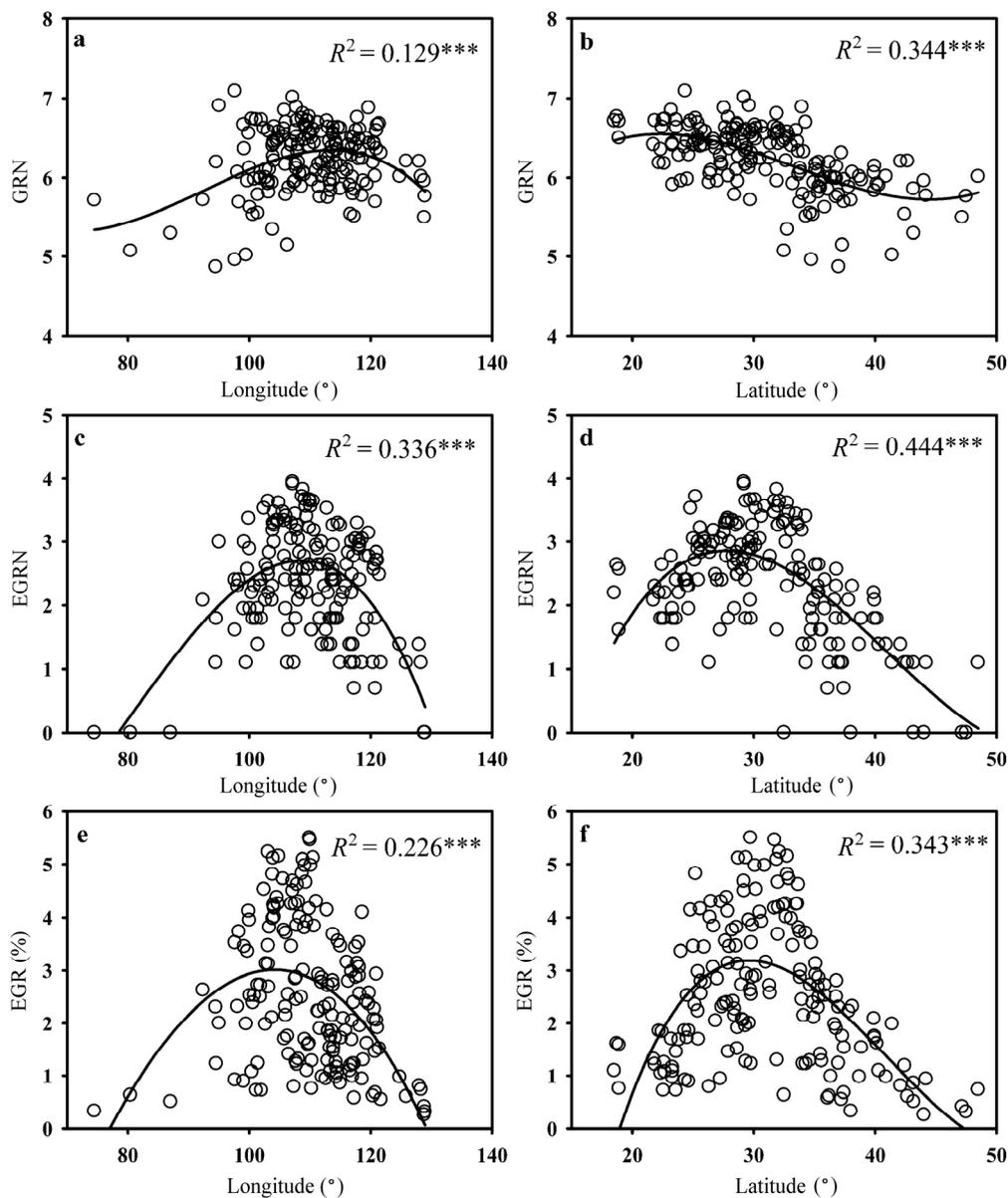


图2 种子植物属丰富度(GRN) (a, b)、特有属丰富度(EGRN) (c, d)和特有属比例(EGR) (e, f)与经纬度的关系, 丰富度数据均经过自然对数转换。

Fig. 2 Changes of genera richness (GRN) (a, b), endemic genera richness (EGRN) (c, d), and endemic genera ratio (EGR) (e, f) of seed plants along with longitude and latitude. Richness data were ln-transformed.

测度的是距离较远的两个地区之间属丰富度的相似性。

2.2 与环境 and 空间因子的关系

属丰富度和特有属丰富度均与REL、TEM、TCM、PRE、PDM、PET和AET间具有显著的线性和非线性回归关系, 但除了REL外, 特有属丰富度与各个环境因子的相关性均较属丰富度弱, 且大多

为二次方关系。特有属比例仅与REL间具有显著的线性关系, 与其他各个环境因子间多为二次方, 且较特有属丰富度与环境因子的关系弱(表2)。

生境异质性模型分别能解释属丰富度、特有属丰富度和特有属比例空间方差的9.1%、11.9%和12.2%, 且均包含AREA、REL和REL²。气候模型分别能解释属丰富度、特有属丰富度和特有属比例空

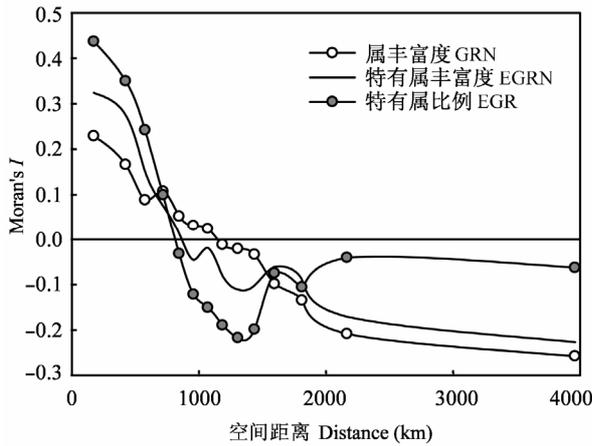


图3 不同空间距离上中国种子植物属丰富度(GRN)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)的空间自相关特征
Fig. 3 Moran's *I* of genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN), and endemic genera ratio (EGR) of seed plants at different distance classes

间方差的57.4%、60.1%和49.1%。属丰富度的气候模型包括PRE, PRE², PDM, PDM², PET, TCM和TEM²等7项; 特有属丰富度的气候模型包括9项; 特有属比例的气候模型仅包括TEM, TEM², TCM, PET, PRE, PRE²等6项。属丰富度的空间模型仅有6项, 解释其空间方差的46.6%; 特有属丰富度和特有属比例的空间模型均为8项, 分别能解释其空间方差的58.0%和53.5% (表3)。

表2 种子植物属丰富度(GRN)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)与各个环境因子的回归系数
Table 2 Regression coefficient of genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN) and endemic genera ratio (EGR) of seed plants with each environmental factor

自变量 Independent variables	属丰富度 GRN		特有属丰富度 EGRN		特有属比例 EGR	
	一次 Linear	二次 Quadratic	一次 Linear	二次 Quadratic	一次 Linear	二次 Quadratic
面积 AREA (-)	0.051*		0.008		0.005	
海拔幅度 REL (+)	0.004	0.050*	0.067*	0.084*	0.106*	0.102*
年均温 TEM (+)	0.304*	0.304*	0.100*	0.192*	0.001	0.130*
最冷月均温 TCM (+)	0.377*	0.376*	0.189*	0.353*	0.010	0.220*
年降雨量 PRE (+)	0.389*	0.506*	0.148*	0.308*	0.001	0.144*
最干月降雨量 PDM (+)	0.210*	0.282*	0.108*	0.115*	0.005	0.006
潜在蒸散 PET (+)	0.342*	0.380*	0.075*	0.214*	0.002	0.126*
实际蒸散 AET (+)	0.465*	0.520*	0.198*	0.309*	0.008	0.116*

+/- indicates positive/negative regression; AREA, Area of each region; REL, Range in elevation; TEM, Mean annual temperature; TCM, Mean temperature of the coldest month; PRE, Annual precipitation; PDM, Precipitation of the driest month; PET, Potential evapotranspiration; AET, Actual evapotranspiration. * *P* < 0.05, Significant at 0.05 level based on Dutilleul's method (1993).

对属丰富度而言, 生境异质性(8.2%)和气候因子(9.1%)的独立作用均大于空间因子的独立作用(2.4%), 气候因子和空间因子之间的交互作用最大, 而生境异质性和气候因子以及3类因子间的交互作用缺乏(表4)。而对特有属丰富度而言, 空间因子的独立作用最大(8.9%), 其次是生境异质性(7.5%), 而气候因子的独立作用最小(5.7%), 气候因子和空间因子之间的交互作用最大, 而且两两之间和3类因子间均存在交互作用。与特有属丰富度类似, 对特有属比例而言, 空间因子的独立作用也是最大(9.8%), 其次是生境异质性(2.5%), 而气候因子的独立作用最小(1.9%), 气候因子和空间因子之间的交互作用也是最大, 而且两两之间和3类因子间均存在交互作用。值得注意的是, 生境异质性和气候的独立作用从属丰富度、特有属丰富度到特有属比例逐渐降低, 而空间的独立作用却逐渐增加(表4)。

3 讨论

3.1 特有属地理分布格局

利用173个地区的中国种子植物属丰富度(GRN, 以下为属丰富度)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)的数据, 本文阐明了特有属丰富度和特有属比例的基本地理分布格局, 即二者均在靠近大陆边缘和国界的地区较低, 而在中国中部的亚热带山地最高(图1b, c)。这一结果与Zhu等(2007)的结果一致, 而与在省级尺度上发现的规律有一定的差

表3 种子植物属丰富度(GRN)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)的生境异质性、气候、空间和综合模型

Table 3 Summary of heterogeneity, climate, spatial and integrative models for genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN) and endemic genera ratio (EGR) of seed plants

模型 Model	自变量 Independent variables	R^2 (%)	AIC	P
属丰富度(GRN)				
生境异质性模型 Heterogeneity model	AREA, REL, REL ²	9.1	178	< 0.001
气候模型 Climatic model	PRE, PRE ² , PDM, PDM ² , PET, TCM, TEM ²	57.4	52	< 0.001
空间模型 Spatial model	X, XY, Y ² , X ³ , X ² Y, XY ²	46.6	96	< 0.001
综合模型 Integrative model	AREA, REL ² , PRE, PRE ² , PET, X, XY, XY ²	66.7	35	< 0.001
特有属丰富(EGRN)				
生境异质性模型 Heterogeneity model	AREA, REL, REL ²	11.9	430	< 0.001
气候模型 Climatic model	TEM, TEM ² , TCM, PRE, PRE ² , PDM, PDM ² , PET, AET	60.1	305	< 0.001
空间模型 Spatial model	X, Y, XY, Y ² , X ³ , X ² Y, XY ² , Y ³	58.0	306	< 0.001
综合模型 Integrative model	AREA, REL ² , PRE, PRE ² , X, Y, Y ² , X ² Y, XY ²	73.9	240	< 0.001
特有属比例(EGR)				
生境异质性模型 Heterogeneity model	AREA, REL, REL ²	12.2	578	< 0.001
气候模型 Climatic model	TEM, TEM ² , TCM, PET, PRE, PRE ²	49.1	490	< 0.001
空间模型 Spatial model	X, Y, X ² , XY, Y ² , X ² Y, XY ² , Y ³	53.5	471	< 0.001
综合模型 Integrative model	REL, REL ² , TEM, TCM, PET, Y, X ² , XY, X ² Y, XY ² , Y ³	62.2	229	< 0.001

自变量同表2; 另: X, longitude; Y, latitude

表4 生境异质性(H)、气候因子(C)和空间因子(S)的独立效应及其交互效应(HC、HS、CS、HCS)所能解释的种子植物属丰富度(GRN)、特有属丰富度(EGRN)和特有属比例(EGR)的方差(%)

Table 4 Spatial variance in genera richness (GRN), endemic genera richness (EGRN), and endemic genera ratio (EGR) of seed plants explained exclusively by heterogeneity (H), climatic factors (C) and spatial factors (S), as well as jointly by the interactions between these groups (HC, HS, CS and HCS)

因变量 Response variables	独立效应 Pure components (%)			交互效应 Shared components (%)				解释的总方差 Total variance explained (%)
	H	C	S	HC	HS	CS	HCS	
属丰富度 GRN	8.2	9.1	2.4	-6.3	1.2	36.9	-7.1	66.7
特有属丰富度 EGRN	7.5	5.7	8.9	1.7	5.2	41.8	2.0	73.9
特有属比例 EGR	2.5	1.9	9.8	6.8	6.1	35.9	3.2	62.2

异。在省级尺度上,西南地区的云南、四川和贵州特有属最多(王荷生和张镜铨, 1994b; 应俊生和张玉龙, 1994)。Zhu等(2007)采用与本文类似的数据研究表明,中部的川东-鄂西山区特有属丰富度最高,温带地区、靠近国界的地区和岛屿(台湾和海南岛)特有属比例较低。由于任何生态学现象都与一定的尺度相关联,因此,在比较不同地理区域的特有属丰富度和特有属比例时,均需要考虑尺度的大小。

特有属丰富度和特有属比例的地理分布格局与属丰富度明显不同。这也体现在特有属丰富度与属丰富度的空间相关性较低,而与特有属比例的相关性较高(表1)。而且特有属丰富度和特有属比例在空间上的变异程度均大于属丰富度,这3个因变量

的Moran's I 随空间距离变化的速率也各不相同。如特有属比例的Moran's I 随距离增加先下降而后增加并保持不变,而属丰富度的Moran's I 随空间距离增加持续下降,这与它们各自不同的地理分布格局密切相关(图3)。属丰富度随纬度升高而递减,符合生物多样性纬度梯度性的一般规律(Willig *et al.*, 2003),也与Chen等(2011)对中国种子植物物种丰富度的分析结果一致。在经度梯度上, <100°E的地区属丰富度较低,是因为这里属于青藏高原高寒区和新疆干旱区(图2a)。而特有属丰富度和特有属比例与经纬度均呈钟形关系,部分地反映出特有属界定方法的影响,即经纬度较高和较低的地区均接近国界,因此这些地区的特有属丰富度和比例均较中等

经纬度低(图2b, d, f)。

3.2 特有属地理分布格局与环境因子和空间因子的关系

与属丰富度相比, 特有属丰富度和特有属比例与气候因子多呈二次方关系。也就是说, 特有属丰富度和特有属比例随着水热资源的增加先逐渐增加, 而后逐渐下降; 并且特有属丰富度和特有属比例与气候因子的相关性较属丰富度低得多。这主要是由于中国南方一些水热条件优越的地区靠近国界(如广西和云南), 此区的许多种子植物属分布范围虽然不大, 但却越过国界, 而被界定为非特有属。另外, 中国的特有属分为古特有和新特有两类, 其地理分布分别主要受地质历史时期气候稳定性和地形复杂性的影响。与特有属丰富度相比, 特有属比例是一定区域内特有属丰富度与属丰富度的比例, 它与气候因子的关系受到定义方法的影响更大, 因此与气候因子的相关性最弱。这就能解释Zhu等(2007)发现特有属比例与各个气候因子均无显著的线性关系, 而单个特有属的分布却受环境因子的强烈制约(应俊生, 1996)。方差分解的结果同样表明, 气候因子对属丰富度的独立效应最大, 而对特有属丰富度和特有属比例的独立效应最小(表4)。

特有属丰富度和特有属比例与AREA没有显著的相关性, 同样是因为有些面积较大的地区靠近国界。但是特有属丰富度和特有属比例与REL的相关性较属丰富度更强, 这是因为中国特有属古老和新生并存, 在东部的中国-日本森林植物亚区主要为古老残遗的特有属, 而中国-喜马拉雅森林植物亚区以新特有属居多(吴征镒等, 2005); 东部复杂的山地环境在冰期为古特有属的生存提供了避难所, 而西部青藏高原的隆起形成海拔梯度上的生境多样性, 为新植物属的形成提供了机遇; 并且山地地形限制了植物的扩散, 使这些幸存的和新进化形成的植物属分布范围较小而成为中国特有属。

由特有属比例与经纬度和环境因子间的关系, 可以进一步推论, 在大的空间尺度上, 地理位置决定一个地区特有属比例的理论值, 生境异质性(或地形的复杂性)和气候因子对其进行微调。这一结果同样可以由思想实验得出: 假设一个平原地区无气候差异, 则各个植物属的分布近乎随机, 将分布范围超出本地区的植物属(即非特有属)去除, 则必然出现中部地区特有属最多, 而在边界地区特有属较少的地理格局, 此时特有属丰富度和特有属比例均

为理论值(或期望值), 且空间格局完全相同。若本地区存在气候和地形的变化, 则在温暖湿润的山区特有属丰富度和特有属比例较高, 此时二者均为实际值(或观测值), 且空间格局存在一定差异, 但仍然是中部地区较高, 边界地区较低。

总体而言, 属丰富度的地理格局主要取决于气候因子和生境异质性, 而特有属丰富度和特有属比例的地理格局更多地受到空间因子和生境异质性的影响。对特有属比例而言, 其地理格局主要由空间因素决定, 其次是海拔幅度, 气候因子的独立作用很小(表2, 3, 4)。

由于空间因子不仅包涵了单纯的地理位置信息, 还包涵了不同地区植物区系演化的信息, 所以并不能否定特有属比例能够在一定程度上反映植物区系的历史。但考虑到中国特有属是主观性非常强的概念, 特有属比例反映的植物区系系统发育信息可能会比较低。空间因子所解释的方差中到底又有多少是系统演化信息还需要进一步的研究。

3.3 特有属地理格局在生物多样性保护中的意义

特有属对许多生物多样性保护理论和实践都具有重要的指导意义。如许多特有属的植物经历了第四纪冰期并持续生存下来, 它们包含了植物系统发育和演化的重要信息, 具有重要的科研价值或应用价值, 从而成为国家级保护物种。另外, 特有属丰富度和比例也成为区域性生物多样性评价的重要指标, 许多自然保护区在资源考察中格外重视特有属, 而且在科学考察报告中特意列出以显示其生物多样性的价值。

但是, 目前特有属的定义和实际界定之间存在一定的相互矛盾之处。虽然定义认为特有属的划分不应以行政边界为标准, 但是目前几乎所有的中国特有属划分方法均以国界为标准, 或至少在很大程度上依据植物属的分布范围与国界的关系。这或多或少降低了中国特有属的科学内涵和在实践中的指导作用。因此, 需要对中国特有属进行审慎的界定(许瑾等, 2008)。在理论上, 不以国界为准, 而是在考察中国所有植物属在世界范围内的分布后对其进行特有性评价可能更为科学。或者, 先根据中国及周边国家的自然地理区考察各个属的分布, 而后再界定各个自然地理区的特有属。在实践上, 应降低中国特有属在生物多样性评价中的重要性, 将其作为一个次要的评价指标。这是因为, 靠近国界

的地区显然特有属较少,但如果这些地区的种子植物属较多,那么以特有属的比例为指标则低估其生物多样性价值,如云南的西双版纳地区。

尽管中国种子植物特有属的概念不是十分理想,但在阐述中国植物区系性质方面仍有一定的作用,对区域性植物区系的特有性进行深入调查和分析仍然具有重要的科学和实践价值,特别是针对调查不够充分的我国西南部邻近国界的地区。

虽然本文的分析只是针对中国种子植物特有属,但此结果可能同样适用于其他生物类群(如鸟类,雷富民等, 2004)和分类级别(如种子植物特有种, Huang *et al.*, 2011)。当然,这需要进一步的直接检验。

参考文献

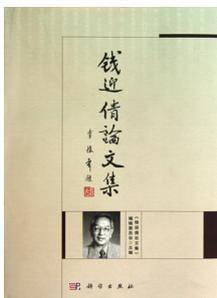
- Akaike H (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19**, 716–723.
- Anderson S (1994) Area and endemism. *Quarterly Review of Biology*, **69**, 451–471.
- Borcard D, Legendre P, Drapeau P (1992) Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, **73**, 1045–1055.
- Casazza G, Zappa E, Mariotti MG, Médail F, Minuto L (2008) Ecological and historical factors affecting distribution pattern and richness of endemic plant species: the case of the Maritime and Ligurian Alps hotspot. *Diversity and Distributions*, **14**, 47–58.
- Chang H (张宏达) (1997) Plant endemism and biodiversity. *Ecologic Science* (生态科学), **16**, 9–17. (in Chinese with English abstract)
- Chen SB, Jiang GM, Ouyang ZY, Xu WH, Xiao Y (2011) Relative importance of water, energy, and heterogeneity in determining regional pteridophyte and seed plant richness in China. *Journal of Systematics and Evolution*, **49**, 95–107.
- Diniz-Filho JAF, Bini LM, Hawkins BA (2003) Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*, **12**, 53–64.
- Dutilleul P (1993) Modifying the *t* test for assessing the correlation between two spatial processes. *Biometrics*, **49**, 305–314.
- Feng JM (冯建孟), Zhu YY (朱有勇) (2010) On the genera of seed plants endemic to China in Yunnan. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), **19**, 621–625. (in Chinese with English abstract)
- Hao RM (郝日明) (1997) On the areal-types of the Chinese endemic genera of seed plants. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **35**, 500–510. (in Chinese with English abstract)
- Huang JH, Chen JH, Ying JS, Ma KP (2011) Features and distribution patterns of Chinese endemic seed plant species. *Journal of Systematics and Evolution*, **49**, 81–94.
- Lamoreux JF, Morrison JC, Ricketts TH, Olson DM, Dinerstein E, McKnight MW, Shugart HH (2006) Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature*, **440**, 212–214.
- Legendre P, Legendre L (1998) *Numerical Ecology*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Lei FM (雷富民), Tang QQ (唐芊芊), An SC (安书成) (2004) Species differentiation and distribution of endemic genera of birds in China. *Journal of Shaanxi Normal University* (陕西师范大学学报), **32**, 104–114. (in Chinese with English abstract)
- Li XW (李锡文) (1994) Two big biodiversity centres of Chinese endemic genera of seed plants and their characteristics in Yunnan Province. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **16**, 209–220. (in Chinese with English abstract)
- Ma J (马骥), Deng HZ (邓虹珠), Chao Z (晁志), Liu CM (刘传明), Zhang HW (张宏伟) (2004) Medicinal plant resources of the Chinese endemic genera of seed plants. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), **29**, 123–129. (in Chinese with English abstract)
- Mac Nally R (2000) Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: the distinction between—and reconciliation of—‘predictive’ and ‘explanatory’ models. *Biodiversity and Conservation*, **9**, 655–671.
- Moran PAP (1950) Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, **37**, 17–23.
- Rangel TFLVB, Diniz-Filho JAF, Bini LM (2006) Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecology and Biogeography*, **15**, 321–327.
- Shen ZH (沈泽昊), Zhang XS (张新时) (2000) A quantitative analysis on the floristic elements of the Chinese subtropical region and their spatial patterns. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **38**, 366–380. (in Chinese with English abstract)
- Wang HS (王荷生) (1989) A study on the origin of spermatophytic genera endemic to China. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **11**, 1–16. (in Chinese with English abstract)
- Wang HS (王荷生), Zhang YL (张懿铨) (1994a) The distribution patterns of spermatophytic families and genera endemic to China. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), **49**, 403–417. (in Chinese with English abstract)
- Wang HS (王荷生), Zhang YL (张懿铨) (1994b) The biodiversity and characters of spermatophytic genera endemic to China. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **16**, 209–220. (in Chinese with English abstract)
- Willig MR, Kaufman DM, Stevens RD (2003) Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **34**, 273–309.
- Wu ZY (吴征镒) (1991) The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **13**

- (Suppl.), 1–139. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY (吴征镒), Sun H (孙航), Zhou ZK (周浙昆), Li DZ (李德铎), Peng H (彭华) (2011) *Floristics of Seed Plants from China* (中国种子植物区系地理). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒), Sun H (孙航), Zhou ZK (周浙昆), Peng H (彭华), Li DZ (李德铎) (2005) Origin and differentiation of endemism in the flora of China. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **27**, 577–604. (in Chinese with English abstract)
- Xu J (许瑾), Liu ED (刘恩德), Peng H (彭华) (2008) Distribution change of *Craspedolobium schochii* and unacceptability of its endemism to China. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), **16**, 266–270. (in Chinese with English abstract)
- Ying TS (应俊生) (1996) Areography of the endemic genera of seed plants in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **34**, 479–485. (in Chinese with English Abstract)
- Ying TS (应俊生), Zhang YL (张玉龙) (1994) *The Endemic Genera of Seed Plants of China* (中国种子植物特有属). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhu H (朱华) (2008) Distribution patterns of genera of Yunnan seed plants with references to their biogeographical significances. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), **23**, 830–839. (in Chinese with English abstract)
- Zhu H, Ma YX, Yan LC, Hu HB (2007) The relationship between geography and climate in the generic-level patterns of Chinese seed plants. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **45**, 134–166.

(责任编辑: 朱华 责任编辑: 周玉荣)

《钱迎倩论文集》出版

——纪念《生物多样性》第一任主编钱迎倩先生逝世一周年



为了纪念我国著名植物学家、《生物多样性》杂志第一任主编钱迎倩先生逝世一周年,《钱迎倩论文集》在其同事、家人和学生等的共同努力下整理编撰完成,并由科学出版社出版。该书由中国科学院原副院长李振声院士题写书名,中国科学院原副院长许智宏院士作序。全书收集了钱迎倩先生及其与同事或学生合作发表的学术论文和科普文章86篇。其中,生物技术与生物工程研究方面的论文29篇,分子生态学与生物安全方面的研究论文24篇,生物多样性保护研究方面的论文12篇,科学普及与考察见闻方面的文章21篇。该论文集比较全面地反映了钱迎倩先生的学术历程和学术成就及其对中国植物科学发展的贡献。

钱迎倩先生是一名长者、智者和学者,在专业、管理和科普方面辛苦耕耘一生,在科研岗位上留下深深的足迹,先后担任中国科学院植物研究所所长、中国科学院生物科学与生物技术局局长和广西科学院院长,用毕生的精力推动了中国生物技术、生物安全和生物多样性研究的发展。钱迎倩先生生命不息、战斗不止,退休后也十分注重生物多样性保护的科学普及工作,举办了大量的科普讲座,一些重要的科普论文也收集在该论文集中。

钱迎倩先生生活中平易近人、富有爱心,对同事、朋友、学生、家人关怀备至,该论文集还收藏了钱迎倩先生宝贵的老照片,记录了先生一生重要的经历以及与同学、朋友、家人和学生融洽相处的幸福时刻。

该书在全面地总结钱迎倩先生科学人生的同时,客观地反映了先生对植物科学的贡献。该论文集也寄托了编者及钱迎倩先生的同事、朋友对先生的怀念。附录的回忆札记能够使读者体味到钱先生的人格魅力。该论文集能够帮助植物学界的同行们了解先生所处年代的科学发展和动态。